

ALMA MATER STUDIORUM – UNIVERSITA' DI BOLOGNA  
SEDE DI CESENA  
FACOLTA' DI SCIENZE MATEMATICHE, FISICHE E NATURALI  
CORSO DI LAUREA IN SCIENZE DELL'INFORMAZIONE

# **PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE DI UN GATEWAY AUDIO PER RETI BLUETOOTH - GSM**

Tesi di Laurea in  
Sistemi Multimediali

Relatore  
Prof.ssa Paola Salomoni

Presentata da  
Ugolini Loris

Co-relatore  
Dott. Matteo Roffilli

Sessione III  
Anno Accademico 2003-2004

---

*Il progetto descritto in questo documento sarà realizzato come lavoro di tesi per la seconda laurea in Scienze dell'Informazione ed avrà il compito di aggiornare e integrare il progetto da me presentato per la tesi quadriennale.*

*Questo lavoro di tesi intenderà sfruttare parte dell'architettura precedente per realizzare un sistema che possa fornire una comunicazione vocale tra un dispositivo Bluetooth e una piattaforma Linux. La scelta di tale sistema operativo permetterà di utilizzare librerie e sorgenti Open Source ma in particolare modo consentirà di redirigere un segnale audio da un dispositivo del sistema ad un altro in maniera rapida e ottimale grazie al completo controllo della macchina. La scelta della tecnologia Bluetooth per integrare i servizi della precedente architettura è dipesa principalmente dalla sua grande diffusione nel mercato e dalla sua grande versatilità di connessione. Infatti la tecnologia Bluetooth trova ormai impiego in una grande varietà di dispositivi elettronici e fornisce ad un utente grande libertà di movimento con un costo economico molto contenuto.*

*L'implementazione del progetto si articolerà attraverso numerose prove, sia per quanto riguarda la configurazione funzionante del sistema operativo sia per quel che riguarda l'impiego dei dispositivi Bluetooth. Infatti se da una parte testeremo diverse distribuzioni Linux e diverse versioni di kernel, dall'altra parte si metteranno alla prova variegate interfacce Bluetooth, che appartengono a diversi modelli di telefoni cellulari, di auricolari e di adattatori USB.*

*Questo progetto, lascia ampio sviluppo ad altre applicazioni Bluetooth, ma soprattutto descrive come viene implementato lo stack Bluetooth su Linux, quali configurazioni vengono permesse e quali utility esso fornisce.*

## Sommario

INTRODUZIONE .....	1
Capitolo primo.....	4
LA TELEFONIA SU INTERNET .....	4
1.1 La telefonia su Internet.....	4
1.1.1 Introduzione .....	4
1.1.2 Le reti di calcolatori .....	6
1.1.3 Il protocollo TCP/IP .....	14
1.1.4 Trasmissione su rete .....	15
1.1.5 Formati audio .....	16
1.1.6 VoIP .....	17
1.2 Architetture Internet Telephony .....	18
Capitolo secondo .....	21
APPLICAZIONI DELLO STANDARD H323.....	21
2.1 Gli standard della famiglia H.323 .....	21
2.2 H323 .....	23
2.2.1 Terminal .....	24
2.2.2 Gateway.....	27
2.2.3 Gatekeeper.....	28
2.2.4 MCU.....	30
2.2.5 Integrazione gateway - LAN .....	31
2.3 Software disponibile.....	33
2.3.1 Microsoft Netmeeting .....	33
2.3.2 Skype.....	35
2.3.3 Abbeyphone .....	36
2.3.4 VocalTec Internet Phone .....	36
2.3.5 Net2phone CommCenter 2.1 .....	37
2.3.6 NetSpeak WebPhone.....	37

2.3.7	Tiscali Netphone .....	38
Capitolo terzo.....		39
LA TELEFONIA MOBILE E LA TECNOLOGIA GSM.....		39
3.1	Introduzione .....	39
3.2	I servizi wireless .....	40
3.3	La telefonia cellulare .....	42
3.4	Le reti cellulari analogiche .....	45
3.5	La nascita delle reti cellulari digitali.....	45
3.6	La tecnologia GSM.....	48
3.6.1	Mobile Station.....	51
3.6.2	Base Station Subsystem .....	53
3.6.3	Network Subsystem .....	54
3.6.4	Operation and Support Subsystem.....	55
3.6.5	GSM Codec.....	55
3.6.6	Trasmissione dati e nuove esigenze.....	57
3.7	Cellular Engine .....	59
3.7.1	Introduzione .....	59
3.7.2	M20 Terminal .....	59
3.7.3	MC35iT.....	61
3.8	Utilizzo delle MS come Cellular Engine .....	62
Capitolo quarto .....		63
Tecnologia Bluetooth.....		63
4.1	L'utilizzo.....	63
4.2	Lo standard .....	67
4.3	Elementi Base .....	69
4.4	Collegamenti Bluetooth .....	70
4.5	Modalità di collegamento .....	74
4.6	Sicurezza.....	76
4.7	Tipologie di collegamento .....	77
4.7	Architettura Bluetooth .....	80
4.8.1	Host Controller Interface .....	81
4.8.2	Telephony Control Binary .....	82

---

4.8.3 RFCOMM .....	82
4.8.5 OBEX .....	83
4.9 L'audio nel Bluetooth.....	83
4.10 Profili Bluetooth.....	84
Capitolo cinque .....	87
PROGETTO LOGICO.....	87
5.1 Architettura globale.....	87
5.2 Integrazione LAN - GSM.....	91
5.2.1 Aspetti gestionali.....	93
5.2.2 Aspetti progettuali .....	94
5.3 Modello logico .....	95
5.3.1 Terminale audio Bluetooth.....	96
5.3.2 Gateway audio Bluetooth -GSM .....	97
Capitolo sesto .....	100
IMPLEMENTAZIONE TECNICA .....	100
6.1 Realizzazione del sistema.....	100
6.2 Lo stack BlueZ .....	101
6.3 Adattatore USB Bluetooth .....	104
6.4 Installazione sistema operativo .....	106
6.5 Utilizzo hardware Bluetooth .....	107
6.6 Driver Alsa .....	114
6.7 Bluetooth-alsa project .....	117
6.7.1 Installazione btsc0 .....	118
6.7.2 Utilizzo btsc0.....	120
6.7.3 Sommario .....	123
6.8 Conclusioni e sviluppi futuri .....	124

## INTRODUZIONE

Negli ultimi anni è aumentata in maniera considerevole l'integrazione tecnologica tra la telefonia, i sistemi di telecomunicazione in generale, e le reti di computer, soprattutto grazie alla notevole espansione avuta da Internet e alla sempre crescente diffusione della telefonia fissa e mobile. Proprio lo sviluppo di Internet e dei servizi multimediali da esso supportati, insieme alla nascita di nuovi servizi di telecomunicazione e all'evolversi dei dispositivi telefonici, specialmente quelli di tipo mobile, ha spinto verso la ricerca di una sempre maggiore convergenza tra esso e le infrastrutture di comunicazione.

In modo particolare, si è incrementato l'interesse verso le nuove tecnologie che permettono la trasmissione di voce in tempo reale su una rete IP, note come Voice over IP (VoIP), prima di tutto da parte dei settori che ne possono trarre beneficio; esse, infatti, stanno dimostrando di essere in grado di consentire una riduzione significativa nei costi delle comunicazioni a lunga e media distanza.

Questo rappresenta un elemento di estrema importanza che ha incentivato studi relativi a tali tecnologie; infatti, Internet, pur presentando taluni aspetti in comune con la rete telefonica pubblica, possiede anche differenze rilevanti: mentre la rete telefonica è ottimizzata per le comunicazioni vocali sincrone e in tempo reale e garantisce una qualità del servizio stabile (*QoS*, *Quality of Service*), Internet è una rete che è sempre stata usata per applicazioni che tollerano una *QoS* variabile.

Oltre a ciò, come già ricordato prima, il *wireless industry sector*, ossia il settore di industria delle comunicazioni mobili, è al momento uno dei più dinamici segmenti di mercato: la domanda di servizi di *mobile communications* è cresciuta con un ritmo molto più elevato rispetto a tutte le previsioni degli specialisti del settore, soprattutto nel campo della telefonia cellulare.

Da tutti questi elementi deriva l'opinione oggi molto diffusa che la convergenza di servizi fissi, mobili e Internet in unico sistema integrato rappresenterà il futuro delle

comunicazioni. Si dovrebbe riuscire ad ampliare la gamma delle possibilità offerte agli utenti, prima di tutto aumentando il raggio di azione dei telefoni cellulari all'intero pianeta; in secondo luogo dovrebbe divenire realizzabile una nuova gestione delle reti attraverso la quale contattare un qualsiasi utente non dipenderà né da un determinato luogo (come nella telefonia fissa), né dal possesso di un determinato tipo di terminale (come nella telefonia mobile). L'identificazione dell'utente avverrà attraverso un numero personale (*numerazione unica o single numbering*): per mezzo della sua composizione, la rete individuerà in automatico dove l'utente si trova e gli invierà la chiamata. Trae origine da qui l'espressione Personal Communications System, utilizzata per indicare il sistema che caratterizzerà la convergenza wired-wireless.

In questo settore si è imposto da qualche anno uno standard promosso dall'ITU (*International Telecommunications Union*), l'H323, che specifica la realizzazione di componenti, protocolli e procedure per l'implementazione di servizi di comunicazione multimediale (audio, video e trasmissione dati real-time) su reti a commutazione di pacchetto che non forniscono garanzie di Qualità del Servizio. L'H323, pur essendo solo uno degli standard proposti nel settore del VoIP, si presenta come quello maggiormente affermato a livello commerciale e quello per il quale sono ormai disponibili diverse tipologie di prodotti.

Il progetto elaborato per la tesi quadriennale prevedeva la progettazione e, in parte, la realizzazione di un sistema di integrazione tra rete telefonica fissa, rete telefonica mobile e Internet basato su tecnologie della famiglia H323. Esso aveva lo scopo di integrare su una LAN un insieme di servizi di comunicazione vocale che permettessero ad un PC di tale rete di collegarsi indistintamente ad un utente telefonico su rete fissa, a un computer remoto su Internet o a un telefono cellulare GSM, come se si trattasse di un terminale appartenente alla rete. Il sistema forniva tre differenti tipologie di connessione: una PC to PC che utilizzava Internet come mezzo per il trasporto della voce, una PC to phone che si serviva della rete PSTN o ISDN come mezzo per il trasporto della voce, una PC to GSM che utilizzava la rete cellulare come mezzo per il trasporto della voce.

Partendo dalla tesi quadriennale, che realizzava un gateway H323 per reti GSM, si è voluto con questo progetto implementare un gateway Bluetooth per reti GSM, al fine di aggiungere alle precedenti una nuova tipologia di connessione, ossia quella PC

to Bluetooth, che utilizza la rete senza fili per il trasporto della voce. Tale scelta è stata determinata dalla volontà di eliminare le problematiche relative alla presenza di collegamenti via cavo, servendosi della tecnologia wireless e in particolare di quella Bluetooth, che sicuramente rivoluzionerà il mercato della connessione delle reti senza fili, principalmente per i bassi costi di trasmissione su cui essa si basa e soprattutto per la possibilità di far comunicare qualunque tipo di dispositivo wireless attraverso onde radio.

Questa tesi, dunque, introdurrà in primo luogo la telefonia su Internet e le principali problematiche del VoIP; si riepilogheranno poi brevemente lo standard H323, i suoi protocolli fondamentali e le sue componenti architetturali e i risultati ottenuti nel precedente progetto. Si tratteranno in seguito le principali tecnologie per la telefonia mobile con particolare attenzione al GSM, che è lo standard attualmente più in uso per la comunicazione cellulare. Seguirà l'analisi delle tecnologie wireless e dei relativi vantaggi rispetto a quelle wired; si esaminerà soprattutto la tecnologia Bluetooth, il suo standard, le sue modalità e le sue tipologie di collegamento.

La parte seguente spiegherà il progetto di architettura realizzato per l'integrazione tra rete telefonica fissa, rete telefonica mobile, Internet e reti senza fili: nei primi paragrafi il progetto verrà illustrato nella sua interezza, mentre in quelli successivi verranno evidenziati gli obiettivi e le funzionalità delle componenti realmente implementate, riconducibili sostanzialmente all'integrazione tra rete mobile e Internet.

Infine, la tesi si concluderà con la descrizione della fase di implementazione: verranno specificati i dettagli realizzativi e saranno delineate le fasi di installazione e configurazione degli elementi architetturali (adattatori e dispositivi Bluetooth) del sistema e quelle di sperimentazione relative all'utilizzo di recenti software da integrare alle normali funzionalità delle librerie Bluetooth.



## Capitolo primo

# LA TELEFONIA SU INTERNET

In questo capitolo vengono introdotte le tecnologie informatiche che hanno portato allo sviluppo dell'Internet Telephony. Nel primo paragrafo vengono trattate la telefonia su Internet e le tecniche di trasmissione dei dati sulle diverse tipologie di rete. Nel secondo paragrafo si descrivono le principali architetture Internet Telephony e alcune loro applicazioni.

## 1.1 La telefonia su Internet

### 1.1.1 Introduzione

La grande espansione che sta avendo Internet e la crescente diffusione della telefonia fissa e mobile hanno causato in questi ultimi anni una grande spinta all'integrazione tecnologica tra i sistemi di comunicazione e le tecnologie informatiche; la maggiore diffusione dei servizi *AIN (Advanced Intelligent Network)* e l'evoluzione dei dispositivi per il trattamento della voce sono solo alcuni dei motivi che hanno portato e portano gli studi della futura infrastruttura di informazione, verso la direzione di una convergenza tra l'industria delle telecomunicazioni e le reti di computer [NET01].

Sono però abbastanza evidenti alcune differenze strutturali tra il modello telefonico e quello di Internet che rendono problematica l'integrazione tra le due architetture, da una parte la *rete pubblica telefonica commutata (PSTN)* che basa il suo funzionamento sul meccanismo della *commutazione di circuito (circuit-switched)*,

dall'altra parte Internet basato sul meccanismo della *commutazione di pacchetti* (*packet-switched*) .

La tecnica circuit-switched consiste nel creare un percorso tra il nodo chiamante e il nodo chiamato in una fase preliminare alla comunicazione vera e propria (tale fase è chiamata *set-up del circuito*). Una volta costruito il percorso le risorse usate vengono assegnate secondo la tecnica di pre-assegnazione individuale e mantenute per tutta la durata della comunicazione. I nodi interni alla rete sono semplicemente degli autocommutatori che cortocircuitano una porta di ingresso con una porta di uscita. Se la fase di set-up va a buon fine, la rete *scompare*, nel senso che gli utenti è come se fossero collegati tramite un link virtuale esteso punto-punto fra l'utente chiamante e l'utente chiamato [RTD98].

In una rete packet-switched l'informazione da trasmettere è suddivisa in pacchetti di dimensione abbastanza piccola; ad ognuno di essi viene aggiunta un'intestazione che contiene tutta l'informazione necessaria affinché il pacchetto sia inoltrato alla sua destinazione finale. I pacchetti sono inviati individualmente attraverso la rete e vengono poi riassemblati nella loro forma originale quando arrivano sul computer destinazione. Poiché ogni pacchetto porta con sé la sua identificazione, una data rete può trasportare nello stesso tempo pacchetti provenienti da computers differenti. La commutazione di pacchetto permette quindi a più utenti di inviare informazioni attraverso la rete in modo efficiente e simultaneo, risparmiando tempo e costi sulle linee telefoniche, sulle connessioni radio e via satellite. E poiché i pacchetti possono prendere strade alternative sulla rete, la trasmissione dei dati é facilmente mantenuta anche se parti della rete sono danneggiate o non funzionano efficacemente [USF 98].

Tecnicamente Internet è una rete packet-switched il cui funzionamento si basa sull'*Internet Protocol* (IP) ed è ad oggi la rete più capillarmente diffusa a livello mondiale, la quale può essere definita come l'insieme di reti interconnesse tramite varie tecnologie (linee telefoniche, fibre ottiche, satelliti, ...) che utilizzano come protocollo di comunicazione un protocollo standard chiamato *TCP/IP* (*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*) [IEF].

## 1.1.2 Le reti di calcolatori

Gli utilizzi delle reti di calcolatori sono i più svariati, e spaziano dall'utente domestico fino alle più grandi organizzazioni; mettere a disposizione informazioni ad utenti distanti migliaia di km o la possibilità di fare acquisti da casa sono soltanto due esempi delle enormi potenzialità che possiedono le reti di computer e dei benefici che possono portare alle persone.

Anche se non esiste una tassonomia universalmente accettata, ci sono due parametri fondamentali per la definizione delle caratteristiche di una rete: la tecnologia utilizzata per la trasmissione dei dati e la scala dimensionale.

### 1.1.2.1 La tecnologia trasmissiva

A grandi linee, si può generalizzare il concetto di studio di una rete partendo dalla suddivisione in due tipi di progetti:

- reti *broadcast*;
- reti *punto a punto*;
- reti *arbitrated loop*.

Le reti broadcast [GIB97] (uno schema è riportato in figura 1.1) sono dotate di un unico canale di comunicazione che è condiviso da tutti gli elaboratori; i pacchetti, che contengono al loro interno l'indirizzo del destinatario, inviati da un computer vengono ricevuti da tutti gli altri nella rete. Quando una macchina riceve un pacchetto dalla rete, controlla l'indirizzo del destinatario; se coincide con il proprio allora si preoccupa di elaborare l'informazione, altrimenti il pacchetto viene ignorato. Esistono anche casi particolari quando si vuole spedire un pacchetto a tutti gli altri elaboratori della rete (*broadcast*), oppure ad un particolare insieme di essi (*multicast*).

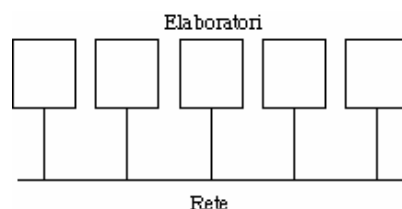
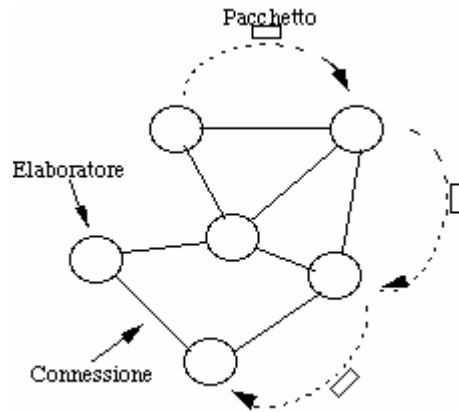


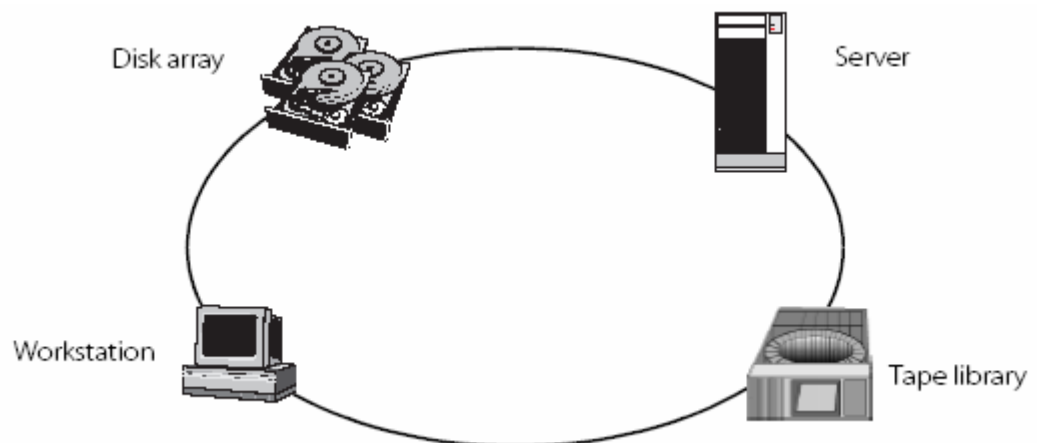
Figura 1.1 – Schema di una rete broadcast

Le reti punto a punto [GIB97], invece, sono costituite da un insieme di connessioni fra coppie di elaboratori; uno schema di tale tecnologia è riportato in figura 1.2.



*Figura 1.2 – Schema di una rete point-to-point.*

Le reti arbitrated loop si contrappongono a quelle punto a punto e permettono una maggiore connettività tra i dispositivi, i quali sono collegati tra loro in una architettura ad anello, utilizzando per il trasferimento dei pacchetti il collegamento diretto tra la propria porta di trasmissione e quella di ricezione del dispositivo successivo.



*Figura 1.3 – Topologia Arbitrated Loop*

La topologia arbitrated loop è tuttora quella maggiormente utilizzata perché fornisce in maniera economica un collegamento ad alta velocità tra diversi dispositivi, che possono raggiungere il numero massimo di 126. Il termine “arbitrated” deriva dal fatto che la

rete ad anello supporta al massimo una connessione attiva per volta, quindi deve esserci una negoziazione tra i vari dispositivi per il controllo della struttura quando vengono nello stesso istante richieste più connessioni. Non è richiesto un hardware sofisticato per la realizzazione dell'arbitrated loop, i componenti necessari sono: dispositivi in fibra ottica o bridge, adattatori per gli apparati della rete e driver software per i computer che ne fanno parte, il cablaggio tra tutti gli elementi. L'architettura di rete arbitrated loop con la fibra ottica viene comunemente identificata con la sigla *FC-AL (Fibre Channel Arbitrated Loop)*[FIB].

Quando si spediscono informazioni da una sorgente ad una destinazione, spesso i pacchetti devono attraversare più elaboratori, quindi gli *algoritmi di instradamento* [CER83] (*routing*) assumono un ruolo fondamentale.

#### **1.1.2.2    La scala dimensionale**

Si possono distinguere, in base alla loro estensione, svariati tipi di reti; tale distinzione è molto importante in quanto a seconda della dimensione di una rete vengono utilizzate tecniche differenti per lo scambio di informazioni; viene riportata in tabella 1.1 [TAN91] una classificazione delle reti di calcolatori in base alla loro dimensione:

Distanza fra processori	Ambito	Tipo di rete
< 10 m.	Stanza	Rete personale
10 m.	Stanza	Rete locale
100 m.	Edificio	Rete locale
1 km.	Campus	Rete locale
10 km.	Città	Rete metropolitana
100 km.	Nazione	Rete geografica
1000 km.	Continente	Rete geografica
10.000 km.	Pianeta	Internet

*Tabella 1.1 – Scala dimensionale delle reti.*

Le reti personali, dette *PAN* (*Personal Area Network*) sono reti informatiche utilizzate per permettere la comunicazione tra diversi dispositivi (telefono, personal digital assistants, ecc) vicini a un singolo utente. I singoli dispositivi possono anche non appartenere all'utente in questione. Il raggio di azione di una PAN è tipicamente di alcuni metri; essa può essere utilizzata per collegare i vari dispositivi tra loro in modo da consentire scambio di informazioni o per consentire la connessione a reti a più alto livello come per esempio Internet. Una PAN può essere realizzata con collegamenti via cavo, per esempio *USB*<sup>1</sup> o *FireWire*<sup>2</sup>, oppure si possono utilizzare soluzioni wireless (*WPAN*) come <sup>3</sup>*IrDA* (*Infrared Device Application*) o *Bluetooth* [WIK].

Una delle tipologie wireless PAN più usate è quella *Bluetooth*, la quale è una tecnologia di interconnessione wireless low-power (mWatt), in grado di far "comunicare" dispositivi elettronici come i telefoni, stereo, notebook, computer, pda fino ad un massimo di 8 dispositivi, attraverso onde radio a basso raggio emesse da alcuni trasmettitori presenti all'interno di questi dispositivi. Consente il networking wireless sia voce (Tv) che dati (Td), il tutto senza bisogno di alcun cavo di collegamento, ma semplicemente utilizzando le onde radio. Può supportare fino a 7 canali dati (asincrono con data rate di 57,6Kbps in upstream e 721Kbps in downstream) e 3 canali voce (sincroni con data rate di 64 kbps). La velocità massima di trasferimento dati, nel suo complesso, è pari a 1Mbps full duplex con una copertura dai 10 ai 100 metri [WFI].

---

<sup>1</sup> *Universal Serial Bus*: interfaccia per periferiche di tipo digitale (telecamere, tastiere, mouse, scanner), consente la trasmissione dei dati a velocità elevata (fino a 12 Mbit al secondo). Le periferiche si collegano "in parallelo", cioè ad un connettore si collega una sola periferica.

<sup>2</sup> Standard di comunicazione ideato da Apple e sviluppato insieme a IEEE (conosciuto anche come standard IEEE 1394), implementa un Bus digitale di comunicazione che permette una velocità di trasferimento massima di 800 Mbit/secondo e di collegare 64 periferiche in cascata; essendo scalabile, facile da implementare ed a basso costo viene utilizzato da diverse periferiche digitali (videocamere, macchine fotografiche, dispositivi audio, lettori DVD)

<sup>3</sup> *Infrared Device Application* : standard di interconnessione dati tramite infrarossi bidirezionale point-to-point tra dispositivi posizionati in visibilità reciproca (LoS) con range ridotto a 1 metro e bit rate di 4 Mbps e cono di copertura 30°.

Le reti locali, dette *LAN* [STE94] (*Local Area Network*), sono in generale reti broadcast, con una velocità di trasmissione tipicamente di 10 o 100 Mbps. Fra le varie topologie che tali reti possono assumere, due sono forse le più diffuse:

- *bus*: ad ogni istante solo un computer può trasmettere, tutti gli altri stanno in ascolto, è necessario perciò un meccanismo di arbitraggio per risolvere gli eventuali conflitti fra due o più macchine che vogliono trasmettere contemporaneamente; un esempio classico è lo standard IEEE 802.3 [GAI95] conosciuto come *Ethernet (Fast, Giga)*;
- *ring*: questa topologia è organizzata ad anello, dove ogni bit fa un giro in un tempo tipicamente inferiore a quello di trasmissione di un pacchetto; anche qui è necessario un meccanismo di arbitraggio, spesso basato su gettoni (*token*), da cui deriva lo standard IEEE 802.5 conosciuto come *Token Ring* [HOR84]. Arbitrated Loop.

A seconda del meccanismo scelto per l'arbitraggio, le reti broadcast si possono suddividere in due ulteriori categorie: l'*allocazione statica* stabilisce che le regole per decidere chi sarà il prossimo a trasmettere sono decise a priori, mentre l'*allocazione dinamica* prevede che il prossimo elaboratore a trasmettere sarà deciso designato di volta in volta; in questa maniera l'arbitraggio può essere *centralizzato* oppure *distribuito*.

Una *LAN* può essere realizzata sia con soluzioni wired oppure con soluzioni wireless da cui la sigla *WLAN (Wireless Local Area Network)* che identifica un sistema di comunicazione flessibile e implementabile nella sua estensione, in alternativa, ad una rete fissa (wired LAN). In una *WLAN* viene utilizzata una tecnologia di *RF (Radio Frequenza)* per la trasmissione e la ricezione dei dati, minimizzando la necessità di connessioni via cavo (wired), favorendo così una discreta mobilità.

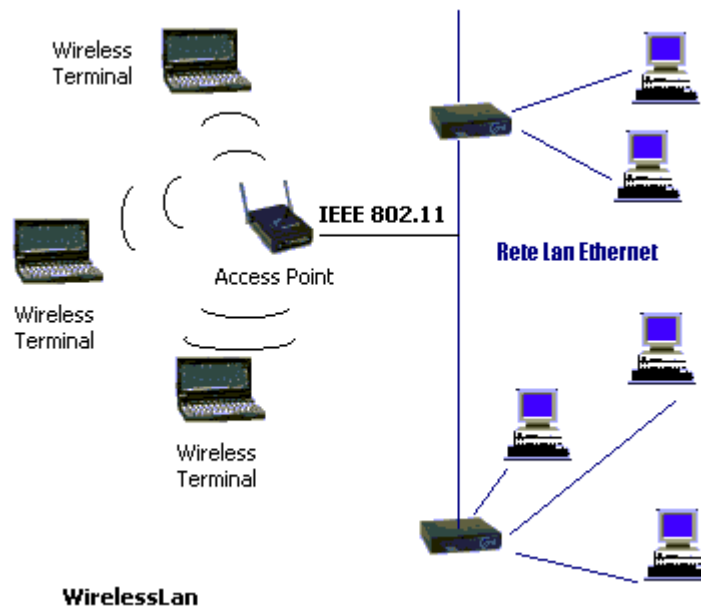


Figura 1.4 – Wireless LAN

Una rete wireless può essere un'estensione di una normale rete cablata, supportando tramite un *AP* (*Access Point*), la connessione a dispositivi mobili e a dispositivi fissi *WT* (*Wireless Terminal*). In generale le architetture per sistemi wireless sono basate due tipologie di dispositivi. Gli *AP* sono bridge che collegano la sottorete wireless con quella cablata, come abbiamo detto, mentre i *WT* sono dei dispositivi che usufruiscono dei servizi di rete. Gli *AP* possono essere implementati sia in hardware (esistono dei dispositivi dedicati) che in software, appoggiandosi per esempio ad un pc, o notebook dotato sia dell'interfaccia wireless sia di una scheda ethernet. I *WT* possono essere qualsiasi tipo di dispositivo come per esempio notebook, palmari, pda, cellulari, o apparecchiature che interfacciano standard IEEE 802.11 [WLA].

Le *MAN* [TAN91] (*Metropolitan Area Network*), reti metropolitane, hanno un'estensione tipicamente urbana, e quindi generalmente sono pubbliche; questo significa che le aziende (tipicamente di telecomunicazioni) le mettono a disposizione di ogni utente, previo pagamento di un'opportuna tariffa.

L'ultima categoria è quella delle reti geografiche, conosciute come *WAN* [HOR84] (*Wide Area Network*), che si estendono a livello nazionale, continentale od



intercontinentale; tipicamente le WAN sono utilizzate per connettere fra loro le sottoreti di comunicazione, come mostrato in figura 2.3:

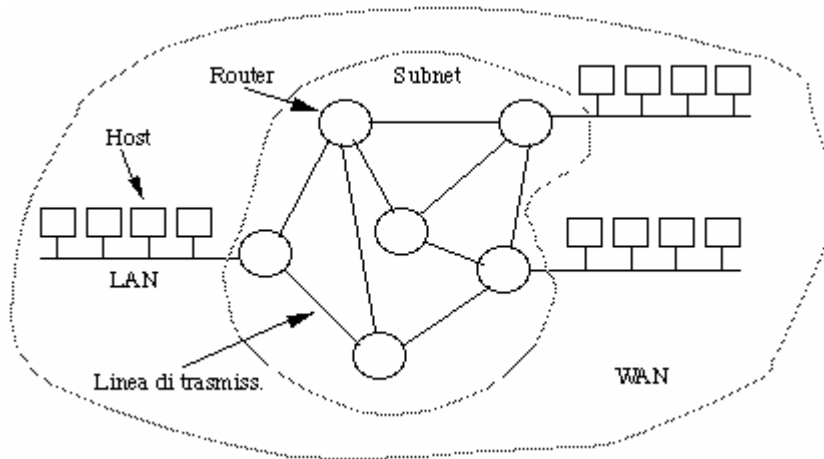


Figura 1.5 – Reti WAN.

In generale, una WAN contiene numerose linee che connettono coppie di *router*, apparecchi in grado di eseguire (secondo differenti algoritmi) l'instradamento dei pacchetti; una rete *punto a punto*, *store and forward* ed a *commutazione di pacchetto* è basata su router che eseguono le tre seguenti operazioni:

- ricezione del pacchetto da una linea di ingresso;
- memorizzazione del pacchetto in un buffer interno;
- instradamento del pacchetto sulla corretta linea di uscita appena essa è libera.

Come mostrato in figura 1.6, esistono diverse topologie di interconnessione applicabili alle sottoreti di comunicazione, ognuna con diversi livelli di ridondanza:

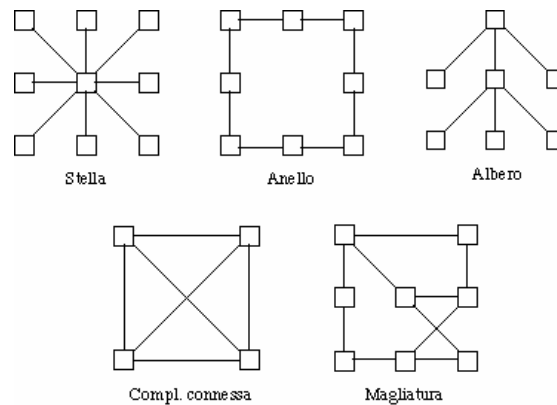


Figura 1.6 – Topologie di connessione.

Esistono altre possibilità di collegamento dei router oltre alle (peraltro molto utilizzate) linee telefoniche, quali ad esempio le connessioni via *satellite* [BIN75] o via *radio al suolo* [ARI90]; nel primo caso, ogni router riceve l'output del satellite e trasmette ad esso, quindi si ha in generale un *broadcast downlink* (dal satellite a terra) ed un *broadcast uplink* (da terra al satellite). Nel caso della trasmissione via radio occorre che le antenne utilizzate siano visibili tra loro, ovvero il fascio di onde che le connette non deve essere interrotto da ostacoli di qualsiasi natura; le figure 1.7 e 1.8 riportano gli schemi rispettivamente della trasmissione tramite satellite e tramite onde radio.

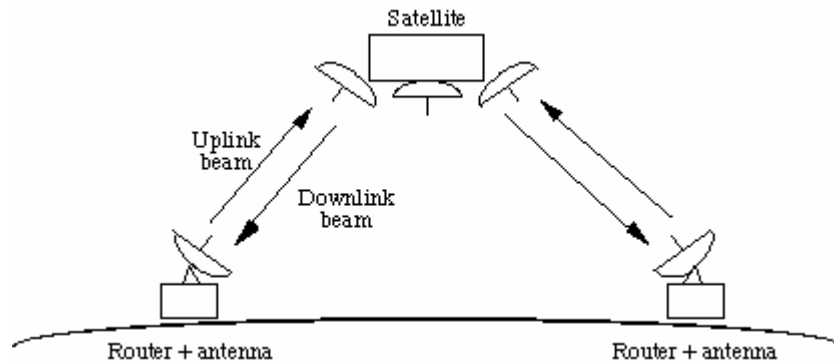


Figura 1.7 – Trasmissione satellitare.

Infine, una rete geografica può essere anche mista, ovvero in parte cablata ed in parte connessa tramite satelliti od onde radio.

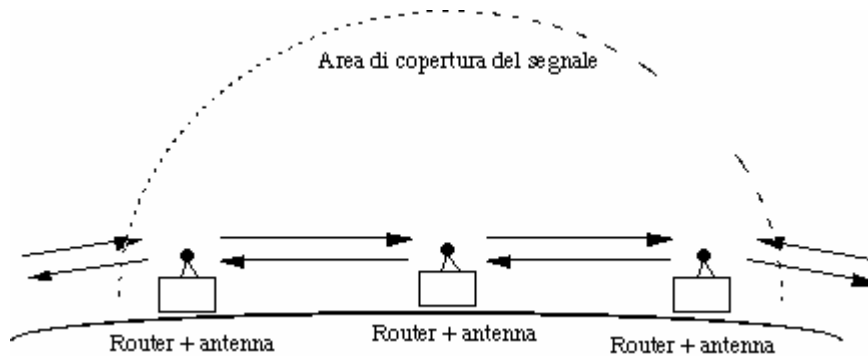


Figura 1.8 – Trasmissione radio.

Una nota di particolare interesse è rivolta ai *gateway* [GIB97], detti anche *router multiprotocollo*, ovvero apparecchi che si occupano, oltre che dell'instradamento dei pacchetti, di interconnettere fra loro reti progettualmente differenti, ovvero incompatibili; tale interconnessione dà luogo ad una *internetwork* [COM91].

### 1.1.3 Il protocollo TCP/IP

In primo luogo TCP/IP è un *open standard*, cioè le sue specifiche sono liberamente utilizzabili da chiunque. Questo ha permesso il rapido diffondersi di implementazioni per ogni sistema operativo e piattaforma esistente, implementazioni spesso distribuite gratuitamente o integrate in modo nativo nel sistema stesso.

Inoltre il TCP/IP è indipendente dal modo in cui la rete è fisicamente realizzata: una rete TCP/IP può appoggiarsi indifferentemente su una rete locale Ethernet, su una linea telefonica, su un cavo in fibra ottica ATM, su una rete di trasmissione satellitare e così via. Anzi consente di integrare facilmente diverse tecnologie hardware in un' unica struttura logica di comunicazione, come appunto è avvenuto per Internet.

Infine TCP/IP è un protocollo di comunicazione che risolve in modo molto efficiente i tipici problemi di ogni sistema telematico:

- sfruttare al meglio le risorse di comunicazione disponibili;
- permettere un indirizzamento efficiente e sicuro dei computer collegati, anche se questi sono diversi milioni;

- garantire con la massima sicurezza il buon fine della comunicazione;
- permettere lo sviluppo di risorse e servizi di rete evoluti e facilmente utilizzabili dall'utente.

Questo protocollo consente, mediante un insieme di regole, comunicazioni tra macchine aventi diversi hardware di rete e differenti sistemi operativi.

#### 1.1.4 Trasmissione su rete

La diffusione di contenuti multimediali su reti IP (come Internet) ha raggiunto oggi livelli che richiedono l'adozione di tecnologie differenti dalla tradizionale tecnica di trasferimento (basata sul protocollo TCP), tramite la quale è necessario attendere la fine dello scaricamento di un file per poterne visualizzare il contenuto. Per la realizzazione dell'*Internet Broadcasting*, in altre parole la ricezione *real-time* (in diretta) di audio e video, è stata studiata una classe di tecnologie indicata collettivamente col nome di *data streaming*, ovvero flusso di dati.

La comunicazione tramite TCP [BER92] richiede il continuo dialogo del computer chiamante con quello che riceve, allo scopo di sapere sempre se i dati inviati sono giunti a destinazione; per questo motivo il protocollo TCP è detto *connection-oriented*, ovvero orientato alla connessione. In particolare, tale connessione viene sfruttata per effettuare principalmente tre tipi di controllo:

- *controllo d'errore*, ovvero che ogni pacchetto non sia stato modificato durante il percorso;
- *controllo di sequenza*, cioè che l'host di destinazione ricostruisca l'esatta sequenza di trasmissione della sorgente;
- *controllo di flusso*, ossia il controllo della velocità per evitare di saturare la rete o perdere dati in zone congestionate.

La realizzazione di questi controlli, nonché lo stabilimento iniziale della connessione sono caratteristiche incompatibili con la trasmissione di contenuti multimediali, ove invece il requisito principale è la velocità di ricezione; durante una conferenza, ad esempio, si ha la necessità di sapere immediatamente ciò che ogni partecipante dice, mentre se un utente deve ricevere un file occorre che la trasmissione sia sicura.

Tali necessità hanno portato quindi all'uso del protocollo UDP [COM91] il quale, essendo di tipo *connectionless*, non effettua nessun tipo di controllo, ed ogni singolo pacchetto può giungere a destinazione seguendo percorsi differenti nonché in ordine sbagliato. Il vantaggio ottenuto sta nel fatto che l'host di destinazione può utilizzare i dati senza aspettare che l'intera trasmissione sia completata. Questo tipo di protocollo di trasporto è dunque l'ideale per la trasmissione di stream multimediali nei quali la perdita di qualche elemento del flusso possa essere considerata irrilevante.

### 1.1.5 Formati audio

La nascita di algoritmi per la trasmissione di audio sulle reti di computer è dovuta alla necessità di poter utilizzare una più ampia gamma di servizi di quelli offerti dal sistema telefonico tradizionale, nonché alla ricerca di un sistema meno costoso di accesso alla rete, in quanto slegato dalle distanze. Le tecniche di compressione del segnale audio sono molteplici, ed a seconda di quella utilizzata si possono ottenere diversi bit rate e diverse qualità; molto frequentemente i prodotti implementano più di un algoritmo di compressione, in maniera tale da potersi adattare ai diversi tipi di rete ed accrescere l'interoperabilità. I metodi utilizzati più frequentemente sono:

- *PCM (Pulse Code Modulation* [PCM98]): si tratta di una codifica implementata negli standard  $\mu$ -Law per il Nord America ed il Giappone (flussi a 56 Kbit/sec) e A-Law (flussi a 64 Kbit/sec) per la maggior parte degli altri stati; questa codifica è utilizzata ad esempio nella raccomandazione ITU-T G.711<sup>4</sup>;

---

<sup>4</sup> ITU-T (*International Telecommunication Union Telecom Standardization*) *Recommendation G.711* : Pulse code modulation (PCM) of voice frequencies

- *ADPCM (Adaptive Differential Pulse Code Modulation [ADP88])*: è una codifica che consente, variando le quantizzazioni, la generazione di flussi a diversi bit rate, quali 48/56/64 Kbit/sec secondo la raccomandazione ITU-T G.722 e 32 Kbit/sec secondo Intel DVI;
- *ITU-T G.723.1 [AUD96]*: si tratta di un'altra raccomandazione ITU che specifica delle codifiche che producono flussi di 5.3 e 6.3 Kbps;
- *ITU-T G.726* : si tratta di una codifica implementata nello standard PCM con segnale audio campionato a 40, 32, 24, o 16 Kbit/sec;
- *ITU-T G.728 [CEL92]*: è una raccomandazione che descrive una codifica basata su algoritmi *CELP (Codebook Excited Linear Prediction)*, e consente di codificare un segnale audio a 8 KHz di campionamento in soli 16 Kbit/sec;
- *ITU-T G.729 [VCL04]*: è una raccomandazione che descrive una codifica basata su algoritmi *CS-ACELP (Coniugate Structure Algebraic Codebook Excited Linear Prediction)*, e consente di codificare un segnale audio a 8 KHz di campionamento in soli 16 Kbit/sec;

### 1.1.6 VoIP

La trasmissione di voce in tempo reale su di una rete IP, per esempio Internet, conosciuta come *Voice over IP (VoIP)*, conoscerà a breve termine uno sviluppo esponenziale, rispetto a quella su PSTN, per gli enormi vantaggi che essa comporta in termini di risparmio economico, integrazione dei servizi e ottimizzazione della rete.

Sebbene Internet condivida molti aspetti della PSTN presenta anche delle differenze fondamentali, come visto nell'introduzione. In particolar modo la rete telefonica pubblica è una rete ottimizzata per le comunicazioni vocali in sincrono e in tempo reale con una qualità di servizio garantita, mentre Internet è una rete che è sempre stata usata per applicazioni che tollerano una QoS variabile.

Infatti la PSTN garantisce la qualità di servizio dedicando alla conversazione un circuito full-duplex con una larghezza di banda di 64KHz, la quale rimane inalterata indipendentemente dal fatto che le parti siano in conversazione attiva o in silenzio; data che l'ampiezza sopra indicata è costante il costo della chiamata è strettamente basato sulla distanza e sul tempo. Invece per come sono strutturati i protocolli di comunicazione e per come è stato concepito Internet, il meccanismo primario di costo per un'applicazione di telefonia IP non è né la distanza né il tempo ma altre misure quali l'ampiezza di banda usata nella comunicazione e il numero di pacchetti trasmessi.

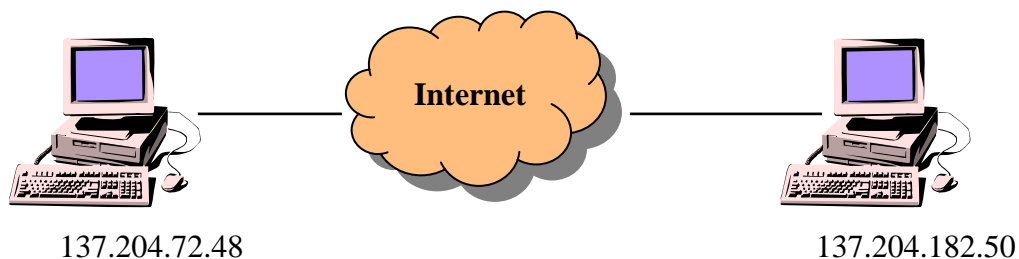
Possiamo a questo punto racchiudere sotto il nome di *Internet Telephony* l'integrazione di tecnologie telefoniche (PSTN) e l'insieme di tecnologie *VoIP* che consenta completa interoperabilità tra dispositivi, servizi e connessioni.

In alcuni degli ambienti più avanzati della ricerca sulle reti è diffusa l'opinione che le architetture delle future reti di telecomunicazioni risulteranno dall'integrazione dell'architettura Internet con quella della rete tradizionale telefonica; le 2 reti, a breve termine, cominceranno ad interfacciarsi fino a fondersi completamente.[[www.tariffe.it](http://www.tariffe.it)]

## 1.2 Architetture Internet Telephony

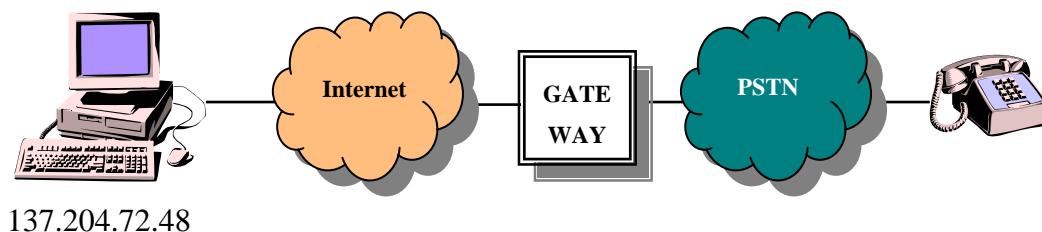
Una prima concretizzazione dell'attuale sviluppo delle tecnologie informatiche, è costituita dalla comunicazione vocale tra due macchine connesse alla rete; questo tipo di connessione viene chiamata *PC to PC* ed è riportata in figura 1.9, in cui i due computer connessi ad Internet sono usati per trasmettere comunicazioni vocali, tipo chiamata telefonica. In questo caso l'indirizzamento può avvenire a livello IP, e ogni PC deve possedere i requisiti per l'input e l'output multimediale (scheda audio, microfono, casse o cuffia).

Si verifica già in questa struttura una problematica correlata all'interoperabilità fra i due PC, infatti essi dovrebbero utilizzare software identici, ma questa è una scelta molto limitante, oppure utilizzare programmi compatibili, cioè che utilizzino lo stesso standard di comunicazione ovvero lo stesso insieme di protocolli e algoritmi; da questa tipologia di problemi cominciano a definirsi le ragioni di studio di un protocollo standard per questo tipo di applicazioni.



*Figura 1.9 – Connessione Internet Telephony PC-to-PC.*

Partendo dalla struttura precedente si può costruire un'architettura in cui un utente collegato ad Internet riesce ad effettuare una chiamata vocale ad un apparecchio telefonico classico; questo tipo di connessione viene chiamata *PC-to-Phone* come riportato in figura 1.10. Da questa configurazione in poi si riscontrano i problemi dell'interoperabilità vera e propria, infatti ora abbiamo due diversi device e due diverse reti che inter-operano per trasmettere comunicazioni vocali, con un indirizzamento che coinvolge due tipologie di reti.

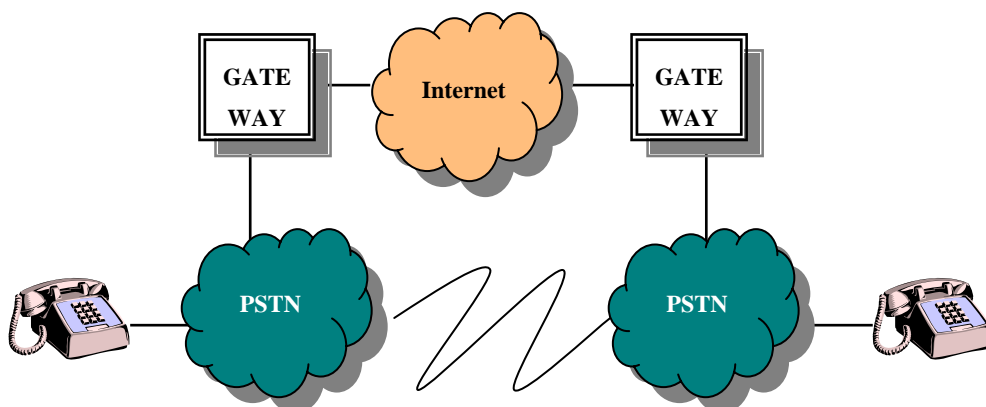


*Figura 1.10 – Connessione Internet Telephony PC-to-Phone*

In questo caso l'architettura si arricchisce di un elemento, il *gateway*, che provvede alla conversione tra i due diversi tipi di comunicazione operando su tutti i livelli, dalla codifica e compressione al signalling, all'indirizzamento.

Con gli elementi introdotti fino ad ora si può giungere ad una configurazione un po' più complicata in cui due telefoni riescono a comunicare tra di loro facendo passare i dati vocali sulla rete Internet. Questa struttura chiamata *Phone-to-Phone*, viene mostrata in figura 1.11.





*Figura 1.11 – Connessione Internet Telephony Phone-to-Phone*

In questo caso i due utenti non hanno la percezione dell'uso di Internet nella comunicazione, poiché instaurano una chiamata tra due elementi PSTN, grazie ai due gateway posti ai bordi della rete Internet.

Ognuna delle tre strutture presentate sopra ha i propri scopi e vantaggi, ma tutte evidenziano che le discipline informatiche e le tecnologie della comunicazione dovranno in futuro unirsi e completarsi per uno scopo comune. Gli studi attuali sono quindi rivolti all'implementazione di una infrastruttura di informazione caratterizzata dalla disponibilità di servizi integrati, ed in tale quadro collidono inevitabilmente i due modelli delle telecomunicazioni e di Internet.

La comunità scientifica rivolge la propria attenzione non solo alla realizzazione hardware della futura architettura di rete ma anche alle applicazioni software che dovranno sfruttare al meglio le potenzialità offerte da tali innovazioni. Questo compito è svolto in particolare dagli organismi di standardizzazione, che specificano le funzioni ed i protocolli necessari ad incrementare l'interoperabilità tra servizi ed infrastruttura.

In questo contesto si può intuire, come la necessità di definire uno standard universalmente accettato risulti essere fondamentale e abbia portato alla nascita di diversi standard per la comunicazione multimediale.

## Capitolo secondo

# APPLICAZIONI DELLO STANDARD H323

In questo capitolo si introduce lo standard H323 come uno degli standard per la comunicazione multimediale maggiormente utilizzato dalla gran parte delle industrie sftware. Nel primo paragrafo si analizza la famiglia degli standard a cui appartiene l'H323. Nel secondo paragrafo vengono descritti il protocollo H323 e le componenti che implementa. Nel terzo e ultimo paragrafo vengono descritti i principali software per la comunicazione multimediale.

## 2.1 Gli standard della famiglia H.323

L'esigenza di una standardizzazione dei protocolli di comunicazione ha origini molto remote, infatti, a partire dalle prime connessioni in rete ogni produttore di computer possedeva propri protocolli (basti pensare che IBM [IBM] ne aveva circa una dozzina) e chi aveva macchine di marche diverse era impossibilitato alla connessione; inoltre ogni nazione mondiale aveva (ed ha) i propri fornitori di servizi telefonici o, più in generale, di telecomunicazioni. Attualmente il problema della standardizzazione nel settore della telecomunicazione è affidato all'*ITU*<sup>5</sup> [ITU], che ha il compito di coordinare la comunicazione fra computer (e nazioni) differenti. L'ITU è composta da tre organi principali, di cui due si occupano di trasmissione radio, mentre il terzo è rivolto alla trasmissione dati e telefonica.

---

<sup>5</sup> *International Telecommunication Union*

H.323 [H323] è uno standard che fa parte della famiglia ITU-T<sup>6</sup> [ITU], e specifica la realizzazione di componenti, protocolli e procedure per l'implementazione di servizi di comunicazione multimediale (audio, video e trasmissione dati real-time) su reti a commutazione di pacchetti (packet-switched) che non forniscono garanzie di Qualità del Servizio (QoS). H.323 può essere applicato in diverse modalità, come:

- solo audio;
- audio e video;
- audio video e dati;
- audio e dati.

Tale standard appartiene alla famiglia H.32x, della quale fanno parte anche altri standard che specificano comunicazione multimediale su reti differenti (vedi figura 2.10):

- H.324 su reti SCN (Switched Circuit Networks);
- H.320 su reti ISDN (Integrated Services Digital Networks);
- H.321 e H.310 su reti B-ISDN (Broadband Integrated Services Digital Networks);
- H.322 su LAN che forniscono QoS.

H.323 descrive quattro tipi di componenti che, una volta implementati in una configurazione di rete, forniscono servizi di comunicazione point-to-point e point-to-multipoint: Terminal, Gateway, Gatekeeper e Multipoint Control Unit (MCU) [H323]; nel seguito, un gateway, terminale o MCU sarà in generale chiamato *endpoint*, componente che può effettuare o ricevere chiamate, più in generale generare e terminare flussi di informazioni.

---

<sup>6</sup> International Telecommunications Union – Telecommunications Standardization

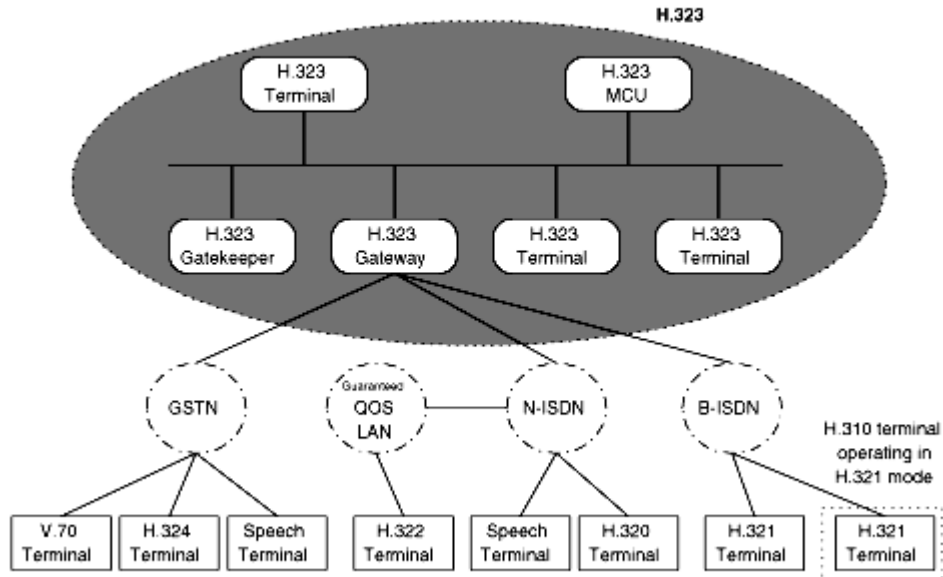


Figura 2.10 – Famiglia dei protocolli H323

## 2.2 H323

H.323 non è un protocollo ma uno *stack* (una suite) di protocolli, come si vede in figura 2.11, ed è indipendente dalla rete a pacchetto e dal protocollo di trasmissione sul quale viene utilizzato, qui di seguito ne vediamo un elenco:

- Protocolli di codifica e decodifica audio (G.711, G.722, ...)
- Protocolli di codifica e decodifica video (H.261)
- H.225 per Registrazione, Ammissione e Stato
- H.225 per segnalazione
- H.245 per segnalazione di controllo
- RTP/RTCP : Real-Time Protocol / Real-Time Control Protocol

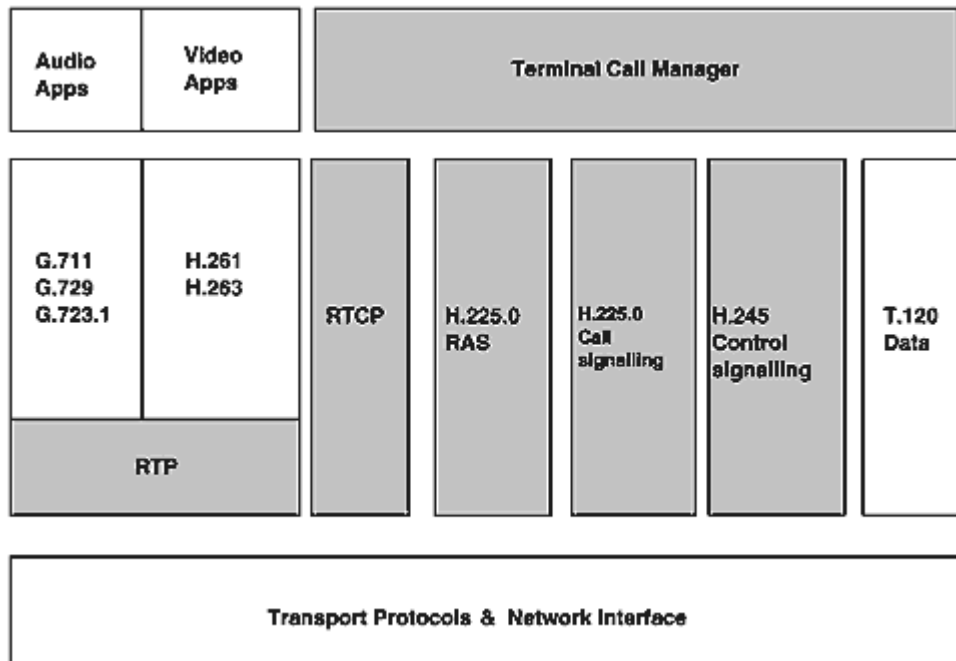


Figura 2.11 – Suite dei protocolli H323

Come abbiamo visto in precedenza l'architettura H.323 specifica quattro tipi di componenti:

1. *Terminal*: PC o altri strumenti di decodifica H.323
2. *Gateway*: apparecchi per connettere reti H.323 e reti non H.323
3. *Gatekeeper*: gestori di chiamate, indirizzamenti, autorizzazioni, occupazione di banda, e altre problematiche relative alla rete.
4. *MCU* (Multipoint Control Unit): unità di supporto alle conferenze con più partecipanti.

### 2.2.1 Terminal

Un terminale H.323 può essere sia un PC sia un dispositivo stand-alone che implementa al suo interno caratteristiche H.323 ed applicazioni multimediali. Ogni terminale dovrebbe possedere una System Control Unit, uno strato H.225, una Network Interface ed una Audio Codec Unit; sono invece considerati dalla raccomandazione ITU-T opzionali i moduli Video Codec Unit e User Data Application; in figura 2.12 è rappresentato uno schema di terminale H.323.

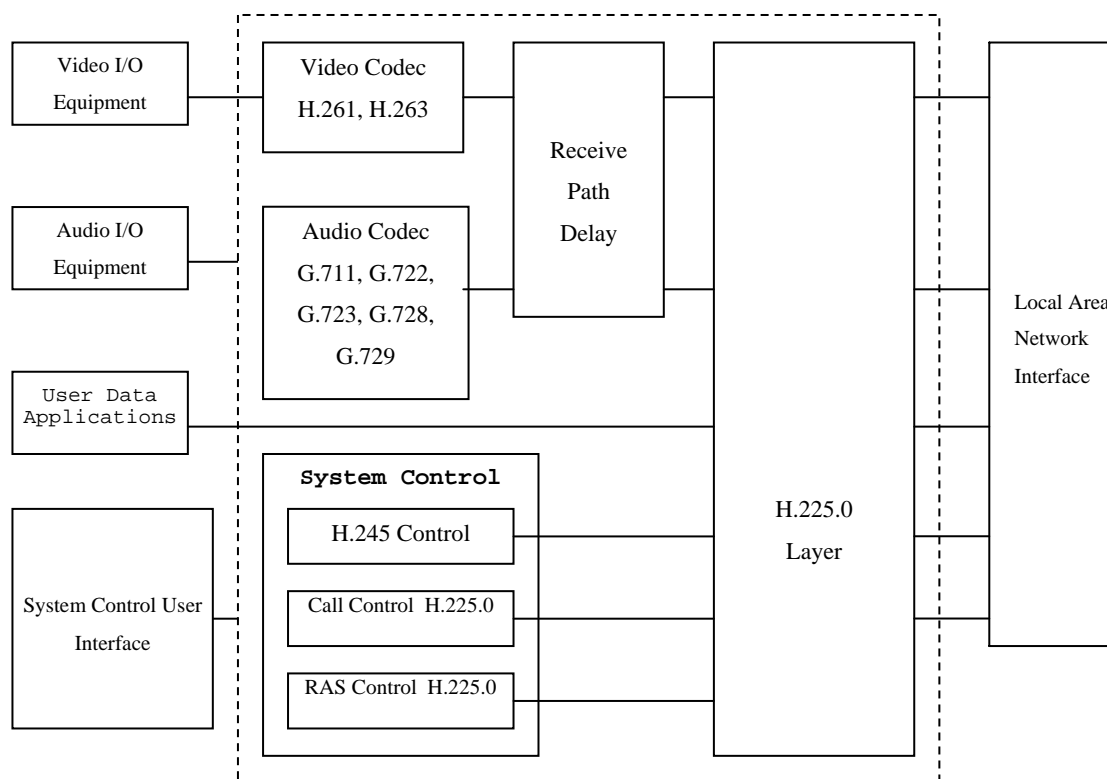


Figura 2.12 – Schema di terminale H.323.

Si riportano di seguito le caratteristiche che dovrebbero essere supportate da un terminale:

- H.245 [MUL00] per l'handshake fra terminali e la creazione di un canale logico;
- H.225 [CAL00] per il signaling ed il setup della chiamata;
- RAS (Registration, Admission and Status) per la comunicazione con un gatekeeper;
- RTP/RTCP (Real Time Protocol/Real Time Control Protocol) per il sequencing di pacchetti audio e video.

Ogni terminale dovrebbe inoltre supportare il codec audio G.711 [PCM98], mentre componenti opzionali sono video codecs, protocolli dati e conferenza T.120 e capacità MCU.

#### **2.2.1.1 Audio codec**

Un codec audio si occupa di codificare il segnale audio entrante nel microfono del terminale H.323 che sta trasmettendo e decodificare il segnale trasmesso agli speaker del terminale H.323 che sta ricevendo. Dato che l'audio è il servizio di base fornito dallo standard H.323, ogni terminale deve supportare almeno un codec audio, come specificato nella raccomandazione ITU-T G.711 (codifica a 64 kbps) [PCM98]; possono inoltre essere supportati ulteriori codec come G.722 (64, 56 e 48 kbps), G.723.1 (5.3 e 6.3 kbps) [AUD96], G.728 (16 kbps) [CEL92] e G.729 (8 kbps). Ogni codec definito dall'ITU ha un *audio frame interval*, l'intervallo di tempo che scandisce la spedizione di ogni pacchetto allo strato di trasporto; tale spedizione dovrebbe avvenire non oltre 5 millisecondi dopo un multiplo intero dell'audio frame interval, misurati dall'invio del primo frame audio (*audio delay jitter*). Il capability set di ogni terminale contiene una struttura chiamata `h2250Capability`, che definisce il parametro utilizzato per il signaling dei codificatori audio; tale parametro prende il nome di `H.245maximumDelayJitter`. Il flusso audio è infine formattato come descritto nella raccomandazione ITU H.225.0 [CAL00].

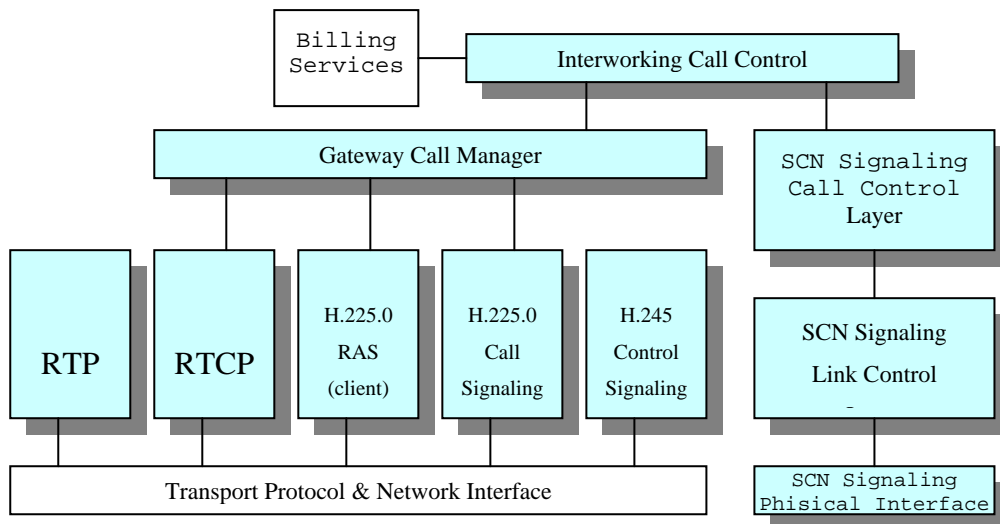
#### **2.2.1.2 Video codec**

Un codec video si occupa di codificare il segnale video della telecamera sul terminale H.323 che sta trasmettendo e decodificare il segnale video sul terminale H.323 che sta ricevendo [H323]. Quando un canale logico video è aperto, la modalità operativa selezionata per tale canale viene inviata al ricevente tramite un messaggio `H.245 OpenLogicalChannel` [MUL00]; l'header contenuto nel canale logico indica la modalità attualmente utilizzata per ogni fotogramma. Il flusso video è infine formattato come descritto nella raccomandazione ITU H.225.0 [CAL00]. Dato che H.323 definisce il supporto video come opzionale, anche il supporto di codec video è opzionale; comunque, ove questo venga implementato dovrebbe seguire le direttive

specificate nella raccomandazione ITU-T H.261 [VID93].

### 2.2.2 Gateway

I Gateway sono utilizzati per connettere reti H.323 a reti non H.323, e devono fornire l'appropriata traduzione fra formati di trasmissione e fra procedure di comunicazione; inoltre si dovrebbero occupare del setup e del release della chiamata [H323]. Una classica applicazione di gateway si trova nella telefonia IP, dove tale componente connette una rete IP ed una SCN (es. ISDN). Viene rappresentato in figura 2.13 lo schema di un gateway H.323:



*Figura 2.13 – Schema di un gateway H.323.*

Un terminale H.323 può comunicare con un altro appartenente alla stessa rete senza l'ausilio di un gateway, infatti l'implementazione di questo componente può essere evitata se la comunicazione con terminali fuori dalla rete non è richiesta. I terminali comunicano con il gateway usando il protocollo H.245 [MUL00] per il signaling di controllo, mentre il protocollo H.225 [CAL00] è utilizzato per il signaling di chiamata. Il gateway traduce questi protocolli in maniera trasparente alle rispettive controparti, sulla rete H.323 e viceversa. Infine, il gateway può supportare diverse chiamate simultanee, e può essere implementato come parte di un gatekeeper o di una MCU.



### 2.2.3 Gatekeeper

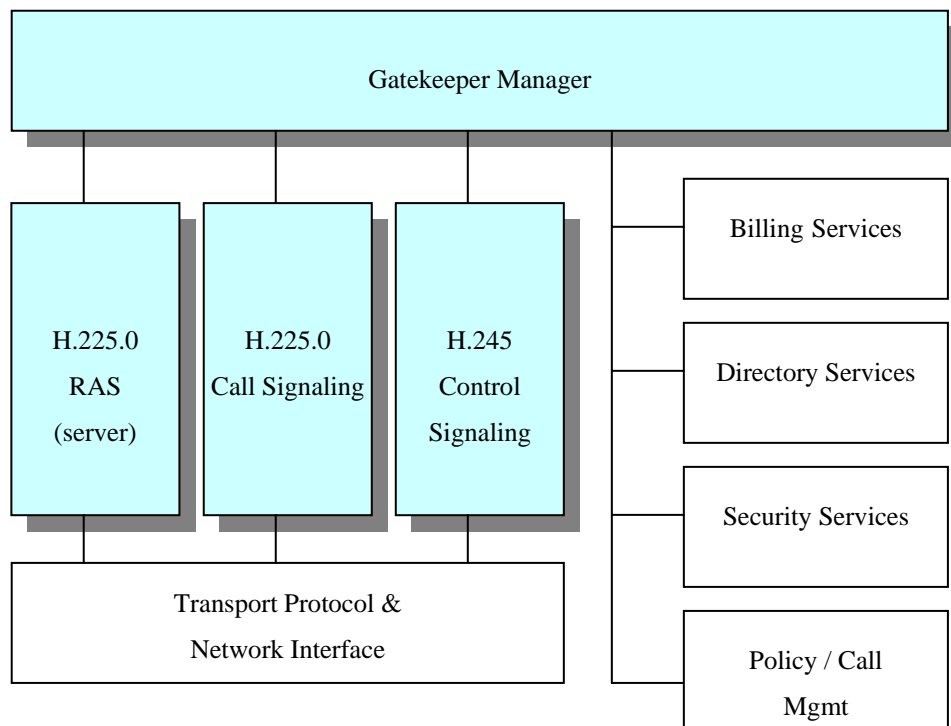
Il gatekeeper, opzionale in un sistema H.323, fornisce servizi di controllo di chiamata tra endpoint [H323]; quando presente, questo componente si occupa dei seguenti servizi:

- *Address Translation*: le chiamate originate all'interno di una rete H.323 possono usare degli alias per indirizzare il terminale di destinazione; le chiamate originate all'esterno possono invece usare numeri di telefono nel formato E.164 (p.e. 0547-283254). Il gatekeeper traduce questi alias o chiamate E.164 in indirizzi di rete validi (ad esempio indirizzi IP in una rete IP-based), in maniera tale che l'endpoint di destinazione possa essere raggiunto.
- *Admission Control*: il gatekeeper può controllare l'ammissione di endpoint all'interno della rete H.323, scopo raggiunto utilizzando messaggi RAS (Registration, Admission and Status) [H323], richieste di ammissione (ARQ), conferma (ACF), e rifiuto (ARJ). Questa funzione potrebbe anche essere implementata come nulla, ammettendo tutti gli endpoint nella rete.
- *Bandwidth Control*: il gatekeeper fornisce il supporto per il controllo della larghezza di banda, utilizzando messaggi RAS (Registration, Admission and Status), richieste di banda (BRQ), conferma (BCF), e rifiuto (BRJ). Questa funzione può anche essere implementata come nulla accettando tutte le richieste di cambiamento di banda.
- *Zone Management*: il gatekeeper fornisce le tre funzioni appena elencate per terminali, gateway e MCU che si trovano all'interno della sua zona di controllo (zona H.323); una zona H.323 è la collezione di tutti i terminali, gateway e MCU gestiti da un singolo gatekeeper. Tale zona contiene almeno un terminale, e può contenere zero o più gateway o MCU; è gestita da un solo gatekeeper, e può essere indipendente dalla topologia della rete, nonché composta da più segmenti di rete connessi usando routers od altri dispositivi.

Il gatekeeper può inoltre fornire ulteriori servizi e funzioni quali:

- *Call Control Signaling*: il gatekeeper può decidere se processare le chiamate H.225.0 lui stesso oppure direzionare l'endpoint alla connessione ad ogni altro direttamente con il *Call Signaling Channel* [CAL00];
- *Call Authorization*: attraverso l'utilizzo del signaling H.225.0 il gatekeeper può rifiutare, per qualche ragione, la chiamata di un terminale;
- *Bandwidth Management*: se la banda disponibile non è sufficiente, il gatekeeper può utilizzare il signaling H.225.0 per rifiutare delle chiamate;
- *Call Management*: il gatekeeper può mantenere una lista di chiamate H.323 in entrata per indicare ad esempio che il terminale chiamato è occupato oppure per fornire informazioni sulla disponibilità di banda.

Anche se opzionale in una rete H.323, se il gatekeeper è presente i terminali ed i gateway devono ricevere i suoi servizi; si riporta in figura 2.14 lo schema di un gatekeeper e dei suoi componenti:



*Figura 2.14 – Schema di un gatekeeper H.323.*

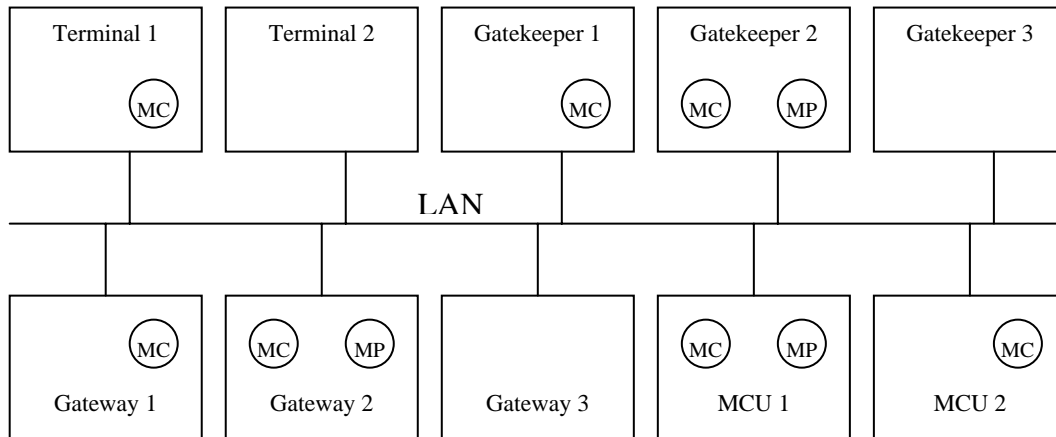
#### 2.2.4 MCU

L' MCU è un endpoint che fornisce il supporto per conferenze multipunto [H323]. Una MCU è costituita da un MC (Multipoint Controller) e da zero o più MPs (Multipoint Processors). Il Multipoint Controller si occupa di fornire le funzioni di supporto necessarie per la realizzazione di una conferenza tra tre o più endpoint. Esso è in grado di ricevere le informazioni riguardanti le capacità di ogni endpoint, e quindi di rimandare ad ognuno di essi l'insieme delle *capability*, ovvero le modalità di trasmissione e di comunicazione; in questa maniera il Multipoint Controller è in grado di determinare il *Selected Communication Mode* (SCM) che può essere uguale per tutti gli endpoint oppure solo per alcuni di essi. Durante il setup di una conferenza multipunto, un endpoint sarà connesso ad un MC tramite il suo Canale di Controllo H.245, e tale connessione potrebbe avvenire in modalità differenti [MUL00]:

- tramite connessione esplicita con l'MCU;
- tramite connessione implicita ad un MC posizionato all'interno di un Gatekeeper;
- tramite connessione implicita ad un MC posizionato all'interno di un altro terminale o Gateway;
- tramite connessione implicita ad una MCU attraverso un Gatekeeper.

La scelta della modalità di conferenza avviene dopo la connessione tramite signaling H.245 con un MC, e può essere limitata dalla capacità di un endpoint o di un MC [MUL00]; un Multipoint Controller può essere situato all'interno di un Gatekeeper, Gateway, Terminal o MCU, come mostrato in figura 2.15.

Il Multipoint Processor si occupa di ricevere audio, video ed eventualmente flusso di dati dagli endpoint coinvolti in una conferenza multipunto, processa questi flussi e li ritrasmette agli endpoint stessi [H323].



*Figura 2.15 – Schema di una MCU H.323.*

### 2.2.5 Integrazione gateway - LAN

In precedenza è stata data una descrizione generale del gateway, ora si vuole analizzare la sua integrazione con una LAN. Come già visto il gateway è una struttura fondamentale per la rete: ad esso è assegnato il compito di effettuare la traduzione tra formati diversi di trasmissione (ad esempio H.225.0 da/per H.221) e fra distinte procedure di comunicazione (ad esempio H.245 e H.242). Il Gateway deve anche occuparsi del setup della chiamata tra LAN e *SCN* (*Switched Circuit Network*) (da entrambi i lati) e può effettuare, ma non è detto, anche la traduzione tra i formati audio, video e di dati [H323].

Più in generale possiamo dire che un gateway, quando non opera come MCU, deve riflettere le caratteristiche di un endpoint della LAN verso un endpoint di un SCN e viceversa in modo trasparente ad entrambi (se le strutture rispettano le raccomandazioni H323).

Ovviamente un punto terminale H.323 può comunicare con un altro della stessa LAN senza bisogno di un gateway; è anche possibile per un terminale di un dato segmento di rete chiamare attraverso un gateway e ricevere per mezzo di un secondo gateway, in modo da bypassare un router o un collegamento con banda insufficiente.

Chi struttura la rete, può privilegiare un gateway per lavorare come terminale o MCU: questo inoltre può inizialmente operare come terminale e poi passare, grazie a segnalazioni e comandi H.245, a lavorare come MCU per la stessa sessione di comunicazione [H323].

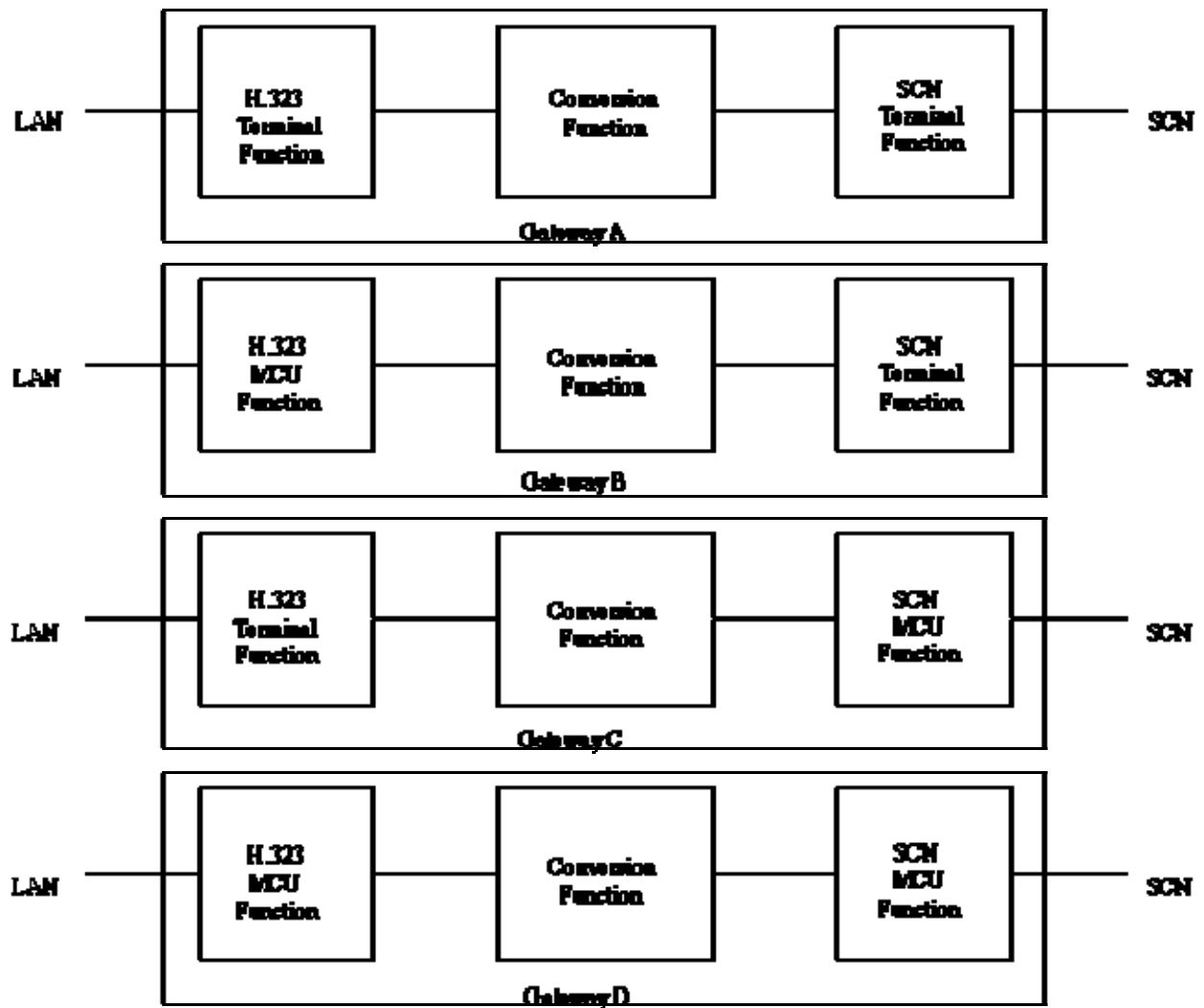


Figura 2.16 – Esempi di gateway

In figura 2.16 abbiamo quattro esempi di gateway, che rappresentano quattro plausibili configurazioni di questa struttura di collegamento, tra una rete LAN ed una SCN. Negli esempi, il gateway funziona da terminale o da MCU ed è sempre presente una funzione di conversione.

La funzione di conversione provvede ad un adattamento dei formati e ad una transcodifica delle informazioni audio, video, di controllo tra le raccomandazioni utilizzate nelle due reti. La funzionalità minima che deve avere è quella di rendere trasparenti il setup di chiamata, i segnali di controllo ed il formato di trasmissione. Secondo specifiche H.323, non esiste standardizzazione sul numero massimo di terminali che possono connettersi ad un gateway; similmente il numero di connessioni SCN, il numero di conferenze simultanee indipendenti, di funzioni di conversione audio/video/dati sono lasciati al gestore della rete [H323].

Viene invece stabilito che: se il gateway dal lato LAN, include funzionalità MCU queste deve rispettare le raccomandazioni H.323; se il gateway dal lato SCN, include funzionalità MCU queste possono riflettere le specifiche H.231, H.243, H.310 o H.324.

## **2.3 Software disponibile**

Come si è potuto notare dal capitolo precedente, la grande evoluzione della tecnologia informatica (e delle reti) e la sua interazione con il mondo della comunicazione ha portato allo sviluppo di una gamma di applicazioni che, utilizzando lo standard H323 (e gli altri standard strettamente correlati ad esso), permettono la realizzazione di forme di comunicazione che variano dalla semplice telefonia fino alla videoconferenza. Qui di seguito verrà fatta una breve carrellata dei prodotti che maggiormente sono utilizzati sul mercato con una breve analisi delle caratteristiche di ognuno di essi.

### **2.3.1 Microsoft Netmeeting**

Netmeeting [NET] è la soluzione di Microsoft per la realizzazione di uno strumento di videoconferenza che sfrutti il protocollo H.323. Tale applicativo è stato sviluppato in maniera da essere utilizzato sia come client, con tutti i servizi di audio, video e conferenza multipoint real-time, sia come piattaforma di sviluppo fornendo un supporto *API* (Application Programmer Interface) rivolto agli sviluppatori software.

Netmeeting è costituito da componenti che comunicano tra loro tramite una serie di strati, tra i quali al livello più basso figura quello di Trasporto; tale strato è responsabile della traduzione, invio, e ricezione di informazioni.

L'architettura di Netmeeting include i protocolli per connessioni *TCP/IP* (*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*) ed *UDP* (*User Datagram Protocol*); il trasporto dei dati e le chiamate di controllo utilizzano il protocollo TCP, mentre la trasmissione di audio e video è affidata al protocollo UDP. Altro componente di spicco dello strato di rete è il Winsock, che si occupa di fornire un'interfaccia sullo stack di rete e di mappare informazioni tra quest'ultima ed i programmi. Come specificato sulle raccomandazioni ITU-T, Netmeeting fornisce il supporto per vari codec audio che operano su una fascia compresa tra i 4.8 Kbps fino a 64 Kbps; per cercare di sfruttare appieno le potenzialità di Internet [H323], l'applicativo Microsoft utilizza di default gli standard H.263 e G.723, ma è fornito anche il supporto per altri codec come H.261 e G.711, nonché gli appropriati payload ed handler per crearsi codec personalizzati.

Anche lo scambio di dati interattivo come una lavagna elettronica è un aspetto interessante di una videoconferenza, e Netmeeting supporta lo standard T.120 per raggiungere tale scopo; si riporta in figura 2.17 lo schema dell'architettura di NetMeeting.

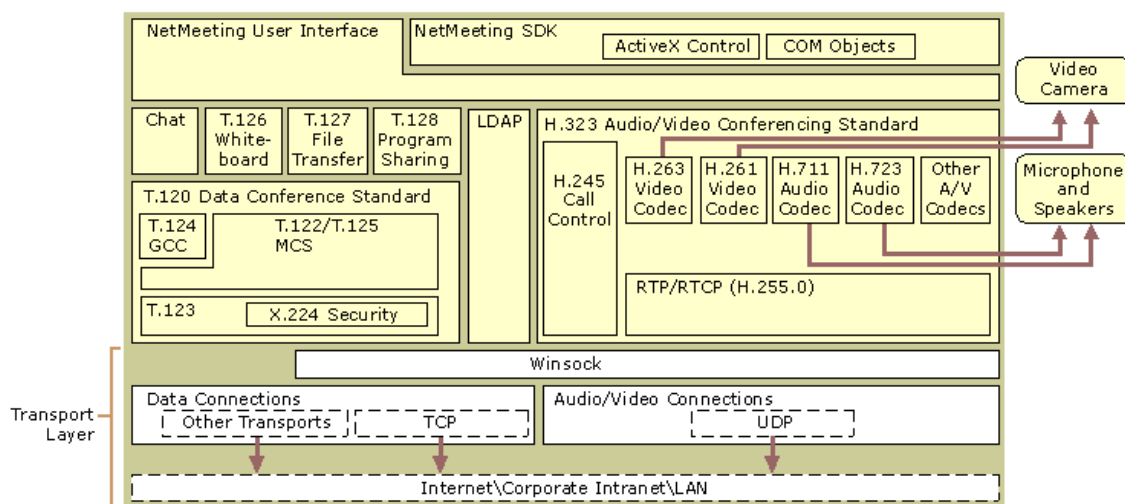


Figura 2.17 – Schema dell'architettura di NetMeeting.

### 2.3.2 Skype

Skype [SKY] permette di telefonare gratis via Internet. In realtà attualmente si tratta solo di chiamate vocali, dato che ancora tali chiamate non interessano telefoni fissi o mobili ma solo coloro che sul proprio computer hanno installato Skype, ma questa possibilità pare essere in fase studio. Questo programma utilizza un protocollo proprietario di voice over IP e sfrutta il network P2P (*peer-to-peer*) decentralizzato che consente connessioni dirette tra gli utenti. Per un software di comunicazione significa che le chiamate non passano attraverso un server centrale per essere poi smistate.

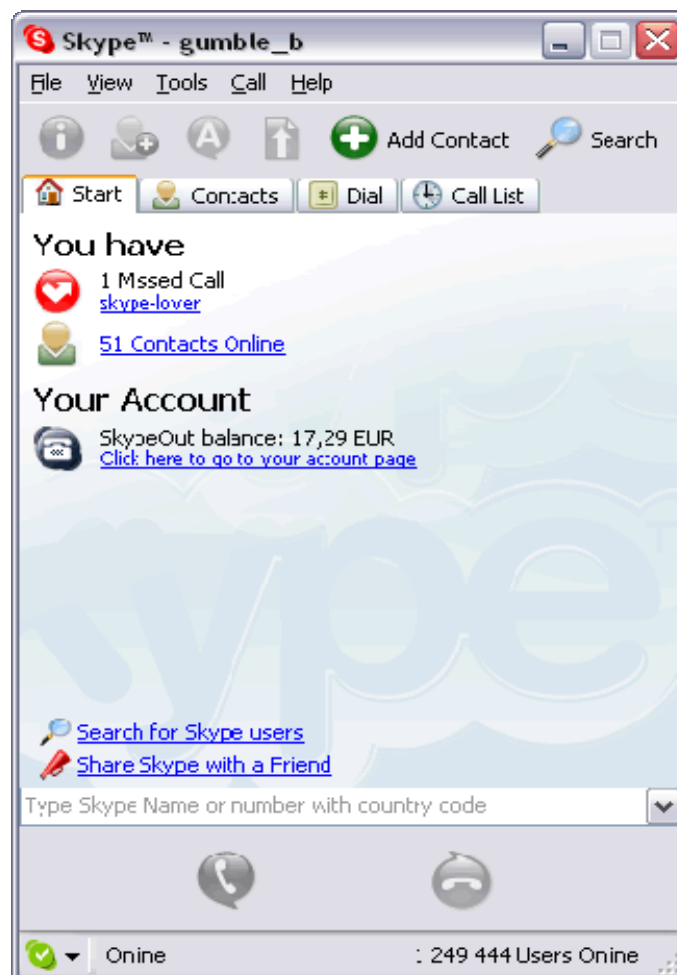


Figura 2.18 – Interfaccia grafica di Skype



### 2.3.3 Abbeyphone

Abbeyphone è offerto da Abbeynet [ABB], una delle principali aziende europee nello sviluppo di tecnologie di VoIP, e permette di fare chiamate via Internet da e per tutto il mondo verso telefoni fissi e cellulari. A differenza di altri servizi, il vantaggio che esso offre è che non è necessario scaricare alcun software client per usufruirne, anche se c'è il rovescio della medaglia: essendo basato su un'applicazione ActiveX, il servizio può essere sfruttato solo tramite browser Internet Explorer 4.0 e superiori, o Netscape versione 6.2. In fase di registrazione, a ogni utente viene assegnato un identificativo numerico che gli permetterà di essere contattato da qualsiasi parte del mondo da tutti gli altri utenti con una telefonata pc2pc (da pc a pc), e che funziona anche da username per fare il login alla propria pagina personale dall'homepage del sito. Nell'area riservata, oltre allo spazio per comporre il numero telefonico completo di prefisso internazionale (o se si tratta di un utente Abbeyphone, semplicemente il numero identificativo) da chiamare, si possono effettuare diverse operazioni, come controllare il credito residuo, effettuare le ricariche e consultare lo storico delle chiamate ricevute ed effettuate con la relativa durata. Altre opzioni consentono di regolare l'audio del microfono e delle cuffie, anche se è consigliabile tenerli al massimo, a meno che non si disponga di un apposito amplificatore esterno. Oltre al collegamento video, possibile se entrambi i partecipanti alla conversazione dispongono di webcam, è anche disponibile un servizio di audioconferenza che è in fase sperimentale. La qualità complessiva dei collegamenti è buona, sia per quanto riguarda le chiamate pc2pc sia per quelle pc2phone, con nessuna distinzione tra telefoni fissi e cellulari.

### 2.3.4 VocalTec Internet Phone

Da Herzliya, Israele, VocalTec Communications Ltd. produce un'applicazione di Internet Telephony chiamata appunto Internet Phone [VOC]. Il collegamento agli *Internet Telephony Service Providers (ITSP)* rende molto semplice la chiamata ad un qualsiasi telefono PSTN; inoltre sono supportati tutti i classici servizi di telefonia quali identificazione del chiamante, muting, blocco della chiamata, nonché la possibilità di utilizzare videocamere. Il supporto H.323 permette la videoconferenza con gli altri

applicativi basati sui protocolli ITU come Microsoft Netmeeting, Envision o DC-Share. Una caratteristica molto interessante di questa applicazione è il supporto del codec audio standardizzato dall'ITU *GSM*; fra tutti i software basati su H.323, infatti, tale codec è supportato solo da Internet Phone. La stessa VocalTec produce inoltre gateway telefonici dedicati tramite i quali gli utenti di Internet Phone possono chiamare i telefoni della rete fissa.

### **2.3.5 Net2phone CommCenter 2.1**

Net2Phone [NDP] è uno dei servizi di VoIP più longevi, da tempo include anche il software CommCenter 2.1, che serve anche per telefonare da pc a pc e per inviare fax da pc, oltre che per telefonare a tariffa ridotta verso numeri di rete fissa e mobile. Dopo avere scaricato il programma, si può cominciare a usufruire del servizio di messaging e di chiamate gratuite pc2pc, mentre per chiamare telefoni fissi e mobili bisogna acquistare la ricarica, disponibile in tagli da 25, 50 e 100 dollari. L'interfaccia software è piuttosto essenziale e intuitiva: sopra al tastierino numerico ci sono i link al servizio fax, alla pagina web dove effettuare le ricariche e alle tariffe in vigore. Tra le preferenze impostabili dall'utente, particolarmente apprezzabili sono le opzioni legate alla qualità audio, che permettono di eliminare i silenzi e di rilevare l'attività vocale, riducendo notevolmente eventuali problemi di ricezione della voce. Manca però la possibilità di effettuare videochiamate, ormai offerta da quasi tutti gli altri servizi analoghi. La connessione non ha creato problemi da pc a pc e sui telefoni di rete fissa e mobile, tranne nel caso dell'operatore Tre.

### **2.3.6 NetSpeak WebPhone**

NetSpeak Corporation [WEP] produce un'applicazione di Internet Telephony chiamato WebPhone; oltre alle convenzionali caratteristiche telefoniche, tale software vanta un'ampia gamma di peculiarità quali ad esempio identificazione del chiamante (nome ed e-mail), supporto per linee telefoniche multiple, trattenimento di chiamata, voice mail, messaggi in uscita personalizzabili, chiamata in conferenza nonché supporto

video real-time e full-motion. WebPhone può essere configurato sia per lavorare con il protocollo H.323, sia in modalità normale, ovvero senza tale protocollo.

### **2.3.7 Tiscali Netphone**

Il software messo a disposizione da Tiscali, Netphone [NPT], concentra poche funzioni e sembra più legato alla telefonia in senso stretto. D'altra parte, Tiscali è un operatore telefonico a tutti gli effetti e il servizio è pensato per incentivare gli abbonati TiscaliNet, sebbene l'uso sia possibile per tutti (con alcune differenze). Gli abbonati hanno a disposizione un numero di telefono personale con cui ricevere e fare gratuitamente telefonate sull'intero territorio nazionale durante la navigazione in rete, con la possibilità di trasferire gratuitamente le telefonate a qualsiasi numero di telefono della rete fissa nazionale quando non si è collegati. Il numero personale assegnato, con prefisso 178, è integrato con il servizio fax. Si può scegliere di adottare un'interfaccia web o scaricare un'utility per non usare il browser; sono previste soluzioni per chi si collega tramite altri provider e per chi non si vuole abbonare a TiscaliNet, garantendo, a seconda dei casi, telefonate da pc a pc, da pc a telefono fisso, e da telefono fisso a pc.

Le modalità gratuite da pc a telefono è esclusiva degli utenti che usano Tiscali come fornitore di accesso a Internet, mentre è possibile chiamare da computer a computer per chiunque si registri sul servizio, senza discriminazioni rispetto al provider di accesso.

## Capitolo terzo

# LA TELEFONIA MOBILE E LA TECNOLOGIA GSM

In questo capitolo viene descritto lo sviluppo della telefonia mobile e in particolar modo lo sviluppo della tecnologia GSM. Il primo paragrafo si preoccupa di introdurre il settore wireless. Il secondo paragrafo descrive i servizi wireless. Il terzo paragrafo si occupa della telefonia cellulare e della tecnologia di trasmissione che viene utilizzata in tale settore. Il quarto e quinto paragrafi introducono rispettivamente le reti cellulari analogiche e le reti cellulari digitali. Il sesto paragrafo descrive la tecnologia GSM e le sue evoluzioni. Il settimo e ultimo paragrafo descrive il cellular engine M20 Terminal.

### 3.1 Introduzione

Il settore d'industria delle *comunicazioni mobili*, altrimenti conosciuto col termine di *wireless industry sector*, è sicuramente uno dei più vivaci e dinamici segmenti di mercato degli ultimi anni. I livelli di crescita della domanda ai servizi di mobile communications, sono decisamente superiori a quanto pronosticato in tempi anche recenti dagli specialisti del settore. Ciò è certamente evidente nel caso della telefonia cellulare, la cui diffusione sta mettendo a dura prova la capacità delle risorse impegnate sulla base di stime troppo prudentziali [WIR].

La risposta degli utenti, o piuttosto dei consumatori, anche ad uno solo dei servizi offerti, e cioè a quello della comunicazione vocale, conferma il fatto che ci si trovi di fronte a un vero fenomeno di diffusione di massa.

Il mondo del wireless, tuttavia, si sta sviluppando molto al di là dello schema

che vede il dispositivo mobile come semplice alternativa ad una struttura telefonica fissa (*wired* o *wireline*). I recenti sviluppi stanno portando il mercato a vedere nel wireless uno dei possibili passi nel processo che porta verso la diffusione dei multimedia interattivi a livello di massa. Il settore d'industria del wireless sta giocando un ruolo preminente nello sviluppo del sistema globale delle comunicazioni.

## 3.2 I servizi wireless

I servizi di comunicazione mobile sono stati sviluppati per fornire agli utenti la possibilità di comunicare con una o più persone indipendentemente dal luogo in cui si trovano al momento, superando le limitazioni degli apparati di comunicazione fissa, i cui utenti sono legati fisicamente al posto dove sono disponibili tali servizi [DEC97].

Per realizzare questo intento il mercato del Wireless si è strutturato in modo tale da offrire una varietà di tecnologie e servizi accomunati dalla stessa caratteristica di “comunicazioni in movimento”, tra i quali:

- la telefonia cellulare,
- la telefonia senza fili (cordless telephony),
- il mobile paging (trasmissione radio di dati verso terminali mobili detti pager),
- *Private Mobile Radio* (PMR, assegnazione di una banda di radiofrequenze ad aziende private),
- le comunicazioni satellitari.

Tuttavia, è opinione ampiamente diffusa che il futuro delle comunicazioni risiederà nella convergenza di servizi fissi e mobili in un unico sistema integrato. In prospettiva, l'evoluzione futura dei sistemi telefonici personali, prevede un ampliamento del servizio offerto agli utenti secondo due direzioni [WIR].

In primo luogo, espandendo il raggio di azione dei telefoni cellulari a tutto il pianeta grazie all'utilizzo del satellite come ripetitore per i segnali radiomobili; in secondo luogo, sviluppando nuove metodologie di gestione delle reti in cui l'utente non sarà definito da un luogo (come nella telefonia fissa) ma neppure dal possesso di un determinato tipo di terminale (come nella telefonia mobile). L'utente sarà invece identificato da un numero personale (numerazione unica o single numbering),

componendo il quale la rete individuerà automaticamente dove questi si trova e gli invierà la chiamata.

Da qui l'espressione *Personal Communications System* che viene usata per indicare il sistema che caratterizzerà la convergenza wired wireless.

Presupposto fondamentale in questo processo di integrazione è lo sviluppo di standard internazionali che definiscano questi sistemi sia dal punto di vista tecnologico che operativo. Gruppi di lavoro presso l'*European Telecommunication Standard Institute* (ETSI) [ETSI] e presso il *Research into Advanced Communications in Europe* (RACE) dell'Unione Europea, stanno progettando standard per Personal Communication System. Tali specifiche dovranno poi essere fatte proprie da organismi internazionali quali *ISO* (*International Standard Organization*) [ISO] e *CCITT* (*The International Telegraph and Telephone Consultive Committee*) [ITU].

Negli ultimi anni c'è stata una incredibile crescita di tutto ciò che è senza fili, ovvero il wireless: la ricerca di mobilità ha provocato anche il fallimento di progetti industriali quali il Dect o, prima ancora, della corsa alla telefonia satellitare. Il successo della mobilità vocale ha spinto però alla ricerca della mobilità informatica, ed ecco che sul GSM, ribattezzato 2G (seconda generazione telefonica), sono stati impostati gli ambiziosi sviluppi presenti e futuri: 2.5G o GPRS, 3G o *UMTS* (*Universal Mobile Telecommunication System*). Il successo di questi sistemi è ancora piuttosto incerto, come hanno mostrato il Wap o gli esiti delle aste per l'UMTS; peraltro si tratta di tecnologie che promettono larga banda in movimento e su aree molto grandi, ma senza avere ancora la possibilità tecnica di mantenere queste promesse (Figura 3.1) [PCU].

Mentre l'espansione geografica delle reti 3G è ancora in corso, alcune delle più importanti aziende del settore hanno unito le proprie forze per tracciare una strada comune verso la prossima evoluzione delle reti mobili, si sono accordate per sviluppare uno standard wireless battezzato "Super 3G" che, secondo quanto preannunciato, fornirà velocità di trasferimento dati 10 volte maggiori di quelle attuali. Sebbene la tecnologia alla base di Super 3G potrebbe basarsi in larga parte su quella già sperimentata per le future reti 4G, alcuni osservatori preferiscono considerare la Super 3G come una tecnologia di "terza generazione e mezzo" (3.5G) [PUI05].

Nonostante ancora vi siano ritardi per il 3G, continua la discussione sulla nuova generazione di telefonia mobile 4G. Per gli operatori mobili probabilmente ci vorranno

quasi vent'anni per recuperare i soldi spesi per le licenze 3G, ma ciò nonostante il progetto 4G prende velocemente quota [TFN01]. Più che una reale rottura tecnologica come l'UMTS rispetto alle reti 2G e 2.5G (GSM, GPRS, Edge), la 4G rappresenterà la convergenza della rete 3G con diverse tecnologie complementari. Le tecnologie coinvolte nella realizzazione della nuova architettura sono numerose e diverse tra loro: la rete UMTS e gli hot spot per una copertura all'esterno dell'azienda; Wi-Fi e Bluetooth all'interno dei locali; Ultra Wide Band che garantisce la trasmissione dei dati con una banda molto ampia e a breve portata e, infine, le reti satellitari GPS o Galileo. Tutte funzioneranno su un cuore di rete IP. L'obiettivo è di garantire all'utente la massima mobilità, una volta collegato; utilizzando la rete disponibile in quel momento, quest'ultimo potrà passare da una rete all'altra senza interruzione della comunicazione e con una qualità di servizio identico in qualsiasi momento.

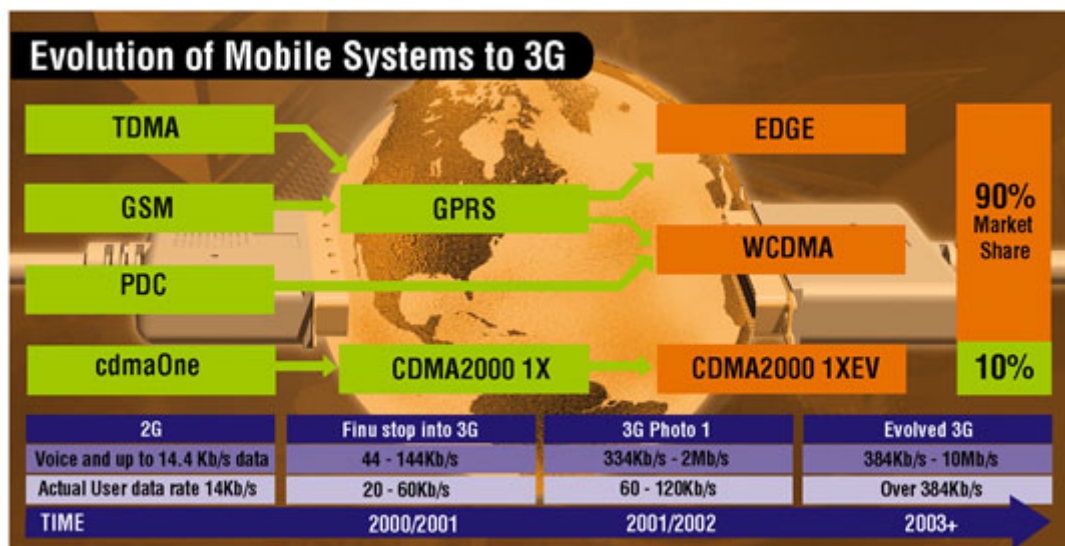
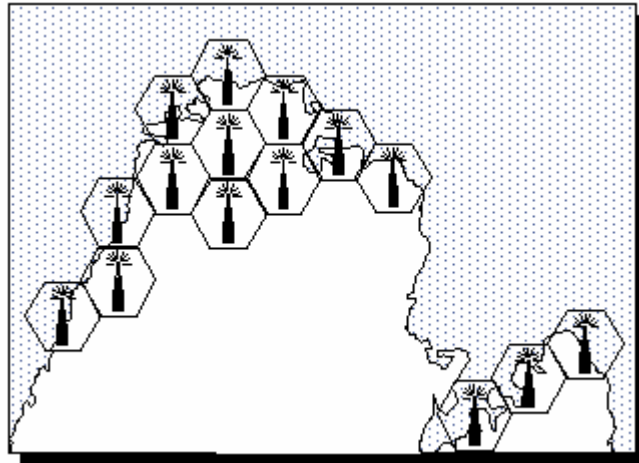


Figura 3.1 – Evoluzione del Mobile Systems a 3G

### 3.3 La telefonia cellulare

Un sistema di telefonia cellulare può essere visto come una rete di stazioni radio fisse, ognuna delle quali è in grado di coprire il traffico utente in una certa area geografica o cella (da cui la definizione di cellulare); più celle insieme servono un'area di maggiore estensione, come mostrato in figura 3.2. Le stazioni fisse, che inviano e

ricevono continuamente segnali di controllo, sono collegate mediante cavi o collegamenti in ponte radio alla rete fissa tramite centrali dedicate di potenza elaborativa maggiore, che dirigono il traffico e individuano dove è collocato sulla rete ogni cellulare attivo [EUR99].



*Figura 3.2 – Architettura cellulare*

Ogni cella prevede la presenza di una stazione base dotata di trasmettitore/ricevitore radio (*transceiver*) e ha assegnati un certo numero di canali radio. Le dimensioni di una cella e l'allocazione di canali a una cella sono determinate dal numero medio di utenti previsti per quella cella e dalle caratteristiche geografiche dell'area coperta dalla stessa.

La qualità della conversazione dipende in parte dalla potenza del segnale radio emesso ed in parte dalla interferenza di altri segnali radio sulla stessa frequenza o su frequenze vicine. L'intensità dei segnali radio scambiati da un telefono cellulare e da una stazione fissa diminuisce rapidamente all'aumentare della distanza dall'antenna. La densità di potenza dei segnali radio, che è direttamente proporzionale all'intensità del segnale emesso dal trasmettitore, diminuisce con il quadrato della distanza; conseguentemente, se la distanza è doppia, l'intensità del segnale radio diminuisce ad un quarto del valore originale. La caratteristica delle onde radio di diminuire di intensità mano a mano che aumenta la distanza dall'antenna torna particolarmente utile nel caso di reti di comunicazione mobile. Infatti, strutturando la rete cellulare in modo che celle



adiacenti non utilizzino lo stesso insieme (*range*) di frequenze radio, è possibile utilizzare più volte le stesse frequenze nel sistema senza disturbi nel traffico [TAN91].

Tale possibilità di riutilizzazione è fondamentale dato che ad una rete mobile è assegnato un solo insieme di frequenze limitate. Questo meccanismo permette inoltre di gestire dinamicamente le dimensioni delle celle anche in rapporto ai mutamenti del numero medio di utenti da servire e alla necessità di mantenere bassa la potenza di trasmissione in relazione a considerazioni sui costi di gestione, sulla qualità del servizio, sugli impatti ambientali e sulla salute pubblica [EUR99].

Quando un telefono cellulare viene acceso in un'area coperta dal servizio telefonico, vengono scambiati dei segnali di controllo con il transceiver che gestisce la cella in cui si trova l'utente; tali segnali identificano l'utente (o meglio la scheda di controllo abbinata al telefono cellulare) e permettono alla rete di sapere in quale cella è raggiungibile l'utente. Quando una chiamata parte, o arriva verso un telefono cellulare, un canale radio viene automaticamente allocato dal transceiver per uso esclusivo del chiamante in quella cella. Poiché nessuna coppia di celle adiacenti usa lo stesso range di frequenze, la trasmissione deve passare da un canale all'altro quando un utente si muove da una cella alla successiva, nel caso di un cellulare in movimento.

Se la potenza del segnale tra cella corrente e telefono cellulare è inferiore alla potenza del segnale tra lo stesso telefono e una cella successiva, viene allocato un nuovo canale su cui viene passata la comunicazione in corso; il telefono cellulare viene preso in carico dalla nuova cella mentre il canale originario viene rilasciato e potrà essere riutilizzato per altre conversazioni; tale procedura potrà essere ripetuta più volte nel corso di una conversazione da un cellulare in movimento. Ciò avviene grazie a un processo conosciuto come *hand-off* (o anche *hand-over*), attraverso il quale il sistema di controllo della rete monitorizza di continuo l'intensità del segnale tra telefono e celle adiacenti [GHO]. Il canale originario viene rilasciato per poter essere usato da un altro utente.

L'*hand-over* è quasi trasparente all'utente, tuttavia quando questo si trova ad entrare in una cella che non ha canali liberi, la qualità della comunicazione potrebbe deteriorarsi o la linea potrebbe cadere.

I telefoni cellulari attuali, leggeri e pensati per il maggior risparmio energetico possibile, possiedono una potenza di uscita massima di circa un *watt* per la rete GSM e

di 0.2 watt per la rete UMTS. Essi utilizzano soltanto la potenza necessaria per mantenere un buon contatto radio con la stazione fissa, il che significa che in molti casi la potenza di uscita media è molto più bassa del livello massimo.

### **3.4 Le reti cellulari analogiche**

Le reti cellulari analogiche sono un sistema di telefonia mobile a due vie che fornisce una copertura territoriale continua attraverso l'uso di una rete di celle radio che si sovrappongono. Dopo una fase di sperimentazione svoltasi verso la fine degli anni '70, molte nazioni sono arrivate a fornire reti cellulari analogiche: il TACS (*Total Access Communications System*) in Europa, l'AMPS negli USA, e altri (NMT450, NMT900, C450, RTMS e RadioCom2000) differenti per tecnologia e costruttore [WIR].

In questi sistemi, la conversazione (che è un segnale analogico continuo nel tempo e nel dominio delle frequenze) viene trasformata in un altro segnale di tipo sempre analogico; ad ogni chiamata viene assegnata in modo univoco una certa porzione della banda telefonica disponibile sulla rete che verrà rilasciata solo al termine della chiamata [EUR99].

### **3.5 La nascita delle reti cellulari digitali**

Diversi sono i fattori sia tecnologici che economici che hanno favorito il passaggio dalle tecnologie cellulari analogiche a quelle digitali. L'informazione digitale viene inviata sotto forma di impulsi da e verso i telefoni; la stessa porzione di banda utilizzata per una sola chiamata analogica viene usata per più chiamate digitali contemporanee e può essere impiegata per trasportare altri tipi di segnali quali dati o video.

Inoltre, con sistemi numerici si ha una maggiore qualità della trasmissione e la possibilità di usufruire a basso costo di un insieme sempre più vasto di servizi aggiuntivi (segreteria telefonica, trasferimento di chiamata, chiamata a più voci, costo delle chiamate, ecc.) reso disponibile dalle centrali numeriche. In questi sistemi, durante la conversazione, ad ogni utente è assegnata una frequenza diversa [EUR99].

Per ovviare a tutti gli inconvenienti che la telefonia a sistemi analogici poteva presentare, già nel 1982 il *CEPT (Comitato Europeo delle Poste e Telecomunicazioni)* aveva istituito un gruppo di lavoro denominato *Groupe Spéciale Mobile (GSM)* avente lo scopo di individuare le specifiche di uno standard comune europeo per le comunicazioni cellulari digitali [CSGSM]. Esso raccomandò, inoltre, che due blocchi di frequenze nella banda dei 900 Mhz fossero riservati per i futuri sistemi cellulari digitali in Europa. Il gruppo di lavoro fissò gli obiettivi principali e definì l'architettura generale del sistema nonché le tecniche di codifica radio e vocale da adottare.

Il 7 Settembre 1987, 13 operatori europei firmarono il cosiddetto *GSM MoU [EUR99]*, ovvero il *Memorandum of Understanding* del gruppo GSM, impegnandosi a rispettare lo sviluppo di reti nazionali digitali, basato sulla tecnologia *NMT-450 (Nordic Mobile Telephone 450 MHz)* e sviluppato congiuntamente dagli operatori scandinavi (Nordic) con i costruttori di apparecchiature di telecomunicazioni. Il successo dell'iniziativa fu immediato e alla fine del 1987 molte altre nazioni europee avevano messo in esercizio la propria rete cellulare [EUR99].

Un nuovo sistema, l'*NMT-900* fu sviluppato per supportare maggiori flussi di traffico e l'uso di telefoni *hand-portable*. Lo sviluppo della tecnologia cellulare è stato perseguito quindi su base nazionale e, con l'eccezione di poche e limitate aree geografiche, ha portato all'adozione di tecniche incompatibili e fuori da standard comuni.

Nonostante l'alto costo e la non completa copertura territoriale in ogni singola nazione, il successo di mercato incontrato dalla telefonia cellulare ha in breve inaspettatamente saturato i canali dello spettro di banda messo a disposizione delle autorità regolatrici inducendo grossi problemi di capacità e di qualità del servizio.

La stessa tecnologia analogica si è dimostrata nel tempo poco adatta a supportare i volumi di traffico e le caratteristiche imposte dalla crescita del mercato. In particolare, l'uso della rete cellulare analogica come mezzo per la trasmissione dei dati ha incontrato notevoli difficoltà.

Anche con l'uso di modem cellulari specializzati, il throughput dei dati raramente poteva superare i 4800 bit per secondo, sufficiente per lo scambio di messaggi di base ma meno utilizzabile per il trasferimento nei due sensi di quantità

significative di dati. La tecnologia digitale faceva intravedere il superamento di tutte queste limitazioni, in particolare ridefinendo:

- i concetti e le strutture;
- gli aspetti relativi ai servizi;
- gli aspetti relativi alla rete;
- i protocolli e le interfacce tra *MS (Mobile Station)* e *BS (Base Station)*;
- la struttura del livello fisico del path radio (conforme alla struttura a strati funzionali del modello OSI dell'International Standard Organization);
- le specifiche di codifica digitale della voce;
- gli adattatori terminali per la stazione mobile;
- le interfacce tra Base Station e Centrali di Commutazione

Sempre nel 1987, l'ETSI (*European Telecommunication Standard Institute*) fu costituito allo scopo di dettare le direttive e fissare gli standard comuni europei per le telecomunicazioni, sia per gli operatori pubblici che per quelli privati, ed ereditò le competenze e il nome del precedente gruppo GSM del CEPT, mantenendone il mandato e il *chairman*<sup>7</sup>. Nel 1991, il nome del Groupe Spéciale Mobile fu cambiato, mantenendone inalterato l'acronimo, in *Global System for Mobile Communications*.

Il 1992 vide il lancio dei primi servizi cellulari commerciali GSM e, contestualmente, si ebbero i primi accordi commerciali tra Network Operator volti a regolare lo scambio di dati del traffico *cross-border* (fenomeno di roaming internazionale); alla fine del 1993, 30 reti GSM erano in servizio in tutto il mondo raccogliendo più di un milione di abbonati e furono rilasciate licenze per 50 reti aggiuntive [GSM]. Al momento il *Memorandum of Understanding* è stato firmato da 185 operatori di rete di 150 paesi membri di tutto il mondo.

---

<sup>7</sup> presidente

## 3.6 La tecnologia GSM

Il GSM [ETS2] è dunque una tecnologia di seconda generazione per le comunicazioni mobili sviluppata sulla base di standard comuni europei [WIR].

Le principali caratteristiche tecniche sono:

- il GSM è un sistema armonizzato, che permette alle stazioni mobili di essere usate in tutte le nazioni in cui il è installato, ed offre funzioni automatiche di roaming non solo entro i confini nazionali, ma anche attraverso le frontiere internazionali
- il cliente che chiama da una postazione fissa, come un abbonato alla rete pubblica PSTN (Public Switched Telephone Network) o alla rete ISDN (Integrated Services Digital Network), non ha la necessità di conoscere la localizzazione fisica dell'abbonato che sta chiamando, in quanto le chiamate sono incanalate automaticamente dal sistema verso la località appropriata nella rete GSM.
- il sistema GSM è aperto ai servizi ISDN.

Inoltre il sistema GSM possiede capacità di internet working con i Servizi di Message Handling e con le reti fisse usando le raccomandazioni X.400 dell'ITU [ITU]. Sebbene conosciuto soprattutto per la comunicazione vocale, il GSM è stato progettato per la comunicazione di dati potendo interfacciare reti pubbliche, reti ISDN e altre reti dati. I servizi dati possono aver luogo tramite dispositivi interni del terminale mobile (ad esempio, brevi messaggi su un display alfanumerico), ovvero richiedono dispositivi esterni come una macchina facsimile o un personal computer.

Essendo compatibile con lo standard ISDN, GSM offre funzioni di trasmissione simultanea di dati e *closed user groups*. La capacità dati copre la velocità nel range da 300 a 9600 bps, sia in sincrono che asincrono [HAR93]. Inoltre, aderendo ad uno standard unico, permette economie di scala ai *network operator* e ai fornitori con risparmi sensibili anche per gli utenti.

Lo spettro radio necessario per il GSM è creato dividendo lo spettro riservato in due bande di frequenze: la prima, da 890 a 915 Mhz per il trasmettitore mobile, la seconda, da 935 a 960 Mhz per il trasmettitore della base. Le tecniche di canalizzazione usate sono quella detta di *FMDA* (*Frequency Division/Multiple Access*) e la *TDMA* (*Time Division/Multiple Access*) [TEL99]. L'*FMDA* divide lo spettro di frequenze in frequenze di canale e la *TDMA* divide ulteriormente le frequenze di canale in *time slot*.

I segnali sono modulati sulle portanti usando una tecnica di modulazione digitale chiamata *GFSK* (*Gaussian-minimum Frequency Shift Keying*). La tecnica *GFSK* è stata considerata dal comitato tecnico GSM la migliore tecnica di modulazione per ottimizzare la larghezza di banda mantenendo al contempo buona qualità di trasmissione nell'ambito del range di frequenze GSM. Sequenze fisse di bit sono usate per la sincronizzazione trasmettitore-ricevitore [GMSK].

Le prestazioni della trasmissione sono migliorate usando tecniche di codifica *FEC*<sup>8</sup> (*forward-error-correction*). Il GSM usa diversi tipi di canali; il più importante è il canale fisico, cioè il time-slot che la rete mette univocamente a disposizione di ogni singolo utente. All'interno del canale fisico sono individuabili canali logici individuati da particolari stringhe di bit a seconda delle funzioni che realizzano. Il canale di traffico trasporta la voce digitalizzata e i dati; i canali di controllo sono usati per il "signaling" e la sincronizzazione dell'apparato mobile [TEL99].

Si distinguono tre sottotipi funzionali di canali di controllo:

- *broadcast channel*: gestisce la correzione di frequenza, la sincronizzazione delle frame e l'identificazione della Base Station;
- *common control channel*: gestisce il paging per i dispositivi mobili e fornisce loro l'accesso alla rete pubblica;
- *dedicated control channel*: gestisce le funzioni gestionali.

---

<sup>8</sup> *Forward Error Correction* : permette di duplicare alcuni elementi del segnale in modo tale da renderne possibile, eventualmente, la ricostruzione una volta che i dati sono giunti a destinazione.

Una rete GSM é composta di numerose entità funzionali che possono essere raggruppate in quattro sottosistemi [GSM]:

- la *Stazione Mobile (Mobile Station)* é il terminale mobile usato dall'abbonato;
- la *Stazione Base (Base Station Subsystem)* controlla la trasmissione radio con il terminale;
- Il *Sottosistema di rete (Network Subsystem)*, la cui parte principale é il *Centro di Commutazione (Mobile services Switching Center)* realizza la connessione tra l'utente della rete mobile e gli utenti delle altre reti, fisse o mobili;
- Il *Sottosistema di esercizio e manutenzione (Operation and Support Subsystem)* sovrintende al corretto funzionamento e settaggio della rete;

La comunicazione tra le diverse entità del sistema GSM è assicurata da specifiche interfacce. Nella figura 3.3 viene mostrato uno schema delle entità funzionali e delle interfacce di una rete GSM.

La possibilità di effettuare il *roaming*, cioè di potersi spostare liberamente sul territorio servito dal proprio gestore, ed anche su quello servito dagli altri gestori delle nazioni che aderiscono al GSM, richiede di memorizzare in un database la posizione degli utenti ed aggiornarla man mano che questi si spostano. A tal scopo l'area geografica di servizio del sistema GSM è suddivisa gerarchicamente in diverse aree, dette *Network Service Areas*. Un operatore GSM è quindi sempre in grado di conoscere la posizione di ciascun suo abbonato.

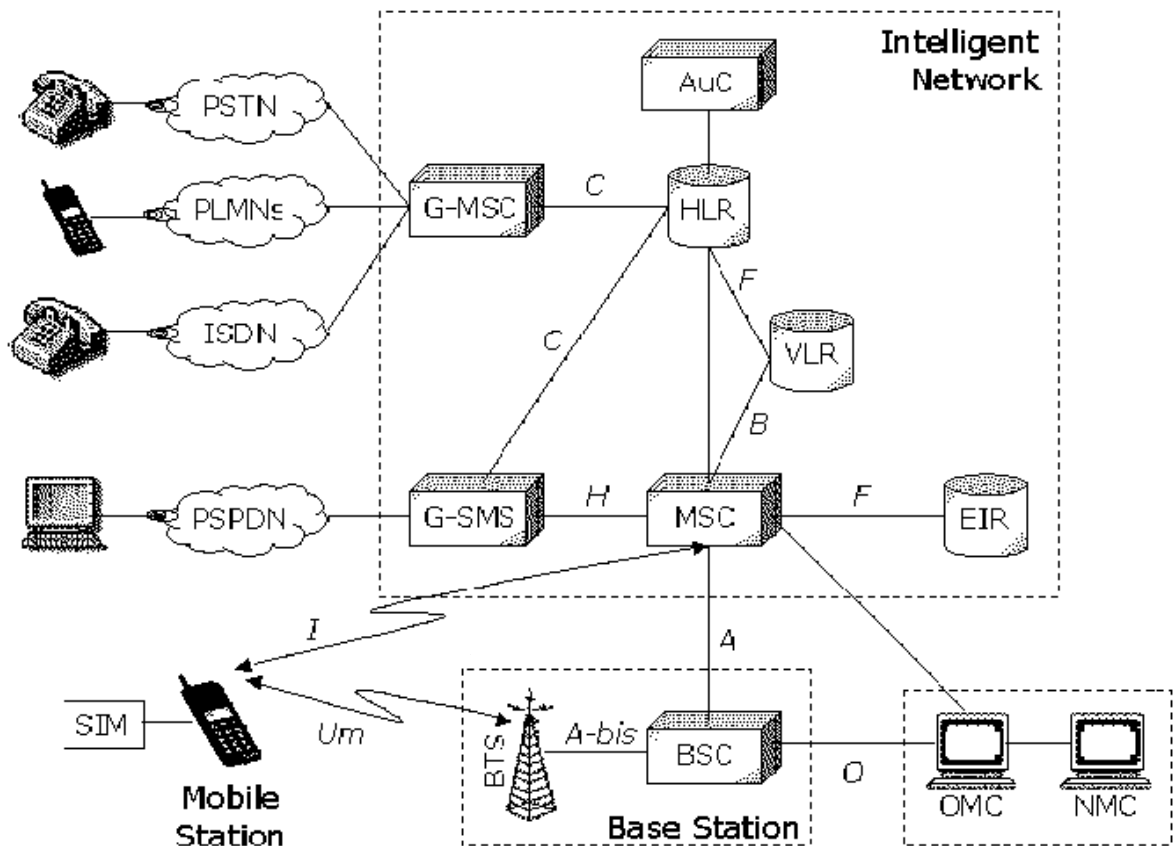


Figura 3.3 – Architettura e interfacce del sistema GSM

### 3.6.1 Mobile Station

La *Mobile Station* (MS) rappresenta la stazione mobile con la quale un utente può usufruire dei servizi offerti dal GSM. Consiste di un terminale mobile (*Mobile Equipment*) e di una *smart-card* intelligente, detta *SIM* (*Subscriber Identity Module*), che permette ad un utente di caratterizzare come proprio un qualsiasi terminale mobile GSM. Vi è, infatti, una netta distinzione tra l'apparecchio mobile vero e proprio e la SIM che contiene tutti i dati dell'abbonato. Quest'ultima è distinta rispetto al terminale ed è, da esso, rimovibile [ETS1].

La SIM card contiene una memoria seriale, nella quale vengono memorizzate diverse informazioni, e un processore in grado di eseguire alcuni algoritmi di cifratura (*Encryption algorithms*). Le possibilità offerte da queste smart-card possono variare notevolmente da operatore a operatore, in dipendenza delle specifiche implementazioni.



In figura 3.4 viene raffigurato il chip di una SIM card.

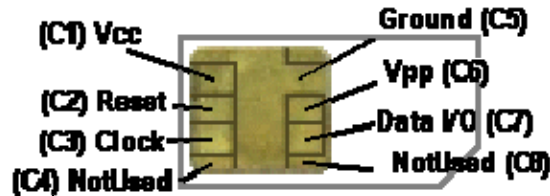


Figura 3.4 – SIM card chip

Un *Mobile Equipment* (ME) è identificato in modo univoco dall'*IMEI* (*International Mobile Equipment Identity*) è un numero di 15 cifre impresso sui telefoni Gsm e nei loro circuiti: in alcuni modelli si può evidenziare a display digitando “#06#”. I gruppi di cifre che compongono il codice hanno un preciso significato, ad esempio:  
Imei=111111 22 333333 4

Le prime sei cifre *TAC* (*Type Approval Code*) indicano il codice del paese e del fabbricante; le successive due *FAC* (*Final Assembly Code*) sono un codice proprio del costruttore. Le ulteriori sei cifre *SNR* (*Serial Number*) costituiscono il numero di serie del terminale, mentre l'ultima *SP* (*Spare*) è per il momento a disposizione per eventuali utilizzi aggiuntivi.



Figura 3.5 – Codice IMEI

Similmente *IMSI* (*International Mobile-station Equipment Identity*) ovvero il codice seriale di identificazione dell'abbonato è memorizzato in una SIM card. I codici IMEI e IMSI sono completamente indipendenti l'uno dall'altro.

La facilità con cui si possono riciclare i telefoni Gsm rubati è un forte incentivo ai furti, basta cambiare la SIM e si può telefonare senza problemi. Per questo motivo dal 1°

luglio 2004 è entrato in vigore l'accordo tra i gestori nazionali di telefonia mobile per rendere inutilizzabile il telefono cellulare anche se si cambia la scheda telefonica [NWM04]. L'operazione è possibile grazie al codice IMEI, il quale viene inviato al gestore di cui si sta usando la scheda telefonica all'accensione del cellulare e all'inizio di ogni telefonata effettuata. Pertanto, se il codice è inserito in una "black list" comune a tutti gli Operatori, è possibile inibire l'uso di qualsiasi scheda e, quindi, il telefonino risulta inutilizzabile. Impedire ai terminali rubati di accedere alla rete mobile, cioè di funzionare, significa togliere loro tutta l'appetibilità, smantellare il movente stesso dei furti: un telefono che non telefona è invendibile.

### 3.6.2 Base Station Subsystem

Il sottosistema *BSS (Base Station Subsystem)* si occupa della parte radio del sistema e di conseguenza comprende le unità funzionali che consentono di fornire la copertura radio di un'area costituita da una o più celle [GSM].

La stazione base é composta di due unità: una *Base Transceiver Station (BTS)* e una *Base Station Controller (BSC)*. L'interfaccia di comunicazione tra le due entità, detta A-bis, è standardizzata. In questo modo non si è vincolati a soluzioni proprietarie e si possono utilizzare componenti prodotti da fornitori diversi.

Con il termine *BTS* si indica l'unità funzionale costituita dall'insieme dei transceiver<sup>9</sup> e degli apparati che consentono di fornire la copertura radio ad una cella. Solitamente ci si riferisce alle *BTS* anche con il termine *Stazioni Radio Base (SRB)*.

La stazione base di controllo governa il funzionamento di uno o più stazioni base ricetrasmittenti, gestisce il settaggio dei canali radio (instaurazione e rilascio delle connessioni), il *frequency-hopping* (salto di frequenza), gli *handover* interni e altro ancora. Fornisce la connessione tra una unità mobile (*MS*) e il centro di commutazione (*MSC*). In una grande area urbana ci sono un gran numero di *BTS* controllate da una o poche *BSC*.

---

<sup>9</sup> Transmitter/ReCeiver (trasmettitore/ricevitore, ricetrasmittitore) : un radiotrasmettitore e un ricevitore combinati in una sola unità.

### 3.6.3 Network Subsystem

Il sottosistema di rete, identificato a volte come *Intelligent Network (IN)*, fornisce diversi servizi. Il sistema radiomobile GSM costituisce una rete pubblica di telecomunicazioni, esso deve quindi comprendere delle centrali di commutazioni che si occupino dell'instradamento delle chiamate. Il componente centrale é allora il centro di commutazione *Mobile services Switching Center (MSC)* [GSM].

Un MSC ha in carico una certa area del territorio (controlla quindi tutte le BSC in quella zona) e deve servire tutte le MS che transitano in quell'area. Per gestire la mobilità degli utenti esso deve scambiare continuamente informazioni con un database, detto *Visitor Location Register (VLR)*, che memorizza, temporaneamente, le informazioni relative alle MS che si trovano in quell'area. Le MS in questione sono semplicemente in transito temporaneo nell'area servita dal VLR. Esse, infatti, si possono spostare in qualsiasi momento entro l'area servita da un altro VLR.

Nonostante quest'ultimo, come entità funzionale, possa essere implementato in maniera indipendente dall'MSC, tutti i costruttori preferiscono integrarli assieme (l'interfaccia tra i due elementi può essere proprietaria) ed il tutto viene usualmente definito MSC/VLR. In questo caso entrambi servono la stessa area geografica, detta MSC/VLR area.

Ogni gestore possiede un database centrale, denominato *Home Location Register (HLR)*, che memorizza permanentemente sia i dati di abbonamento degli utenti (noti come statici) sia i dati (detti dinamici) che possono variare a seguito di azioni degli utenti stessi (attivazione servizi supplementari, ecc.) che l'identità del VLR presso cui la MS dell'utente è registrata come *visitor*.

L'HLR è semplicemente un database e quindi memorizza i parametri di sicurezza, ma non provvede alla loro generazione. Il compito di calcolare, tramite degli appositi algoritmi, questi parametri è demandato ad una unità funzionale denominata *Authentication Center (AuC)*.

Per cercare di risolvere il problema del possibile utilizzo di apparati mobili ME rubati, difettosi o non omologati, esiste una unità funzionale, il *Equipment Identify Register (EIR)*, che memorizza al suo interno tutti i codici IMEI segnalati come difettosi o rubati. La rete può così effettuare un controllo sull'IMEI richiedendolo alla MS e

vietarne l'accesso nel caso questo non sia in regola.

### **3.6.4 Operation and Support Subsystem**

Una rete GSM è composta di molte entità funzionali di tipo diverso, le quali richiedono delle appropriate attività di Esercizio, Amministrazione e Manutenzione che devono essere opportunamente coordinate per evitare discrepanze tra i parametri di rete [GSM].

L'*OMC (Operation and Maintenance Center)* é l'entità funzionale che permette all'operatore GSM di monitorare e controllare il corretto funzionamento di una parte della rete GSM costituita da uno o più MSC, con i BSC e BTS ad essi associati. L'OMC ha le seguenti funzioni:

- gestione delle configurazioni e delle prestazioni di tutti gli elementi che compongono il network GSM (BSC, BTS, MSC, VLR, HLR, EIR ed AUC);
- gestione dei guasti, degli allarmi e dello stato del sistema con possibilità di effettuare vari tipi di test per analizzare le prestazioni e per verificare il corretto funzionamento dello stesso;
- gestione della sicurezza;
- raccolta di tutti i dati relativi al traffico degli abbonati necessari per la fatturazione.

Il *NMC (Network Management Center)* fornisce la visibilità globale di tutte le attività di controllo. Coordina e gestisce tutti gli OMC presenti nel network.

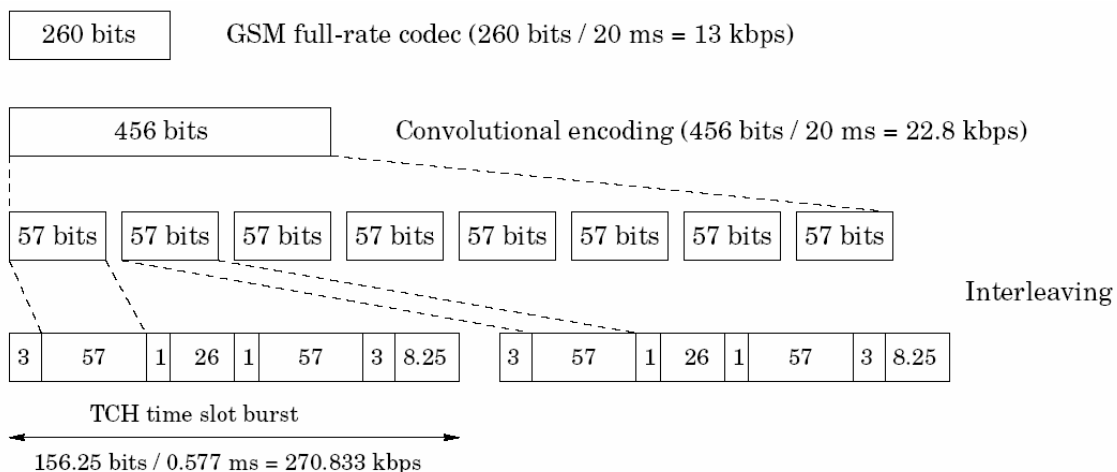
### **3.6.5 GSM Codec**

La codifica GSM è attualmente una delle codifiche vocali più potenti: essa permette di trasmettere il segnale vocale (0 - 4 kHz) con un bit rate di 13 kbit/s contro i 64 kbit/s della codifica PCM. Il "vocoder" (*vocal coder*) codifica la voce secondo una

RPE-LTP (*Regular Pulse Excitation with Long Term Prediction*), cioè una codifica che sfrutta la correlazione esistente tra campioni della voce. Invece di trasmettere un campione (come avviene nel PCM) il vocoder fa una "predizione" sul campione e trasmette solo la differenza rispetto alla predizione fatta (errore di predizione). Il vocoder genera un blocco di 260 bit ogni 20 ms, suddivisi in quattro sub-frames di 5 ms, pari ad un bit rate di 13 kbit/s (figura ). Poichè alcuni bit in uscita hanno un'importanza maggiore ai fini della qualità del segnale vocale, il processo di codifica di canale, che segue quello di codifica di sorgente, viene implementato suddividendo i bit del blocco in classi:

- **Classe 1a:** a tale classe appartengono i 50 bit più importanti, senza i quali, in ricezione, non è possibile rigenerare la voce. A tali bit sono aggiunti tre bit di parità per verificare, in ricezione, la correttezza dei bit cui sono associati.
- **Classe 1b:** i 132 bit appartenenti a tale classe sono importanti a questi, però, non è aggiunto alcun bit di parità. Ai 132 bit sono però aggregati quattro bit di coda per permettere un corretto funzionamento del blocco di codifica successivo a quello attuale.
- **Classe 2a:** a tale classe appartengono i 78 bit meno importanti ed essendo i meno sensibili all'errore non vengono protetti.

Dopo la codifica di canale per i bit della classe a e b, più i bit di parità ed aggregati, vi è un'ulteriore codifica (di convoluzione) che porta i bit da 189 a 378. Questi 378 bit, più i 78 di classe 2a formano una nuova frame di 456 bit che corrispondono sempre ai 20 ms di voce (Figura 3.6).



*Figura 3.6 – Codec GSM*

La qualità del segnale è abbastanza buona, non come quella del codec G728 però; ma il successo dello standard sta nella sua semplicità di riproduzione del segnale e quindi nella facile esecuzione real-time del processo di compressione.

### **3.6.6 Trasmissione dati e nuove esigenze**

L'attuale servizio dati del GSM è basato sulla tecnologia a commutazione di circuito e la connessione sull'interfaccia aerea usa un singolo time slot, che consente di fornire una velocità massima di trasferimento dati per l'utente di 9,6 kbit/s, sia per il servizio dati che per quello fax, in modalità trasparente e non [HSCSD].

Nella figura 3.7 è schematizzato il modello di trasmissione dati attuale a commutazione di circuito: ad ogni utente è riservato un canale (rappresentato nella figura seguente come sequenza di timeslot) che, se la trasmissione non è continua, può impegnare solo parzialmente [GPRS].

Nella fase 2 del GSM l'ETSI ha standardizzato due nuovi servizi di trasmissione dati per i network GSM che consentono throughput più elevati:

- *High Speed Circuit Switched Data (HSCSD)*
- *General Packet Radio Service (GPRS)*
- *Enhanced Data rates for Global Evolution (EDGE)*

L'HSCSD è un'evoluzione dell'attuale servizio di trasmissione dati a commutazione di circuito e consente di ottenere velocità di trasmissione superiori ai 9,6 kbit/s attraverso l'utilizzo di molteplici time slot per generare un canale di traffico ad alta velocità, canale che viene usato da un'unica Mobile Station. In particolare il flusso di dati è diviso in molteplici subchannel per poi essere ricombinato nelle sezioni riceventi, dove più subchannel sono multiplexati in un unico canale a 64 kbit/s (nel caso in cui vengano utilizzati tutti e 8 i time slot) [HSCSD].

L'utilizzo di 3 time slot insieme alla compressione *V.42bis* e alla codifica di canale a 14.4 kbps consentirebbe una velocità massima di 28.8 kbit/s, senza aumentare la complessità della MS, velocità equivalente a quella di un modem V.34 per rete fissa.

Con questo metodo la codifica di canale e l'*interleaving*<sup>10</sup> vengono lasciati inalterati, ed il servizio HSCSD può usare l'esistente implementazione del sistema GSM.

Quando invece vengono utilizzati più di 3 time slot, la complessità della MS aumenta perché si renderebbe necessaria la trasmissione e ricezione contemporanea da parte della MS stessa; infatti, nel sistema GSM attuale in cui viene usato un singolo *time slot*, la ricezione e trasmissione non avviene in modo simultaneo. Lo stesso concetto è estendibile anche quando vengono utilizzati fino a 3 time slot, a patto che questi siano adiacenti.

Il GPRS offre un vero servizio a commutazione di pacchetto e ha il vantaggio di incrementare l'utilizzo dei canali radio GSM, condividendo le risorse tra più Mobile Station. Dal punto di vista dell'utente il vantaggio principale è la tariffazione, che è basata sulla quantità di dati trasmessi e non sul tempo di connessione. Così è possibile avere connessioni aperte per un lungo periodo di tempo, anche se effettivamente utilizzate per una piccola percentuale del tempo totale di connessione [GPRS].

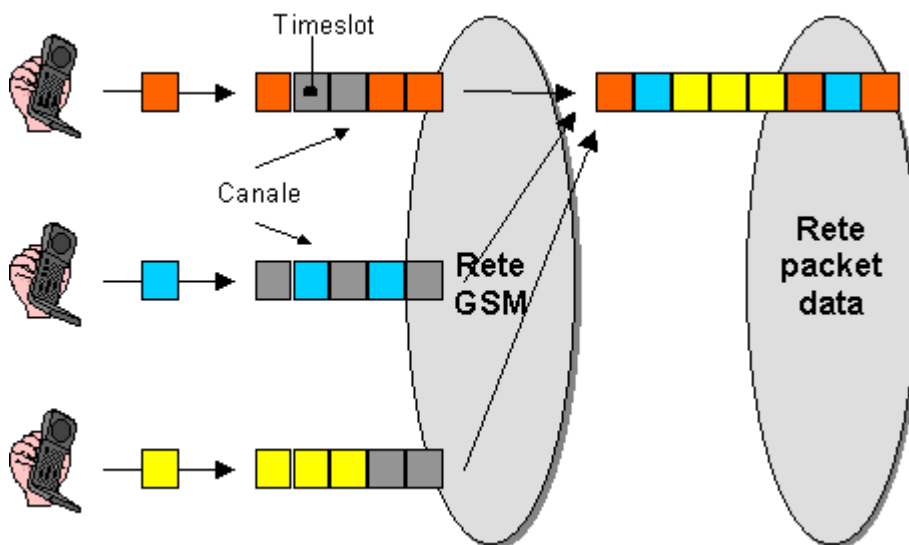


Figura 3.7 – Modello semplificato di trasmissione dati a commutazione di circuito

<sup>10</sup> Tecnica che prevede la trasmissione di sequenze di dati digitali non consecutive ma mescolate con precisi algoritmi. Questo sistema è molto importante per la protezione dei dati, infatti se a causa di un'interferenza venissero persi alcuni bit, grazie a questa tecnica il problema sarebbe limitato a pochi frammenti di immagine adiacenti.

Il GPRS ha introdotto nuovi elementi di rete per la gestione della commutazione a pacchetto dei dati. La sua evoluzione, l'EDGE, è partito dal GPRS per introdurre un nuovo tipo di modulazione a livello di *air interface* (connessioni in radio frequenza). A parità di occupazione di spettro, questo tipo di modulazione detta *8PSK (Eight Phase Shift Keying)* consente di raggiungere velocità di trasmissione all'incirca triple rispetto al GPRS. Sfruttando in modo ancora più flessibile gli otto time slot previsti dal GSM per la gestione delle connessioni stazione base-mobile e utilizzando fino a nove tipi di codifica contro i quattro del GPRS, EDGE permette di raggiungere velocità di trasmissione nominali superiori ai 470 kbps (occupando tutti e otto gli slot). Il carico utile in termini di larghezza di banda per le applicazioni dati è di 384 kbit al secondo, oltre tre volte in più rispetto alle velocità previste dal GPRS (115,2 kbps al massimo) [DGT01].

## **3.7 Cellular Engine**

### **3.7.1 Introduzione**

La tecnologia GSM può offrire oltre ad una semplice comunicazione vocale anche altre funzioni, come la trasmissioni di dati, fax e SMS, che sono ormai di uso comune. E' precisamente per questa area di applicazioni che sono stati sviluppati i *Cellular Engine*.

Il sistema digitale GSM diffuso in più di 90 paesi del mondo con l'interfaccia hardware e software dei moduli GSM, è l'ideale per essere utilizzato in una vasta gamma di applicazioni industriali: telecontrollo, telemetria, automazione, radiolocalizzazione, sicurezza, monetica, distribuzione automatica. Queste sono solo alcune delle potenziali applicazioni dei Moduli.

### **3.7.2 M20 Terminal**

Il dispositivo utilizzato come cellular engine è il Siemens M20 Terminal, che è equipaggiato con una mini Sim-Card che gli permette di allacciarsi alla rete cellulare



mobile come un comune telefono cellulare GSM. Tutte le funzioni possono essere controllate tramite un interfaccia standard V.24/V.28 e l'insieme dei comandi che supporta è quello dello standard AT, comando tipico dei modem (standard ITU-T V.25ter) [BREU].

Questo dispositivo può essere, infatti, utilizzato come un normale modem, ma anche per inviare fax, per ricevere e spedire SMS e per gestire una comunicazione vocale, come un vero e proprio cellulare GSM.

La gestione della voce viene implementata tramite l'utilizzo di un'interfaccia hardware audio (microtelefono) e di uno speciale sotto insieme di comandi AT (AT+C command), ideati per la gestione delle funzioni di controllo GSM (standard GSM 07.07 e 07.05), e un ulteriore insieme di comandi AT che la Siemens ha creato. In figura 3.8 viene mostrato il cellular engine descritto.



*Figura 3.8 – M20 Terminal*

Riassumendo il Siemens M20 Terminal può offrire i seguenti servizi:

- fonia (Full Rate e Enhanced Full Rate),
- Short Message Service
  - MO(TS 22) (Text e PDU Mode)
  - MT (TS 21) (Text e PDU Mode)
  - CB (TS 23)
- fax gruppo 3 (TS62)
- trasmissione dati: 2.400/4.800/9600 bit/sec

### 3.7.3 MC35iT

Il dispositivo qui descritto può essere considerato come l'evoluzione di quello sopra introdotto che è poi quello utilizzato in questo lavoro di tesi. Il cellular engine Siemens GSM TC35iT apre nuove possibilità, grazie alla sua moderna tecnologia e alle dimensioni compatte, in molteplici applicazioni di telemetria e telecontrollo. Basti pensare a progetti di rilievo quali: monitoraggio in modalità remota dei sistemi, gestione dei veicoli e tracking delle merci, controllo dei contatori, sistemi di sicurezza domestica e industriale, distributori automatici.



*Figura 3.9 – MC35i Terminal*

Il terminale in questione può ha le seguenti principali caratteristiche tecniche :

- Dual-band EGSM900 and GSM1800
- GPRS multi-slot class 8
- GPRS mobile station class B
- Compliant to GSM phase 2/2+
- Voce
  - Half rate (HR)
  - Full rate (FR)
  - Enhanced full rate (EFR)
  - Cancellazione eco
  - Riduzione rumori

### **3.8 Utilizzo delle MS come Cellular Engine**

I recenti sviluppi tecnologici hanno portato alla produzione di nuovi dispositivi Mobile Station che oltre a utilizzare la tecnologia GSM impiegano quella GPRS e la più recente UMTS. Tali apparati, grazie all'elevata velocità di trasmissione, sono in grado di fornire un ampliamento dei servizi integrati voce-dati e convergenti all'infrastruttura fisso-mobile. Grazie a questa velocità si possono offrire agli utenti di telefonia mobile servizi fino a poco tempo fa realizzabili solo con un PC: è ora possibile accedere a Internet e scaricare file, consultare le banche dati e usare il commercio elettronico (mobile e-commerce), realizzare servizi di controllo a distanza e navigazione terrestre (GPS). Inoltre l'utilizzo della posta elettronica, grazie alla possibilità di inviare messaggi lunghi in tempi più rapidi, risulta molto più utile ed efficiente.

Questi recenti dispositivi hanno trovato la loro maggiore realizzazione nel settore della telefonia cellulare, i quali oltre al normale utilizzo per comunicazioni vocali, SMS, FAX e piccoli scambi di dati, hanno trovato grande impiego in svariate applicazioni, soprattutto grazie alla loro ampia dotazione di periferiche di comunicazione. In particolare per questa estrema versatilità vengono spesso utilizzati come strumenti per la trasmissione o ricezione di semplici dati oppure come vera e propria connessione Internet. Infatti i più recenti telefoni cellulari, come sopra introdotto, includono all'interno della loro struttura diverse interfacce di connessione: USB, Infrarossi e la più recente Bluetooth. È facile capire come grazie a queste dotazioni l'utilizzo di un cellulare come modem per una connessione dati si semplifichi notevolmente e permetta ad un utente di sfruttare al massimo la mobilità delle proprie risorse come computer portatili e palmari.

Un'altra recente realizzazione dei cellular engine ha portato all'introduzione sul mercato di schede compact flash, le quali fanno parte dei tipi di scheda PCMCIA e che possono fornire connessioni GSM e GPRS a dispositivi mobili come computer portatili o palmari (dotati di tale tipo di adattatore). Questo tipo di periferiche, che si possono considerare come veri e propri telefoni cellulari, vengono utilizzate per svariate applicazioni grazie all'utilizzo di software dedicati installati sui dispositivi mobili.

## Capitolo quarto

### Tecnologia Bluetooth

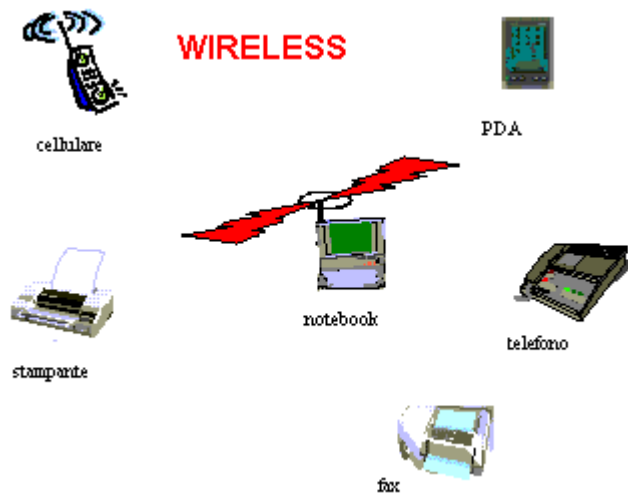
Bluetooth fu ideato nel 1994 da Ericsson, il colosso svedese nel settore delle telecomunicazioni, come soluzione wireless in grado di sostituire i cavi per il collegamento di PC, telefoni cellulari, palmari, periferiche per computer e altri dispositivi. Anche nomi come Nokia, IBM, Intel e Toshiba hanno riconosciuto nella tecnologia un potenziale di diffusione sul mercato su vasta scala che, grazie alla modalità di connessione istantanea di tutti i dispositivi Bluetooth, avrebbe potuto offrire versatilità e praticità al personale di aziende di qualsiasi portata. Nel 1998 tali aziende formarono insieme a Ericsson il Bluetooth *SIG* (*Special Interest Group*) preposto a svilupparne gli standard e a creare campagne pubblicitarie che ne promuovessero la diffusione [HPB04].

#### 4.1 L'utilizzo

Lo scopo principale della nascita della tecnologia Bluetooth risiede, come introdotto precedentemente, nella capacità di far dialogare e interagire fra loro dispositivi diversi (telefoni, stampanti, notebook, *PDA*<sup>11</sup>, impianti HiFi, tv, computer, PC, cellulari, elettrodomestici, etc) senza la necessità di collegamenti via cavo, cioè in modalità wireless (Figura 4.1) [RBT].

---

<sup>11</sup> *PDA* : *Personal Digital Assistant*



*Figura 4.1- Dispositivi Bluetooth*

Il termine wireless sta ad indicare una tipologia di comunicazione, un monitoraggio e un insieme di sistemi di controllo in cui i segnali viaggiano nello spazio e non in fili o cavi di trasmissione. In questo tipo di sistema la trasmissione avviene principalmente via infrarosso (IR) o via radiofrequenza (RF).

Lo scambio di informazione fra gli strumenti di questa ultima tipologia avviene attraverso onde radio, eliminando qualsiasi tipo di connessione fisica tra dispositivi; per fare ciò, ciascun dispositivo deve possedere all'interno un chip in grado di trasmettere e ricevere informazioni nell'etere (Figura 4.2).



*Figura – 4.2 Chip Bluetooth*

All'interno del panorama wireless il Bluetooth è sicuramente una tecnologia che rivoluzionerà il mercato della connessione, principalmente per i bassi costi di trasmissione su cui essa si basa e soprattutto per la possibilità di far comunicare qualunque tipo di dispositivo wireless attraverso onde radio.

La tecnologia Bluetooth è specificatamente progettata per realizzare la comunicazione senza fili per apparecchi di piccole dimensioni e il concetto chiave ispiratore di questa tecnologia è, come abbiamo visto, quello di eliminare completamente i cavi necessari alla comunicazione fra apparecchi [BTI].

Tutte le apparecchiature Bluetooth predisposte in un ambiente di lavoro sono nella condizione di generare piccoli network (reti) senza fili chiamate PAN, cioè di creare un'interconnessione di comunicazioni dati come accade, ad esempio, in una rete di computer (LAN). Diversamente dalla LAN, tuttavia, i dispositivi interconnessi in una PAN non si limitano ai PC ma comprendono anche altri apparecchi elettronici come cellulari, cuffie, proiettori, scanner, videocamere, fotocamere, elettrodomestici vari (Figura 4.3).



Figura 4.3 – Rete Bluetooth

Questi collegamenti senza fili sono effettuati usando un ricetrasmittitore che opera nella banda di frequenza *ISM (Industrial Scientific and Medical , frequenza radio riservata che sfrutta la banda da 2,4 a 2,48Ghz)* di 2,4 GHz. Le frequenze utilizzate variano da paese a paese, in relazione alle normative nazionali (Figura 4.4).

Country	Frequency Range	RF Channels
Europe <sup>*</sup> & USA	2400 - 2483.5 MHz	$f = 2402 + k$ MHz
Japan	2471 - 2497 MHz	$f = 2473 + k$ MHz
Spain	2445 - 2475 MHz	$f = 2449 + k$ MHz
France	2446.5 - 2483.5 MHz	$f = 2454 + k$ MHz

Figura 4.4 – Normative nazionali Bluetooth

Questi piccoli network wireless sono generalmente chiamati *piconet* e sono costituiti da due o più periferiche, che condividono un canale di comunicazione utilizzando Bluetooth, fino ad un massimo di 8 dispositivi. La frequenza di 2,4 Ghz è sotto le frequenze *UHF* (*Ultra High Frequency*) (Figura 4.5).

Banda di Frequenza	Classificazione	Utilizzazione
3 – 30 Khz	<b>VLF</b> : Very Low Frequency	comunicazioni marittime
30 Khz - 300 Khz	<b>LF</b> : Low Frequency	" " "
300 Khz - 3 Mhz	<b>MF</b> : Medium Frequency	comunicazioni emergenza
3 Mhz - 30 Mhz	<b>HF</b> : High Frequency	radioamatori - usi militari
30 Mhz - 300 Mhz	<b>VHF</b> Very High Frequency	TV - Radio Am - FM
0,3 – 3 Ghz	<b>UHF</b> Ultra High Frequency	<b>Bluetooth - ISM</b> frequenze Industriale Scientifica Medica
3 – 30 Ghz	<b>SHF</b> Super High Frequency	Radar - Satelliti
30 - 300 Ghz	<b>EHF</b> Extra High Frequency	Radar - Satelliti

Figura 4.5 – Utilizzo frequenze radio

Il sistema di comunicazione Bluetooth è progettato per funzionare anche in ambienti con forte presenza di interferenze o campi elettromagnetici, che vengono comunemente definiti come elettrosmog, in modo da assicurare collegamenti sempre efficienti e affidabili. E' possibile ad esempio ascoltare musica dell'impianto stereo o della TV tramite la cuffia senza fili anche se ci sono oggetti o ostacoli interposti, cosa che risulta impossibile con le cuffie a raggi infrarossi (tecnologia IRDA).

La velocità di comunicazione è prossima ad 1 Mbps anche con piccole potenze dell'ordine di alcuni milliWatt, ed è dunque circa mille volte inferiore alla potenza di un cellulare GSM. Poiché impiega la tecnologia *TDD (Time Division Duplex)* nella gestione del traffico asimmetrico, come ad esempio per Internet, Bluetooth offre ancora una mobilità limitata.

In relazione alla potenza i dispositivi Bluetooth vengono distinti in classi, classe 1, 2, 3; generalmente un notebook implementa un terminale bluetooth in classe 2 con raggio d'azione di diversi metri (Figura 4.6).

Power Class	Maximum Output Power (Pmax)
1	100 mW (20 dBm)
2	2.5 mW (4 dBm)
3	1 mW (0 dBm)

Power classes

Figura 4.6 – Classi Bluetooth

## 4.2 Lo standard

Lo standard Bluetooth consente di creare, con nuovi diversi servizi, delle *WPAN (Wireless Personal Area Networks)*, che vengono definite "reti wireless individuali", ossia gruppi di differenti dispositivi tra loro collegati per soddisfare le esigenze del singolo (Figura 4.7). Bluetooth permette infatti di gestire sia i dati sia la voce, utilizzando una trasmissione a pacchetto su rete radio per i dati e una modalità connection-oriented per la voce.



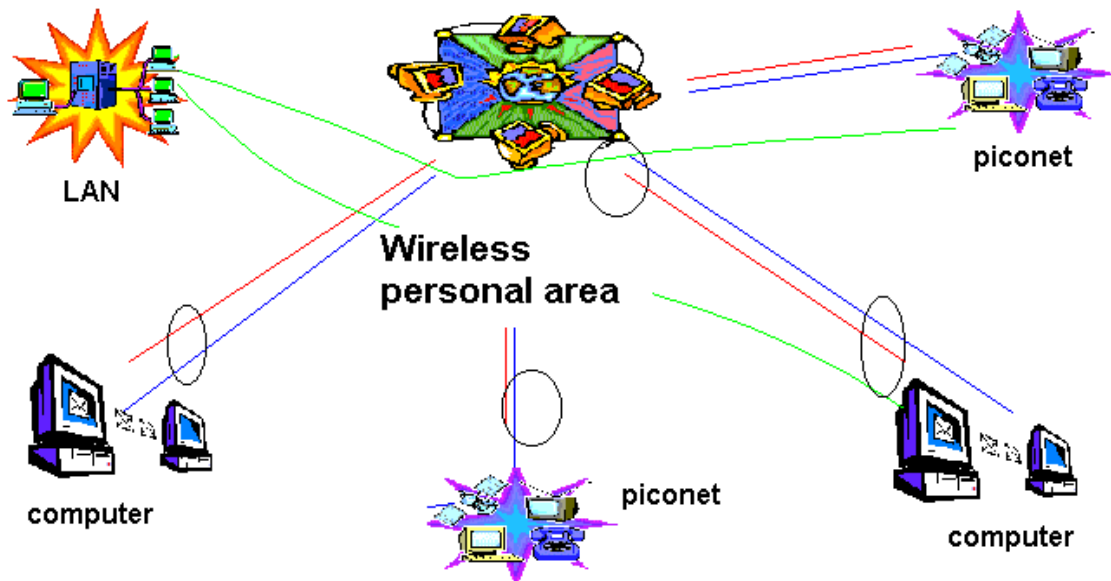
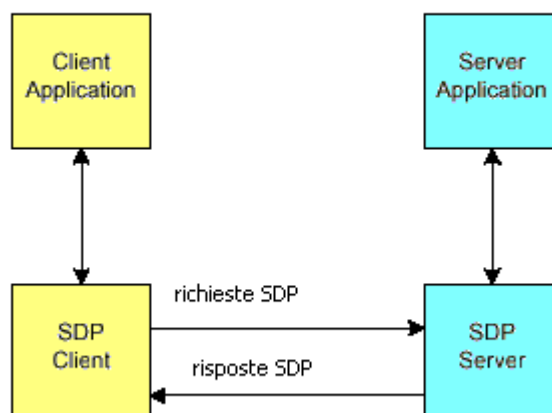


Figura 4.7 – Wireless Personal Area

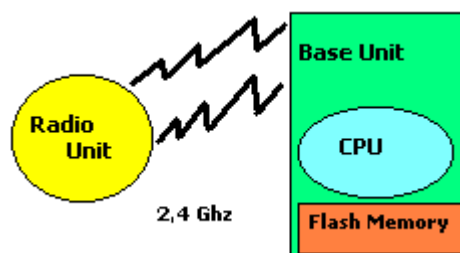
I dispositivi dotati di questa tecnologia comunicano dunque tra loro creando e riconfigurando dinamicamente (la configurazione cambia infatti automaticamente quando si inserisce o si elimina un dispositivo) delle reti ad hoc (dette picoreti) composte da un massimo di otto nodi; più picoreti possono a loro volta interconnettersi, aumentando le possibilità di espansione. Ciò consente, ad esempio, di sincronizzare i dati di un PC portatile e un PDA semplicemente avvicinando i due apparecchi, oppure di passare automaticamente al vivavoce quando si entra in auto parlando al cellulare. Tutto questo è possibile grazie all'*SDP (Service Discovery Protocol)* che permette ad un dispositivo Bluetooth di determinare quali sono i servizi che gli altri apparecchi presenti nella picorete mettono a disposizione. Tale protocollo può fungere sia da server (ossia può essere interrogato da un altro dispositivo e rispondere con i propri servizi) sia da client (interrogando gli altri dispositivi) e ogni apparecchio dispone delle informazioni relative ai servizi di cui è capace e dei protocolli supportati: altri apparati potranno fare uso di queste informazioni per stabilire le possibilità di interazione con i nodi della picorete (Figura 4.8).

**SDP Service Discovery Protocol***Figura 4.8 – Service Discovery Protocol*

Questo è necessario perché, naturalmente, una stampante Bluetooth non offrirà le stesse possibilità di un PDA o di un'auricolare, pertanto occorre che ogni nodo conosca le funzioni e le possibilità di ogni altro nodo della rete. Per fare un esempio concreto, se un telefonino Bluetooth vuole trasferire un messaggio di testo a un PDA, potrà interrogare quest'ultimo per sapere se è dotato di funzionalità e-mail, o se è in grado di ricevere un testo in altro modo. Quando un dispositivo si inserisce per la prima volta in una picorete, inoltre, effettuerà una "scansione" di tutti i nodi presenti per capire come può interagire con essi.

## 4.3 Elementi Base

Gli elementi base di un sistema Bluetooth sono l' *RU* (*Radio Unit*) e la *BU* (*Base Unit*), vedi figura 4.9.

*Figura 4.9 – Elementi Base Bluetooth*

I dispositivi comunicano tra loro in modo dinamico e la piconete si configura automaticamente quando si inserisce o si elimina un dispositivo. A loro volta, come già mostrato, più piconeti possono interconnettersi tra loro aumentando le possibilità di espansione.

## 4.4 Collegamenti Bluetooth

In un collegamento tutti gli apparecchi Bluetooth connessi sono generalmente in modalità standby, cioè di attesa, e seguono un ciclo di scansione ad intervalli di tempo di 1,28 secondi al fine di verificare la presenza di eventuali altri dispositivi; in tale modalità tutti i dispositivi Bluetooth sono a basso consumo energetico. La scansione effettuata, come si può vedere nella figura sottostante, può essere di due tipi: *IS (Inquiry Scan)* e *PS (Page Scan)*.

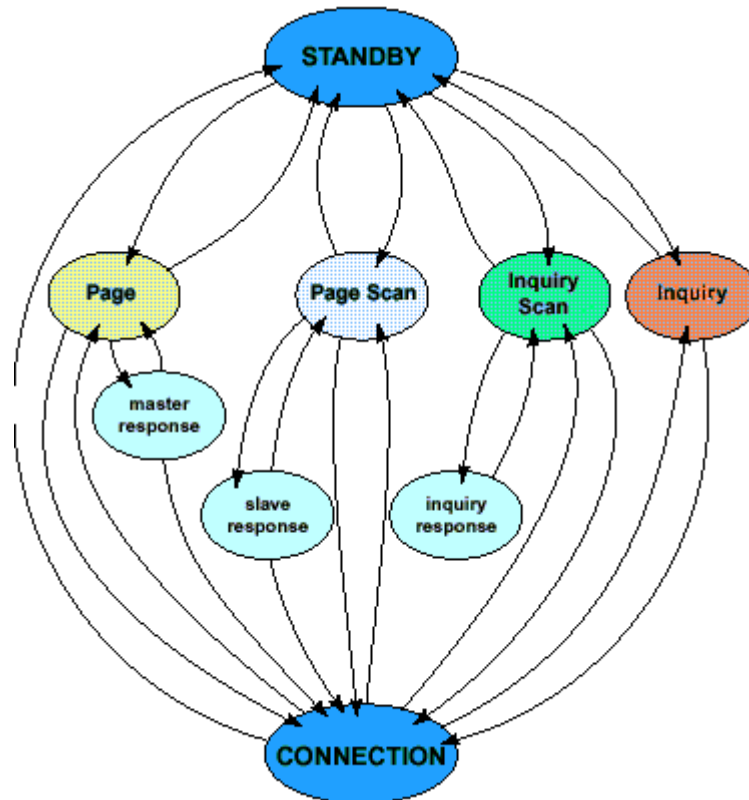


Figura 4.10 – Scansione Bluetooth

La scansione IS permette di identificare la tipologia di apparecchi disponibili nella picorete, *discoverable mode* o *non-discoverade mode*, e di approntare i necessari protocolli per il collegamento. La scansione PS consente il tentativo di un collegamento con un altro apparecchio Bluetooth che può risultare in modalità *connectable* o *non-connectable*. Affinché un dispositivo possa connettersi ad un altro è assolutamente indispensabile che esso ne conosca l'indirizzo fisico, detto *Bluetooth address (BD)*, unico per ogni apparecchio. Un comando *inquiry* (= c'è qualcuno?) viene emesso quando l'indirizzo o il numero di identificazione di un dispositivo non è conosciuto; successivamente al riconoscimento seguirà un comando *page* (= ti vuoi connettere con me?) che servirà per risvegliare l'altra unità e stabilire così una connessione completa tra i dispositivi (Figura 4.11).

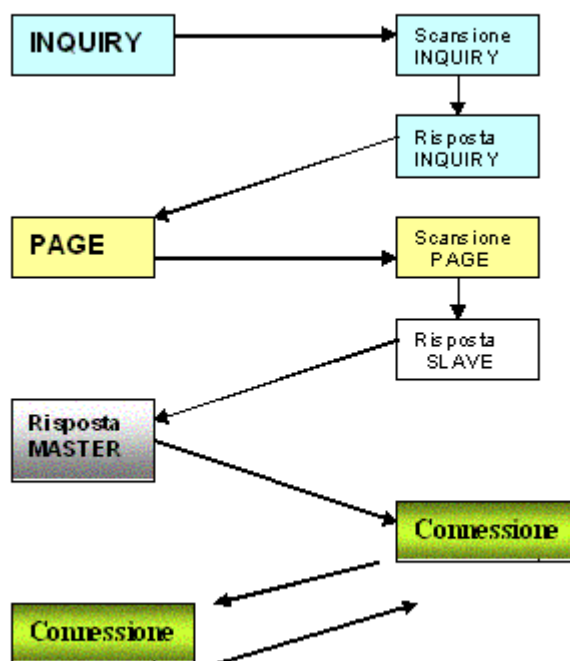


Figura 4.11 – Collegamento Bluetooth

I risultati di una scansione possono essere (Figura 4.12):

- *A (Active)*: la connessione è attiva, può avvenire la trasmissione o la ricezione dati e tutte le unità *slave* sono sincronizzate con il master;

- *H (Hold)*: si possono svolgere operazioni IS e PS con basso consumo energetico;
- *S (Sniff)*: fase di riduzione del carico di lavoro in modalità di ascolto della piconet con tasso di attesa programmabile;
- *P (Park)*: modalità di attesa in cui il dispositivo rimane sincronizzato alla piconet.

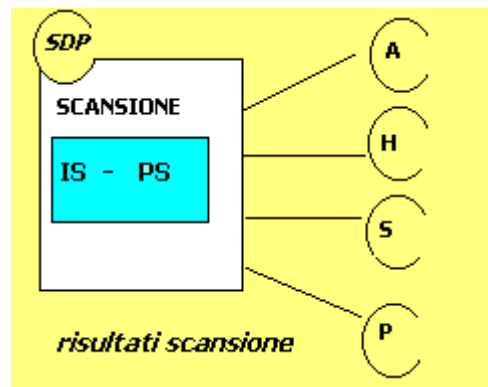


Figura 4.12 – Stati scansione Bluetooth

Come abbiamo visto la tecnologia Bluetooth opera nella gamma di frequenza dai 2,400 ai 2,483 Ghz, suddivisa in canali da 1 Mhz impiegando la tecnica *FHSS*<sup>12</sup> (*Frequency Hopping Spread Spectrum*).

Due o più unità che condividono la stessa sequenza di hopping (piconet) vengono ad assumere tale configurazione. Tutti i dispositivi di una piconet condividono lo stesso canale di passaggi di frequenza, determinato dagli *slave*, sincronizzandosi con l'unità master (Figura 4.13).

---

<sup>12</sup> FHSS : Tecnologia che consente a più utenti di condividere lo stesso insieme di frequenze cambiando automaticamente la frequenza di trasmissione. Viene utilizzata una trasmissione a salto di frequenza (frequency hopping) con portante che cambia 1600 volte al secondo su schema prefissato, assumendo di volta in volta uno dei 79 valori previsti (hop set). Nel Bluetooth viene impiegata una modulazione digitale *GSFK* (*Gaussian Frequency Shift Keying*).

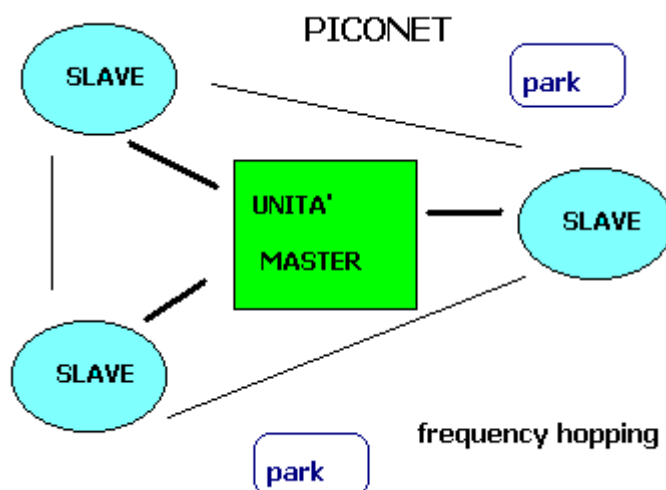


Figura 4.13 – Piconet

La comunicazione viene gestita dall'unità master tramite FHSS consentendo la sincronizzazione con le unità slave, fino ad un numero massimo di 7 dispositivi slave attivi; il master trasmette solo nei timeslot pari, mentre lo slave trasmette nei timeslot dispari al fine di evitare collisioni. Nella piconet oltre alle sette unità slave attive possono rimanere sincronizzate con l'unità master altre unità in una modalità di attesa (Park). In ogni piconet un terminale Bluetooth assume la funzione di master scegliendo la sequenza con cui cambiare la frequenza radio portante, mentre gli altri, adeguandosi, assumono il ruolo di slave interagendo tra loro secondo protocolli di scambio dati. Ciò si realizza in modo automatico senza la necessità di configurazioni particolari. Più piconet collegate tra loro dai relativi master formano una struttura più ampia chiamata *scatternet*. In una scatternet le comunicazioni tra le piconet sono filtrate dai master ed è possibile includere fino a 10 piconet con al loro interno un numero massimo di 79 dispositivi bluetooth, i quali utilizzeranno una propria frequenza diversa dai dispositivi di un'altra piconet.

## 4.5 Modalità di collegamento

La tecnologia Bluetooth consente due principali modalità di collegamento tra unità master e slave, l'*ACL (Asynchronous Connectionless)* e lo *SCO (Synchronous Connection Oriented)*. Il collegamento ACL permette la trasmissione dei dati (Td) con una modalità asincrona. La velocità di trasmissione dati nella modalità asimmetrica sarà 723 Kbps - 57,6 Kbps nell'altra direzione, nella modalità simmetrica, invece, sarà pari a circa 434 Kbps. Il collegamento SCO consente una trasmissione radio (Tr) e una trasmissione Voce (Tv). La velocità di trasmissione voce sincrona bidirezionale sfrutta una codifica voce CVSD (*Continuous Variable Slope Delta Modulation*), permettendo un bit rate di 64 Kbps (Figura 4.14).

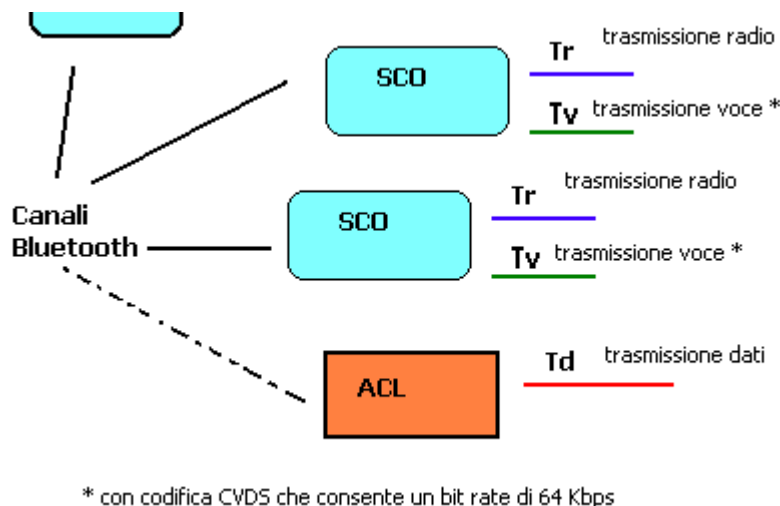
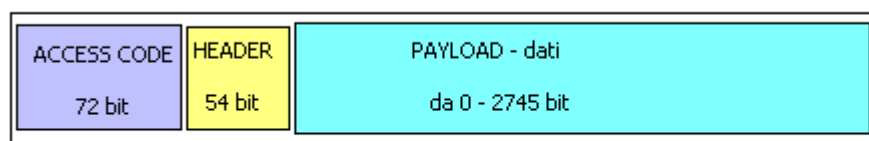


Figura 4.14 – Codifica CVSD

Ogni master riesce a gestire un massimo di tre connessioni SCO simultanee verso slave; gli ACL agiscono sui time slot liberi gestendo i dati generici. I dati di una piconet vengono trasmessi a pacchetti di 2745 bit e sono composti da un AC ( *Access Code* ), da un H ( *Header* ) e da un P ( *Payload* ), come visualizzato nella figura sottostante. Ogni pacchetto può estendersi fino a cinque time slots.



**Pacchetto dati di una Piconet**

*Figura 4.15 – Dati Piconet*

Ad un livello superiore ISO/OSI i dati vengono gestiti dal protocollo *L2CAP* (*Logical Link Control Adaption Protocol*) che regola la suddivisione dei file in pacchetti e del loro assemblaggio [BT1].

Le caratteristiche e capacità di una scheda Bluetooth (profili minimi o classi di servizi) alloggiata in un determinato dispositivo Bluetooth (cellulare, notebook, palmare, stampante,...) dipendono dal costruttore, quindi occorre accertarsi preventivamente della loro presenza; esse ad esempio sono:

- networking,
- positioning (GPS),
- information,
- audio,
- telephony,

La modalità di trasmissione e ricezione dati può cambiare in relazione alle esigenze di comunicazione delle varie unità Bluetooth, passando per esempio da una sola comunicazione voce a una sola comunicazione dati. Una rete wireless composta da più apparecchi formerà una piconet, a sua volta più piconet formeranno un network wireless chiamato scatternet, come già abbiamo visto. Due dispositivi Bluetooth vicini tra loro che svolgono un ruolo di master realizzano una scatternet su frequenze diverse, ogni master a sua volta gestisce gli slave della propria piconet (Figura 4.16). Abbiamo visto che il limite dei canali radio disponibili è di 79, quest'ultimo rappresenta il numero massimo di master attivi presenti in un'area.



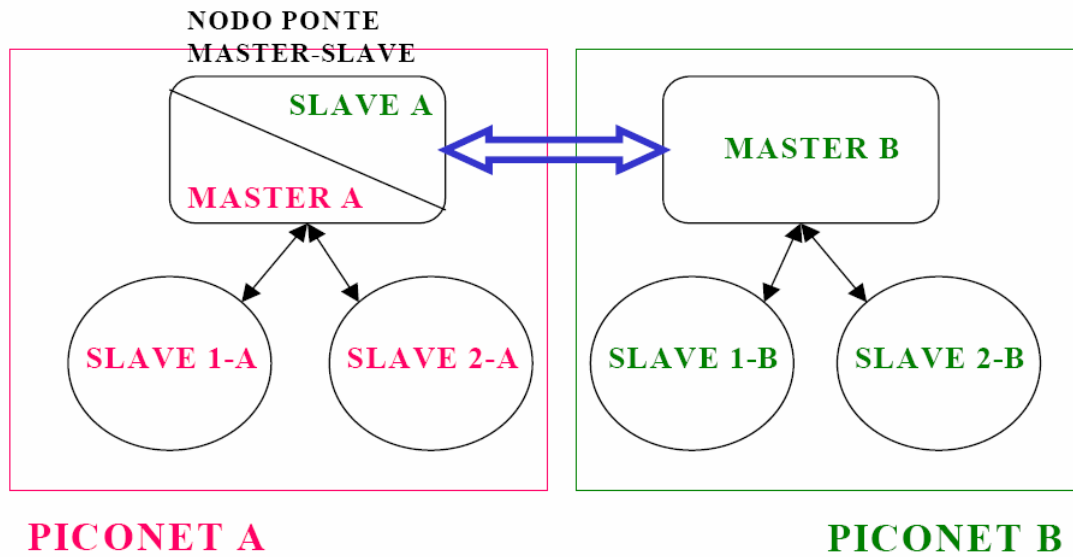


Figura 4.16 – Esempio di scatternet

## 4.6 Sicurezza

Per quanto riguarda la sicurezza delle connessioni in una piconet, è stato già anticipato che lo standard, già intrinsecamente abbastanza sicuro grazie alla trasmissione FHSS, prevede strategie e procedure utili per aumentare il livello di protezione. La trasmissione, infatti, su frequenze variabili in modo pseudocasuale, se effettivamente rende più difficile e laborioso intercettare una trasmissione di quanto non lo sia farlo nel caso di un sistema a portante fissa, può essere ritenuta inadeguata a garantire un livello di protezione soddisfacente per un certo particolare utilizzo. Tanto per fare un esempio, un modo relativamente semplice per intercettare una comunicazione siffatta senza conoscere la sequenza delle frequenze può essere quello di disporre ricevitori in parallelo sintonizzati ognuno su una delle 79 possibili frequenze di trasmissione. Lo standard Bluetooth prevede allora la possibilità di attuare l'autenticazione dei dispositivi e il criptaggio della trasmissione. L'autenticazione è ottenuta usando una chiave segreta condivisa fra due dispositivi, detta *link key*, e avviene secondo un meccanismo ad ingaggio e risposta (*challenge response*). In questo meccanismo distinguiamo un dispositivo che chiede di essere autenticato, il richiedente, ed un altro, il verificatore, che ha il compito di decidere se sussistono o meno le

condizioni per accordare l'autenticazione. Il dispositivo verificatore manda al richiedente una parola da 128 bit detta *challenge*, ingaggio. Il richiedente, allora, applica un particolare algoritmo alla parola di *challenge*, al proprio indirizzo Bluetooth e alla link key. I 32 bit più significativi del risultato di questo calcolo vengono spediti indietro al verificatore, che conferma o meno la risposta. In caso di conferma l'autenticazione ha successo, e la procedura viene ripetuta a ruoli invertiti, permettendo l'autenticazione reciproca. La link key viene stabilita durante una particolare sessione di comunicazione chiamata *pairing* (o *binding*), che può richiedere l'inserimento di un *PIN* (*Personal Identification Number*) da parte dell'utente (in pratica gli utenti condividono una password). Si dice allora che i due dispositivi sono accoppiati (*paired*) quando si sono preventivamente connessi per negoziare una link key che ora, quindi, condividono.

Essendo la sicurezza del collegamento basata essenzialmente sulla segretezza delle chiavi, eventuali malintenzionati tenteranno di entrare in possesso della link key o almeno di una sua parte. Il momento più logico per cercare di carpire la link key o almeno parte di essa è durante il *pairing*, durante il quale viene inserito il PIN ed i dispositivi creano la link key comune. Se l'intercettatore riesce a rubare il PIN avrà la vita molto più facile nella ricostruzione della link key. Per questo è una buona norma di sicurezza eseguire questa procedura quanto più possibile in privato, ovvero fuori dalla portata d'ascolto (e dallo sguardo) di eventuali malintenzionati, che corrisponde alla portata del sistema, ovvero circa 100 metri (in aria e senza ostacoli).

## 4.7 Tipologie di collegamento

Una piccola rete Bluetooth può supportare un collegamento punto a punto (*point to point*) e multi-punto (*multipoint*).

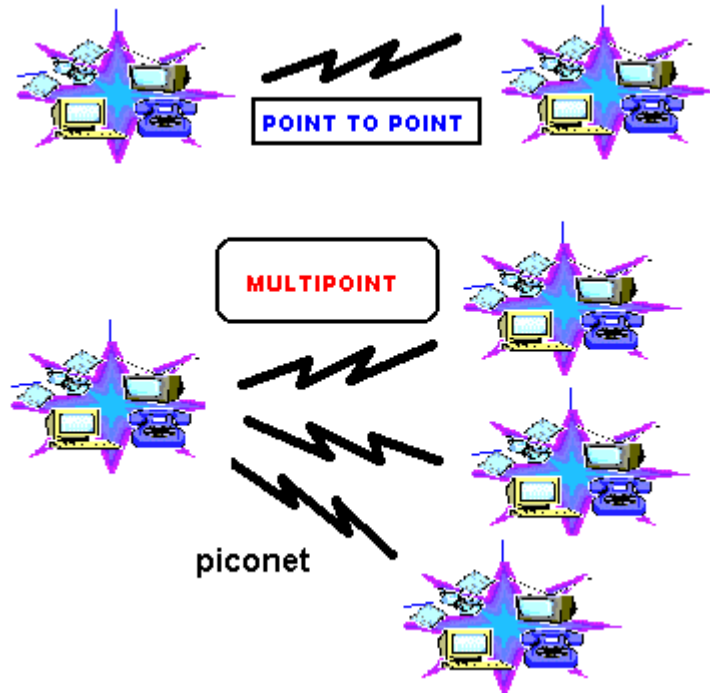


Figura 4.16 – Topologie di collegamento Bluetooth

Ogni unità contiene all'interno più componenti:

- l'unità radio;
- l'unità di controllo di collegamento (link unit);
- l'unità di gestione e di interfaccia del collegamento.

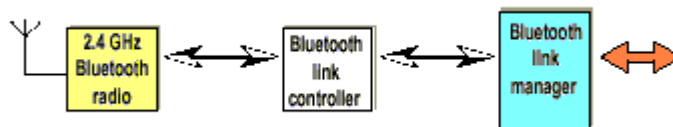
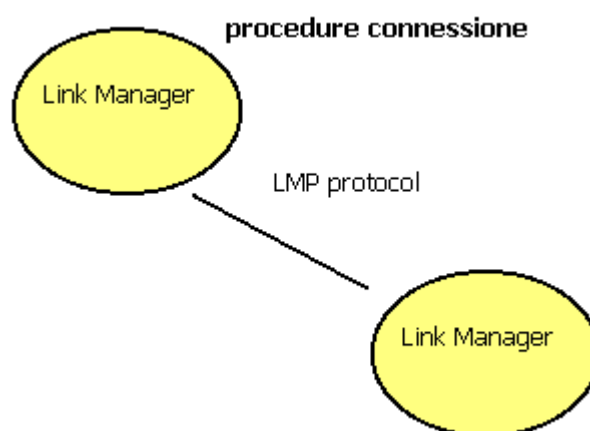


Figura 4.17 – Componenti Bluetooth

Le connessioni tra dispositivi bluetooth vengono controllate dal *Link Manager* (LM, componente software che gestisce le impostazioni, l'autenticazione, le configurazioni, ecc.) e dal *Link Controller* (LC, componente hardware che gestisce l'invio/ricezione dei dati, le impostazioni dei dati, ecc.). Il Link Manager sorveglia il collegamento tra i diversi dispositivi Bluetooth e verifica le procedure di autenticazione e configurazione del collegamento, attraverso il contatto con un altro Link Manager (Figura 4.18).



*Figura 4.18 – Procedure di connessione*

Lo scambio delle informazioni di servizio avviene tramite il protocollo *LMP* (*Link Manager Protocol*). Le informazioni dell'*LMP* possono essere di trasmissione e ricezione dati, di autenticazione, di scansione (*page scan*, *inquiry scan*, *park hold sniff*), di identificazione, di collegamento, di determinazione del canale comunicativo, di verifica della compressione dei dati scambiati. Lo *LMP* controlla inoltre le modalità di potenza e i valori di *duty cycle parte* Radio bluetooth. I messaggi inviati vengono chiamati *PDU* (*Protocol Data Units*) e si articolano in 55 tipologie. Un ulteriore livello di controllo superiore è l'*L2CAP* che agisce una volta stabilita la connessione tra dispositivi tramite lo *LMP*, gestendo la segmentazione/ricompilazione pacchetti dati (di 64 Kb max), il multiplexing e le informazioni per il QoS.

<b>LMP</b> ( Link Manager Protocol )
<b>L2CAP</b> (Logical Link Control and Adaptation Protocol )
<b>SDP</b> ( Service Discovery Protocol )
<b>RFCOMM</b> ( protocollo sostituzione cavo, <i>emula segnali RS-232</i> )
<b>TCS-BIN</b> ( Telephony Control Specification-Binary
<b>Baseband</b> ( connessione fisica RF, sincronizzazione frequenze )
<b>AT-Commands</b> ( Audio/Telephony Commands)
<b>PPP</b> ( Point to Point Protocol )

<b>TCP / IP / UDP</b> ( Transport Control Protocol / Internet Protocol / Datagram Protocol )
<b>IrMC</b> ( Infrared Mobile Communication )
<b>WAP</b> ( Wireless Application Protocol )
<b>OBEX</b> ( Object Exchange Protocol )
<b>WAE</b> ( Wireless Application Environment )

*Tabella 4.1 – Protocolli Bluetooth*

Gli sviluppi del Bluetooth seguono le specifiche della versione Bluetooth 2.0 che consente un incremento di velocità di trasmissione fino a 10Mbps, un raggio d'azione fino a 100 metri, supporto simultaneo per slave a bassa e alta velocità, bassi costi, conformità con versione Bluetooth 1.0.

## 4.7 Architettura Bluetooth

Per garantire l'interoperabilità fra dispositivi costruiti da fabbricanti diversi, la specifica non definisce solamente i requisiti del sistema radio, ma anche il protocollo di comunicazione, descritto nel primo volume della specifica Bluetooth. Esso è organizzato secondo una struttura stratificata, in cui ogni strato, o layer, interagendo con i layer adiacenti usa i servizi dei layer gerarchicamente inferiori offrendone a sua volta a quelli superiori. In una comunicazione fra dispositivi Bluetooth ogni layer comunica col suo omologo presente su un altro dispositivo mediante il relativo protocollo, definito dalla specifica. Sono quindi presenti tante connessioni logiche quanti sono i layer utilizzati. La Figura 4.20 rappresenta graficamente la struttura a strati dello stack di protocollo Bluetooth.

## Protocol stack

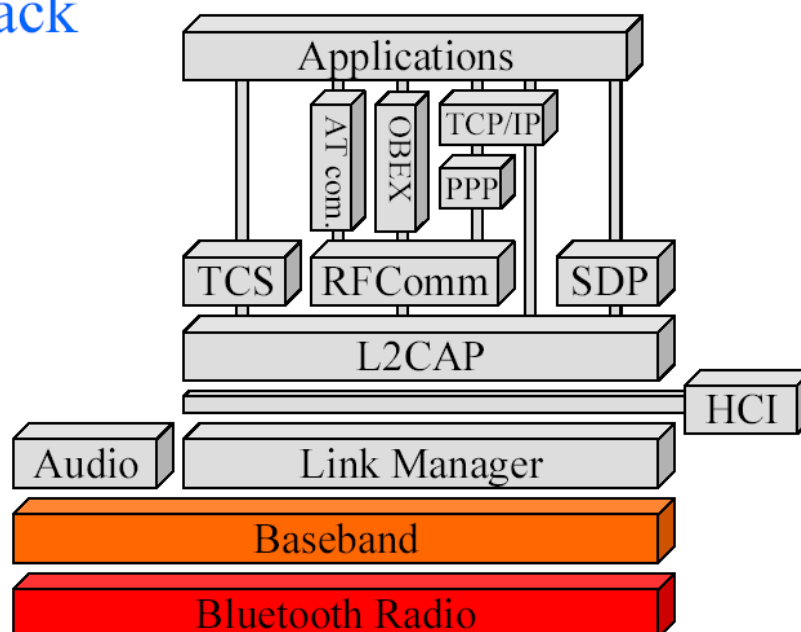


Figura 4.20 – Lo stack di protocollo Bluetooth

Alcuni layer sono già stati introdotti e descritti nei paragrafi precedenti, di seguito vengono descritte le principali funzioni degli altri layer [BT1].

### 4.8.1 Host Controller Interface

L'*Host Controller Interface (HCI)* non è un layer vero e proprio poiché non eroga servizi per i layer superiori, né comunica col suo omologo presente su un altro dispositivo, ma serve piuttosto a fornire una interfaccia di comandi per il controller di banda base e per il Link Manager, e accesso allo stato dell'hardware e ai registri di controllo. Se tutta l'applicazione risiede all'interno del core Bluetooth, l'HCI viene visto come un solo layer. Nel caso in cui l'applicazione viene spezzata tra il core Bluetooth e un processore esterno (architettura a due processori), questa interfaccia è composta di due layer propriamente detti, chiamati HCI-top e HCI-bottom, come è illustrato in Figura 4.21, residenti rispettivamente sull'host e sull'host controller; questi due layer forniscono un metodo uniforme di accesso alle potenzialità di banda base del Bluetooth.

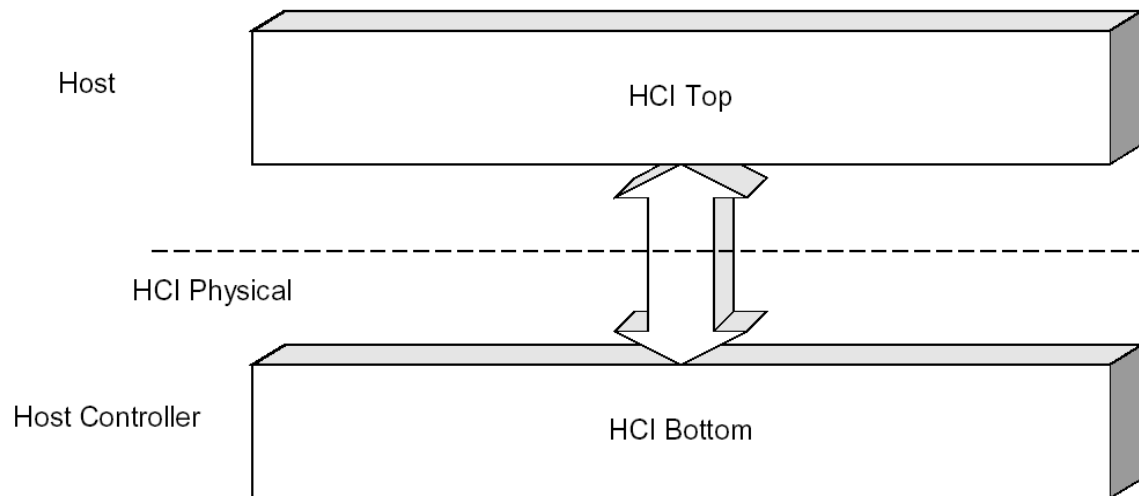


Figura 4.21 – Interfaccia HCI

### 4.8.2 Telephony Control Binary

Il *Telephony Control Binary (TCS-Binary)*, è un protocollo di tipo bit-oriented, che fornisce funzionalità per il supporto di telefonia cordless attraverso l'interfaccia aerea Bluetooth. Questo layer definisce la segnalazione per il controllo della chiamata quando si vogliono stabilire o cancellare delle chiamate voce o dati tra dispositivi Bluetooth, ed alcuni servizi supplementari, come la presentazione del numero chiamante (*CLIP*). TCS-Binary fornisce anche un meccanismo per inviare segnali *Dual-Tone Multi-Frequency (DTMF)* attraverso l'interfaccia RF.

### 4.8.3 RFCOMM

Il layer RFCOMM permette di emulare porte seriali attraverso il layer L2CAP, con i relativi segnali (cambiamenti di stato dell'interfaccia), secondo lo standard ETSI 07.10. Per esempio, RFCOMM può emulare una porta con lo standard RS 232, trasmettendo anche i segnali RTS e CTS.

### 4.8.5 OBEX

Il protocollo *OBEX (Object Exchange Protocol)*, definito da Irda e adottato da Bluetooth, permette di gestire lo scambio di oggetti di dati come biglietti da visita, calendari sincronizzati, file.

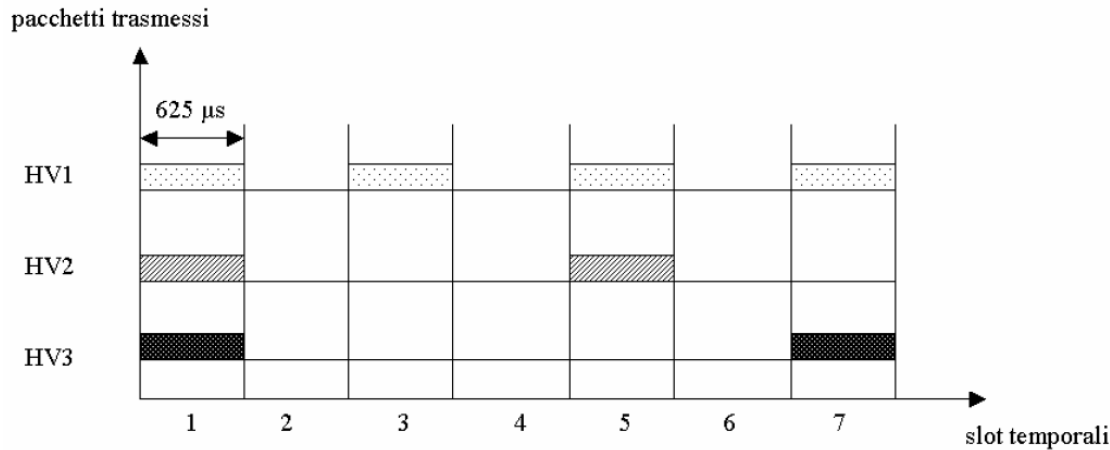
## 4.9 L'audio nel Bluetooth

Si presenterà ora qualche dettaglio su come viene trattato l'audio nei sistemi Bluetooth. I segnali audio viaggiano su canali privilegiati, detti SCO, che implementano dei link punto-punto simmetrici fra il master ed uno slave specifico. L'attributo "privilegiati" si riferisce al fatto che i pacchetti dei link SCO vengono trasmessi in aria su slot riservati, ad intervalli regolari detti  $T_{SCO}$ , misurati in slot, a differenza degli altri canali, gli ACL, che vengono trasmessi su slot non riservati. La ragione di ciò è la necessità di mantenere la coerenza temporale dell'audio. Ricordiamo che la durata nominale di uno slot è pari a 625  $\mu$ s.

I pacchetti SCO non vengono mai ritrasmessi, dato che essi trasportano audio. Per quanto riguarda la trasmissione in aria si può scegliere fra tre tipi di pacchetti SCO, cioè fra HV1, HV2, HV3 (Figura 4.22), che rappresentano ognuno un compromesso fra banda occupata e tolleranza agli errori di trasmissione. La lunghezza del campo contenente i dati utili (payload) è fissata per tutti e tre i tipi di pacchetto a 240 bit, ma la quantità di informazione trasmessa per pacchetto è diversa. Infatti i byte trasmessi nei pacchetti HV1 sono protetti con un FEC rate di 1/3 (ogni singolo bit, cioè, viene trasmesso tre volte di fila), quelli HV2 hanno un FEC di 2/3, mentre invece non ci sono bit ridondanti nei pacchetti HV3. In questa maniera si ha che i pacchetti portano rispettivamente 10, 20 e 30 byte di informazione. I pacchetti HV1 vengono spediti ogni due slot temporali ( $T_{SCO}=2$ ) gli HV2 ogni quattro e gli HV3 ogni sei. In questa maniera il data-rate medio è costante e pari a 64 Kbps che, con campioni profondi 8 bit, equivale ad aver audio ad 8 Kbps, ovvero, secondo il teorema di Nyquist, limitato a 4 KHz, di qualità analogica, quindi, a quella telefonica. Per i limiti di banda imposti dallo standard, in una piconet possono esistere contemporaneamente ed in maniera esclusiva, al massimo un collegamento SCO con pacchetti HV1, due collegamenti SCO con



pacchetti HV2 o tre collegamenti SCO con pacchetti HV3.



*Figura 4.22 – Trasmissione pacchetti audio*

## 4.10 Profili Bluetooth

Per facilitare l'utilizzo dei dispositivi Bluetooth sono stati definiti una serie di profili, i quali sono stati sviluppati per descrivere come un user model deve essere realizzato; quest'ultimo infatti fornisce la descrizione delle varie applicazioni che utilizzano le trasmissioni radio Bluetooth.

Un profile può essere definito come un'immagine verticale attraverso lo stack dei protocolli Bluetooth; esso determina per ognuno di essi le varie opzioni, i parametri e il range di valori che può assumere.

Lo scopo fondamentale del profile è quello di diminuire il rischio di problemi di interoperabilità tra diversi dispositivi costruiti da differenti case produttive.

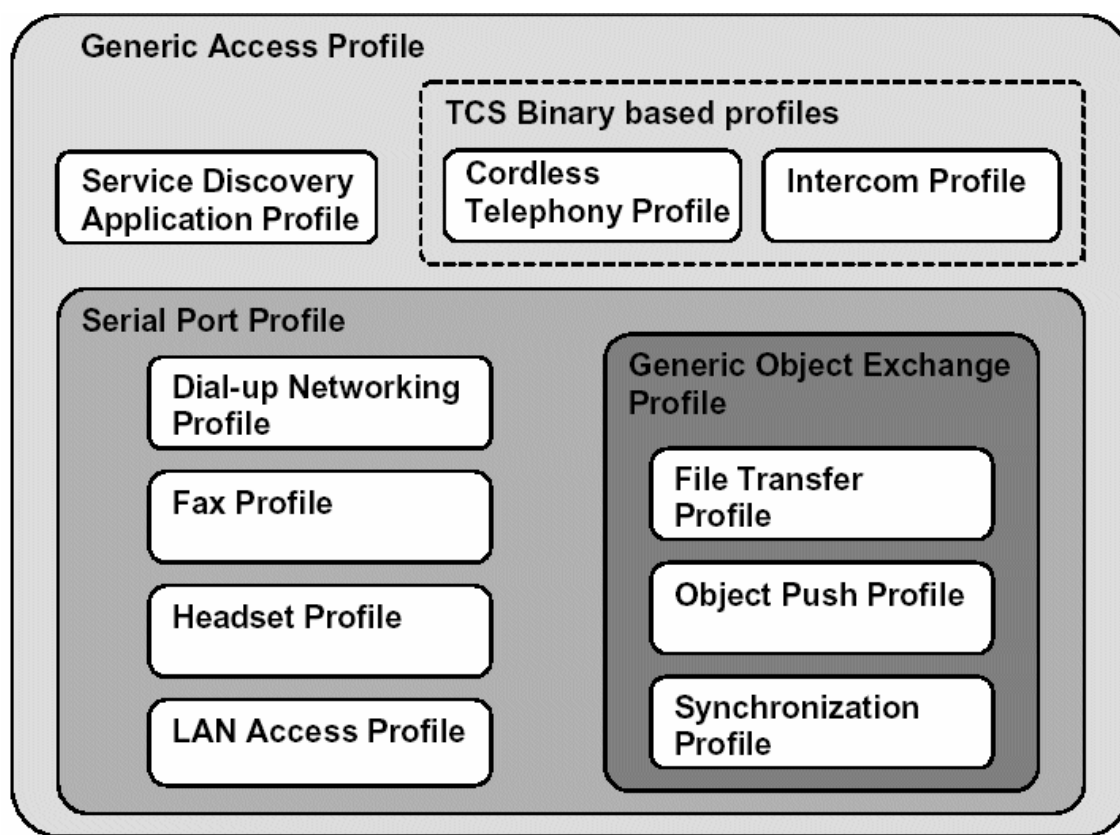


Figura 4.21 – Profili Bluetooth

La struttura dei profili Bluetooth è realizzata in modo che alcuni profile condividano le impostazioni e le caratteristiche di altri, infatti un profile che utilizza implicitamente o esplicitamente una parte di un altro profile è dipendente da quest'ultimo, come visualizzato nella figura sopra. Per esempio l'Object Push è dipendente dal Generic Object Exchange, dal Serial Port e dal Generic Access [PAL].

Sotto sono elencati i profili Bluetooth inizialmente definiti :

- *Generic Access Profile (GAP);*
- *Service Discovery Application Profile (SDAP);*
- *Cordless Telephony Profile (CTP);*
- *Intercom Profile (IP);*
- *Serial Port Profile (SPP);*
- *Headset Profile (HSP);*
- *Dial-up Networking Profile (DUNP);*

- *Fax Profile*;
- *LAN Access Profile (LAP)*;
- *Generic Object Exchange Profile (GOEP)*;
- *Object Push Profile (OPP)*;
- *File Transfer Profile (FTP)*;
- *Synchronisation Profile (SP)*.

Questi profili sono utilizzati per sincronizzare i *Personal Information Manager (PIM)*; originariamente erano previsti per le reti a infrarossi IrDA ma in seguito il Bluetooth SIG ha deciso di includerli nelle sue specifiche per facilitare la sincronizzazione tra i vari dispositivi dell'utente (vengono usualmente definiti *IrMC Synchronization*). Recentemente sono stati introdotti nuovi profili e l'elenco è in continua espansione [BT2]:

- *Hands-Free Profile (HFP)*;
- *Human Interface Device Profile (HID)*;
- *Hard Copy Replacement Profile (HCRP)* ;
- *Basic Imaging Profile (BIP)*;
- *Personal Area Networking Profile (PAN)*;
- *Basic Printing Profile (BPP)*;
- *Advanced Audio Distribution Profile (A2DP)*;
- *Audio Video Remote Control Profile (AVRCP)*;
- *SIM Access Profile (SAP)*.

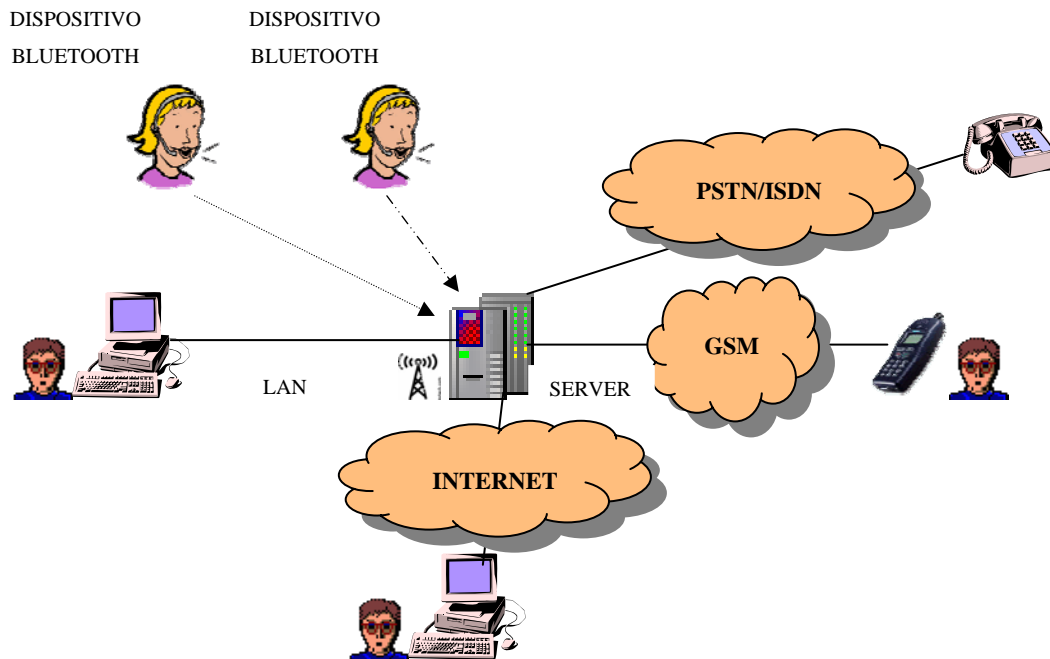
## **Capitolo cinque**

# **PROGETTO LOGICO**

In questo capitolo si introduce la struttura complessiva che si intende realizzare e si descrivono le reali implementazioni di questa tesi. Nel primo paragrafo si tratta l'integrazione dell'intero progetto nel contesto più generale possibile. Nel secondo paragrafo si passa alla descrizione della comunicazione LAN – GSM. Nel terzo paragrafo si illustra il modello strutturale effettivamente realizzato.

### **5.1 Architettura globale**

Lo scopo di questo progetto è quello di integrare in una LAN un insieme di servizi di comunicazione vocale che permettano ad un dispositivo Bluetooth di tale rete di collegarsi indistintamente ad un utente telefonico su PSTN o ISDN, a un computer remoto su Internet o a un telefono cellulare GSM, come se si trattasse di un endpoint appartenente alla rete. Una raffigurazione di tale struttura è presentata in figura 5.1.



*Figura 5.1 – Integrazione strutturale*

Come è stato introdotto in precedenza, si possono realizzare tre differenti tipologie di connessione:

- una PC to PC che utilizza Internet come mezzo per il trasporto della voce;
- una PC to phone che utilizza la rete PSTN o ISDN come mezzo per il trasporto della voce;
- una dispositivo Bluetooth to GSM che utilizza la rete cellulare come mezzo per il trasporto della voce.

In particolare le prime due tipologie di connessione rientrano negli obiettivi di H323. L'integrazione con la terza tipologia di connessione rappresenta invece l'elemento innovativo della presente tesi. Si vuole quindi implementare una struttura che permetta ad un generico dispositivo Bluetooth appartenente a una LAN di utilizzare in un qualsiasi istante uno dei tre servizi sopra elencati, come se si dovesse accedere ad un dispositivo condiviso sulla rete.

Da questa breve introduzione, si può capire che uno degli scopi di questo sistema è la realizzazione di un vero e proprio centralino telefonico per comunicazioni vocali di una LAN e apparecchi telefonici appartenenti a reti di diverse tipologie, in modo da poter fornire un servizio integrato che indirizzi la comunicazione vocale nella rete richiesta dall'utente.

L'integrazione con la rete GSM, risponde in particolare ad esigenze di tipo economico. Infatti ogni operatore della rete GSM offre specifiche tariffe agevolate tra utenti mobili della sua rete; concentrando in un punto di uscita le chiamate verso la rete mobile è possibile sottoscrivere più abbonamenti e scegliere in ogni momento quello più conveniente. Per evitare problemi di interruzione del servizio si possono considerare anche soluzioni ridondanti basate sulla architettura presentata.

Per la gestione delle richieste e per l'assegnazione del servizio è stato inserito un server che si interpone tra la LAN e le tre diverse tipologie di rete. Ad esso spettano compiti fondamentali, per esempio la gestione di tutti i flussi di dati in entrata e uscita dell'intero sistema, la gestione degli utenti, la garanzia di compatibilità tra le diverse reti presenti e altri ancora che verranno analizzati in questo capitolo.

Come spiegato precedentemente, si possono distinguere le reti PSTN o ISDN e GSM da quella Internet per la diversa politica di trasmissione adottata: infatti, mentre le prime sono reti circuit-switched, la seconda è una rete packet-switched. Questo è un aspetto molto importante per l'integrazione del sistema, poiché esiste un'importante differenza di interoperabilità tra la comunicazione di una LAN con Internet e la comunicazione di una LAN con una rete PSTN o ISDN o GSM.

Questa specifica individua un fondamentale aspetto del server che, oltre a gestire i vari client della rete, si deve anche preoccupare di far interoperare reti di differenti tipologie. Un server che fornisca anche tale servizio viene definito gateway, come si è visto nel capitolo 1.

Analizzando i vantaggi e gli svantaggi delle diverse reti, si nota che Internet adotta già un protocollo che permette la condivisione della linea da parte di più utenti, in modo da soddisfare con una sola linea le comunicazioni vocali tra diversi PC, mentre, sia le reti PSTN e ISDN che quella GSM non si servono di tale politica e assegnano una diversa linea ad ogni comunicazione in corso.

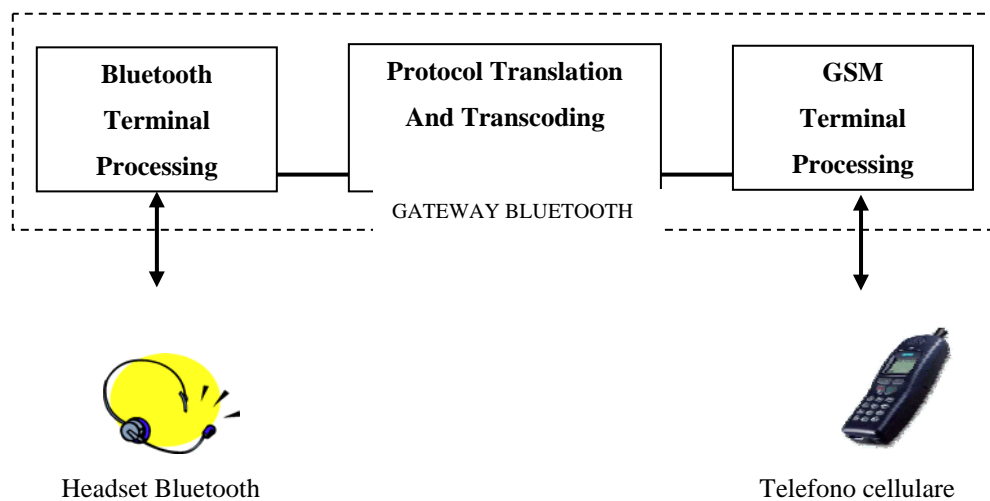
Per questo motivo è utile fornire questa struttura di diverse linee di uscita per tutte e tre le tipologie di rete, in modo da non restringere il servizio ad un solo utente alla volta, ma a più utenti contemporaneamente, cioè in modo da fornire un servizio multi-utente.

In particolar modo questo progetto si occupa proprio dell'implementazione di tali aspetti, cioè di quelli legati alle reti a commutazione di circuito e alla compatibilità di queste ultime con quelle a commutazione di pacchetto.

Lo strumento che si è adottato per questa realizzazione è lo standard Bluetooth, che offre tutte le componenti per l'implementazione di questa architettura. Il motivo di tale scelta deriva dal fatto che il Bluetooth racchiude al suo interno caratteristiche di estrema versatilità che permettono a diversi dispositivi di ottenere un collegamento senza fili con tutte e tre le tipologie di rete considerate. L'adozione di esso, quindi, consente di risolvere tutti i problemi di interoperabilità che derivano dalla comunicazione tra reti con caratteristiche differenti e di fornire maggiore mobilità grazie allo standard wireless.

A questo punto, una volta scelto il mezzo con cui integrare la struttura, si può passare direttamente alla realizzazione del gateway Bluetooth che, oltre alle funzioni classiche di server, fornisce i servizi di interoperabilità tra le reti in esame.

Un esempio pratico delle funzioni di un gateway Bluetooth, che implementa un servizio come quello descritto sopra, per una rete GSM, è rappresentato in figura 5.2



*Figura 5.2 – Funzioni di un gateway audio Bluetooth - GSM*

Come si può vedere il gateway implementa tre principali moduli:

- il modulo per la gestione dei terminali Bluetooth (PC o apparecchi stand-alone);
- il modulo con i protocolli per l'interoperabilità del sistema (traduzione, codifica, ...);
- il modulo per la gestione dei terminali PSTN o GSM.

Da questa analisi generale del sistema, si può notare la complessità della struttura descritta: a causa di essa si è reso necessario prenderne in esame una sezione specifica, cioè la comunicazione vocale tra PC e rete GSM; realizzazioni di questa integrazione per reti PSTN e ISDN, nonché per Internet, sono già state infatti implementate da diverse aziende del settore delle comunicazioni.

## 5.2 Integrazione LAN - GSM

Fornendo dunque la comunicazione vocale tra un PC della LAN e un abbonato GSM, come si vede in figura 5.3, si andrebbe a completare l'integrazione dell'architettura globale introdotta inizialmente.

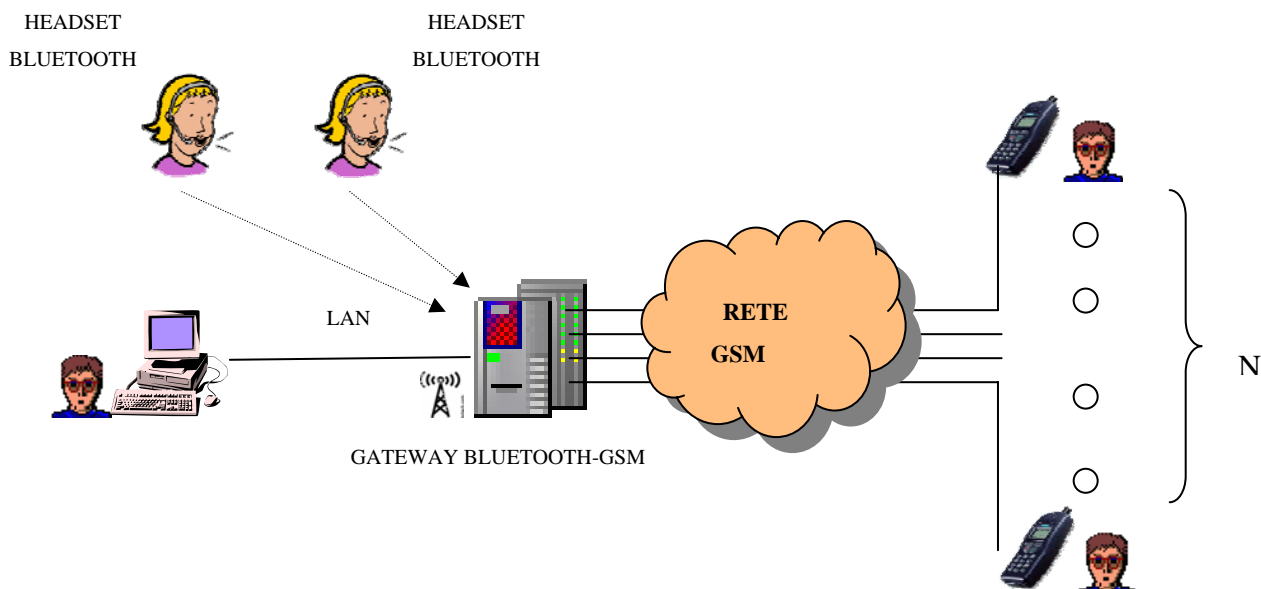


Figura 5.3 – Comunicazione Headset Bluetooth - GSM



L'architettura che si intende quindi prendere in considerazione è composta dalla rete LAN, dal gateway Bluetooth e da un insieme di  $N$  linee GSM, che si collegano alla rete cellulare. Naturalmente sono compresi anche i terminal integrati sui PC che hanno il compito di instaurare la comunicazione con il gateway secondo il protocollo Bluetooth.

Data la disponibilità di  $N$  linee GSM è opportuno soffermarsi su come realizzare il gateway Bluetooth. Tale componente implementerà il centralino per le comunicazioni vocali ed avrà il compito di assegnare ai vari dispositivi che lo richiedono il servizio di comunicazione vocale con l'apparato GSM.

In primo luogo si deve decidere come realizzare la procedura del gateway che fornisce la compatibilità tra la LAN (IP) e la rete cellulare GSM, cioè come permettere al segnale vocale generato dal terminale Bluetooth e arrivato al gateway di giungere all'abbonato GSM. Per questo scopo si è deciso di utilizzare il cellular engine M20 Terminal (descritto nel capitolo 2), che ha la capacità di effettuare comunicazioni vocali con un GSM e che utilizza una SIM card per connettersi alla rete cellulare. I particolari implementativi di questa parte verranno trattati nel paragrafo successivo.

Analizzando l'aspetto complessivo dell'integrazione, si nota come questo sistema risulti essere un vero e proprio centralino GSM per gli utenti di una LAN, che in un caso reale potrebbe essere una LAN aziendale. Una volta implementata la struttura ci si deve preoccupare anche di aspetti gestionali legati al servizio offerto; qui di seguito ne vengono analizzati alcuni.

I principali vantaggi di possedere nel nostro apparato  $n > 1$  linee telefoniche GSM sono diversi, ma due risultano essere i più importanti: il primo, come è facile prevedere, è la capacità di poter fornire un massimo di  $n$  comunicazioni contemporanee tra  $n$  utenti e  $n$  abbonati GSM, rendendo così la probabilità di disporre del servizio molto più elevata rispetto a quella offerta dalla disponibilità di una singola linea. Il secondo beneficio è quello di poter caratterizzare ogni linea del nostro centralino con operatori e profili tariffari diversi, in modo da garantire ad un generico utente l'utilizzo della linea più economica rispetto al tipo di chiamata che intende effettuare. Per questa procedura è necessario realizzare un software che determini il profilo tariffario migliore per una chiamata utilizzando parametri specifici. Entrambi questi aspetti offrono quindi un

servizio molto importante per chi intenda integrare nella propria LAN il sistema descritto.

Ovviamente, per avere una sensibile diminuzione dei costi telefonici è necessario che il traffico verso la telefonia cellulare GSM sia mediamente elevato. Infatti, grazie a questa integrazione, non solo si permette ad un qualsiasi PC della LAN aziendale di poter effettuare una comunicazione vocale verso i GSM e si assegna la linea più conveniente per una chiamata, ma si fornisce anche la condivisione del servizio, evitando che ogni PC della rete debba essere dotato dell'apparato GSM necessario.

### **5.2.1 Aspetti gestionali**

Dopo aver analizzato le caratteristiche di questa struttura e dopo aver evidenziato le funzioni principali che il nostro gateway GSM fornisce, si passa alla descrizione degli aspetti gestionali che quest'ultimo deve essere in grado di assicurare, come le funzioni di autenticazione, autorizzazione, accounting e billing. La presenza di queste procedure non è obbligatoria né determinante, ma esse sono comunque importanti per consentire una completa e accurata gestione del sistema, poiché permettono di tenere sotto controllo l'utilizzo del servizio da parte degli utenti.

In un sistema di telefonia IP come è questo, è necessaria la presenza di un database in cui siano registrati tutti gli utenti che possono accedere al servizio; la funzione di autenticazione ha lo scopo di verificare se l'utente che sta accedendo al servizio possiede le necessarie autorizzazioni per poterlo fare. In genere, l'autorizzazione preclude o meno la possibilità di effettuare chiamate verso il numero GSM; sta allo sviluppatore, poi, estendere le politiche di autorizzazione e il modo con cui queste vengono applicate.

L'accounting ha lo scopo di registrare tutti i dettagli delle chiamate effettuate che vengono utilizzati anche per realizzare politiche di tariffazione delle chiamate. Il criterio di tariffazione può essere scelto in base a moltissimi fattori, dato che le informazioni registrate possono essere molte e comprendere:

- data e ora della chiamata;
- durata della chiamata;

- identificativo del chiamante e del chiamato;
- linea utilizzata (operatore e profilo tariffario).

Il billing è una funzione implementabile grazie alle informazioni che si possono ricavare dal database del sistema. Ciò significa che per ogni utente che utilizza il servizio si deve riuscire a risalire al numero di chiamate effettuate e al costo che ognuna di esse ha comportato, in modo da tenere un vero e proprio registro dei costi delle chiamate dell'utente in questione.

### **5.2.2 Aspetti progettuali**

Si è deciso di realizzare questa architettura in modo che risulti per la maggior parte Open Source e che sia composta da elementi il più standard possibile, in modo da poter essere integrata a qualsiasi tipo di LAN con costi molto contenuti.

Per questo motivo, si è stabilito di implementare la struttura del gateway Bluetooth per reti GSM su piattaforma Linux, che fornisce il sistema operativo e il software necessario per la gestione del protocollo Bluetooth in maniera totalmente Open Source.

Il modulo utilizzato per accedere alla rete Bluetooth è composto da un adattatore USB Bluetooth, il quale è reperibile sul mercato, in una grande varietà di prodotti e con costi abbastanza contenuti dell'ordine di qualche decina di euro. Va precisato che utilizzando un adattatore USB è possibile aumentare facilmente il numero di connessioni Bluetooth gestibili contemporaneamente, sfruttando le ulteriori porte USB disponibili nella piattaforma in dotazione. Inoltre, aspetto non meno importante del precedente, è quello di poter emulare diverse tipologie di servizi Bluetooth con un unico dispositivo senza essere obbligati a cambiare hardware nel momento in cui si decida di fornire un ulteriore servizio.

Il dispositivo Bluetooth scelto per accedere ai servizi vocali introdotti in questa tesi è un auricolare Bluetooth, accessorio legato alla telefonia cellulare ed in continua diffusione, soprattutto grazie alla dotazione di interfacce Bluetooth in numerosi recenti modelli di cellulari. Questo dispositivo permette di ottenere un buon servizio vocale

svincolandosi da una connessione wired come per esempio avviene con un client H323, ma ottenendo tutti i vantaggi della mobilità che la rete wireless può offrire.

Il modulo utilizzato per accedere alla rete GSM è il cellular engine M20 Terminal, il quale ci è stato gratuitamente prestato dalla Siemens per lo sviluppo di nuove sperimentazioni. Questo però rappresenta un vincolo hardware all'implementazione dell'interoperabilità del gateway tra le due reti in esame. Si è quindi costruito un cavetto per la connessione della scheda sonora del PC e l'interfaccia audio dell'M20.

Questa soluzione ci permette di relegare a questo collegamento tutte le problematiche relative al trattamento del segnale vocale (campionamento, compressione, ...) e quelle relative alla compatibilità delle due reti in esame.

L'introduzione di questo cavetto nella realizzazione vincola un po' la tipologia del sistema che si era fino a questo momento ottenuto; infatti, come avevamo prima sottolineato, si voleva realizzare un'architettura con elementi standard che potessero essere realizzati facilmente senza dover implementare componenti dedicati.

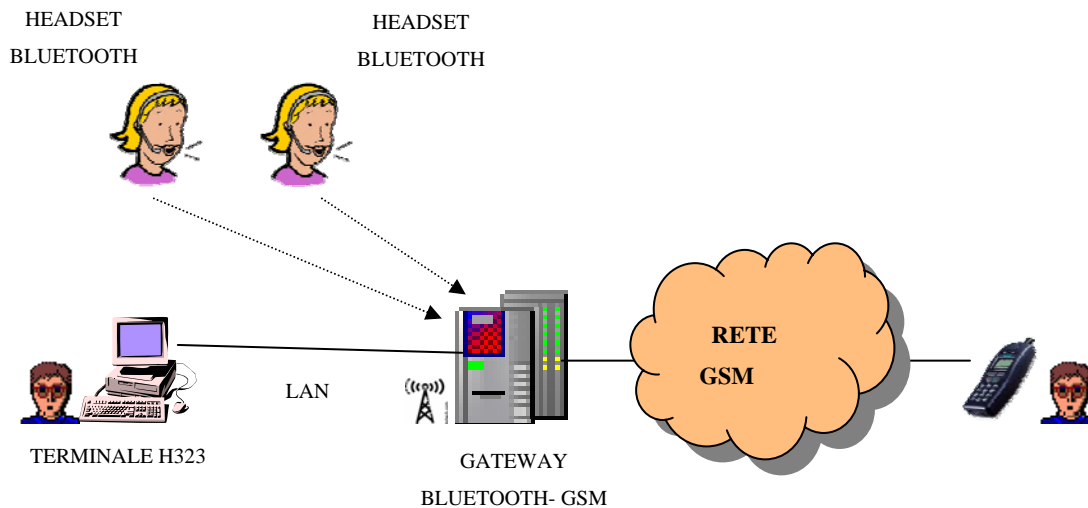
Come vedremo successivamente nel modello realizzativo, il cavetto utilizzato non è reperibile sul mercato ma è stato costruito appositamente per questo tipo di applicazione.

Ovviamente l'adozione di recenti cellular engine in formato compact flash, per la connessione alla rete GSM/GPRS, risolverebbe alcuni inconvenienti introdotti sopra, in particolar modo quelli legati all'utilizzo degli elementi non standard, come il cavetto per la connessione tra il gateway e il cellular engine e il dispositivo esterno M20 Terminal, poco versatile ed ingombrante se paragonato alle dimensioni delle compact flash.

### **5.3 Modello logico**

Il progetto illustrato nei paragrafi precedenti comprende numerose componenti e prevede una struttura architettuale molto complessa e articolata. Rispetto alle specifiche illustrate l'obiettivo di questa tesi è stato ricondotto alla realizzazione della parte dell'architettura complessiva illustrata in figura 5.4.

Questa architettura consente la comunicazione tra un generico auricolare Bluetooth della LAN e un'unica linea GSM del sistema.



*Figura 5.4 – Comunicazione PC - GSM*

Questa implementazione rappresenta il servizio base per la connessione della LAN al sistema GSM e risulta essere la componente più innovativa del sistema di integrazione.

In particolare il sistema realizzato supporta le seguenti funzionalità: terminale Bluetooth e gateway audio Bluetooth - GSM.

### 5.3.1 Terminale audio Bluetooth

Il terminale audio Bluetooth rappresenta il punto di contatto tra l'utente e la rete Bluetooth ed utilizza tale tecnologia come mezzo di comunicazione vocale. Il tipo di terminale che serve per la nostra struttura è un headset (auricolare) Bluetooth, che essendo dotato di microfono e speaker ha il compito di registrare il segnale audio analogico generato dall'utente, impacchettarlo (trasformare i dati sotto forma di pacchetti) e spedirlo al gateway audio tramite la rete Bluetooth. Con il termine impacchettare si intendono tutte le operazioni necessarie (campionamento, compressione, ...) per trasmettere un segnale analogico vocale su una rete Bluetooth. Ovviamente l'auricolare deve realizzare anche il compito inverso, quello di ricevere il

segnale vocale trasmesso dal gateway audio attraverso la rete Bluetooth, ricostruirlo sotto opportuno formato e riprodurlo sull'auricolare dell'headset Bluetooth.

Il prodotto necessario per implementare le funzionalità audio necessarie è, come visto sopra, l'headset Bluetooth ma in realtà basterebbe utilizzare un qualsiasi dispositivo bluetooth capace di fornire il servizio headset, cioè che sia in grado di implementare il tipo di profile headset.

Nel nostro caso si è deciso di utilizzare gli auricolari Bluetooth per testare le funzionalità della struttura; in generale non sono necessari particolari tipologie hardware di headset Bluetooth ma tutti i prodotti che il mercato offre sono compatibili con la struttura in questione, anche se sono state rilevate differenze di qualità audio e di portata di ricezione.

In dettaglio il prodotto utilizzato per i test è l'auricolare Bluetooth Nokia HWD2 (vedi Figura 5.5), il quale supporta un raggio d'azione fino a 10 metri, può gestire le funzionalità della chiamata vocale. Esso, poi, mette a disposizione un tasto per inoltrare le chiamate e rispondere alle telefonate e due per alzare ed abbassare il volume. Inoltre per massimizzare la sicurezza delle chiamate, l'auricolare supporta la cifratura della connessione senza fili per i telefoni cellulari compatibili.



*Figura 5.5 – Auricolare Bluetooth Nokia HWD2*

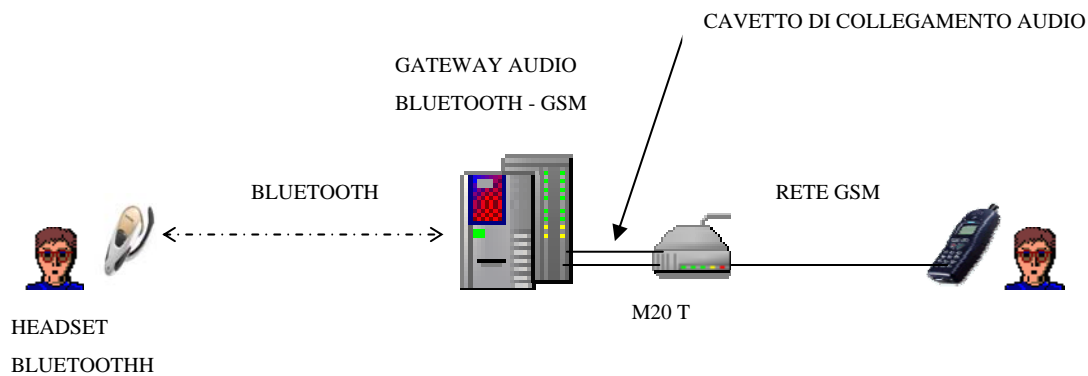
### **5.3.2 Gateway audio Bluetooth -GSM**

Questo paragrafo descrive il gateway audio Bluetooth - GSM introdotto precedentemente: esso è un endpoint della rete LAN che fornisce, come abbiamo già

visto, la funzionalità fondamentale di permettere la compatibilità tra i terminali audio Bluetooth e quelli GSM. Il suo funzionamento si può riassumere nella descrizione di come permette l'interoperabilità tra i formati di trasmissione e tra i protocolli di comunicazione.

La presenza di un gateway è necessaria quando si prevedono chiamate da e verso altri tipi di rete; in questo caso infatti, si devono gestire chiamate da una rete Bluetooth verso una rete GSM e viceversa.

Vediamo ora, nella figura 5.6, la composizione del sistema realizzato in tutte le sue componenti.



*Figura 5.6 – Sistema realizzato*

Le funzioni implementate del gateway audio per reti Bluetooth - GSM raffigurato sopra si possono schematizzare nel seguente modo:

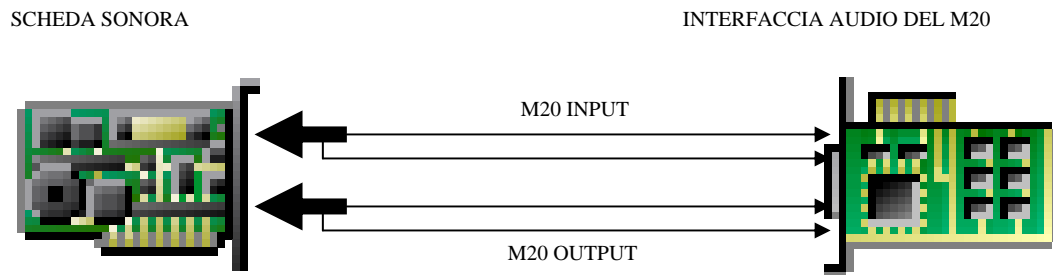
- ricezione/trasmisione del segnale vocale da e verso auricolare Bluetooth;
- interoperabilità tra i formati di trasmissione e tra i protocolli di comunicazione del segnale vocale inviato o ricevuto;
- ricezione/trasmisione del segnale vocale da e verso l'M20 terminal;
- gestione delle funzioni del terminale M20.

La Figura 5.7 mostra un diagramma del flusso dei dati del sistema realizzato.



*Figura 5.7 – Flusso del segnale vocale*

Forniamo qui di seguito una spiegazione più dettagliata del collegamento, aiutandoci con la figura sottostante (figura 5.8).



*Figura 5.8 – Connessione tra scheda sonora e scheda audio del terminale M20*

Per realizzare questa connessione si è costruito un cavetto che dalla scheda audio a quattro poli dell'M20 arriva alla scheda sonora con due jack. In questo modo si è ottenuto un collegamento hardware tra i due dispositivi, che permette lo scambio del segnale vocale direttamente in formato analogico, lasciando all'M20 il compito di campionarlo.

Una volta implementati gli aspetti hardware si può passare agli aspetti software del gateway che vengono descritti nel dettaglio nel capitolo successivo.



## Capitolo sesto

# IMPLEMENTAZIONE TECNICA

In questo capitolo viene descritta l'implementazione del progetto di integrazione per la trasmissione di voce in tempo reale tra la rete Bluetooth e la telefonia cellulare GSM.

Nel primo paragrafo sono elencate le fasi di realizzazione del progetto con le relative configurazioni hardware e software. Nel secondo paragrafo viene analizzato lo stack BlueZ, cioè come viene implementato lo stack Bluetooth sotto il sistema operativo Linux. Nel terzo paragrafo viene introdotta la modalità di connessione del sistema con la rete Bluetooth grazie all'impiego degli adattatori USB Bluetooth. Nel quarto paragrafo sono indicati i test e l'installazione definitiva del sistema operativo Linux. Nel quinto paragrafo vengono esaminati le funzionalità dello stack BlueZ e il loro utilizzo. Nel sesto paragrafo vengono descritte l'installazione dei driver ALSA e la loro importanza funzionale per la realizzazione della nostra struttura. Il settimo paragrafo si occupa dell'installazione, della configurazione e dell'utilizzo dell' ALSA Bluetooth Headset driver, che rappresenta il modulo fondamentale dell'implementazione architetturale. L'ottavo paragrafo è dedicato alle conclusioni e agli sviluppi futuri.

### 6.1 Realizzazione del sistema

La realizzazione del sistema ha richiesto l'esecuzione di fasi di configurazione hardware e software. In particolare la configurazione hardware ha compreso l'installazione di uno o più adattatori USB Bluetooth sulla stessa macchina in modo da realizzare la molteplicità di canali audio di ingresso/uscita.

Le configurazioni software sono state invece articolate nel seguente modo:

1. installazione e configurazione del sistema operativo linux;
2. installazione e configurazione dello stack dei protocolli dello standard Bluetooth sotto Linux;
3. installazione e configurazione della libreria Alsa-Project;
4. installazione della libreria Bluetooth-alsa Project e in particolare del ALSA Bluetooth Headset driver per la realizzazione della connessione audio con la tecnologia Bluetooth tra il sistema Linux e il dispositivo Bluetooth con profile headset;
5. configurazione e test di funzionamento del ALSA Bluetooth Headset driver;
6. implementazione del canale audio bidirezionale tra il sistema Linux e l'auricolare Bluetooth per la trasmissione in real-time del segnale vocale;

Oltre alle configurazioni descritte è stata necessaria una fase di implementazione per adattare parte delle librerie all'architettura del sistema.

## 6.2 Lo stack BlueZ

Per effettuare una connessione Bluetooth è necessario un dispositivo che utilizza questa tecnologia, un driver che lo faccia funzionare e un'implementazione specifica di questo standard (lo stack Bluetooth). Per GNU/Linux esistono diverse implementazioni ma quella scelta per questo progetto è BlueZ (Official Linux protocol stack; figura 6.1) [BLUEZ]. Creato da Qualcomm e successivamente rilasciato con licenza Open Source BlueZ, è sicuramente lo stack per Bluetooth maggiormente diffuso, anche perché è parte integrante del kernel di Linux dalla versione 2.4.6 in poi.

BlueZ è disponibile all'indirizzo <http://bluez.sourceforge.net/>.

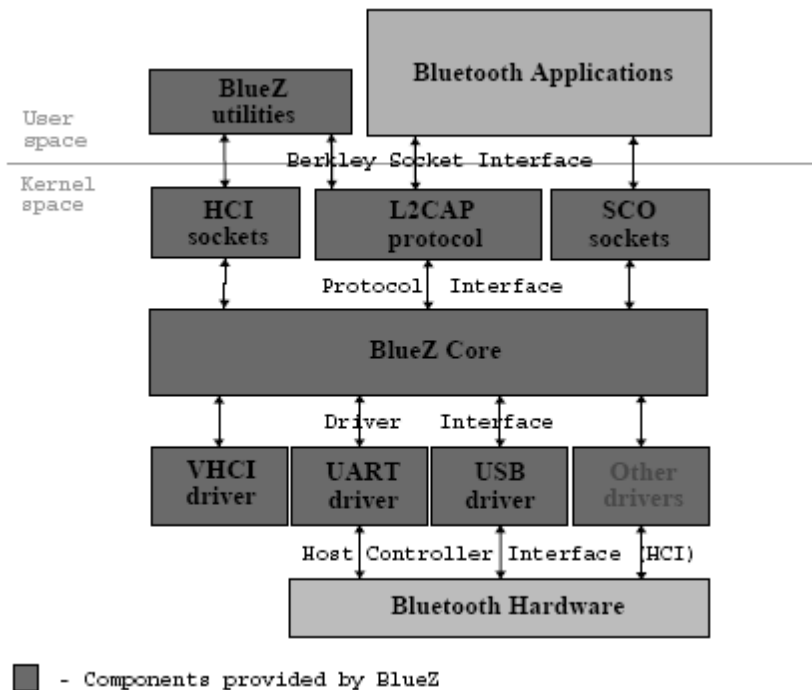


Figura 6.1 – Stack BlueZ

Oltre al modulo presente all'interno del kernel, BlueZ è composto da alcune librerie che servono a gestire i dispositivi Bluetooth. BlueZ è costituito da una serie di moduli separati ognuno dei quali svolge un compito specifico: librerie, demoni SDP e Bluetooth, driver per periferiche HCI UART, USB, PCMCIA e perfino di un dispositivo virtuale a scopo di test. Inoltre dispone di alcuni tool per effettuare test e configurare i dispositivi e, ovviamente, la parte relativa al kernel. Tutto il software necessario è formato dai seguenti pacchetti :

*bluez-libs*

*bluez-utils*

*bluez-hciemu*

*bluez-blefw*

Per usufruire di un supporto Bluetooth minimo, è necessario installare i pacchetti *bluez-libs* e *bluez-utils*, tuttavia essi non sono sufficienti per un utilizzo reale. Prima di installare gli strumenti di gestione e le librerie, bisogna caricare i driver per la periferica, disponibili sotto forma di modulo del kernel; in questo caso si tratta del modulo BlueZ. Generalmente basta semplicemente collegare l'adattatore Bluetooth alla

macchina e il sistema caricherà automaticamente il modulo. Per verificare se questo accade basta utilizzare il comando:

*lsmod*

Il comando precedente visualizza la lista dei moduli attualmente usati dal sistema. Se non è presente la voce *bluez*, significa che il modulo può essere caricato manualmente solo nel caso in cui il modulo stesso sia presente nel kernel, attraverso il comando:

*modprobe bluez*

Per verificare che il modulo sia presente nel kernel va utilizzato il comando:

*modprobe -l | grep blue*

(che cerca tutti i moduli presenti nel kernel il cui nome, o nome del percorso, contiene la stringa *blue*), altrimenti il kernel deve essere ricompilato.

A questo punto per gestire e configurare la periferica è necessario installare gli strumenti e le librerie del pacchetto BlueZ; i package vanno installati seguendo l'ordine descritto in precedenza. La procedura è uguale per tutti i pacchetti, basta scompattare il file *tar.gz*, in una qualsiasi directory, utilizzando il comando:

*tar -xvzpf bluez-libs-<version>.tar.gz -C /home/utente/temp*

Fatto questo, con il comando *cd* bisogna accedere alla directory creata dalla decompressione del pacchetto ed eseguire i seguenti comandi:

*./configure*

*make*

*su*

(*passwd di root*)

*make install*

Dopo aver effettuato per tutti i pacchetti le operazioni precedenti, tutte le librerie e i tool di gestione sono pronti per essere utilizzati. Per verificare tutto ciò, da root bisogna digitare nella console *hci* e premere il tasto di tabulazione: apparirà così l'elenco dei comandi per gestire le periferiche bluetooth:

*hciattach*,      è un tool per inizializzare i driver di periferica per dispositivi  
Bluetooth PCMCIA (HCI UART)

*hciconfig*,      è simile al comando *ifconfig* utilizzato per gestire i dispositivi di rete

*hcid*,            è il demone per le porte usb

*hcidump*,        serve per verificare la connessione tra i dispositivi

*hciemu*, è un emulatore di periferiche Bluetooth, utilizzabile a scopo di test in mancanza di un vero dispositivo

*hcitool*, serve invece per monitorare e ottenere informazioni sulle periferiche

Per utilizzare l'adattatore USB/Bluetooth si deve utilizzare il comando (nel caso di più adattatori il comando si riferisce al primo inserito):

*hciconfig hci0 up*

mentre per disattivare il dispositivo si utilizza il comando:

*hciconfig hci0 down*

Il comando *hcitool scan*, esegue una scansione delle periferiche Bluetooth (telefoni, palmari, notebook, etc) restituendo il nome e il BD address (analogo al MAC address di una scheda di rete) della periferica stessa. Utilizzando il BD address del dispositivo è possibile, servendosi delle numerose opzioni del comando *hcitool*, ottenere diverse informazioni sullo stato del dispositivo. Il comando *hcitool* senza argomenti visualizza tutte le opzioni disponibili.

## 6.3 Adattatore USB Bluetooth

Per connettersi alla rete Bluetooth si è deciso, come visto in precedenza, di utilizzare un adattatore Bluetooth USB. La scelta è stata influenzata dal costo contenuto di tali dispositivi, dalla loro crescente diffusione sul mercato e soprattutto dalla compatibilità con tutti gli apparati Bluetooth.

Occorre tenere presente che tutti questi tipi di adattatori sono completamente compatibili con lo standard Bluetooth, ma solitamente viene garantito il loro funzionamento solo con sistemi operativi Windows e non con Linux. Per questo motivo, prima di utilizzare un adattatore Bluetooth Usb con Linux bisogna verificare i produttori e modelli compatibili (ad esempio in Internet).

Inizialmente infatti si era deciso di servirsi di un prodotto Trust della serie BT 180 CLASS 1 USB con portata di circa 100 metri (Figura 6.2).



*Figura 6.2 – Trust BT 180*

Esso presenta le seguenti caratteristiche:

- Trasmettitore/Ricevitore compatto con tecnologia Bluetooth wireless
- Connessione USB
- Potenza di trasmissione Classe I sopra i 100 metri
- Velocità massima 1 Mbps (03 version)
- Piena compatibilità con lo standard della tecnologia Bluetooth wireless
- Indicazione dello stato di libero per il trasferimento dati
- Compatibilità con Bluetooth profiles (03 version): GAP, SPP, FAX, GOEP, FTP, OPP, PAN, DUN, SYNCH, OPP, HP, HCRP, HID, BIP
- Security: pairing, encryption, and authentication

Dopo che vari test e diverse configurazioni hanno restituito un esito negativo, si è deciso di sostituire l'adattatore USB Bluetooth con un prodotto della stessa tipologia e caratteristiche, ma realizzato da un altro fornitore; questa sostituzione ha dato risultati di compatibilità molto più soddisfacenti. Il nuovo prodotto Gold USB Bluetooth Dongle fornisce gli stessi servizi dell'adattatore precedente, ma la compatibilità con il sistema Linux è migliorata notevolmente.

Il Gold USB Bluetooth Dongle (Figura 6.3), con portata di 25 metri in spazi aperti e 10 metri al chiuso, ha le stesse specifiche costruttive del precedente adattatore e implementa i medesimi profili, quindi anche consultando attentamente le caratteristiche fornite dalla casa produttrice non si riesce a determinare la motivazione del diverso comportamento sotto il sistema Linux del modello Trust.



*Figura 6.3 – Gold USB Bluetooth Dongle*

Analizzando in dettaglio il problema si è notato che la sostanziale differenza tra i due dispositivi Bluetooth è da ricercare nel chipset integrato al loro interno; infatti mentre il BT 180 della Trust si serve di un Silicon Wave, il Gold USB Bluetooth Dongle utilizza un Cambridge Silicon Radio (CSR). La scoperta di questa differenza comportamentale si è rivelata fondamentale per la realizzazione progettuale e ha evidenziato come per ottenere una buona funzionalità tra un sistema Linux e un adattatore USB Bluetooth sia necessario usare dispositivi che integrino al loro interno un chipset CSR; in realtà, di questa incompatibilità non si trova traccia se non su Internet, all'interno di forum specializzati in queste realizzazioni.

## **6.4 Installazione sistema operativo**

Dopo aver introdotto lo stack BlueZ, si può passare alla scelta della distribuzione Linux da utilizzare per l'installazione del sistema operativo, tenendo presente che la maggior parte delle recenti distribuzioni include già lo stack BlueZ nel kernel.

Prima di tutto si è ritenuto opportuno testare una Knoppix 3.6 (distribuzione derivata da Debian), perché essendo una distribuzione live, cioè avviabile da CDROM, ha dato la possibilità di eseguire i primi test senza effettuare alcuna installazione sul disco del PC. Oltre a questo, su Internet, è possibile reperire una estesa documentazione su prove e relative compatibilità con la tecnologia Bluetooth.

Una volta verificato il corretto riconoscimento hardware del sistema da parte di questa distribuzione, si è passati all'installazione su disco e si sono effettuati controlli relativi agli aggiornamenti necessari per il funzionamento dell'adattatore Bluetooth.

La Knoppix 3.6 include al suo interno un doppio kernel (utile per ampliare la

gamma di test) composto dalle versioni 2.4.28 e 2.6.7, ma per entrambi è stato necessario applicare le patch allo stack BlueZ per ottenere anche le funzionalità più semplici.

Come vedremo in seguito, le particolari esigenze di questo progetto richiedono l'utilizzo dei driver ALSA per la gestione dell'audio e della scheda sonora; per questo motivo si è deciso di utilizzare un kernel 2.6 che, oltre ad essere stato realizzato più recentemente del 2.4 e ad essere quindi composto da sorgenti più aggiornati, include già al suo interno tali driver. Una volta configurato e "patchato" (termine gergale che indica l'aggiornamento di programmi per eliminare malfunzionamenti) il kernel 2.6.7 presente su Knoppix, si sono incontrati ugualmente diversi problemi, in particolare proprio con i driver ALSA che non funzionavano in maniera corretta (il kernel 2.6.7 non è ancora una versione stabile).

Dopo diversi tentativi di configurazione senza risultati positivi, si è deciso di cambiare distribuzione e reinstallare il sistema con una Fedora Core 3, versione free di Redhat che include al suo interno un kernel 2.6.9 molto più stabile del 2.6.7. Con questa ultima installazione si è subito notato come le funzionalità legate allo stack BlueZ e ai driver ALSA iniziassero a dare buoni risultati ma non ancora ottimali; infatti la configurazione definitiva e ottimale è stata ottenuta sulla distribuzione Fedora Core 3 utilizzando un kernel 2.6.10 Vanilla (kernel standard senza configurazioni e patch particolari) con lo stack BlueZ opportunamente aggiornato con le patch di Marcel Holtmann mh2 reperibili sul sito Internet:

*<http://www.bluez.org/patches.html>*

Non contenti di questo risultato si è deciso di optare per la distribuzione Gentoo con le relative patch mh4.

## **6.5 Utilizzo hardware Bluetooth**

Per attivare il sistema Bluetooth, basta inserire l'adattatore prima introdotto nella porta USB di tipo 2.0 e verificare il corretto riconoscimento del dispositivo attraverso l'accensione di una spia luminosa fissa di colore blu.

A questo punto, digitando il comando *hciconfig -a*, vengono visualizzate le seguenti informazioni sul dispositivo:



*hci0: Type: USB*

*BD Address: 00:00:00:00:00:00 ACL MTU: 0:0 SCO MTU: 0:0*

*DOWN*

*RX bytes:0 acl:0 sco:0 events:0 errors:0*

*TX bytes:0 acl:0 sco:0 commands:0 errors:0*

Come si può notare, l'adattatore Bluetooth è riconosciuto come dispositivo *hci0*, ma il suo stato è down (disattivo) e non viene fornito nessun tipo di informazioni utili; per portarlo allo stato up (attivo) basta digitare:

*hciconfig hci0 up.*

Una volta attivato, è possibile reperire utili indicazioni sulla rete Bluetooth ed effettuare i test di funzionamento attraverso i tool BlueZ.

Digitando nuovamente il comando *hciconfig -a* si ottengono le seguenti informazioni:

*hci0: Type: USB*

*BD Address: 00:0B:0D:31:A1:77 ACL MTU: 120:20 SCO MTU: 64:0*

*UP RUNNING PSCAN ISCAN*

*RX bytes:1495 acl:23 sco:0 events:63 errors:0*

*TX bytes:1145 acl:23 sco:0 commands:28 errors:0*

*Features: 0xff 0xff 0x05 0x38 0x18 0x18 0x00 0x00*

*Packet type: DM1 DM3 DM5 DH1 DH3 DH5 HV1 HV2 HV3*

*Link policy: RSWITCH HOLD SNIFF PARK*

*Link mode: ACCEPT MASTER*

*Name: 'fedora3-0'*

*Class: 0x120104*

*Service Classes: Networking, Object Transfer*

*Device Class: Computer, Desktop workstation*

*HCI Ver: 1.2 (0x2) HCI Rev: 0x0 LMP Ver: 1.2 (0x2) LMP Subver: 0x757*

*Manufacturer: Silicon Wave (11)*

Tra esse è importante notare il *BD Address* che rappresenta il corrispettivo MAC address per la rete Bluetooth dell'adattatore.

Ora si può verificare se il nostro dispositivo è in grado di accedere alla rete e soprattutto se riesce a interagire con eventuali altri dispositivi presenti entro il suo raggio di portata. Per tali controlli è stato utilizzato un cellulare Nokia 6310i (dotato di una buona interfaccia Bluetooth), che ha richiesto solo poche e semplici operazioni per essere attivo e visibile all'interno della rete.

Effettuate le dovute impostazioni sul cellulare, digitando il comando *hcitool scan* si ottiene:

*Scanning ...*

*00:60:57:0D:0D:86 Nokia 6310i*

dove l'ottetto esadecimale presente non è altro che il BD Address del cellulare.

Ora per sapere rapidamente se i due dispositivi sono in grado di colloquiare basta digitare il comando

*l2ping 00:60:57:0D:0D:86*

e se tutto funziona correttamente si dovrebbe ottenere la seguente visualizzazione :

*Ping: 00:60:57:0D:0D:86 from 00:0B:0D:31:A1:77 (data size 20) ...*

*0 bytes from 00:60:57:0D:0D:86 id 200 time 28.89ms*

*0 bytes from 00:60:57:0D:0D:86 id 201 time 14.66ms*

*0 bytes from 00:60:57:0D:0D:86 id 202 time 12.85ms*

*0 bytes from 00:60:57:0D:0D:86 id 203 time 14.04ms*

*4 sent, 4 received, 0% loss*

Verificato il corretto funzionamento dell'adattatore Bluetooth si può eseguire l'utile comando

*sdptool browse 00:60:57:0D:0D:86*

(che effettua una scansione dei servizi che il dispositivo, con il BD address indicato, può fornire) ottenendo le seguenti informazioni :

*Browsing 00:60:57:0D:0D:86 ...*

*Service Name: Fax*

*Service RecHandle: 0x10000*

*Service Class ID List:*

*"Fax" (0x1111)*

*"Generic Telephony" (0x1204)*

*Protocol Descriptor List:*

*"L2CAP" (0x0100)*

*"RFCOMM" (0x0003)*

*Channel: 2*

*Language Base Attr List:*

*code\_ISO639: 0x656e*

*encoding: 0x6a*

*base\_offset: 0x100*

*Profile Descriptor List:*

*"Fax" (0x1111)*

*Version: 0x0100*

*Service Name: OBEX Object Push*

*Service RecHandle: 0x10001*

*Service Class ID List:*

*"OBEX Object Push" (0x1105)*

*Protocol Descriptor List:*

*"L2CAP" (0x0100)*

*"RFCOMM" (0x0003)*

*Channel: 9*

*"OBEX" (0x0008)*

*Language Base Attr List:*

*code\_ISO639: 0x656e*

*encoding: 0x6a*

*base\_offset: 0x100*

*Profile Descriptor List:*

*"OBEX Object Push" (0x1105)*

*Version: 0x0100*

*Service Name: Audio Gateway*

*Service RecHandle: 0x10002*

*Service Class ID List:*

*"Headset Audio Gateway" (0x1112)*

*"Generic Audio" (0x1203)*

*Protocol Descriptor List:*

*"L2CAP" (0x0100)*

*"RFCOMM" (0x0003)*

*Channel: 12*

*Language Base Attr List:*

*code\_ISO639: 0x656e*

*encoding: 0x6a*

*base\_offset: 0x100*

*Profile Descriptor List:*

*"Headset" (0x1108)*

*Version: 0x0100*

*Service Name: COM 1*

*Service RecHandle: 0x10003*

*Service Class ID List:*

*"Serial Port" (0x1101)*

*Protocol Descriptor List:*

*"L2CAP" (0x0100)*

*"RFCOMM" (0x0003)*

*Channel: 3*

*Language Base Attr List:*

*code\_ISO639: 0x656e*

*encoding: 0x6a*

*base\_offset: 0x100*

*Service Name: Voice Gateway*

*Service RecHandle: 0x10004*

*Service Class ID List:*

*"" (0x111f)*

*"Generic Audio" (0x1203)*

*Protocol Descriptor List:*

*"L2CAP" (0x0100)*

*"RFCOMM" (0x0003)*

*Channel: 13*

*Language Base Attr List:*

*code\_ISO639: 0x656e*

*encoding: 0x6a*

*base\_offset: 0x100*

*Profile Descriptor List:*

*"" (0x111e)*

*Version: 0x0100*

*Service Name: Dial-up networking*

*Service RecHandle: 0x10009*

*Service Class ID List:*

*"Dialup Networking" (0x1103)*

*"Generic Networking" (0x1201)*

*Protocol Descriptor List:*

*"L2CAP" (0x0100)*

*"RFCOMM" (0x0003)*

*Channel: 1*

*Language Base Attr List:*

*code\_ISO639: 0x656e*

*encoding: 0x6a*

*base\_offset: 0x100*

*Profile Descriptor List:*

*"Dialup Networking" (0x1103)*

*Version: 0x0100*

Queste informazioni sono molto importanti poiché visualizzano i servizi (profili) che il dispositivo in questione (in questo caso il Nokia 6310i) supporta e in particolare indicano a quale canale Bluetooth ogni profilo è associato. Va notato che la corrispondenza canale – servizio non è standard, ovvero un dispositivo Bluetooth può fornire corrispondenze diverse da un altro.

Di seguito è descritto il differente risultato dello comando di browsing dei servizi Bluetooth per l'auricolare Nokia HWD2:

*sdptool browse 00:03:89:07:8B:F8*

*Browsing 00:03:89:07:8B:F8 ...*

*Service Name: Nokia HDW-2*

*Service RecHandle: 0x10000*

*Service Class ID List:*

*"" (0x111e)*

*"Generic Audio" (0x1203)*

*Protocol Descriptor List:*

*"L2CAP" (0x0100)*

*"RFCOMM" (0x0003)*

*Channel: 1*

*Profile Descriptor List:*

*"" (0x111e)*

*Version: 0x0100*

*Service RecHandle: 0x10001*

*Service Class ID List:*

*"Error: This is uuid128" (0x00005555-0000-1000-8000-0002ee000001)*

*Service Name: Nokia HDW-2*

*Service RecHandle: 0x10002*

*Service Class ID List:*

*"Headset" (0x1108)*

*"Generic Audio" (0x1203)*

*Protocol Descriptor List:*

*"L2CAP" (0x0100)*

*"RFCOMM" (0x0003)*

*Channel: 2*

*Profile Descriptor List:*

*"Headset" (0x1108)*

*Version: 0x0100*

Dopo aver attivato e verificato il funzionamento dell'adattatore USB Bluetooth passiamo all'introduzione dei file di configurazione che sono necessari all'attivazione di una connessione tra tale dispositivo e un altro.

All'interno della directory */etc/bluetooth* sono presenti tre file di configurazione:

*hcid.conf*

*rfcomm.conf*

*bluepin*

Il file di *hcid.conf* permette di configurare le opzioni del demone *hcid* (*Host Control Interface Daemon*), demone del livello hci, che gestisce il sistema delle richieste e degli eventi delle connessioni USB. Il file *rfcomm.conf* consente di configurare le opzioni per creare automaticamente la seriale virtuale *rfcomm<X>*. Il file *bluepin* può essere configurato per contenere il PIN per l'associazione di due dispositivi Bluetooth (pairing).

Effettuate le dovute impostazioni è opportuno attivare i demoni *hcid* e *sdpd* (*Service Discovery Protocol Daemon*); quest'ultimo serve sia per conoscere che per pubblicare i servizi Bluetooth standardizzati all'interno della rete PAN.

Per ottenere utili informazioni sul comportamento dei dispositivi Bluetooth è consigliabile consultare i file di log del sistema (messages o syslog), i quali notificano schematicamente sia le problematiche che i corretti funzionamenti. Se si desidera ottenere notizie più dettagliate sulla comunicazione Bluetooth, come ad esempio la visualizzazione dei comandi scambiati, è possibile utilizzare l'utility *hcidump* che effettua un vero e proprio dump del dispositivo, visualizzando tutti i pacchetti che vengono inviati e ricevuti dal dispositivo.

## 6.6 Driver Alsa

Il progetto che l'ALSA ha sviluppato gestisce le architetture sonore avanzate sotto il sistema operativo Linux ed è reperibile sotto il nome di *alsa-project* [ALSA]. L'installazione delle librerie Alsa per l'utilizzo dei suoi driver è effettuabile solo dalla root del sistema operativo Linux ed è stata realizzata nel seguente modo:

- scompattamento dei file:

```
cd /usr/src
```

```
tar -zxf alsa-driver-<versione>.tar.gz
```

```
tar -zxf alsa-lib-<versione>.tar.gz
```

```
tar -zxf alsa-lib-devel<versione>.tar.gz
```

```
tar -zxf alsa-utils-<versione>.tar.gz
```

- compilazione e installazione delle librerie driver, lib, lib-devel e utils:

```
cd alsa-driver-<versione>
```

```
./configure
```

```
make install
```

```
cd alsa-lib-<versione>
```

```
./configure
```

```
make install
```

```
cd alsa-lib-devel<versione>
```

```
./configure
```

```
make install
```

```
cd alsa-utils-<versione>
```

```
./configure
```

```
make install
```

Il tipo di installazione sopra descritta è indicata qualora sia necessario installare sul sistema direttamente i sorgenti dei driver ALSA, ma solitamente tutte le distribuzioni Linux mettono a disposizione pacchetti già compilati e pronti per l'installazione.

Utilizzando un kernel 2.6.10 le procedure sopra menzionate non sono necessarie dato che tutti i kernel 2.6 includono al loro interno le librerie ALSA e impiegano tali driver per la gestione della scheda sonora. Può capitare che in fase di installazione le alsa-utils non siano state incluse e che non sia disponibile nessun comando per la gestione dell'audio. Per risolvere il problema basta installare tale pacchetto e si potranno poi utilizzare i seguenti principali comandi:

- *aplay*: comando per riprodurre un segnale audio su un specifico dispositivo;
- *arecord*: comando per registrare un segnale audio da un specifico dispositivo;
- *alsamixer*: comando che permette graficamente di visualizzare e configurare tutte le impostazioni audio di un determinato dispositivo.



Ora se si vuole gestire un segnale audio in ingresso o in uscita basta utilizzare i comandi sopra descritti, ma se non si sa come i driver ALSA hanno riconosciuto i dispositivi audio presenti sul sistema è utile digitare il comando *aplay -l*:

\*\*\*\* *List of PLAYBACK Hardware Devices* \*\*\*\*

*card 0: I82801DBICH4 [Intel 82801DB-ICH4], device 0: Intel ICH [Intel 82801DB-ICH4]*

*Subdevices: 1/1*

*Subdevice #0: subdevice #0*

*card 0: I82801DBICH4 [Intel 82801DB-ICH4], device 4: Intel ICH - IEC958 [Intel 82801DB-ICH4 - IEC958]*

*Subdevices: 1/1*

*Subdevice #0: subdevice #0*

*card 1: Modem [Intel 82801DB-ICH4 Modem], device 0: Intel ICH - Modem [Intel 82801DB-ICH4 Modem - Modem]*

*Subdevices: 1/1*

*Subdevice #0: subdevice #0*

dove vengono visualizzati i dispositivi disponibili per la riproduzione audio, o in maniera equivalente *arecord -l*:

\*\*\*\* *List of CAPTURE Hardware Devices* \*\*\*\*

*card 0: I82801DBICH4 [Intel 82801DB-ICH4], device 0: Intel ICH [Intel 82801DB-ICH4]*

*Subdevices: 1/1*

*Subdevice #0: subdevice #0*

*card 0: I82801DBICH4 [Intel 82801DB-ICH4], device 1: Intel ICH - MIC ADC [Intel 82801DB-ICH4 - MIC ADC]*

*Subdevices: 1/1*

*Subdevice #0: subdevice #0*

*card 0: I82801DBICH4 [Intel 82801DB-ICH4], device 2: Intel ICH - MIC2 ADC [Intel 82801DB-ICH4 - MIC2 ADC]*

*Subdevices: 1/1*

*Subdevice #0: subdevice #0*

*card 0: I82801DBICH4 [Intel 82801DB-ICH4], device 3: Intel ICH - ADC2 [Intel 82801DB-ICH4 - ADC2]*

*Subdevices: 1/1*

*Subdevice #0: subdevice #0*

*card 1: Modem [Intel 82801DB-ICH4 Modem], device 0: Intel ICH - Modem [Intel 82801DB-ICH4 Modem - Modem]*

*Subdevices: 1/1*

*Subdevice #0: subdevice #0*

dove vengono indicati i dispositivi disponibili per la registrazione audio.

Grazie alle informazioni così ottenute è facile capire come sia abbastanza immediato selezionare il dispositivo desiderato; in particolare ora si è anche in grado di accedere velocemente al mixer relativo con il comando:

*alsamixer -c <card number>*

dove per <card number> si intende il numero della card associata al dispositivo.

Ad esempio per accedere al mixer della scheda sonora del nostro sistema basta digitare il comando:

*alsamixer -c 0*

## 6.7 Bluetooth-alsa project

Dopo la fase di test e funzionamento dell'adattatore Bluetooth si è analizzato come ci si poteva servire dello stack BlueZ per ottenere una scheda audio virtuale collegata in modo bidirezionale (input/output) al dispositivo Bluetooth. Ovviamente non tutti gli apparecchi Bluetooth possono gestire l'audio, ma solo quelli realizzati per supportare tale servizio (ad esempio i dispositivi headset).

A questo scopo si è deciso di usare i driver forniti dal progetto Open Source Bluetooth-alsa, il quale, appoggiandosi alle librerie ALSA, mette a disposizione i driver Linux necessari ad utilizzare un adattatore USB Bluetooth come un dispositivo in grado di fornire il servizio di Audio Gateway richiesto dal collegamento con un headset Bluetooth. All'interno del Bluetooth-alsa Project vengono implementate diverse modalità di gestione audio, ognuna delle quali differisce dall'altra per prestazioni e qualità del segnale audio, ma essendo un progetto in continuo sviluppo non viene garantito il funzionamento con tutti i dispositivi.

Tale progetto mette a disposizione il driver per headset *snd-bt-sco* (Bluetooth Headset driver per ALSA), ma date le continue variazioni apportate ai sorgenti non è ancora fornito in un pacchetto standard e le sue funzionalità dipendono sia dalla distribuzione Linux, sia dalla versione del kernel utilizzata. In particolare, prima che venisse rilasciato il driver sopra indicato, utilizzabile solo con versioni kernel dal 2.6.4 in poi, era presente il driver *snd-bluez-sco* che poteva essere impiegato solamente con le versioni 2.4 del kernel.

### 6.7.1 Installazione btscsco

La fase di installazione del driver è stata un po' difficoltosa: in un primo momento si è deciso di scaricare la versione del driver testata per i kernel 2.6.7/2.6.8 e installarla sul nostro sistema, ma nonostante si fossero seguiti tutti i passaggi in maniera corretta (applicazione di patch e ricompilazione del kernel) il driver non si compilava, né tanto meno si installava correttamente. Dopo diversi tentativi, si è finalmente trovata una versione abbastanza recente che ha permesso il funzionamento del driver, anche se l'applicazione delle patch del kernel era avvenuta manualmente.

Non sono state specificate in dettaglio le operazioni sopra eseguite per il fatto che si sconsiglia di adottare il precedente percorso e si consiglia invece di scaricare i sorgenti via CVS dall'apposito sito di sviluppo <http://bluetooth-alsa.sourceforge.net>:

```
cvcs -d:pserver:anonymous@cvcs.sf.net:/cvcsroot/bluetooth-alsa login
```

```
cvcs -d:pserver:anonymous@cvcs.sf.net:/cvcsroot/bluetooth-alsa co btscsco
```

effettuare la compilazione del driver:

```
cd btscsco
```

```
./bootstrap
```

```
./configure
```

```
make
```

```
make install
```

```
make maintainer-clean
```

e procedere alla compilazione del modulo del kernel necessario:

```
cd kernel
```

```
make
```

*make install*

*make clean*

La prima volta che è stata eseguita, la compilazione ha restituito alcuni errori che ne hanno precluso la corretta terminazione. La problematica era associata alla mancanza della libreria *libao-devel* all'interno del nostro sistema, ma una volta installata questa, la compilazione è andata a buon fine.

A questo punto, prima di procedere con i test di funzionamento si deve eseguire il comando *esdctl stop* per evitare un conflitto nella gestione dell'audio.

Per riuscire a caricare il modulo opportuno sul kernel si devono necessariamente aggiornare le dipendenze dei moduli della versione corrente del kernel, per fare ciò eseguire i seguenti comandi :

*cd /lib/modules/<versione kernel corrente>*

*moddep*

Ora si può procedere con il caricamento del modulo *snd-bt-sco* all'interno del kernel tramite il comando:

*modprobe snd-bt-sco*

Una volta caricato il modulo è importante notare come il dispositivo Bluetooth USB venga rilevato dai driver ALSA come un altro vero e proprio dispositivo audio, infatti digitando il comando *aplay -l* o *arecord -l*, come già mostrato precedentemente, si ottiene la seguente visualizzazione:

*card 2: Headset [BT Headset], device 0: Bluetooth SCO PCM [BT SCO PCM]*

*Subdevices: 1/1*

*Subdevice #0: subdevice #0*

Questo indica che se si desidera selezionare questa scheda audio virtuale si dovrà fare riferimento alla card 2, ad esempio utilizzando il comando:

*alsamixer -c 2*

si potrà accedere alle impostazioni del mixer relative e se si desidera testare rapidamente il corretto funzionamento del driver basterà attivare l'impostazione di *loopback* per abilitare il ritorno sullo speaker del segnale audio prodotto dal microfono dell'auricolare Bluetooth.

### 6.7.2 Utilizzo btsc0

Effettuate le precedenti operazioni, il sistema è pronto a supportare l'utilizzo dell'utility btsc0, la quale è in grado di creare una connessione audio tra l'adattatore USB Bluetooth e un generico dispositivo Bluetooth in grado di fornire i servizi descritti dal profilo Headset; nel nostro caso questo dispositivo è un auricolare Bluetooth.

Innanzitutto, tramite il comando *rfcomm*, si deve creare una seriale virtuale per la connessione Bluetooth, digitando la seguente istruzione:

```
rfcomm bind <X> <bdaddr> <channel>
```

poi utilizzando il comando btsc0 si mettono in comunicazione i due dispositivi:

```
btsc0 <bdaddr> <channel>
```

dove *bdaddr* è il BD address del dispositivo headset e *channel* è il canale associato al servizio Headset Bluetooth.

Per determinare quale canale è appropriato al tipo di comunicazione audio in questione è necessario eseguire il comando:

```
sdpdtool search -bdaddr <bdaddr> 0x1108
```

il quale deve restituire un'informazione simile a questa:

*Service Name: Nokia HDW-2*

*Service RecHandle: 0x10002*

*Service Class ID List:*

*"Headset" (0x1108)*

*"Generic Audio" (0x1203)*

*Protocol Descriptor List:*

*"L2CAP" (0x0100)*

*"RFCOMM" (0x0003)*

*Channel: 2*

*Profile Descriptor List:*

*"Headset" (0x1108)*

*Version: 0x0100*

dove 0x1108 è il codice identificativo del servizio headset Bluetooth; come si può

notare, per il Nokia HWD2 il canale appropriato è il 2.

A questo punto, ad esempio, per collegarsi al canale 2 dell' auricolare Nokia basterà eseguire le seguenti istruzioni :

- impostare BD address e canale nel file rfcomm.conf;
- digitare il comando *rfcomm bind 1 00:03:89:07:8B:F8 2*;
- lanciare i demoni hcid e sdpd;
- lanciare il comando *./btsc0 00:03:89:07:8B:F8 2*;

il sistema ora cerca di effettuare il pairing tra i due dispositivi e se è la prima volta che viene eseguito richiede ad entrambi l'inserimento del codice PIN, che solitamente ha valore "0000".

A questo punto, se il pairing è avvenuto correttamente, vengono fornite le seguenti indicazioni:

*./btsc0 00:03:89:07:8B:F8 2*

*Device is 2:0*

*RFCOMM channel 2 connected*

*Voice settings: 0x0060*

*speaker volume: 7 mic volume : 1*

*received AT+CCWA=1*

*received AT+VGS=9*

*Sending up speaker change 9*

La connessione seriale, attraverso il protocollo RFCOMM è ora instaurata; infatti, è possibile notare come lo scambio dei comandi per settare il volume del microfono o dello speaker dell'auricolare avvenga già correttamente (ultima riga della visualizzazione sopra riportata). Al contrario l'implementazione del canale audio attraverso il protocollo SCO non è ancora avvenuta e il sistema rimane in questa situazione di attesa fino a quando il bottone di apertura/chiusura chiamata sull'auricolare non viene premuto; appena si verifica questo evento vengono visualizzate le seguenti informazioni:

*received AT+CKPD=200*

*opened hwdep*

*<attesa di qualche secondo>*  
*connected SCO channel*  
*Setting sco fd*  
*Done setting sco fd*  
*<pressione bottone Headset per alzare volume speaker>*  
*received AT+VGS=10*  
*Sending up speaker change 10*  
*<modifica volume utilizzando alsamixer>*  
*speaker volume: 10 mic volume: 1*  
*speaker volume: 9 mic volume: 1*  
*<pressione tasto apertura/chiusura chiamata>*  
*received AT+CKPD=200*  
*disconnected SCO channel*

Di seguito sono descritti alcuni esempi di invio e ricezione di segnali audio per testare il funzionamento della connessione:

```
aplay -B 1000 -D plughw:Headset somefile.wav  
arecord -D plughw:Headset somefile.wav
```

È importante notare come dopo aver caricato sul kernel il modulo `snd-bt-sco`, i driver ALSA identificano l'adattatore USB Bluetooth con la label `Headset`, la quale in realtà corrisponde alla device fisica `/dev/dsp1`.

La gestione audio di questo tipo di connessione non si estende a tutti i formati, ma supporta solamente l'unsigned 8 bit (8000Hz), quindi per i test sopra riportati è necessario che i file wav rispettino tale formato.

Testata la corretta veicolazione dell'audio, possiamo, utilizzando il sistema di pipe, realizzare la comunicazione vocale in real-time tra il sistema Linux e l'auricolare Bluetooth nella modalità seguente:

- veicolazione voce real-time da Headset a Linux:  

```
arecord -B 1000000 -D plughw:Headset | aplay -f U8 -t wav -r 8000
```
- veicolazione voce real-time da Linux a Headset:  

```
arecord -f U8 -t wav -r 8000 | aplay -B 1000000 -D plughw:Headset
```

Una volta eseguite queste istruzioni si è realizzato un canale audio di comunicazione bidirezionale tra i due dispositivi Bluetooth. La qualità del segnale è buona e si possono comunque settare alcuni parametri con l'utilizzo del mixer ALSA alsamixer.

Utilizzando la modalità sopra descritta si nota un lieve ritardo nella trasmissione/ricezione del segnale audio; essa è sicuramente causata dall'impiego della pipe della shell (e del relativo buffer) per redirigire il segnale da un dispositivo all'altro. Un sensibile miglioramento si può ottenere utilizzando direttamente la device fisica del dispositivo in modo da eliminare il passaggio del segnale audio attraverso il buffer della shell.

### **6.7.3 Sommario**

Data la necessità di eseguire numerose operazioni per l'attivazione del sistema qui presentato, viene ora riportato un elenco schematico delle procedure da seguire:

- patchare e installare il kernel di Linux;
- installare e configurare stack BlueZ;
- installare e configurare Alsa driver;
- installare e configurare driver snd-bt-sco;
- inserire adattatore USB Bluetooth;
- configurare hcid.conf;
- configurare rfcomm.conf e creare seriale virtuale Bluetooth;
- avviare i demoni hcid e sdpd;
- avviare utility btscop per connessione con headset Bluetooth;
- premere tasto di apertura/chiusura comunicazione dell'headset Bluetooth;
- attivare canale segnale audio di ingresso;
- attivare canale segnale audio di uscita.



## 6.8 Conclusioni e sviluppi futuri

L'architettura implementata in questo lavoro di tesi permette di realizzare una comunicazione tra un dispositivo Bluetooth (Headset) connesso alla LAN e un qualunque dispositivo cellulare appartenente alla tecnologia GSM. Fornendo questo tipo di comunicazione, oltre a completare l'integrazione dell'architettura globale introdotta inizialmente, la si estende aggiungendo maggiore versatilità di utilizzo grazie all'inserimento della tecnologia wireless Bluetooth. Infatti questa realizzazione non sostituisce lo standard H323, impiegato nella precedente tesi, per la comunicazione vocale, ma lo integra fornendo una nuova tipologia di connessione al gateway GSM che permette all'utente una maggiore mobilità.

Un'applicazione reale di questa architettura si colloca naturalmente in una LAN aziendale, al cui interno sia integrata una PAN di apparecchi Bluetooth, in cui si richiede la presenza di un dispositivo condiviso che fornisca una linea di uscita verso la rete GSM.

Gli sviluppi futuri di questo sistema sono molteplici, ma quello che si reputa più utile e facilmente realizzabile è l'ampliamento del numero di connessioni Bluetooth gestibili contemporaneamente dal sistema. In particolare con questa estensione si potrebbe rapidamente implementare una procedura che permetta ai diversi headset della PAN di comunicare tra loro, ed eventualmente offrire anche servizi di messaggistica vocale.

É da tenere presente che l'adozione della tecnologia Bluetooth, da parte dei più comuni dispositivi elettronici, è in forte espansione. Realizzare una struttura sopra la rete LAN che sia in grado di interagire con un generico dispositivo Bluetooth e che possa poi veicolare informazioni indistintamente sulla LAN, o su altri dispositivi della PAN Bluetooth, permettere lo scambio di dati e di comunicazioni vocali tra molteplici utenti a costo zero.

---

*Il progetto realizzato in questo lavoro di tesi per la seconda laurea in Scienze dell'Informazione aveva il compito di aggiornare e in particolare integrare il progetto da me presentato per la tesi quadriennale.*

*Il lavoro effettuato ha sfruttato parte dell'architettura precedente ma ha aggiunto una tipologia di connessione completamente nuova, basata sulla tecnologia Bluetooth, che rappresenta l'elemento innovativo della tesi.*

*Bluetooth è sicuramente in forte espansione e viene ormai utilizzato come mezzo di comunicazione da una grande varietà di dispositivi elettronici, per questo motivo si è distinto come strumento, a mio parere, più adatto alla realizzazione della connessione audio necessaria al progetto. Lo studio del suo utilizzo e delle sue funzionalità sulla piattaforma Linux è risultato molto interessante nonostante si sia rivelato abbastanza impegnativo, inoltre mi ha permesso di capire bene i principi di funzionamento di questa tecnologia e di comprenderne le caratteristiche strutturali.*

*Ringrazio la Proff.ssa Paola Salomoni per avermi dato la possibilità di realizzare questo lavoro di tesi, il Dott. Matteo Roffilli per avermi fornito l'idea progettuale e il supporto tecnico necessario, la Dott.ssa Luana Sirabella per il supporto linguistico e il sostegno morale.*

## Bibliografia

[ABB] Abbeyphone, [www.abbeyphone.it](http://www.abbeyphone.it);

[ADP88] ITU-T *Recommendation G.721 – 32 kbit/s adaptive differential pulse code modulation (ADPCM)*, 1988;

[ALSA] *Alsa-Project*, <http://www.alsa-project.org/>;

[ANSI] American National Standards Institute, <http://www.ansi.org/>;

[ARI90] A.R.I., *Packet Radio Handbook*, 1990;

[AUD96] ITU-T *Recommendation G.723.1 – Dual rate speech coder for multimedia communications transmitting at 5.3 and 6.3 kbit/s*, march 1996;

[BER92] D. Bertsekas, R. Gallager, *Data Networks*, 1992;

[BIN75] R. Binder, *A dynamic packet switching system for satellite broadcast channels*, 1975;

[BLUEZ] Official Linux Bluetooth protocol stack, [www.bluez.org](http://www.bluez.org);

[BT1] *Specifications of the Bluetooth system. Version 1.1 Volume 1: core*, Bluetooth S.I.G, 2001;

[BT2] *Specifications of the Bluetooth system. Version 1.1 Volume 2: profiles book*. Bluetooth S.I.G, 2001;

[BTI] Bluetooth, <http://bluetooth.interfree.it/>

[CAL00] ITU-T *Recommendation H.225.0 – Call signalling protocols and media stream packetization for packet-based multimedia communications system*, november 2000;

[CEL92] ITU-T *Recommendation G.728 – Coding of speech at 16 kbit/s using low-delay code excited linear prediction*, 1992;

[CER83] V. Cerf, E. Cain, *Computer Networks*, 1983;

[COD] “Speech Coding” [http://rice.ecs.soton.ac.uk/jason/speech\\_codecs/](http://rice.ecs.soton.ac.uk/jason/speech_codecs/)

[COM91] D. E. Comer, D. L. Stevens, *Internetworking with TCP/IP*, 1991;

[CSGSM] M. Bresco, G. Pradal, E. Tomasco, “Sistema di telefonia GSM” - [www.dia.unisa.it/ads.dir/corso\\_security/www/CORSO-9900/a5](http://www.dia.unisa.it/ads.dir/corso_security/www/CORSO-9900/a5)

[CUS] CUSeeMe Networks, Inc., <http://www.cuseeme.com/>;

[DAC] Data Connection, <http://www.dataconnection.com>;

[DEC97] M. Decina, V. Trecordi, “Convergence of Telecommunications and Computing to Networking Models for Integrated Services and Applications”, january 1997;

[DEL98] ITU-T *Recommendation P.931 – Multimedia communications delay, synchronization and frame rate measurement*, december 1998;

[DGT01] *Il GPRS dalla A alla Z*, [www.digitalvillage.it](http://www.digitalvillage.it), 2001;

[DS93] C. Déchaux and R. Scheller. What are GSM and DCS. *Electrical Communication*, 2nd Quarter 1993

[ETSI] *European Telecommunication Standards Institute*, <http://www.etsi.org>;

[ETS1] ETSI – *Digital Cellular telecommunications system (Phase2); Mobile Station (MS) features*. GSM 02.07

[ETS2] ETSI – *Digital Cellular telecommunications system (Phase2); Abbreviations and acronyms*. GSM 01.04

[EUR99] “Indagine conoscitiva sulla evoluzione e sulle prospettive di ampliamento del mercato delle telecomunicazioni nel settore pubblico e istituzionale”, <http://www.eurispes.com/EURISPES/nokia99/>, Gennaio 1999.

[FIB] Tom Weimer, “*Fibre channel fundamentals*”

[GAI95] S. Gai, P. L. Montessoro, P. Nicoletti, *Reti locali: dal cablaggio all'internetworking*, 1995;

[GHO] “Introduzione ai sistemi radiomobili” <http://www.gsmworld.it/>

[GIB97] J.D. Gibson, *The Communications Handbook*, 1997;

[GMSK] “*Gaussian-minimum Frequency Shift Keying*”  
<http://www.gsmworld.it/caratt.htm>

[GPRS] “*Global system for mobile communications*” <http://www.gsmworld.it/gprs.htm>

[GSM] “*Global System for mobile communications*”  
<http://www.gsmworld.it/> - Ottobre 2000.

- [H323] ITU-T *Recommendation H.323 - Packet-Based Multimedia Communications Systems*, draft v3, september 1999;
- [H3232] ITU-T *Recommendation H.323 - Packet-Based Multimedia Communications Systems*, draft v4, november 2000;
- [HAR93] I. Harris. Data in the GSM Cellular Network. In D.M. Balston and R.C.V. Macario, editors, *Cellular Radio Systems*, Artech House, Boston, 1993.
- [HSCSD] “*High Speed Circuit Switched Data (HSCSD)*”  
<http://it.gsmbox.com/gsm/dati/hscsd.gsmbox>
- [HOR84] C. Hornig, RFC 894, “*A standard for the Transmission of IP Datagrams over Ethernet Networks*”, 1984;
- [HPB04] “*Bluetooth wireless technology basics*”, [www.hp.com](http://www.hp.com), 2004;
- [IBM] *International Business Machines*, <http://www.ibm.com/>;
- [IEEE] *The Institute of Electrical and Electronics Engineers*. <http://www.ieee.org/>;
- [IEF] A. S. Tanenbaum, “*Specifiche di IP e reti IP*”
- [ISO] *International Organization for Standardization*, <http://www.iso.ch/>;
- [ITU] *International Telecommunication Union*, <http://www.itu.org/>;
- [MNM] K. Spencer “*Multimedia – NetMeeting Offre interessanti soluzioni*” ,  
<http://www.windows2000.it/wirefree/0007061.htm>
- [MUL00] ITU-T *Recommendation H.245 – Control protocol for multimedia communication*, february 2000;

[NAM00] ITU-T *Recommendation H.450.8 – Name identification supplementary service for H.323*, february 2000;

[NDP] Net2phone, [www.net2phone.com](http://www.net2phone.com);

[NET] Microsoft Corp., <http://www.microsoft.com/netmeeting/>;

[NET01] Dario Colombo “VoIP: il dibattito è aperto”, <http://www.01net.it>, 2005;

[NPT] Tiscali Netphone, [www.netphone.tiscali.it](http://www.netphone.tiscali.it);

[NWM04] Furto dei telefonini: come bloccarli,  
<http://www.newsmobile.it/articolo/furto/1-1>, 2004

[ORG] Equivalence Pty Ltd, <http://www.openh323.org/>;

[PAC95] ITU-T *Recommendation P.764 Appendix I – Packetization Guide*, december 1995;

[PAL] Bluetooth Tutorial – Profile,  
<http://www.palowireless.com/infotooth/tutorial/profiles.asp>;

[PCM98] ITU-T *Recommendation G.711 – Pulse Code Modulation (PCM) of voice frequencies*, november 1998;

[PCU] *Il wireless per tutti*, [www.pcupgrade.it](http://www.pcupgrade.it)

[POS88] J. Postel and J. Reynolds, RFC 1042, “A Standard for the Transmission of IP Datagrams over IEEE 802 Networks”, february 1988;

[PUI05] *Dopo UMTS verrà Super 3G*, [www.punto-informatico.it](http://www.punto-informatico.it), 2005;

- [RBT] Guida alla tecnologia Bluetooth, <http://www.risorse.net/wireless/bluetooth.asp>;
- [ROC99] M. Rocchetti, V. Ghini, G. Pau, P. Salomoni & M. E. Bonfigli, “*Design and Experimental Evaluation of an Adaptive Playout Delay Control Mechanism for Packetized Audio for Use over the Internet*”, april 1999;
- [RTD98] A. Corsaro, G. Scappellato, “*Reti di telecomunicazioni La Dispensa*” [www.cdc.unict.it/~spalazzo/Corso\\_reti/](http://www.cdc.unict.it/~spalazzo/Corso_reti/)
- [SEC00] ITU-T *Recommendation H.235 – Security and encryption for H-series (H.323 and other H.245-based) multimedia terminals*, november 2000;
- [SKY] Skype, [www.skype.com](http://www.skype.com);
- [SIEE] Siemens – “*Cellular Engine*” [SIEMENS TELEMATICA S.p.A.](http://www.siemens-telematika.it)
- [SIEM] Siemens – “*Siemens M20/M20 Terminal – Technical Description*”
- [SOR] Sorenson Vision, Inc., <http://www.sorensonenvision.com/>;
- [STE94] W. R. Stevens, *TCP/IP Illustrated, Volume I*, 1994;
- [STO97] V. Cerf, “*La storia di Internet*” <http://www.mediamente.rai.it/home/bibliote/intervis/c/cerf.htm>, 1997;
- [SUN] Sun Microsystems, <http://www.sun.com/desktop/products/software/sunforum/>;
- [SUP00] ITU-T *Recommendation H.450.9 – Call Completion Supplementary Services for H.323*, november 2000;
- [TAN91] A. S. Tanenbaum, *Reti di computer*, 1991;



- [TEL99] “Sistema radio cellulare GSM” - <http://telefonia.rdn.it/sistemi.htm>
- [TFN01] Prende sempre più piede il 4g, [www.telefonino.net](http://www.telefonino.net), 2001;
- [USF98] Dr.ssa M.R.Guelfi, Dr. M. Masoni, “Internet e i suoi servizi”  
<http://150.217.30.146/MMM-project/internet/default.htm> ;
- [VCL04] G.729 Coding of Speech Signals at 8 kbit/s using Conjugate-Structure Algebraic-Code-Excited Linear-Prediction(CS-ACELP),  
[http://www.vocal.com/data\\_sheets/g729d0.html](http://www.vocal.com/data_sheets/g729d0.html), 2004;
- [VID93] ITU-T Recommendation H.261 – Video codec for audiovisual services at p x 64 kbit/s, march 1993;
- [VID98] ITU-T Recommendation H.263 – Video coding for low bit rate communications, february 1998;
- [VOC] VocalTec Communications Ltd., <http://www.vocaltec.com/>;
- [WEP] NetSpeak Corporation, <http://www.netspeak.com/>.
- [WFI] Daniele Pauletto, “Guida al WiFi”, <http://wlan.interfree.it/>
- [WIK] Wireless Local Area Network,  
[http://it.wikipedia.org/wiki/Wireless\\_local\\_area\\_network](http://it.wikipedia.org/wiki/Wireless_local_area_network)
- [WIR] P. Trani Le comunicazioni Wireless: Analisi del segmento di mercato  
<http://www.rdn.it/it/wireless/wirele.htm>
- [WLA ] Wireless: Wlan, <http://www.risorse.net/wireless/wlan.asp>