

Codifica e pacchettizzazione della voce

La trasmissione dell'informazione vocale su reti con caratteristiche digitali richiede una interfaccia hardware e software.

Il segnale vocale è un'onda di pressione nell'aria che si propaga nell'ambiente; un microfono lo trasforma in segnale elettrico che si propaga lungo un filo conduttore (pressione \leftrightarrow Volt); il segnale elettrico viene poi codificato. L'operazione di **codifica** consente la rappresentazione del segnale analogico tramite un flusso numerico di bit che viene trasmesso lungo una rete numerica per consentire la ricostruzione del segnale originario nel ricevitore. Le tecniche di codifica si possono dividere in : tecniche di base e tecniche che sfruttano le caratteristiche dell'orecchio umano.

La qualità del segnale riprodotto viene indicata in una scala MOS (Mean Opinion Score) che rappresenta statisticamente il giudizio di molte persone di sesso diverso.

MOS	Qualità	Definizione	Esempio
5	Eccellente	Nessuno sforzo richiesto per la comprensione	Dal vivo CD-audio
4	Buona	Richiede attenzione, ma non uno sforzo apprezzabile	Telefonia fissa
3	Discreta	E' richiesto un moderato sforzo per la comprensione	GSM
2	Scarsa	Il significato delle frasi è comprensibile senza un notevole sforzo	
1	Insufficiente	La comunicazione è sostanzialmente impossibile	

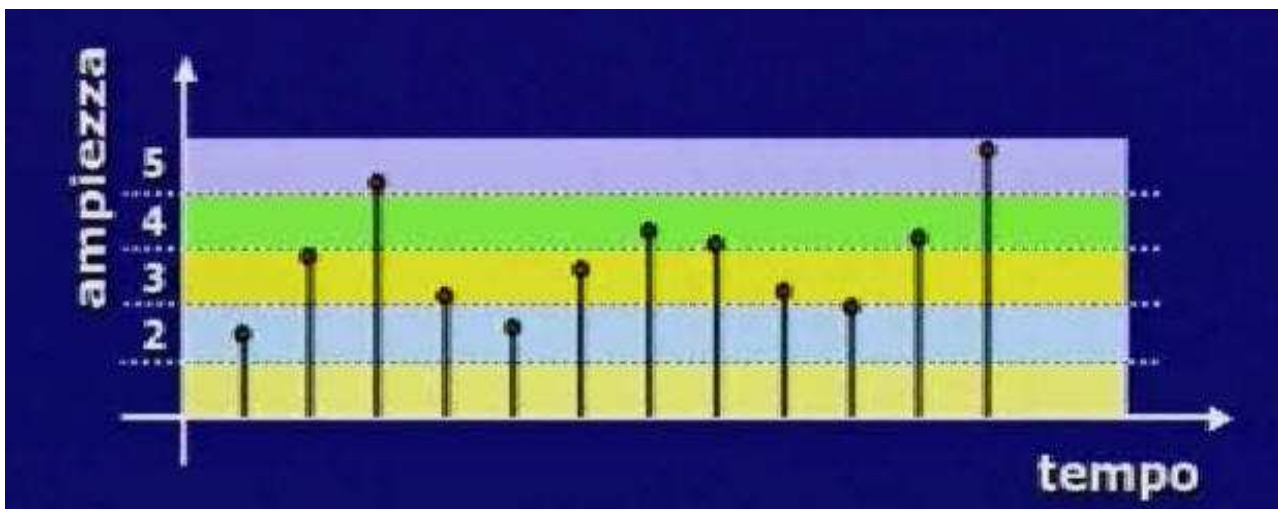
PCM (Pulse Code Modulation) è il nome assegnato al processo di campionamento e quantizzazione.

CAMPIONAMENTO : Si rappresenta il segnale continuo tramite un insieme discreto di valori. Non vi è alcun degrado se viene rispettato il teorema di Nyquist.



Il teorema di Nyquist definisce la relazione tra l'intervallo T_c e la Banda del segnale $1/T_c > 2B$ ovvero la frequenza di campionamento deve essere maggiore della massima frequenza da campionare.

QUANTIZZAZIONE: Assegnazione a un insieme discreto di valori dei punti campionati ; il segnale subisce un degrado irreversibile, ma noto e controllabile.



Nella figura, la massima ampiezza del segnale analogico è stata divisa in 5 fasce, si assegna il valore della fascia a tutti i campioni compresi nel suo intervallo, il frame di quantizzazione sarà 235323443245, viene quindi introdotto un degrado nel segnale in quanto si perde l'informazione sulla differenza dei segnali appartenenti alla stessa fascia. Il degrado è inversamente proporzionale al numero delle fasce.

La quantizzazione può avvenire in modo Lineare (tutti gli intervalli hanno la stessa ampiezza) o Companding (intervalli diversi a seconda dell'ampiezza). La tecnica Companding discende dall'osservazione che la sensibilità dell'orecchio umano è di tipo logaritmico, ovvero è sensibile ai segnali con bassa ampiezza mentre è poco sensibile ai segnali con grande ampiezza, il segnale a grande potenza viene quindi rappresentato con pochi campioni mentre il segnale debole con molti campioni ottenendo un miglioramento della qualità del segnale o una riduzione della velocità di campionamento a pari qualità.

PCM lineare:

CD (~44 kHz, 16 bit)
qualità eccellente (MOS 5)

PCM companding:

Telefonia (8kHz, 8 bit, 64 kbit/s)
qualità buona (MOS 4+),
standard ITU-T G.711

Il PCM adattativo sfrutta la correlazione temporale presente nel segnale vocale, modifica nel tempo l'ampiezza degli intervalli di quantizzazione in funzione della dinamica del segnale (adattamento); se il segnale vocale varia poco nel tempo (toni bassi o pause tra le parole) viene ridotto il numero di campioni ottenendo un risparmio di banda.

Il PCM differenziale codifica la differenza tra due campioni sfruttando la correlazione temporale, in effetti il campione seguente sarà molto simile al campione precedente e quindi la sua variazione di ampiezza può essere rappresentata in un numero inferiore di bit ottenendo un risparmio di banda.

il PCM adattativo e differenziale viene usato nei telefoni cordless ottenendo la qualità MOS 4 con solo 32 Khz di banda.

Un ulteriore miglioramento si ottiene con la modulazione DELTA, si ottiene sovracampionando il segnale, ovvero con una frequenza molto superiore a quella indicata dal teorema di Nyquist e si trasmette solo l'informazione relativa alla variazione del segnale; invio un segno + se il segnale sta salendo, un segno - se il segnale scende; in tal modo l'informazione viene inviata usando un singolo bit.

Il PCM e i suoi derivati codificano l'informazione seguendo il flusso del segnale analogico, campione dopo campione, i **codificatori a blocco** invece considerano un gruppo elevato di campioni e li codificano seguendo un algoritmo di compressione. Le moderne reti, sia di tipo radiomobile che di trasmissione dati sono organizzate a pacchetti, i dati vengono raggruppati e trasmessi in gruppi di bytes. Consideriamo un fonema vocale della durata di 10-40 mS. Si parte da una codifica lineare eccellente, si raggruppano da 80 a 320 campioni e si lavora sul blocco dando quindi una rappresentazione dell'intero fonema, addirittura si possono usare degli algoritmi complessi che sfruttano la conoscenza dell'apparato vocale.

I codificatori a blocco sono basati su filtri numerici a risposta finita (filtri FIR) in cui il codificatore calcola i parametri numerici astratti che vengono trasmessi per la ricostruzione vocale in ricezione. In questi codificatori è possibile sopprimere il silenzio trasmettendo una simulazione del soffio di sottofondo. I sistemi di codifica usati sono il LPC-LPT che calcola i coefficienti usando due filtri, uno per le consonanti e l'altro per le vocali. Il codificatore CELP ottiene una rappresentazione migliore del sistema fonetico umano usando un database con chiave da cui si prelevano i rumori. Nelle reti GSM, dal 1992 viene usato un codificatore LPC-LPT che genera un flusso a 13 Kbit/sec, dal 1997, con l'introduzione del dual-band, il sistema è stato migliorato usando codificatore CELP a 12,2 Kbit/sec ottenendo un miglioramento di 1/2 punto MOS.

La più recente realizzazione di codifica è rappresentata dal codificatore per UMTS, è un Codec adattativo a rate variabile (AMR Adaptive Multi Rate) e può essere usato anche in GSM.

AMR si limita a scegliere tra 8 sistemi di codifica e decodifica diversi, tra questi 8 quello a 12.2 è il codificatore GSM mentre quello a 7,4 è quello usato negli Stati Uniti.

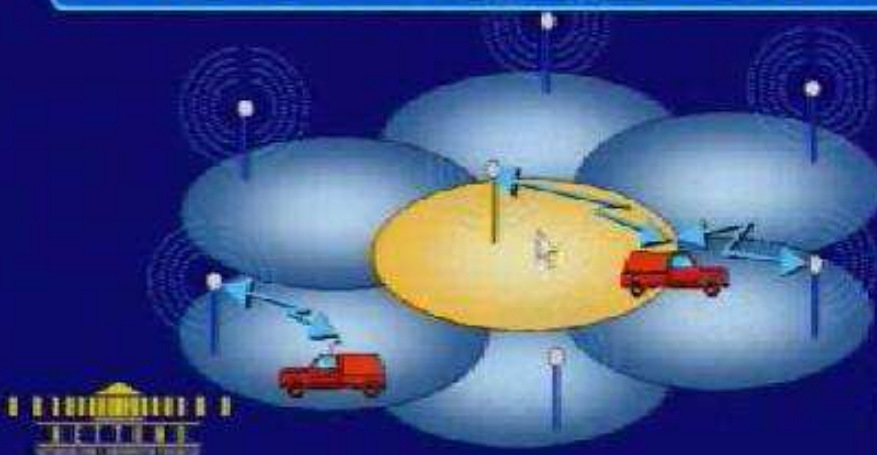
Codificatore AMR

- Usa 8 possibili livelli di compressione: 12.2, 10.2, 7.95, 7.4, 6.7, 5.9, 5.15, 4.75
- Commuta automaticamente verso compressioni più elevate al degradare del canale trasmissivo in modo da poter aggiungere più ridondanza al segnale trasmesso

Una rete senza fili (WireLess) è una sottorete in cui avviene un accesso locale alla rete principale, ha un solo punto di accesso fisso con funzione di router verso la rete principale. Una rete cellulare è una rete geografica ottenuta con una tassellatura di aree adiacenti e/o sovrapposte dette celle. L'utente si può muovere attraverso la rete passando da una cella all'altra senza interrompere la comunicazione.

Rete cellulare

- La copertura radio del territorio è realizzata con tante celle
- Supporto della mobilità degli utenti



La rete di telefonia mobile GSM

L'idea di **GSM** inizia nel **1982**, una data molto precoce per la concezione del GSM odierno, allora la CEPT (Conferenza Europea per l'Amministrazione delle Poste e delle Telecomunicazioni) istituisce un gruppo di persone incaricate dello studio di un sistema di comunicazione telefonica che potesse essere usato su tutto il territorio europeo; il gruppo prese il nome di **Group Speciale Mobile** da cui l'acronimo **GSM**. Nel **1984** il gruppo si divide in tre sezioni di lavoro che dovevano definire i servizi da offrire in GSM, l'interfaccia radio, i formati di trasmissione, i protocolli di segnalazione, le interfacce e l'architettura di rete. Nel **1985** viene definita una prima lista di raccomandazioni, allora incompleta, finiranno per diventare 130 raccomandazioni in 12 volumi di 1500 pagine. **1986** vede la costituzione di un nucleo permanente su GSM visto che l'interesse industriale era stato importante. Nel **1987** viene firmato il MoU (Memorandum of Understanding), memorandum tra operatori telefonici Telecom in rappresentanza delle 12 nazioni che allora costituivano l'unione europea; con questo documento vengono concordate le politiche di instradamento dei pacchetti all'interno delle diverse reti e le modalità di tariffazione passando tra un paese e l'altro. Nel **1988** viene costituito l'Istituto ETSI (European Telecommunication Standards Institute) e a questo organismo viene assegnata la standardizzazione di GSM. Nel **1990** viene deciso che lo standard di GSM si possa applicare non solo sulla banda nativa di 900 Mhz ma anche sui 1800 Mhz (sui quali era previsto lo sviluppo del sistema DCS1800, un sistema di Personal Network inizialmente sviluppato in U.K.). Nel **1991** in Luglio viene posticipata la data di avvio di GSM e viene rimandato al 1992. Nel **1992** viene rilasciata la prima versione di GSM che ora diventa acronimo per **Global System for Mobile communications**. Dal punto di vista operativo, i sistemi commerciali GSM iniziano dal 1992. Nel **1993** il MoU raccoglie 62 operatori che coprono 39 paesi, inoltre vi sono altri 19 paesi in attesa di connessione. Nel **1994-1995** nasce il servizio di messaggistica SMS (Short Message Service), nasce senza prevedere il successo commerciale che avrà in seguito (oggi i SMS sono la principale fonte di guadagno degli operatori GSM). Nel **1995-1997** si osserva la nascita della rete a 1800 Mhz, nel **1996 e 1997** nasce una nuova generazione di terminali, il dual-band che con un nuovo algoritmo di codifica e la doppia banda eliminano molti dei problemi presenti nella prima generazione (voce metallica ed echi). Nel **1999** viene proposto lo standard **GPRS** per la trasmissione a pacchetto e si vede la nascita dei primi terminali **WAP** (Wireless Terminal Protocol). Nel **2000-2001** viene introdotto sul mercato il GPRS. Complessivamente dal 1993 al 2001 GSM diventa la rete cellulare più diffusa al mondo con una penetrazione notevole anche in USA e in Giappone (oggi conta circa un miliardo di utenti nel mondo) ed ha avuto la caratteristica di determinare l'abbandono della telefonia satellitare.

I servizi offerti dalle reti GSM sono tre : Trasporto - Teleservizi - Supplementari

Servizi di trasporto

trasmissione dati da 300 a 9.600 bps

accesso a pacchetto PAD (Packet Assembly and Disassembly) da 300 a 9.600 bps

Trasmissione dati a pacchetto (GPRS) con velocità da 2.400 a 9.600 bps.

Trasmissione dati a velocità elevata HSCSD (High Speed Circuit Serial Data) con affasciamento di canali fino a 76.800 bps

Teleservizi

Telefonia full rate (13000bps o 12600 con la codifica Enhanced; telefonia Half Rate a 6.500 bps (con un codificatore a velocità dimezzata)

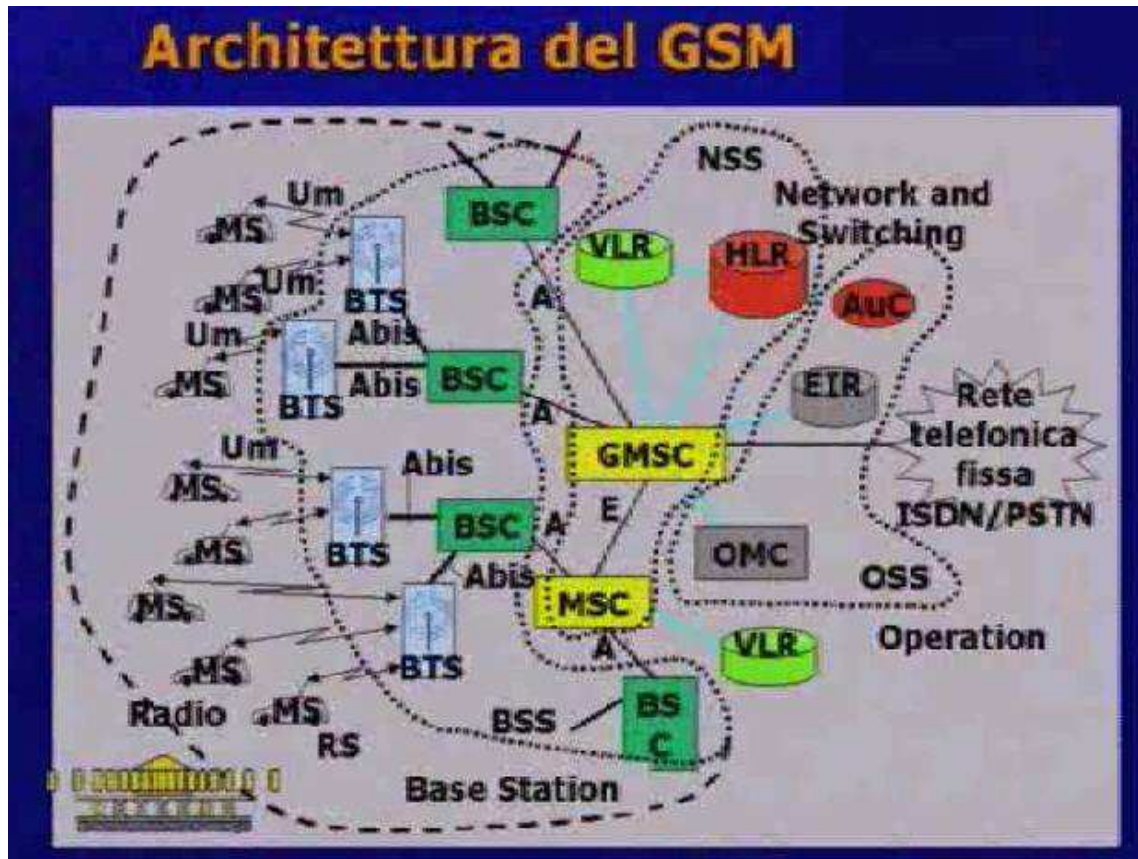
Telefax di gruppo 3

Messaggistica sia unicast che multicast (SMS e Multimediale)

Servizi supplementari

Tutti i servizi supplementari disponibili sulla rete fissa (inoltro di chiamata, chiamata su occupato, segreteria, ecc..) sono potenzialmente disponibili anche su rete mobile.

Architettura del GSM



Sulla sinistra sono indicati i terminali mobili **MS (Mobile System)** che comunicano con un **BTS (Base Transceiver Station)**, la parte trasmissiva del sistema; MS e BTS comunicano mediante una interfaccia chiamata UM (User Mobile), una specifica che indica in quale modo il telefono si collega alla rete. Nella stazione base il segnale arriva al **BSC (Base System Controller)**, una singola BSC può gestire molte BTS e l'interfaccia tra la BSC e la BTS è chiamata Abis. Dopo la stazione radio base troviamo la centrale **MSC (Mobile Switching Center)** che può interfacciare molte stazioni radio base, la **GMSC (Gateway Mobile Switching Center)** consente la connessione alla rete di telefonia fissa o ad altre reti. Ogni MSC è collegato ad un database temporaneo **VLR (Visitor Location Register)** che contiene le informazioni relative agli utenti serviti in questo momento da questa centrale. Il Gateway GMSC ha inoltre un database permanente **HLR (Home Location Register)** che contiene i dati di un gruppo di abbonati di quell'operatore, questi dati verranno poi copiati nei vari VLR della rete. Infine un centro di autenticazione **AuC (Authentication Center)**, un **OMC (operation e Maintenance Center)** che provvede alla manutenzione della rete e un database **EIR (Equipment Information Register)** in cui sono memorizzate le informazioni relative ai terminali, ad esempio il blocco in seguito al furto del cellulare.

Il Terminale Mobile - MS

e' di proprietà dell'utente, si distinguono tre categorie, i **veicolari** con potenza fino a 20 W all'antenna; i **Portatili** con potenza fino a 8 W all'antenna ma hanno bisogno di molta energia (ad esempio i PC con interfaccia GPRS); i **terminali personali** (i telefonini) con un massimo di 2W all'antenna.

I terminali sono di tipo dual band se operano contemporaneamente a 900 e a 1800 Mhz. Esistono anche i Tri.Band che usano in alternativa i 1900 Mhz negli Stati Uniti.

MS è solo l'hardware, per funzionare deve essere dotato di una scheda che certifica la sottoscrizione di un abbonamento con un gestore (SIM card).

Nei paesi in cui sono attivi i numeri di emergenza possono essere effettuate chiamate anche senza la SIM. Il telefono cellulare non identifica l'utente, questa identità viene fornita dalla SIM card, che viene fornita su due formati, un formato di carta di credito e un formato ridotto chiamato plug-in. Le caratteristiche del contratto sono memorizzate in modo permanente e crittografate nella **SIM**, è possibile acquistare SIM da gestori diversi installandola nel telefono a seconda della convenienza. Nella SIM vengono inoltre memorizzati gli SMS, viene attivata da un codice **PIN** a 4 cifre (Personal Identification Number) ed eventualmente un codice di sblocco **PUK** (Personal Unblocking Key)



L'oggetto che comunemente usiamo, il **TM**, si compone quindi di un MS con una SIM.

La BTS (Base Transceiver Station)



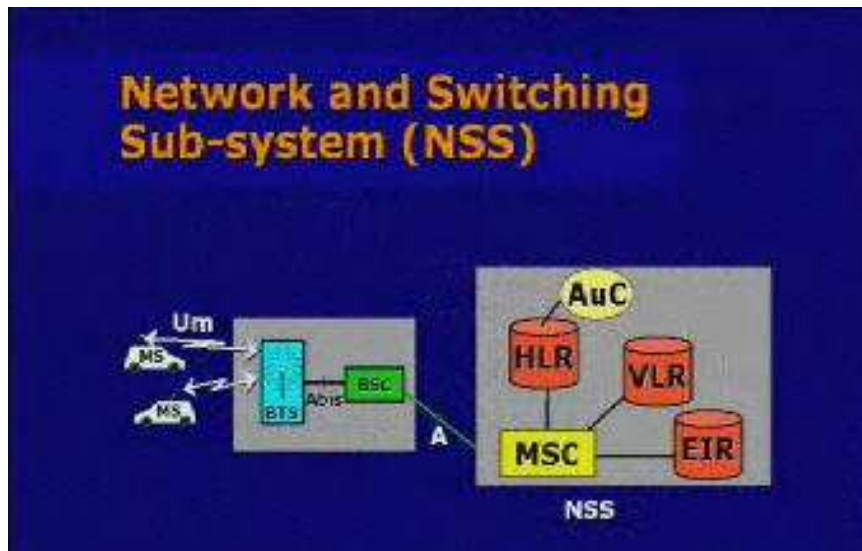
Una BTS su un palazzo con le sue antenne, in realtà sono tre BTS connesse alle antenne poste sui cateti di un triangolo. Nel caso standard una sola BTS è collegata ad una antenna, in casi particolari la geometria può cambiare a seconda della forma della cella da servire, la potenza della BTS dipende dalla dimensione della cella da servire, ogni BTS dispone da 1 a 16 interfacce radio ognuna su una portante diversa, ed ogni portante dispone di 8 canali. ogni BTS effettua le operazioni di codifica e di cifratura necessarie alla trasmissione e realizza delle misure sulla ricezione per decidere il controllo di potenza e il momento di Handover (cambio di cella)

BSC (Base System Controller)

Una singola BSC può controllare da 10 a 100 BTS, il collegamento con la BTS avviene a 2 Mbps su 31 canali PCM + 1 canale di controllo;

La BSC svolge le funzioni: analizza la misura della qualità del segnale e decide l'handover, gestione delle frequenze assegnate alle BTS, controlla le operazioni di ricerca degli utenti (paging), effettua la diagnostica del sistema per richiedere la manutenzione.

Il NSS (Network and Switching Subsystem)



Lo schema di principio è indicato nella parte destra della figura, comprende il MSC HLR e VLR.

La centrale di commutazione è l'MSC (Mobile Switching Center), a questa è connessa un database HLR e un database VLR con le indicazioni sui terminali che sono all'interno del territorio gestito dalla centrale.

MSC è un programma che effettua le funzioni di : gestione della mobilità , controllo e autenticazione delle chiamate, supporto ai servizi, internetworking con altre reti (GSM o telefonia fissa), funzioni di gateway, gestione delle risorse. MSC consente l'instradamento di chiamate da/verso terminali mobili o fissi. Un caso particolare è il GSMC che interfaccia la rete GSM con la telefonia fissa.

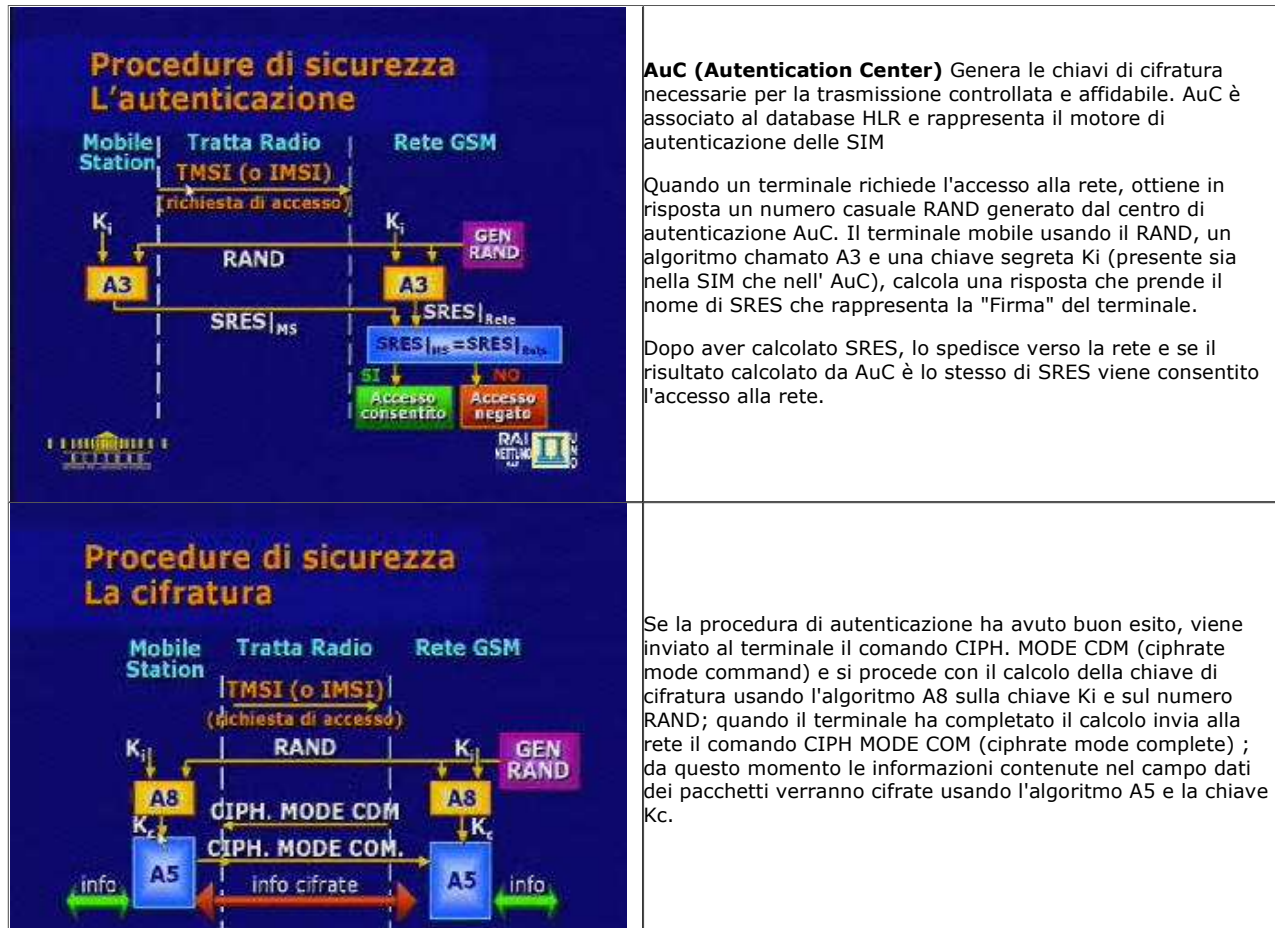
HLR (Home location register) è una base di dati permanente che memorizza le informazioni di tutti i terminali mobili: l'identificatore del terminale (non è il numero telefonico) viene chiamato IMSI (International Mobile Subscriber Identity) ed è caratteristico di ogni SIM, il numero di telefono della SIM e la sua chiave di autenticazione, inoltre memorizza un puntatore al VLR nel quale è registrato in quel momento il telefono indicato. All'interno dell' HLR viene anche indicato lo stato del terminale (spento/acceso) e altre informazioni che costituiscono il profilo dell'utente.

All'interno del VLR viene spostato l'identificatore del terminale seguendo lo spostamento del telefonino stesso tra le celle.

Il codice IMSI si compone di tre campi , esempio 222 01 4572228769 indica il paese di origine (222 Italia), l'operatore telefonico (01 Tim) e il numero di serie della SIM; si noti che il numero telefonico è scorrelato dall' IMSI.

Il telefonino invia il codice IMSI, questo viene rigenerato e ritrasmesso al telefonino che lo userà per la connessione a questa BTS, inoltre viene memorizzato nel TMSI (IMSI Temporaneo) del database temporaneo VLR. La chiave di codifica del TMSI rappresenta la chiave di crittografia che sarà usata per la comunicazione. Un altro codice (IMEI) è memorizzato nell'apparato e non cambia con la sostituzione della SIM, anche questo codice viene trasmesso e serve al controllo della posizione dei telefonini rubati (AuC).

EIR (Equipment Identity Register) contiene gli identificatori e le caratteristiche degli apparati mobili (solo l'hardware, senza SIM) contiene il tipo di prodotto, il produttore, il periodo e il paese in cui è stato fabbricato .. lo scopo è la protezione della rete da parte di apparecchiature non idonee, rubate, esportate illegalmente e che non hanno la certificazione. Vengono usate tre tabelle, White List che identifica tutti i terminali operativi, la Grey List che indica i terminali che possono accedere temporaneamente, la Black List che identifica apparati rubati o non autorizzati.



La terna di dati RAND SRES e Kc vengono memorizzate nel database HLR e vengono rilette alla successiva connessione per impedire che vengano riutilizzate delle chiavi già sfruttate in precedenza.

OMSS (Operation and Maintenance Sub-system)

E' la sede di tutte le operazioni di gestione della rete e si occupa di :

- Gestione dei guasti - Gestione della manutenzione - Configurazione delle singole BTS tramite le BSC - Controllo delle prestazioni degli elementi della rete - Gestione della sicurezza del sistema - Raccolta dei dati relativi alla tariffazione - Gestione della ripartizione delle tariffe tra gestori diversi

Le Aree della rete GSM

La Cella è individuata da una BTS, ogni cella ha un proprio identificatore (CGI), gruppi di celle sono serviti da una stazione radio base (nella figura vi sono tre stazioni radio) che è identificata da un numero chiamato BSIC . Raggruppamenti di celle vengono chiamate Location Area.

Una Location Area è l'insieme di celle all'interno della quale è possibile reperire il terminale mobile nello stesso VLR ed è individuata da un codice LAI (Location Area Identify),



aumentando il livello di architettura arriviamo alla PLMN (Public Land Mobile Network) che indica la rete servita da un gestore ed infine la GSM service area che è l'insieme di tutte le reti PLMN.

I principali identificatori degli utenti sono : IMSI - identifica l'utente MSISDN - è il numero di telefono TMSI - è l'identificatore temporaneo usato al posto di IMSI MSRN è il numero usato dal GMSC per instradare una chiamata da rete fissa a rete mobile.

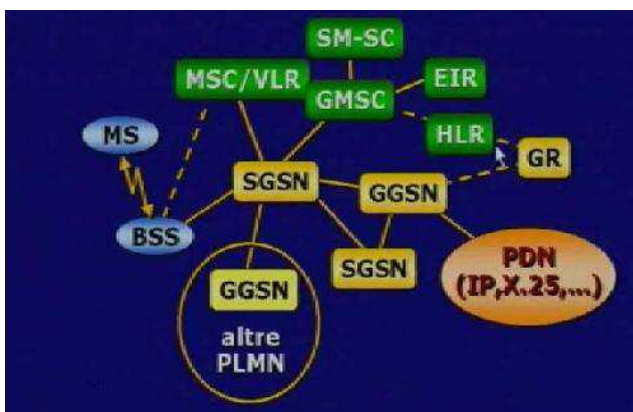
GPRS la trasmissione a pacchetto nella rete GSM

GPRS (General Packet Radio Service) definisce una modalità di trasmissione dati sulla rete inizialmente destinata alla trasmissione della voce; usa da 1 a 4 canali (in prospettiva 8) e la tariffazione deve avvenire in base alla mole dei dati trasferiti e non al tempo di connessione. La rete GPRS si interfaccia a livello superiore con reti X25 o altre reti a pacchetto, supporta la QoS quindi una tariffazione diversa a seconda della qualità di servizio; è pensato per sostenere transazioni commerciali in cui il terminale è sempre acceso ma trasmette saltuariamente (agenti di commercio, rappresentanti, allarmi, telesorveglianza ecc..). La rete GPRS non si presta alla trasmissione di files molto grandi ma solo piccole transazioni.



Nella rete GPRS vengono aggiunti due nodi, SGSN che sostituisce l'MSC e il relativo gateway diventa il GGSN.

Il disegno complessivo della rete viene ad essere modificato nella figura seguente



nella quale viene aggiunto nel BSS (Base Station Subsystem) il blocco SGSN, il gateway GGSN e in particolare viene integrato in database HLR con una nuova mole di dati detta GR (GPRS Register) che

contiene le indicazioni dei servizi abilitati nella rete GPRS per quel terminale ,la qualità del servizio e lo stato del terminale.

Il terminale può essere in tre stati operativi STANDBY, READY o IDLE



Dalla situazione iniziale di IDLE, mediante una operazione di connessione entra nello stato READY, se non trasmette dati per un tempo superiore al Timeout passa in STANDBY, ritorna in READY ogni volta che deve trasmettere un nuovo pacchetto; in questo modo il terminale può rimanere connesso per molto tempo ma non serve una nuova connessione per ogni trasmissione di dati. Lo stato IDLE viene raggiunto mediante una operazione di distacco del terminale stesso o mediante una forzatura della rete quando il terminale non trasmette dati per un tempo elevato.

GPRS coesiste con GPS e usa le stesse celle, viene data priorità al traffico voce, in caso di eccessivo traffico GSM vengono ridotti i servizi GPRS. In GPRS vengono forniti gli stessi servizi che otteniamo in una rete IP , possiamo connetterci in modo punto-punto o multicast. La qualità del servizio QoS non consente nessun servizio real-time e varia notevolmente a seconda del traffico e delle prestazioni delle BSS.

Classi di throughput			
MEDIO		MASSIMO	
Classe	Valore [bit/s]	Classe	Valore [kbit/s]
1	8.E.	1	8
2	0.22	2	16
3	0.44	3	32
...		4	64
10	222	5	128
11	444	6	256
...		7	512
28	22.000	8	1024
29	44.000	9	2048
30	111.000		

La velocità ottenibile è definita nella figura precedente, nella quale sono descritte tutte le classi di servizio, anche quelle per UMTS, attualmente con GPRS si ottiene un throughput massimo di classe 1 con 9.600 bps in trasmissione e ricezione.

Le reti di terza generazione

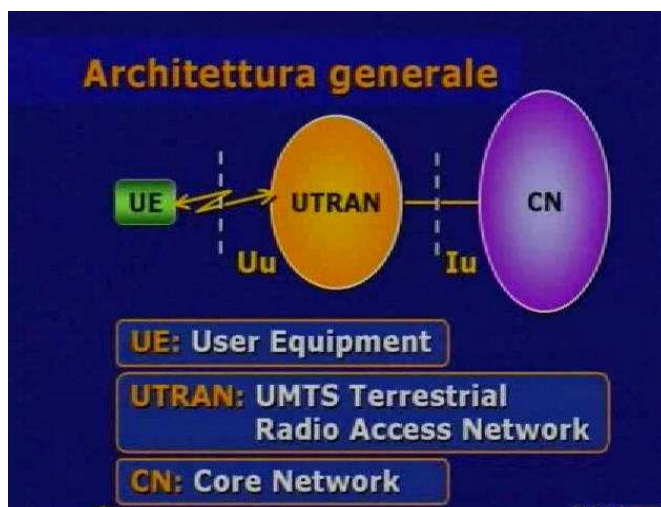
La seconda generazione delle reti telefoniche era il GSM, la terza generazione tende a superare i limiti del GSM e del GPRS. Fornire una rete che integri molti servizi e superi la telefonia, UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) è uno standard europeo (ETSI), un'altra sigla che viene adottata è IMT2000 che corrisponde alla standardizzazione ITU per i cellulari di terza generazione, concettualmente compatibile con UMTS. Si cerca di ottenere un accesso al circuito e al pacchetto a larga banda con velocità

elevate, una integrazione dei servizi voce e dati e video. Sono operative dal 2003 e non esiste una scala di tempistiche per le attuazioni dei servizi previsti. Nel 1998 viene scelta la tecnica CDMA (Condivisione di codice) per l'accesso radio, questo metodo è completamente diverso da quello usato per GSM e GPRS, che usa una tecnica a divisione di tempo e frequenza, e pertanto obbliga i gestori al completo rifacimento della rete di accesso, ovvero a mantenere due reti diverse sovrapposte fino al momento dell'abbandono di GSM con conseguente aumento dei costi di manutenzione. L'attività di standardizzazione si sposta nell'organizzazione www.3gpp.org e tutti i costruttori attendono la normalizzazione da questa organizzazione non governativa, attualmente l'evoluzione di UMTS è molto veloce, superiore a quella sugli altri sistemi concorrenti (CDMA2000 su 3GPP2). UMTS usa un canale con larghezza di banda di 5 Mhz ottenendo in tal modo una velocità della sequenza di codice di 3.85 Mchip/sec. In Cina esiste una versione concorrenziale con canale a 1,65 Mhz con chip-rate di 1,2 Mchip/s, è una scelta politica per poter produrre in Cina degli apparati con le strutture preesistenti.

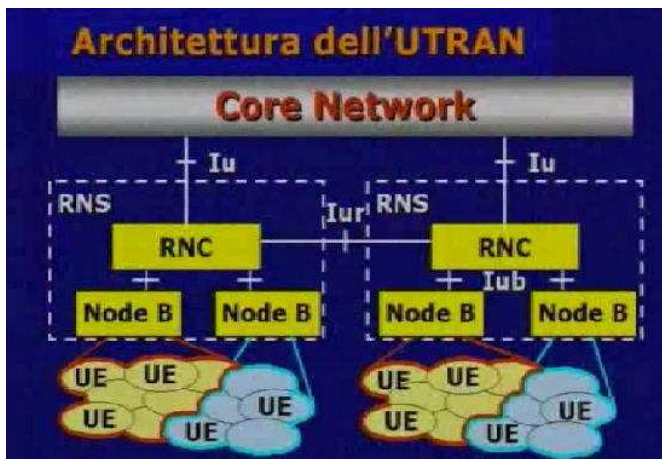
In Europa ci si attende una velocità di 2 Mbit/sec in prossimità delle stazioni e 384 Kbit/sec nelle zone urbane e con uno spostamento automobilistico inferiore ai 50 Km/h mentre una velocità di 144 Kbit/s in ambiente rurale e con velocità automobilistiche inferiori a 150 Km/h (attualmente molto difficile); è in discussione la possibilità di trasmettere dati ad apparati con velocità fino a 500 Km/h (Treni Alta Velocità). Il costo della connessione dipende dalla effettiva velocità di trasmissione e quindi dal parametro QoS attivo in quel momento. Molti servizi possono essere multiplati verso un singolo terminale (la banda complessiva viene divisa tra tutti i servizi in uso) e la tariffazione deve essere effettuata in base al volume dei dati trasferiti (caratteristica difficilmente attuabile dai gestori).

Sono definite due classi di QoS, INTERATTIVA in cui si realizzano servizi real-time di tipo dati, con requisiti di relazione temporale meno vincolanti del conversazionale; BACKGROUND in cui si effettuano i classici servizi di internet, traffico SMS, e-mail, file transfert ecc..

La rete UMTS deve integrare le caratteristiche di GSM/GPRS e in effetti cambia la parte radio mentre viene solo espansa la parte software.



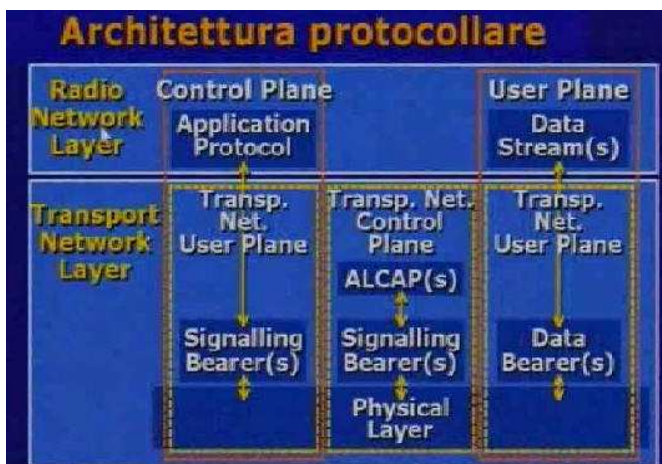
L'architettura generale di UMTS è ambiziosa, si può riassumere con la figura, in cui la Core Network è la rete preesistente mentre il blocco UTRAN si affianca al BSS del sistema GSM. Il sistema radio UTRAN ha questa struttura innovativa:



UMTS rispetto a GSM/GPRS cambia solo nella parte UTRAN, vediamo questa struttura; il Core Network si interfaccia ad una rete chiamata RNS (Radio Network SubSystem) mediante una interfaccia Iu, nella rete RNS è presente un modulo RNC (Radio Network Controller) che riceve e trasmette ad una unità chiamata NodeB (per ragioni storiche); ciascun NodeB controlla un insieme di celle UE (User Equipment) quelle contornate in rosso) e l'utente può muoversi tra le celle passando da un nodo all'altro, i movimenti vengono monitorati tramite le interfacce Iur.

Per paragone con il GSM, l' RNC è l'equivalente della BSC e il NodeB è equivalente del BSS (il NodeB è in realtà più complesso)

Architettura protocollare di UTRAN



L'interfaccia radio è stata divisa in due livelli al fine di normalizzare la costruzione dell'hardware consentendo aggiornamenti di apparecchiature su funzioni definite in precedenza. Inoltre vi è una organizzazione in piani, il Control Plane e lo User Plane che si occupano del trattamento dei segnali di instradamento e di dati, un terzo piano appartiene solo al livello di Trasporto il cui scopo è la gestione interna della UTRAN.

La suddivisione in Livelli consente di disaccoppiare l'interfaccia hardware dai servizi evitando gli errori commessi con GSM, in cui non è possibile aggiungere dei servizi in quanto si dovrebbe sostituire anche l'hardware. L'investimento finanziario per UMTS è quindi elevato e per questo motivo procede lentamente, ma una volta completato l'adeguamento della rete sarà possibile fornire nuovi servizi senza modificare le infrastrutture.

Le principali caratteristiche della UTRAN sono:

Tecnica di accesso	WCDMA
Chip Rate	3,84 Mchip/sec
Durata di trama	10 ms
n. di slot per trama	15

Modulazione	QPSK o Dual Code BPSK
Velocità di trasmissione	variabile su sottomultipli del Chip Rate
Banda FDD Frequency Division Duplex	(1920-1980) e (2110-2170) Mhz accoppiate
Banda TDD Bande disaccoppiate	(1900-1920) (2020-2025) usato nelle picocelle. (attualmente non usata)

I codici di spreading e di Scrambling

Lo spreading è una costante che indica quale sottomultiplo della velocità massima vogliamo usare, ad esempio uno spreading=16 indica una velocità di trasmissione di 3.84Mchip / 16 . I codici di Scrambling sono usati dai NodeB per comunicare tra loro, hanno una lunghezza di 2^{12} bit.

L'albero dei codici di spreading indica quanta banda stiamo occupando.



Il codice di spreading C1,1 indica che stiamo occupando tutta la banda, non saranno possibili ulteriori canali; se usiamo il codice C2 indichiamo l'occupazione di 1/2 banda; con C4 occupiamo 1/4 e così via. Assegnando ad un utente il canale C2 si blocca l'assegnazione di tutti i canali che si diramano da esso (C4,1 e C4,2)

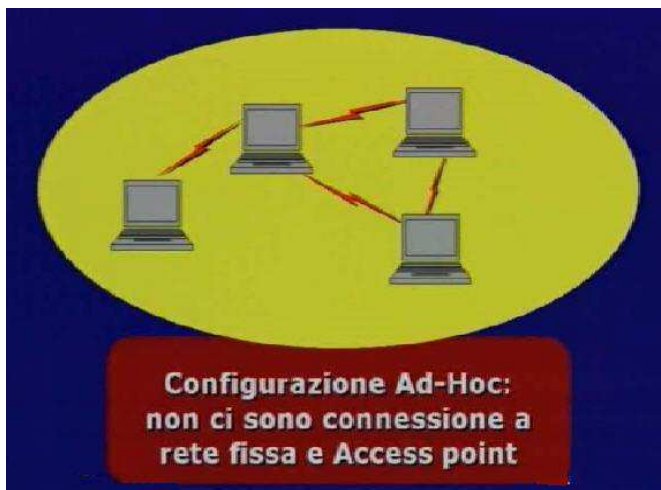
La WIRELESS LAN

In questo periodo le Wireless Lan si stanno espandendo notevolmente, sono delle reti locali in cui una parte della struttura è realizzata via radio. Sono usate diverse tecnologie ma lo standard 802.11 ha preso il sopravvento sulle altre, il termine WiFi (Wireless Fidelity) garantisce che i componenti possano comunicare tra loro indipendentemente dal costruttore. Le reti Wireless consentono la trasmissione in un'area molto limitata di alcune decine di metri, prendiamo come raggio di riferimento <100mt per una cella, misura possibile solo in aria in quanto le pareti attenuano il segnale.

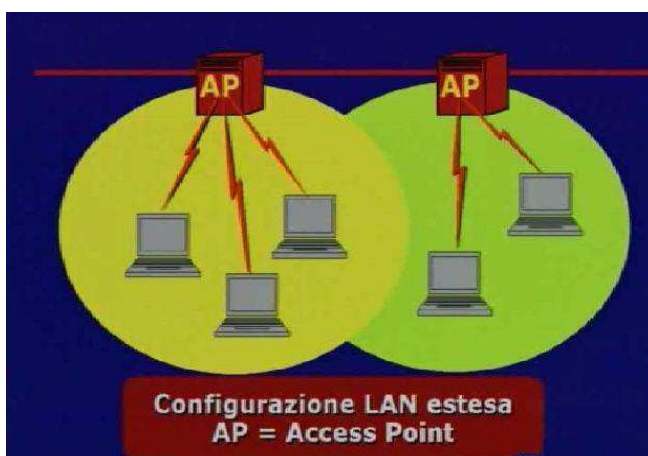
Le Wireless sono in grande diffusione grazie alla diffusione dei PC portatili nei quali esiste il desiderio di essere collegati alla rete senza un cavo di connessione (non sarebbe più portatile) ; edifici particolari non possono essere cablati con cavo (un edificio di importanza storica) ; negli aeroporti, musei, centri storici ecc.. vengono diffusi i servizi via radio ; il costo di installazione è basso e si possono realizzare installazioni incrementali (un pezzo alla volta) . Una W-LAN è un piccolo pezzo di una rete di comunicazioni che comprende solo i primi due livelli del modello ISO/OSI. La comunicazione può avvenire in due modi, di tipo AP (Access Point) o di tipo Ad Hoc (tra due computer); le velocità sono comparabili con le reti tradizionali (10-50Mbps) ma un throughput aggregato minore, non certo con le moderne LAN a 100 e 1Gbps; il throughput è comunque sufficiente considerando che le W-LAN sono composte da pochi utenti. Le trasmissioni avvengono sulla banda ISM (Industrial Scientific Medical) di 2,4 Ghz che è libera e non sono richieste autorizzazioni.

La ricerca nell'ambito delle W-LAN rappresenta la base per l'ossatura delle reti successive alla terza generazione, dove avverrà un'integrazione tra reti dati e reti per telefonia.

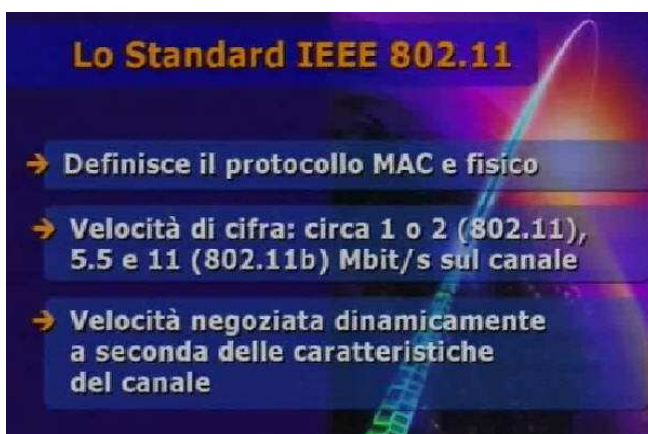
Nella configurazione Ad Hoc, diversi terminali si collegano tra loro con una connessione paritetica, non ci sono punti comuni di accesso ma tutti trasmettono agli altri.



La seconda configurazione prevede la presenza di uno o più Access Point ognuno con il controllo di una cella di trasmissione.



I terminali trasmettono e ricevono le informazioni tramite l'Access Point ma irradiano il segnale in tutte le direzioni, questo è il motivo alla base dei criteri di sicurezza delle reti W-LAN



Il protocollo 802.11 si preoccupa di definire le caratteristiche del livello 1 (Fisico) e del livello 2 (MAC Medium Access Control), nella versione 802.11 (senza lettere aggiunte) venivano indicate le velocità di 1 e 2 Mbps, in seguito sono state realizzate delle modifiche che consentono velocità molto elevate, 54 Mbps nella versione 802.11g, e già si parla di velocità di 115 Mbps. In ogni connessione la velocità viene negoziata tra gli interlocutori e, a seconda dell'attenuazione, si stabilizza sulla minima velocità affidabile e viene definita nell'header del pacchetto che viene trasmesso (l'header viene trasmesso sempre a 1 Mbps). Il throughput di una cella a 11 Mbps arriva al massimo a 4,7 Mbps e viene condivisa tra tutti gli utenti, si usa un solo codice di spreading e quindi la banda non viene divisa tra i servizi attivi.

Il protocollo di accesso è CSMA-CA Per la parte CSMA (Collision Sense Multiple Access) si rimanda alla descrizione di ethernet, la parte CA (Collision Avoidance) è invece caratteristica di questo tipo di reti. Consideriamo che sul canale WireLess non è possibile individuare le collisioni in quanto se l'antenna è usata per trasmettere non può contemporaneamente ricevere, inoltre sul canale radio non è possibile misurare l'energia sovrapposta da più trasmissioni. Ad ogni trama trasmessa deve corrispondere un segnale di risposta (ACK) prima della trasmissione del successivo pacchetto.

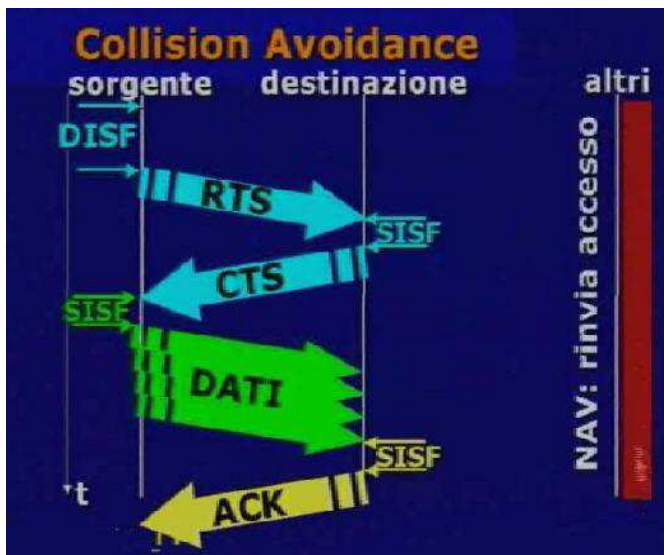
Il protocollo MAC: Il trasmettitore ascolta il canale per DISF secondi (Distributed Inter Frame Space), se il canale è libero trasmette la trama di bit, il ricevitore invia l' ACK dopo SIFS secondi (Short Inter Frame Space) più breve di DISF; se il canale è occupato si ritenta dopo un tempo NAV (Network Allocation Vector, diverso in ogni stazione); se l'ACK non viene ricevuto si suppone ci sia stata una collisione e si ritenta la trasmissione; se la collisione si ripete viene introdotta una pausa per un tempo casuale (tempo che verrà decrementato in presenza di canale libero). In un canale molto occupato viene inserito un tempo di pausa elevato per consentire l'inserimento degli altri utenti.



La sindrome del terminale nascosto avviene quando alcuni terminali non si possono sentire, nella figura seguente i terminali A e C sono nascosti da un muro spesso che attenua le onde radio.



Bisogna evitare le collisioni anche in questo caso e per farlo si deve aggiungere un algoritmo CA (Collision Avoidance) in grado di ridurre la probabilità di collisione. CA funziona in questo modo: si trasmettono due brevi sequenze di dati per prenotare l'uso del canale RTS (Request To Send) e CTS (Clear To Send). RTS congela il canale per tutte le stazioni in grado di riceverlo e riservandolo al primo utente, CTS libera il canale lasciandolo agli altri utenti. La sequenza RTS e CTS è molto corta quindi è rara la collisione su questi comandi, inoltre reinizializzano il contatore NAV resettando le temporizzazioni, in tal modo ritardano le loro trasmissioni lasciando il tempo alla stazione nascosta di completare la trasmissione dei suoi dati.



La riduzione delle collisioni si ottiene inserendo degli Access Point che dispongono di procedure di connessione più controllate.

Le reti radiomobili oltre la terza generazione

Già si pensa alla quarta generazione delle comunicazioni, una rete on-demand che sappia adattarsi a seconda delle esigenze.

Il GSM (seconda generazione) fornisce il servizio sempre e ovunque, la spesa per la copertura di tutto il territorio è elevata e le apparecchiature sono funzionanti anche in assenza di traffico nelle aree poco abitate. Le W-LAN hanno celle di piccole dimensioni e pertanto non è proponibile espanderle fino ad ottenere una copertura di tutto il territorio. Le esigenze cambiano con il tempo ed il luogo, ad esempio una conferenza in una località turistica, in quel periodo le esigenze di comunicazione sono molto diverse da quelle degli altri periodi. Non è sempre possibile installare temporaneamente delle infrastrutture per supportare il traffico durante una manifestazione (milioni di euro per una cella UMTS che servirà per pochi giorni). Le comunicazioni moderne non solo "voce" ma ci sono richieste di servizi specifici che richiedono caratteristiche di banda, ritardo, sicurezza, confidenzialità ecc..). E' possibile che un gruppo di persona abbia bisogno di lavoro cooperativo, ad es. interfacce di strumenti per prospezioni geologiche che richiedono la sincronizzazione di strumenti lontani tra loro.

Questi paradigmi sono spesso indicati come reti ad Hoc, create dagli stessi utenti e riguardano una comunità chiusa che cessa il servizio quando termina il lavoro. Una categoria particolare sono le reti di sensori, sono reti ad Hoc per il supporto di strumenti di misura (temperatura umidità ecc. per la climatizzazione di un museo) per il monitoraggio ambientale delle frane, l'allarme domestico senza fili, il controllo delle maree, la rete personale PAN.

La rete PAN rappresenta la comunicazione tra dispositivi che appartengono alla stessa persona, l'auricolare con il cellulare, l'orologio, la sveglia, il mouse con il computer portatile ecc..

Lo standard 802.11g è una modifica di 802.11b (10Mb) e consente tante velocità di trasmissione da 1 Mbps fino a 54 Mbps, la velocità è inversamente proporzionale alla distanza, quindi i 54 Mbit sono ottenibili solo all'interno della stessa stanza dove è presente l'Access Point.

Lo standard 802.11a è completamente diverso in quanto lavora ad una frequenza di portante di 5,5 Ghz, la banda è come il 802.11g di 54 Mhz. Il vantaggio consiste nel avere un maggior numero di canali.

Bluetooth

Il nome deriva da "Harald Blaatand Bluetooth", un re Vichingo vissuto in Danimarca dal 940 al 981 ac che unificò i regni di Danimarca e Norvegia.

Proprio l'idea di unificazione è stata il traino che ha portato alla nascita di questo nuovo standard che ha come intento quello di unificare la connessione tra i dispositivi e il tipo di protocollo di comunicazione usato.

Nel Febbraio 1998 nasce il Bluetooth SIG (Special Interest Group) composto da gruppi di tecnici di Ericsson - IBM - Intel - Nokia - Toshiba. Altre 1100 aziende si associarono e il gruppo divenne pubblico in Maggio 1998 per fornire una specifica di 1500 pagine il 16 Luglio 1999.

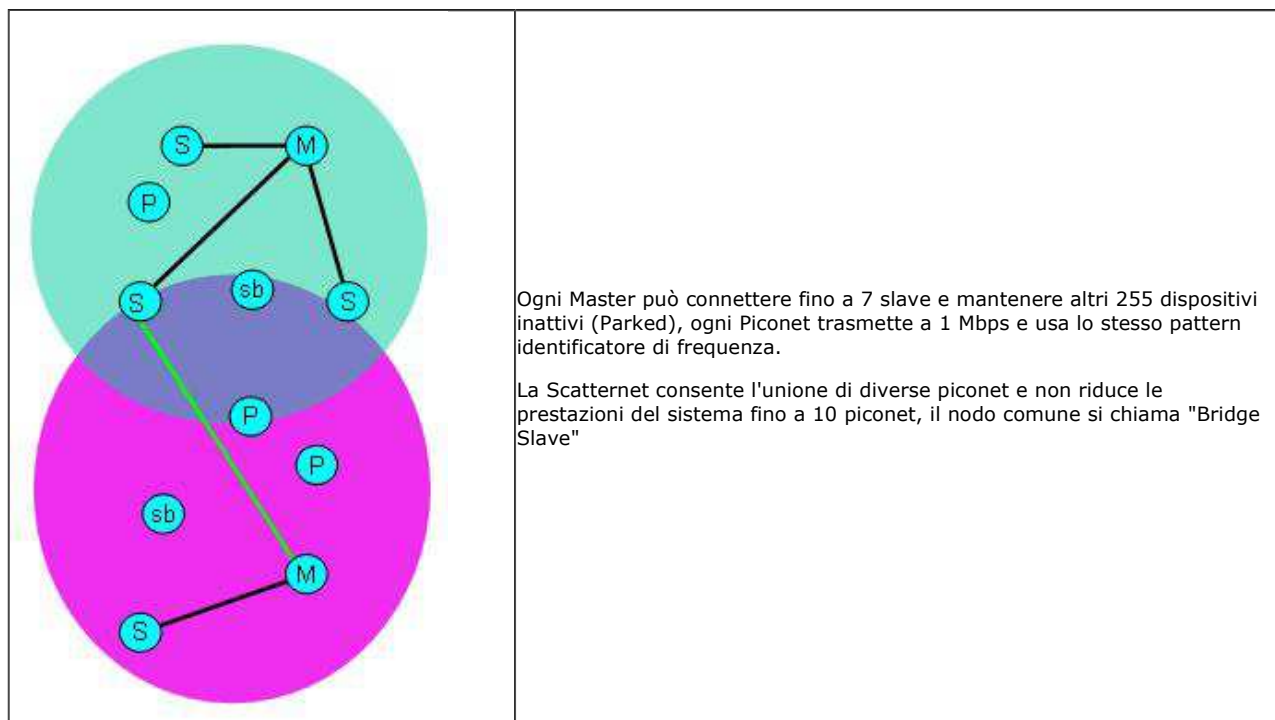
Le caratteristiche principali della comunicazione Bluetooth sono 3:

- L'assenza completa di cavi e fili
- Il costo limitato derivato dall'uso di una tecnologia semplice ed economica
- La completa automazione. I dispositivi Bluetooth stabiliscono in modo automatico una connessione tra loro, senza che l'utente faccia nulla e conosca nulla del loro funzionamento.

A cosa serve

Facilitare la comunicazione tra periferiche o apparecchi differenti non è di per se un'innovazione. La vera innovazione introdotta dalla tecnologia Bluetooth sviluppata da Ericsson, consiste nel fatto di eliminare cavi e connessioni (e quindi la necessità implicita di postazioni fisse legate ai punti rete o alle prese di corrente) e di introdurre l'uso delle onde radio.

Utilizzare due o più periferiche che comunicano utilizzando le onde radio, permette di creare quella che in gergo viene definita PAN (Personal Area Network) oppure Piconet, ovvero una rete in cui l'utente può spostarsi liberamente senza l'ingombro dei cavi di connessione ed in cui ogni periferica può essere spostata senza perdere il collegamento alla rete stessa.



Bluetooth definisce le comunicazioni all'interno di una piconet e si compone di un dispositivo master e vari dispositivi slave (La rete è anche detta di tipo master/slave).

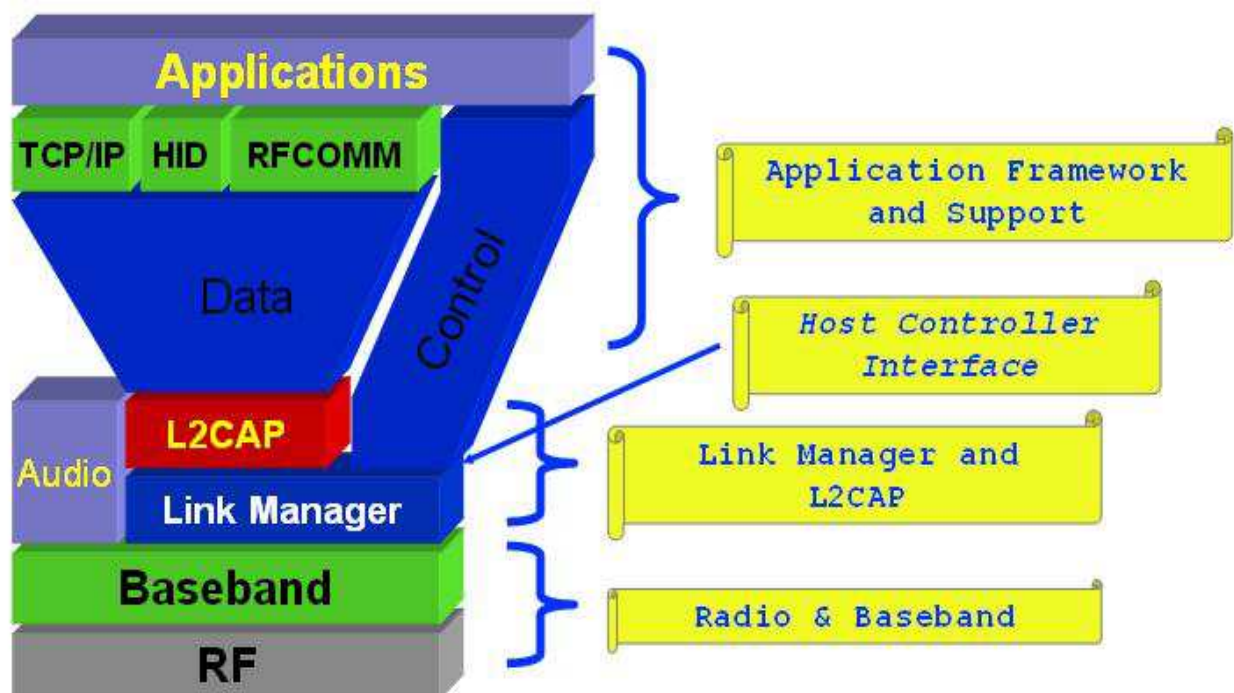
- Un dispositivo Bluetooth che funge da master può comunicare con altri 7 dispositivi che fungono da slave. Questo gruppo di 8 dispositivi è chiamato piconet. Una piconet è sostanzialmente una rete autonoma che usa la tecnologia Bluetooth per permettere ad una stazione master di mettere in comunicazione altre 7 stazioni slave. E' possibile comunque avere fino a 255 ulteriori dispositivi che però devono essere inattivi, e riattivati in un qualunque momento dalla stazione master.

- In ogni momento i dati possono essere trasferiti fra la master e uno slave; gli altri slave sono via via interrogati in polling con un roundrobin. In ogni momento ogni dispositivo può switchare da master a slave e viceversa.
- Le specifiche Bluetooth permettono di connettere 2 o più piconet per formare una scatternet con uno o più dispositivi che funzionano da master in una piconet e slave nell'altra. Tale funzionalità, benché prevista nello standard, non è ancora possibile in pratica. Si prevede l'introduzione di tali dispositivi dal 2007.

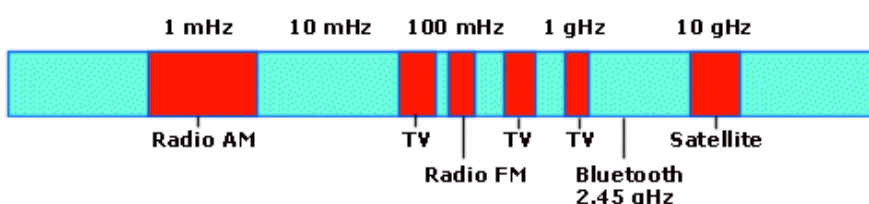
All'accensione il dispositivo cercherà la comunicazione con altri dispositivi bluetooth, se ottiene risposta, significa che esiste già una piconet e cercherà di entrare a far parte di questa piconet come slave; se non ottiene risposta crea una nuova piconet eleggendosi a master e rimanendo in attesa delle connessioni.

Un dispositivo può partecipare a più piconet e può comportarsi come slave in una piconet e come master in un'altra, ovvero avere funzioni di bridge tra le due piconet garantendo l'intercomunicabilità tra le reti e realizzando una rete di più ampie dimensioni, queste reti interconnesse vengono dette "Scatternet" ed introducono dei problemi aggiuntivi dovuti all'instradamento, con cammini multipli in una infrastruttura dinamica. Una piconet è in effetti un canale condiviso (canale broadcast) rendendo difficile l'individuazione di un percorso ottimale per il raggiungimento di una piconet lontana.

Lo standard 802.15 è noto come Bluetooth ed è dedicato alle reti PAN per la connessione di periferiche senza l'uso di fili, anche se nella raccomandazione vengono comprese anche le reti di sensori.



L'architettura protocollare è basata su diversi livelli, il livello RADIO è il canale fisico a cui si aggiunge il livello BASEBAND che ha il compito di introdurre l'eventuale traffico voce. In alto si nota che nel livello L2CAP si possono introdurre altri protocolli, in particolare potremo usare tutti i protocolli di Internet (IP TCP UDP ecc).



RF - Il livello radio (RF) di 802.15 usa la banda libera di 2,4 Ghz e una modulazione di tipo GFSK con una potenza molto bassa, l'emissione è variabile ma comunque minore o uguale a quelle delle Wireless.

Grazie all'uso di una tecnica chiamata Spread-Spectrum Frequency Hopping, un dispositivo può usare fino a 79 frequenze (in modo casuale e all'interno di un range specifico) cambiandole secondo un ordine prefissato fino a 1600 volte al secondo. ($2.402 + K \text{ Mhz}$, $K=0..78$), la velocità di trasmissione è fissata a 1 Mbps.

Bluetooth - radio

Potenze limitate a

- 20 dBm per gli apparati di classe 1 distanza ~100 m (equivalenti a 802.11)
- 4 dBm per gli apparati di classe 2 (~10m)
- 0 dBm per gli apparati di classe 3 (~10cm)

Sono definite tre classi di emissione, arrivando a potenze bassissime (1 mW) per comunicazioni di circa 10 cm, ad esempio per eliminare i cablaggi all'interno di apparecchiature.

Il segnale inviato in classe 2 (10 mt) è molto debole (2,5 MilliWatt) e questo fa sì che non interferisca in alcun modo con altri apparecchi a frequenze radio come i cellulari o la televisione. Il segnale basso non impedisce comunque alle onde radio di propagarsi anche attraverso i muri e quindi il BlueTooth è perfettamente utilizzabile anche tra stanze adiacenti. Per distanze di 100 mt o per oltrepassare muri spessi è disponibile la potenza in classe1 di 100 mW

Nel caso in cui più di un dispositivo bluetooth sia presente nelle vicinanze di un altro, è facile pensare al fatto che le onde radio interferiscano tra loro durante le differenti comunicazioni. In realtà questo non avviene quasi mai.

In una situazione del genere è molto improbabile che due dispositivi riescano a trasmettere sulla stessa frequenza allo stesso tempo. Nel caso piuttosto raro che questo avvenga, l'interferenza è comunque limitata ad una piccola frazione millesimale di secondo.

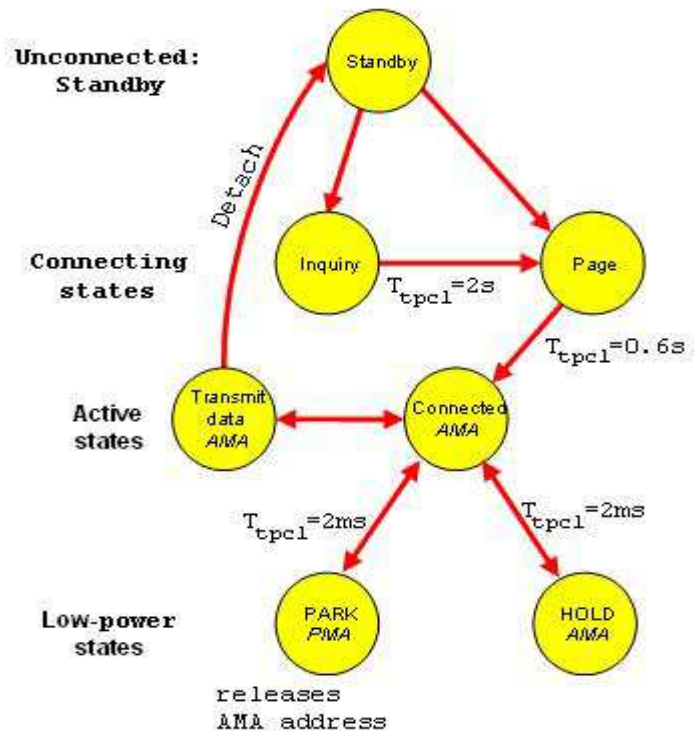
Bluetooth - baseband

- Il pacchetto ha formato e dimensioni variabili
- Il payload può contenere dati, voce o entrambi

LSB 72	54	0 - 2745	MSB
ACCESS CODE	HEADER	PAYLOAD	

BASEBAND - Il pacchetto ha dimensioni variabili e il payload (l'area dati) può contenere dati, voce o entrambi. La struttura del pacchetto si compone di tre parti: Il codice di accesso che definisce la piconet. L'header che contiene le indicazioni del mittente e del destinatario ed infine i dati con lunghezza variabile da 0 a 2745 bit; il pacchetto ha quindi dimensioni contenute se paragonate ai circa 10.000 bit di un pacchetto ethernet o di un 802.11. Baseband e Radio costituiscono il livello 1 della pila ISO/OSI

- **Standby**
 - Waiting to join a piconet
- **Inquire**
 - Ask about radios to connect to
- **Page**
 - Connect to a specific radio
- **Connected**
 - Actively on a piconet (master or slave)
- **Park/Hold**
 - Low-power connected states



Il livello **LMP** (Link Manager Protocol) si preoccupa di instaurare un canale crittografato, molto sentito nell'ambito delle reti a onde radio, effettua un controllo di potenza per la gestione della qualità del collegamento.

Il livello **L2CAP** (Logical Link Control and Adaptation Protocol) Consente la moltiplicazione di protocolli diversi, segmenta e ricompile i pacchetti di livello superiore per adattarli al protocollo bluetooth, integra la gestione QoS e gestisce canali diversi tra dispositivi bluetooth e consente le comunicazioni di tipo punto-punto. LMP e L2CAP costituiscono il livello 2 della pila ISO/OSI.

HCI (Host Controller Interface) è un insieme di comandi per il controllo hardware e software del dispositivo, in pratica è un programma applicativo che controlla le interfacce con i dispositivi e mette a disposizione dei programmi utente di un canale attraverso il quale costruire strumenti di gestione automatica, grafici o di controllo remoto. Nella pratica vengono create delle porte seriali (RFCOMM) attraverso le quali comunicare con i dispositivi secondo i metodi USB, RS232 o UART.

SDP (Service Discovery Protocol) è un protocollo molto particolare, presente solo in questa tipologia di rete, ha la funzione di analizzare costantemente i servizi disponibili nell'area in quanto i dispositivi bluetooth possono disconnettersi e riconnettersi casualmente. Viene quindi mantenuta una tabella dei dispositivi attivi e dei servizi che questi possono fornire per adattare dinamicamente le prestazioni della rete; inoltre in presenza di scatternet complesse viene anche risolto il problema dell'instradamento dei messaggi.

I protocolli caratteristici di Bluetooth sono : **RFCOMM**, mette a disposizione un'interfaccia seriale generica per la connessione con i dispositivi mediante programmi applicativi che usano le porte seriali (COM, USB, UART)

TCS (Telephony Control Protocol Specs) che consente l'interfacciamento con telefoni fissi e mobili, realizza chiamate, organizza i gruppi di telefonia (centralini virtuali).

Legacy protocol reuse - che adatta i protocolli esistenti al RfComm, ovvero converte i protocolli IrDA (seriale infrarossi) , OBEX (OBject EXchange protocol) o WAP (Wireless Application Protocol)