

Università di Genova
Facoltà di Ingegneria

*Architetture e Protocolli
per Reti Wireless*

2. Reti Wireless in area locale, personale e d'accesso

2.3 Bluetooth

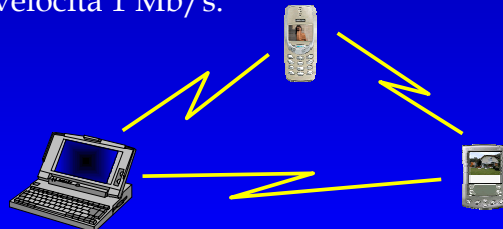
Prof. Raffaele Bolla



Architetture e Protocolli Wireless -N. O.

Bluetooth

- Tecnologia per il rimpiazzo dei cavi
 - collegamento universale al posto del cablaggio proprietario;
 - collegamento di apparati
 - » PC, stampanti, modem, telefoni fissi e cellulari, palmari;
 - copertura limitata (in genere una stanza)
 - » 10 m, con apparati che possono arrivare fino a 50 m;
 - velocità 1 Mb/s.



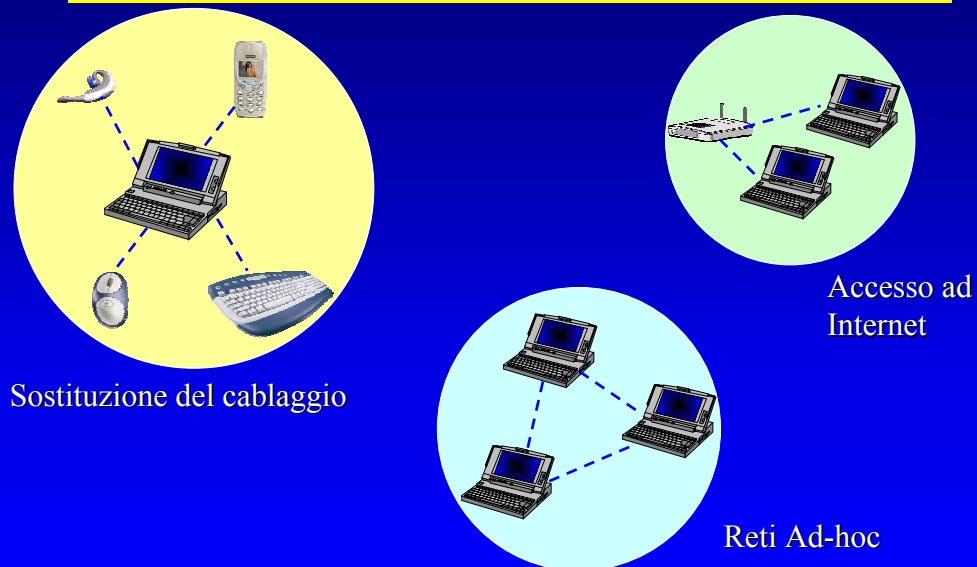
Lezione 2.3, v. 1.1

2

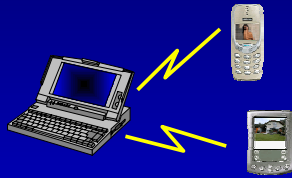
Bluetooth

- Realizza quella che talvolta viene chiamata *Personal Area Network (PAN)*.
- Unico chip per radio + banda base
 - minor consumo di potenza, minor prezzo.
- Perché non usare le WirelessLAN (802.11)?
 - consumo;
 - prezzi.

Utilizzo di Bluetooth



Applicazioni Bluetooth



- Sincronizzazione
 - sincronizzazione automatica di calendari, rubriche, biglietti da visita;
 - anche tra apparati simili;
 - funzionamento in prossimità, senza necessità di cavi.

- Cuffie radio

- accesso a diversi dispositivi;
- vantaggi dell'utilizzo delle cuffie
 - » guida di veicoli;
 - » piena operatività di entrambe le mani.



Bluetooth

- Il nome "Bluetooth" deriva dal nome del re Danese Harald Blatand (vissuto intorno al 10° Secolo) o Harold Bluetooth in Inglese.
- La prima versione dello standard è la 1.0 (Luglio 1999) che è uscita in tre varianti 1.0, 1.0a e 1.0b (Dicembre 1999).
- La seconda versione è la 1.1 (Febbraio 2001) le cui differenze dalla versione precedente sono legate sostanzialmente alla correzione di alcuni problemi specifici evidenziatesi durante l'uso, e una ottimizzazione delle prestazioni
- Nel Giugno 2002, l'IEEE ha prodotto una propria versione dello standard 1.1 denominata 802.15
- Nel novembre 2003 è uscita la versione 1.2.
- La descrizione seguente è basata principalmente sullo standard 1.1

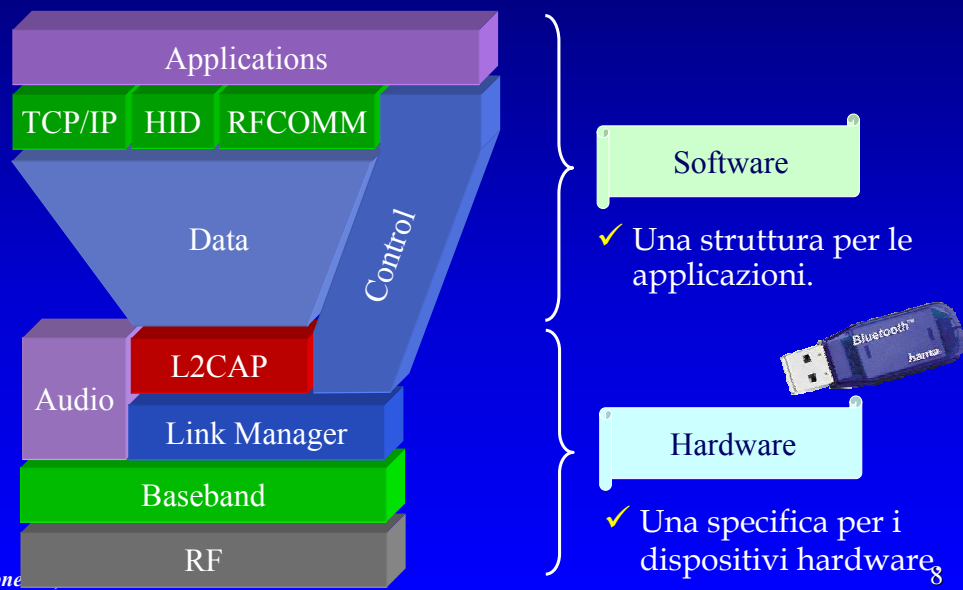
802.15

- Rappresenta l'evoluzione di Bluetooth v. 1.1
 - livello RF;
 - livello di banda base (FEC, CRC, ARQ, cifratura);
 - livello *link manager* (gestione link SCO e ACL, gestione del traffico e dei link, *power management*);
 - livello L2CAP (multiplexing, SAR).
- 802.15.1
 - WPAN/Bluetooth.
- 802.15.2
 - Unlicensed Band Coexistence.
- 802.15.3
 - High Rate WPAN (20+ Mbps).
- 802.15.4
 - Low Rate WPAN (< 200 kbps).

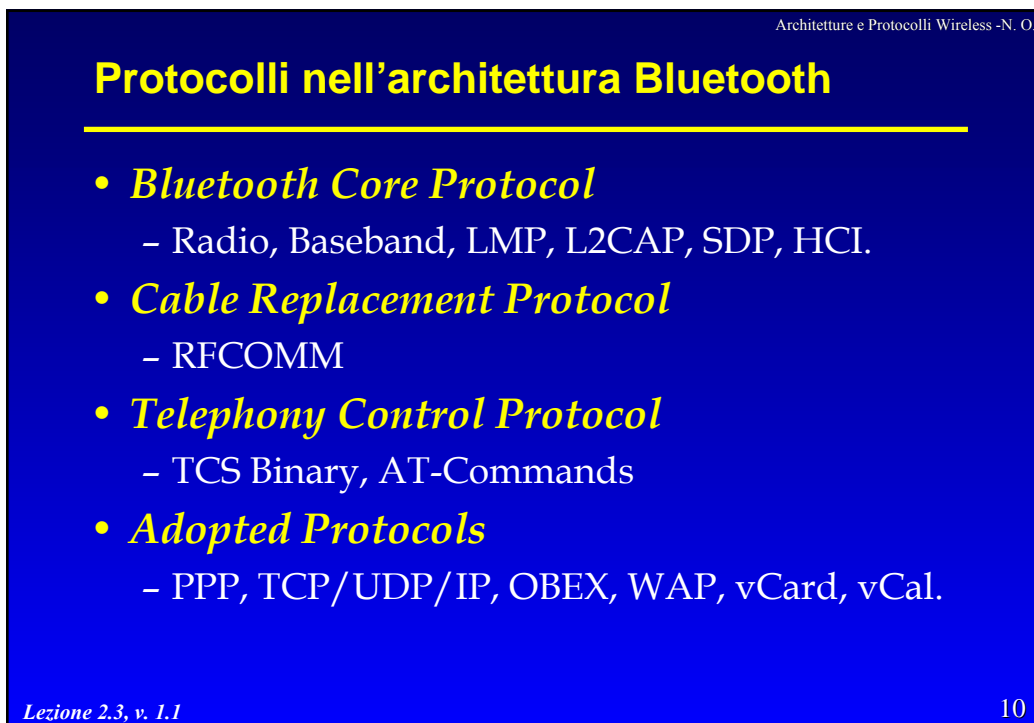
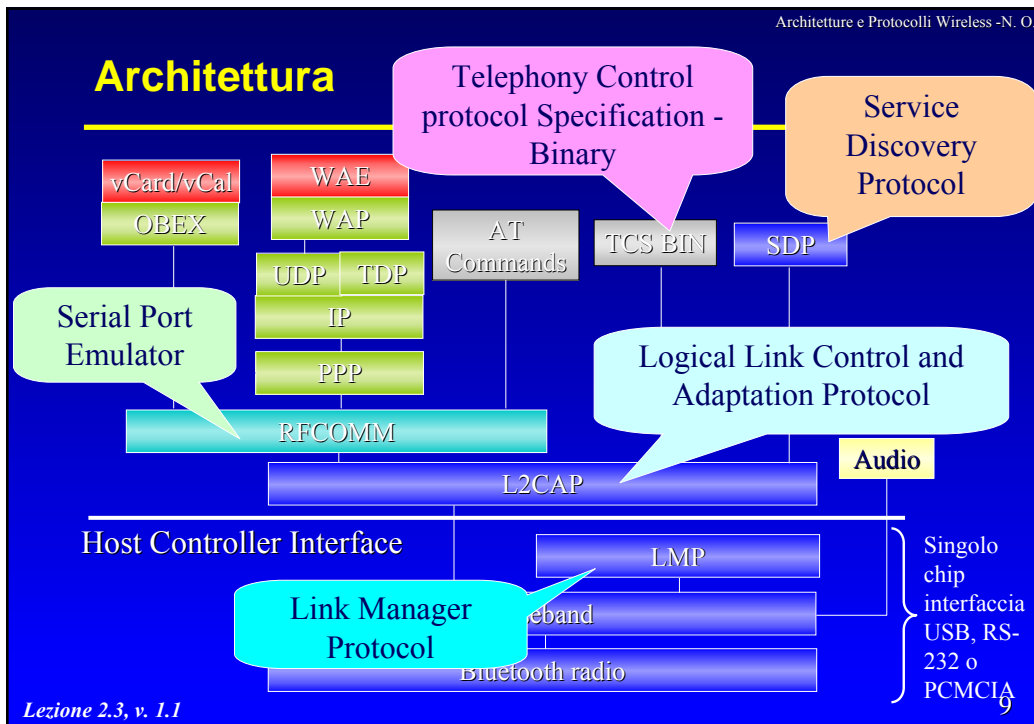
Lezione 2.3, v. 1.1

7

Cos'è Bluetooth



Lezione



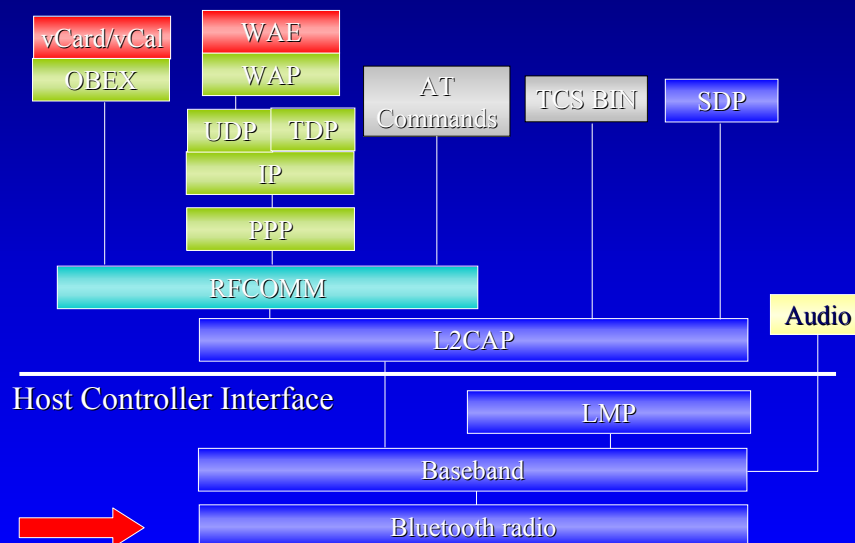
Panoramica

- **Radio:** definisce i requisiti della parte in radiofrequenza.
- **Baseband:** descrive le funzionalità in banda base e altre procedure di livello basso.
- **LMP:** instaurazione e controllo dei link.
- **HCI:** interfaccia comune tra hardware e software.
- **L2CAP:** multiplexing, segmentazione e riassettaggio e trasporto di informazione relativa alla QoS.
- **RFCOMM:** emulazione di una porte seriali.
- **SDP:** permette alle applicazioni di scoprire quali servizi sono disponibili sugli altri dispositivi.

Lezione 2.3, v. 1.1

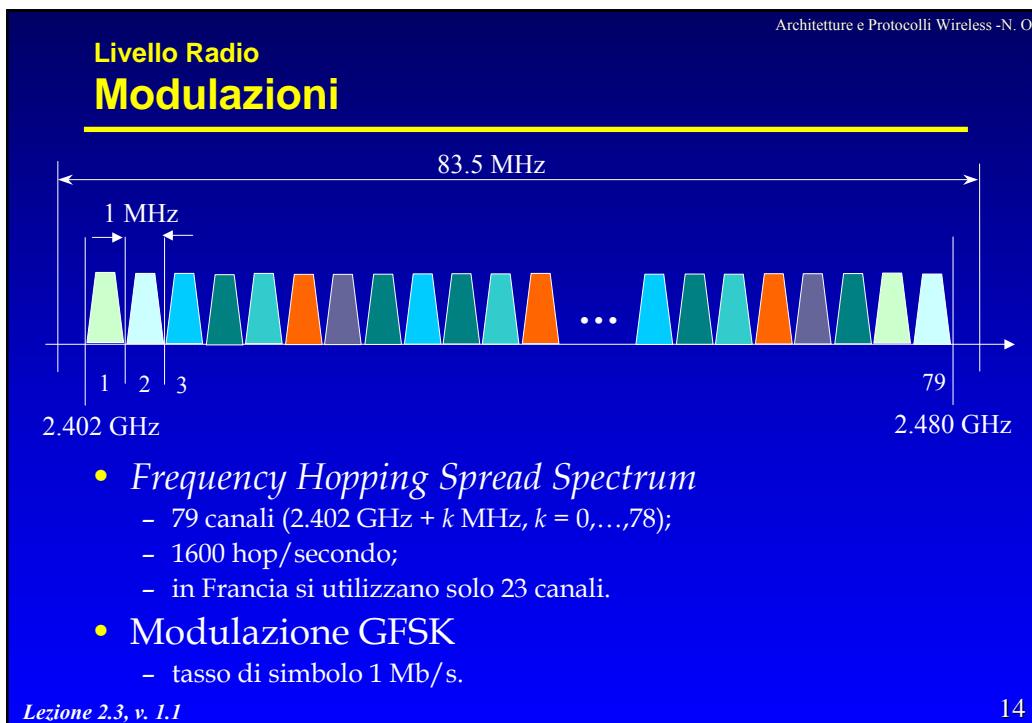
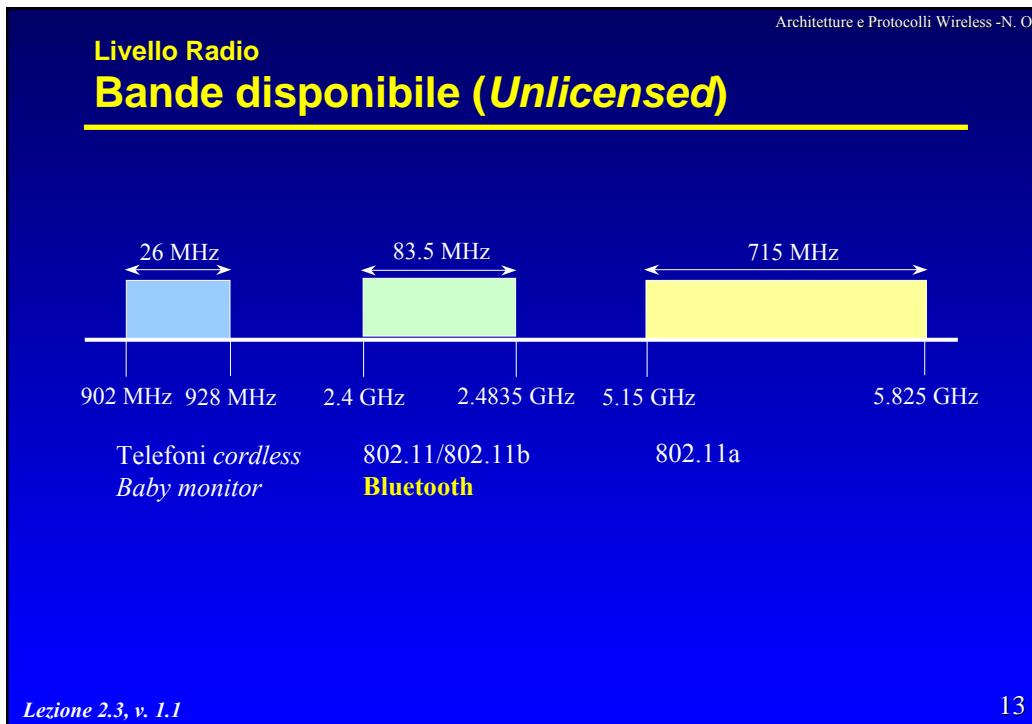
11

Livello Radio



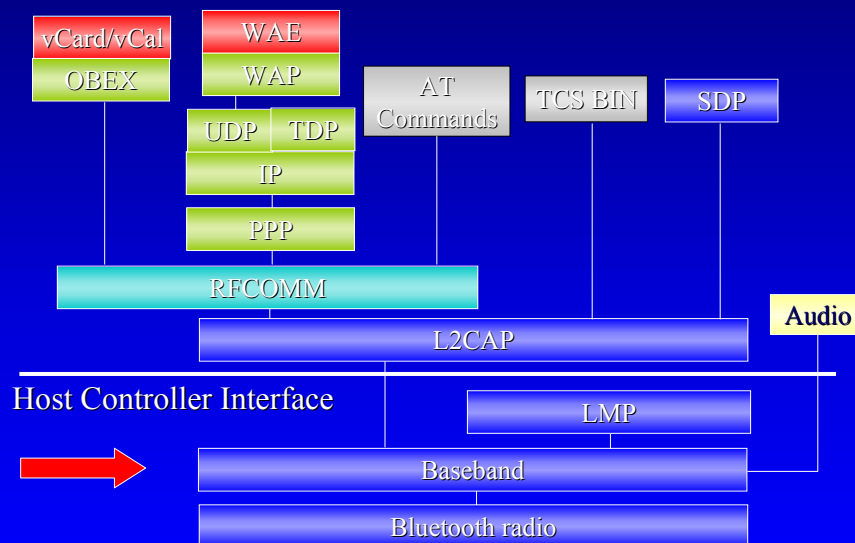
Lezione 2.3, v. 1.1

12



Livello Radio**Potenza di trasmissione**

- Sono presenti 3 classi di apparati:
 - classe 1: potenza tx < 20 dBm (100 mW)
 - » apparati a lungo raggio (100 m);
 - classe 2: potenza tx < 4 dBm (2.5 mW)
 - » apparati per l'utilizzo normale (10 m);
 - classe 3: potenza tx < 0 dBm (1 mW)
 - » apparati a corto raggio (10 cm).
- Bluetooth prevede una potenza nominale di antenna pari a 0 dBm (classe 2)
 - gli apparati possono opzionalmente variare la potenza trasmessa;
 - gli apparati dotati di controllo di potenza la ottimizzano mediante comandi LMP.

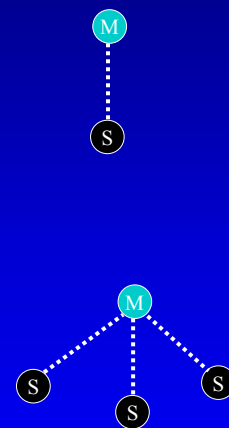
Livello Baseband

Livello Baseband Funzionalità

- Selezione dei salti di frequenza (FH).
- Gestione canale fisico e *link* (insieme a LMP)
 - controllo di potenza;
 - controllo dei *link*
 - » *link* sincroni e asincroni,
 - » generazione/ricezione dei pacchetti,
 - » *paging/inquiry*.
- Correzione degli errori.
- Sicurezza.

Livello Baseband Topologia della rete

- Bluetooth prevede due topologie di base:
 - punto-punto;
 - punto-multipunto.
- Due o più stazioni che utilizzano lo stesso canale formano una *piconet*
 - una stazione assume il ruolo di master;
 - le altre quello di slave.



Livello Baseband

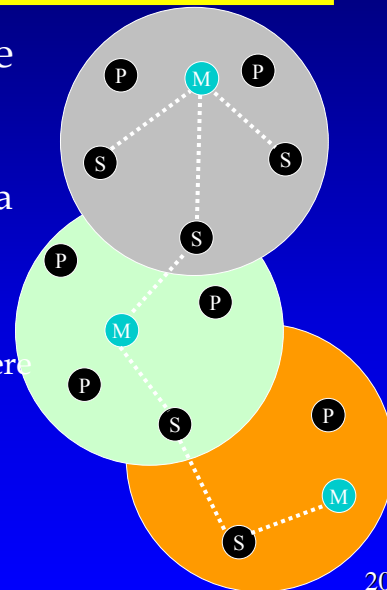
Topologia della rete

- Il master
 - è unico all'interno della **piconet**;
 - stabilisce la sincronizzazione del sistema;
 - regola l'accesso al canale di tutte le stazioni.
- Al massimo 7 slave possono essere attivi in una **piconet**
 - altre stazioni possono rimanere collegate al master in modalità *parked*
 - » non possono trasmettere;
 - » mantengono la sincronizzazione con il master.

Livello Baseband

Topologia della rete

- Diverse **piconet** spazialmente sovrapposte formano una **scatternet**
 - gli slave possono appartenere a diverse **piconet**, utilizzando la moltiplicazione a divisione di tempo
 - » il master di una **piconet** può essere slave in un'altra **piconet**;
 - le **piconet** non devono essere sincronizzate tra loro;
 - la sequenza del FH è diversa.



Livello Baseband

Canale fisico

- Un canale fisico è definito da una sequenza pseudo-casuale delle 79 (o 23) frequenze
 - la sequenza è unica per una **piconet**;
 - viene determinata a partire dall'indirizzo del master;
 - tutte le stazioni in una **piconet** sono sincronizzate al canale in tempo e hop.
- L'accesso al canale è di tipo TDD (*Time Division Duplex*)
 - il canale è diviso in slot temporali (625 μ s);
 - master e slave utilizzano alternativamente le slot per comunicare.

Livello Baseband

Canale fisico

- Un **frame** consiste di due slot
 - una per la trasmissione e una per la ricezione.
- Il master fornisce il sincronismo e coordina le trasmissioni interrogando ciclicamente (*polling*) gli slave.
- L'informazione è scambiata tramite pacchetti
 - ogni pacchetto è trasmesso su un diverso salto di frequenza;
 - i pacchetti vengono trasmessi all'interno della slot
 - » possono estendersi per 1, 3 o 5 slot.

Architetture e Protocolli Wireless -N. O.

Livello Baseband Accesso al canale

625 μ s

Lezione 2.3, v. 1.1

23

Architetture e Protocolli Wireless -N. O.

Livello Baseband *Piconet*

- All'interno della **piconet**
 - la sequenza delle frequenze è determinata dall'indirizzo BT del master;
 - la fase del FH è determinata dal *clock* del master (modulo 2^{27});
 - le *time-slot* sono numerate in base al clock del master;
 - ogni **piconet** ha la capacità massima (1 Mb/s);
 - il master può trasmettere solo nelle *slot* pari;
 - gli slave possono trasmettere solo nelle *slot* dispari;

Lezione 2.3, v. 1.1

24

Livello Baseband

Piconet

- le comunicazioni avvengono solo tra master-slave;
- la trasmissione del pacchetto deve iniziare all'inizio della *slot*
 - » i pacchetti inviati dal master definiscono la temporizzazione della **piconet** (su distanze così brevi i ritardi sono trascurabili);
- alcune slot sono riservate per la trasmissione di un *beacom train*
 - » sincronizzazione di eventuali stazioni nello stato *parking*.

Livello Baseband

Indirizzi

- Indirizzi dei dispositivi Bluetooth (BD_ADDR)
 - indirizzo MAC IEEE 48 bit.
- Indirizzo **Active Member** (AM_ADDR)
 - 3 bit di indirizzo per gli slave attivi;
 - 0 indica broadcast.
- Indirizzo **Parked Member** (PM_ADDR)
 - 8 bit per gli slave "parked".
- Indirizzo **Active Request** (AR_ADDR)
 - utilizzato dallo slave *parked* per determinare la slot in cui fare la richiesta di attivazione al master;
 - non è unico.

Livello Baseband

Link fisici

- Tra master e slave possono essere stabiliti diversi tipi di *link* fisici:
 - Synchronous Connection-Oriented (SCO)
 - Asynchronous Connection-Less (ACL)

Livello Baseband

Link fisici – SCO

- *Link* punto-punto simmetrico tra un master ed uno slave
 - possono essere assimilati a connessioni a commutazione di circuito;
 - 64 kb/s in ciascuna direzione.
- Il master riserva delle slot ad intervalli regolari
 - utilizza il protocollo LMP.
- Master max. 3 SCO, slave 2 (se originati da master diversi) o 3 (stesso master) SCO.
- Pensati per servizi a vincoli sul ritardo massimo (voce)
 - i pacchetti non vengono mai ritrasmessi.

Livello Baseband

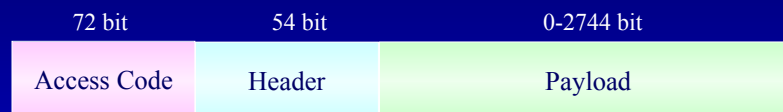
Link fisici – ACL

- *Link* punto-multipunto tra un master e tutti gli slave.
- Vengono utilizzate le slot non riservate per *link* SCO, anche per tx verso stazioni con *link* SCO
 - la comunicazione avviene indipendentemente per ogni singola slot (nessuna instaurazione di circuiti logici).
- Sono supportati *link* isocroni e asincroni.
- Uno slave può trasmettere solo se ha ricevuto un pacchetto dal master nella slot precedente.
- In genere si applica la ritrasmissione dei pacchetti per assicurare l'integrità.
- Le velocità raggiungibili sono
 - 723.2 kb/s e 57.6 kb/s, nel caso asimmetrico;
 - 433.9 kb/s, nel caso simmetrico.

Lezione 2.3, v. 1.1

29

Livello Baseband

Formato del pacchetto

- **Access Code**
 - finalità
 - » sincronizzazione,
 - » compensazione degli *offset*,
 - » identificazione (ogni piconet ha un proprio *Access Code*),
 - » *paging*,
 - » *inquiring*;
 - tipi:
 - » CAC (*Channel Access Code*), identificativo univoco delle piconet;
 - » DAC (*Device Access Code*), per il *paging*;
 - » IAC (*Inquiry Access Code*), per le procedure di *inquiry*.
- } *Header e Payload non sono presenti*

Lezione 2.3, v. 1.1

30

Architetture e Protocolli Wireless -N. O.

Livello Baseband
Formato del pacchetto

72 bit	54 bit	0-2744 bit
Access Code	Header	Payload

- **Header**
 - AM_ADDR (3 bit): indirizzamento (3), max 7 slave attivi;
 - TYPE (4 bit): tipo del pacchetto (4), non tutti usati;
 - FLOW (1 bit): controllo di flusso;
 - ARQN (1 bit), riscontro per i pacchetti trasmessi;
 - SEQN (1 bit), numero di sequenza (ABP);
 - HEC (8 bit), integrità dei dati;
 - i rimanenti bit vengono utilizzati per una protezione FEC 1/3.

Lezione 2.3, v. 1.1 31

Architetture e Protocolli Wireless -N. O.

Livello Baseband
Formato del pacchetto

72 bit	54 bit	0-2744 bit
Access Code	Header	Payload

- **Payload**
 - può contenere campi voce, dati o entrambi;
 - nel caso di dati, è presente anche un header del *payload* ed un CRC di protezione dei dati.

Lezione 2.3, v. 1.1 32

Architetture e Protocolli Wireless -N. O.

Livello Baseband Tipi di pacchetto

Segmento	TYPE	Occupazione slot	SCO	ACL
1	0000	1	NULL	NULL
	0001	1	POLL	POLL
	0010	1	FHS	undefined
	0011	1	DM1	undefined
2	0100	1	undefined	DH1
	0101	1	HV1	undefined
	0110	1	HV2	undefined
	0111	1	HV3	undefined
	1000	1	DV	undefined
	1001	1	undefined	AUX1
3	1010	3	undefined	DM3
	1011	3	undefined	DH3
	1100	3	undefined	undefined
	1101	3	undefined	undefined
4	1110	5	undefined	DM5
	1111	5	undefined	DH5

Lezi 33

Architetture e Protocolli Wireless -N. O.

Livello Baseband Pacchetti comuni

- **ID (IDentity)**
 - consiste solo nel CAC (DAC o IAC);
 - utilizzato per *paging*, *inquiry* e *response routing*;
 - è un pacchetto molto robusto.
- **NULL**
 - non ha il *payload*;
 - utilizzato per comunicare alla sorgente informazioni riguardanti
 - » la corretta ricezione del pacchetto precedente (ARQN),
 - » lo stato del *buffer* in ricezione (FLOW);
 - il pacchetto NULL non deve essere riscontrato.

Lezione 2.3, v. 1.1 34

Livello Baseband

Pacchetti comuni

- **POLL**
 - molto simile al NULL
 - » non ha il payload;
 - non influenza i campi ARQN e SEQN;
 - alla ricezione di un POLL lo slave deve rispondere con un pacchetto
 - » la risposta è implicitamente un riscontro;
 - » può essere utilizzato dal master per interrogare lo slave.
- **FHS (*Frequency Hop Synchronization*)**
 - trasporta informazioni relative al clock del master;
 - utilizzato per la creazione o la modifica di una **piconet**
 - » *page master response, inquiry, master slave switch;*
 - » sincronizzazione del FH.

Livello Baseband

Pacchetti comuni

- **DM1 (*Data - Medium rate 1 slot*)**
 - utilizzato per trasportare messaggi di controllo in qualsiasi tipo di *link*;
 - può trasportare anche dati utente;
 - siccome è riconosciuto sui *link* SCO, può interrompere il flusso dati sincrono.

Architetture e Protocolli Wireless -N. O.

Livello Baseband

Pacchetti SCO

- **HV1 (High quality Voice, 10 byte)**
- **HV2 (High quality Voice, 20 byte)**
- **HV3 (High quality Voice, 30 byte)**
 - il *payload* è fisso a 240 bit;
 - i pacchetti non sono mai ritrasmessi;
 - non viene utilizzato nessun CRC.
- **DV (Data - Voice)**
 - il *payload* è diviso in un campo
 - » voce (80 bit), senza protezione FEC;
 - » dati (fino a 150 bit), fino a 10 byte di dati (compreso 1 byte di intestazione), CRC 16 bit e FEC 2/3;
 - voce e dati sono trattati separatamente
 - » la voce non è mai ritrasmessa,

Lezione 2.3, v. 1.1 l'integrità dei dati viene verificata ed è possibile la ritrasmissione. 37

Architetture e Protocolli Wireless -N. O.

Livello Baseband

Pacchetti SCO – HV1, HV2 e HV3

	72 bit	54 bit	240 bit	= 366 bit
	Access Code	Header	Payload	
			<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">10 byte</div> <div style="font-size: small;">+ FEC 1/3</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">20 byte</div> <div style="font-size: small;">+ FEC 2/3</div> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: 100%;">30 byte</div>	

Timeline diagram showing packet durations at 64 kb/s:

- HV1: 1.25 ms
- HV2: 2.5 ms
- HV3: 3.75 ms

Lezione 2.3, v. 1.1 38

Architetture e Protocolli Wireless -N. O.

Livello Baseband

Pacchetti ACL

- Trasportano informazioni di controllo o dati.
- Utilizzano un CRC e vengono ritrasmessi in caso di errore (tranne AUX1).
- **DM1 (Data - Medium rate, 1 slot)**
 - trasporta fino a 18 byte di dati;
 - include CRC e FEC;
 - comprende una intestazione del *payload* (lunghezza del messaggio).
- **DH1 (Data - High rate, 1 slot)**
 - come DM1, ma non prevede la protezione FEC.
- **AUX1**
 - come DH1, senza CRC e FEC.

Lezione 2.3, v. 1.1
39

Architetture e Protocolli Wireless -N. O.

Livello Baseband

Pacchetti ACL – DM1, DH1

72 bit
54 bit
240 bit
= 366 bit

			Access Code	Header	Payload
--	--	--	-------------	--------	---------

Dir.	Dim.	Rate (kb/s)
↑	17	108.8
↓	17	108.8

Dir.	Dim.	Rate (kb/s)
↑	27	108.8
↓	27	108.8

DM1

1

< 17 byte

2

+ FEC 2/3

DH1

1

< 27 byte

2

625 μs

Lezione 2.3, v. 1.1
2
40

Architetture e Protocolli Wireless -N. O.

Livello Baseband

Pacchetti ACL

- **DM3 (Data - Medium rate, 3 slot)**
 - è simile ad un pacchetto DM1
 - » si estende però su 3 slot;
 - durante la sua tx/rx la frequenza RF non deve cambiare.
- **DH3 (Data - High rate, 3 slot)**
 - come DM3, ma non prevede la protezione FEC.
- **DM5 (Data - Medium rate, 5 slot)**
 - è concettualmente identico al pacchetto DM3
 - » si estende però su 5 slot;
- **DH5 (Data - High rate, 5 slot)**
 - come DM5, ma non prevede la protezione FEC.

Lezione 2.3, v. 1.1
41

Architetture e Protocolli Wireless -N. O.

Livello Baseband

Pacchetti ACL – DM3, DH3

72 bit
54 bit
1500 bit
= 1626 bit

Access Code	Header	Payload
-------------	--------	---------

Dir.	Dim.	Rate (kb/s)
↑	121	387.2
↓	17	54.4

DM3

< 121 byte+ FEC 2/3

DH3

< 183 byte

1875 μs

Architetture e Protocolli Wireless -N. O.

Livello Baseband Pacchetti ACL – DM5, DH5

72 bit
54 bit
2744 bit
= 2870 bit

Dir.	Dim.	Rate (kb/s)
↑	224	477.8
↓	17	36.3

Dir.	Dim.	Rate (kb/s)
↑	339	723.2
↓	27	57.6

Access Code Header Payload

DM5 2 < 224 byte 2 + FEC 2/3

DH5 2 < 339 byte 2

3125 μs

Lezione 2.3, v. 1.1 43

Architetture e Protocolli Wireless -N. O.

Livello Baseband Pacchetti

Type	Payload (B)		FEC	CRC	Max rate simmetrico	Max rate asimmetrico	
Type	Header	Payload	FEC	CRC	Max rate simm.	Forward	Reverse
DM1	1	0-17	2/3	si	108.8	108.8	108.8
DH1	1	0-27	no	si	172.8	172.8	172.8
DM3	2	Type	Header	Payload	FEC	CRC	Max rate simm. (kb/s)
DH3	2	Type	Header	Payload	FEC	CRC	Max rate simm. (kb/s)
DM5	2	HV1	-	10	1/3	no	64.0
DH5	2	HV2	-	20	2/3	no	64.0
AUX1	1	HV3	-	30	no	no	64.0
		DV	1 D	10+(0-9) D	2/3 D	si D	64.0 + 57.6 D

Lezione 2.3, v. 1.1 44

Livello Baseband

Correzione degli errori

- Bluetooth prevede tre meccanismi per la correzione degli errori:
 - FEC 1/3 (ripetizione doppia dei bit);
 - FEC 2/3 (codice di Hamming);
 - ARQ per i dati.
- Lo scopo degli schemi FEC è quello di ridurre il numero di ritrasmissioni
 - L'*header* è sempre protetto da un codice FEC 1/3.
- L'ARQ ritrasmette i dati fino alla ricezione corretta
 - la correttezza è verificata mediante un codice CRC;
 - lo schema ARQ non è utilizzato per le intestazioni e i *payload* voce

Livello Baseband

Canali logici

- **LC, Link Control**
 - E' rappresentato dall'*header* dei pacchetti;
 - trasporta informazioni relative al controllo a basso livello del *link*: ARQ, controllo di flusso, caratterizzazione del *payload*.
- **LM, Link Manager**
 - utilizza il *payload* dei pacchetti SCO o ACL;
 - trasporta informazioni scambiate dai *link manager* del master e dello slave (LMP);
 - l'LM viene identificato tramite il campo L_CH (= 11) nell'*header* del *payload*.

Livello Baseband

Canali logici

- **UA, User Asynchronous data**
 - trasporta dati utente asincroni tra i livelli L2CAP, eventualmente con frammentazione
 - è trasportato nel *payload* di pacchetti ACL ed eventualmente DV.
- **UI, User Isochronous Data**
 - il canale per i dati isocroni è supportato temporizzando i pacchetti ai livelli superiori;
 - al livello *baseband*, la trasmissione è identica al canale UA.
 - quindi è trasportato nel *payload* di pacchetti ACL ed eventualmente DV.
- **US, User Synchronous Data**
 - il trasporto di dati sincroni avviene tramite pacchetti SCO.

Livello Baseband

I clock

- **CLKN, Native CLoCK**
 - *clock* nativo di ogni dispositivo;
 - accuratezza di 20 ppm (250 ppm negli stati di risparmio energetico);
 - non viene mai regolato;
 - la risoluzione deve essere almeno pari a $1/2$ slot (312.5 ms);
 - il periodo è di circa un giorno.
- **CLKE, Estimated CLoCK**
 - viene ricavato aggiungendo un *offset* a CLKN;
 - è una stima del *clock* nativo del ricevitore fatta da un dispositivo che effettua il *paging*.

Livello Baseband

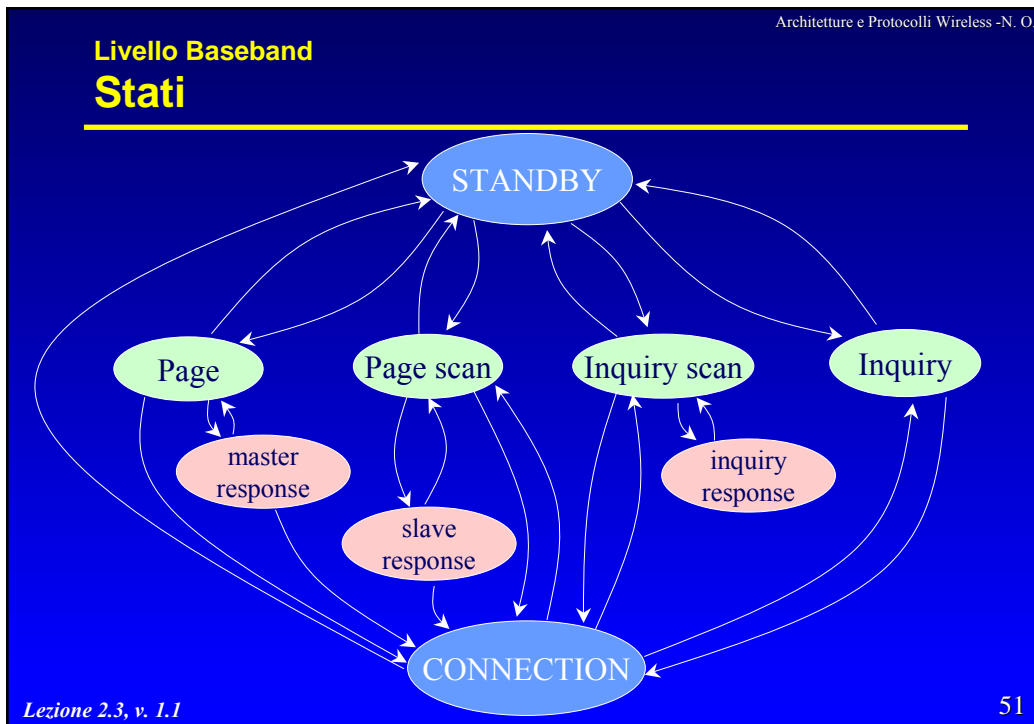
I clock

- **CLK, master CLock**
 - è il *clock* master nella **piconet**;
 - viene utilizzato per temporizzare e organizzare tutte le attività;
 - ogni dispositivo deriva questo *clock* da CLKN aggiungendo un offset,
 - » per il master $CLK \equiv CLKN$;
 - a causa dei *drift* dei diversi oscillatori, il master deve aggiornare periodicamente il valore di CLK.

Livello Baseband

Stati

- BT prevede due stati principali
 - **STANDBY**
 - » è lo stato di bassa potenza di *default* dei dispositivi,
 - » solo il *clock* locale è attivo e non ci sono interazione con altri device;
 - **CONNECTION**
 - » le stazioni possono scambiarsi pacchetti (usando il codice di accesso al canale ed il clock BT);
- Altri sottostati:
 - stati di transizione per aggiungere nuovi slave in una **piconet**;
 - *page, page scan, inquiry, inquiry scan, master response, slave response, inquiry response.*



Architetture e Protocolli Wireless -N. O.

Livello Baseband Creazione della piconet

- Le procedure necessarie per creare la piconet sono la *inquiry* e la *paging*
 - L'*inquiry* non è necessaria nel caso alcune informazioni sul *device* fossero già note (indirizzo BT).
- Esistono diversi schemi di *paging*
 - uno deve essere supportato obbligatoriamente
 - » quando le unità si incontrano per la prima volta,
 - » in seguito ad una procedura di *inquiry*;
 - altri sono facoltativi
 - » le unità si accordano dopo essersi connesse tramite lo schema obbligatorio.

Lezione 2.3, v. 1.1

52

Livello Baseband**Creazione della piconet: connessione delle stazioni**

- Durante le procedure di *Inquiry* e *Paging* vengono utilizzati gli *Access Code* IAC e DAC
 - le stazioni che attivano la procedura trasmettono periodicamente pacchetti di *Inquiry/Page* su tutte le frequenze;
 - le stazioni che attendono di essere "scoperte" si pongono periodicamente in ascolto (*Inquiry/Page scan*)
 - » la frequenza di ascolto deriva dall'indirizzo del dispositivo (BD_ADDR)
 - Questo riduce la probabilità di collisione delle risposte (è probabile che su ogni frequenza ascolti una sola stazione).

Lezione 2.3, v. 1.1

53

Livello Baseband**Creazione della piconet: connessione delle stazioni**

- **Passo 1**
 - la procedura di *inquiry* permette di identificare i dispositivi (e i relativi indirizzi) nel raggio di copertura.
 - Viene attivata da un potenziale master sollecitato da una applicazione o periodicamente da una master già attivo:
 - » Il potenziale master invia i pacchetti di *inquiry* (pacchetti ID contenenti l'*Inquiry Access Code*, IAC) su 32 frequenze di *wake-up* e attende le risposte (stato di *inquiry*);
 - » le stazioni che si trovano nello stato di *inquiry scan* (destinazioni) ricevono i pacchetti di *inquiry*;
 - » le stazioni che ricevono i pacchetti di *inquiry* entrano nello stato di *inquiry response* ed inviano una risposta alla sorgente tramite un pacchetto FHS.
 - » Il master non risponde e continua la fase di *inquiry* fino al termine di un *timeout*
 - » I potenziali slave che hanno risposto ai pacchetti di *inquiring* possono decidere di passare allo stato di *page_scan* nel caso decidano di "collegarsi" alla nuova piconet.

Lezione 2.3, v. 1.1

54

Livello Baseband**Creazione della piconet: connessione delle stazioni**• **Passo 2**

- Il potenziale master, terminata la fase di *inquiring* passa nello stato di *page* e comincia a realizzare il *paging* delle stazioni che hanno risposto nella fase precedente creando la piconet;
- La procedura viene realizzata una stazione alla volta usando l'indirizzo dello slave raccolto nella fase di *inquiring* (o già noto);
- Il dispositivo che effettua la procedura diventa definitivamente il master della piconet che viene a costituirsi.

Livello Baseband**Creazione della piconet: connessione delle stazioni**

- la procedura per ogni stazione si articola in questo modo:
 - » Il master nello stato di *page*, calcola sulla base dell'indirizzo dello slave la *page frequency hopping*. Quindi invia un pacchetto ID che contiene il *Device Access Code, DAC* (ricavato dai 24 bit meno significativi dell'indirizzo dello slave).
 - » la destinazione in stato di *page scan* riceve il pacchetto ID, riconosce che è indirizzato ad essa tramite il DAC, ed invia in risposta lo stesso pacchetto, entrando nello stato di *slave response*;
 - » Il master invia quindi alla destinazione un pacchetto FHS, entrando nello stato *master response*;
 - » la destinazione invia un secondo pacchetto ID identico ai precedenti per conferma e commuta sulla sequenza di *hopping* indicata dal pacchetto FHS del master entrando nello stato *connection*
 - » Il master continua eventualmente con il *paging* delle altre stazioni.

Livello Baseband

Stato Connection

- Nello stato *connection*
 - la comunicazione inizia con un *Poll* da parte del master per verificare il corretto utilizzo della sequenza FH e della temporizzazione da parte dello slave
 - » lo slave risponde con un qualsiasi tipo di pacchetto.
- La connessione viene terminata tramite i comandi
 - *detach*, per le disconnessioni canoniche
 - » i dati nel *link controller* sono ancora validi;
 - *reset*, reinizializzazione completa di tutti i processi
 - » dopo il reset il controllore deve essere riconfigurato.

Livello Baseband

Connessioni – Modalità operative

- Active Mode
 - l'unità partecipa attivamente sul canale
 - » il master "schedula" le trasmissioni sulla base delle esigenze,
 - » il master trasmette regolarmente per mantenere la sincronizzazione del sistema,
 - » gli slave attendono i loro pacchetti dal master
 - se non vengono interrogati possono spegnersi in attesa della trasmissione successiva.
- Sniff Mode
 - l'unità si trova in modalità di risparmio energetico;
 - lo slave ascolta il canale in intervalli di tempo ridotti
 - » il master può trasmettere solo in determinate slot verso ogni unità in questo stato;
 - » l'intervallo di Sniff è programmabile e dipende dall'applicazione.

Livello Baseband

Connessioni – Modalità operative

- Hold Mode
 - il master può mettere i dispositivi nello stato *hold*, nel quale solo gli orologi locali sono attivi
 - » gli slave possono chiedere di essere messi in questo stato;
 - gli slave mantengono la sincronizzazione e il loro indirizzo AM_ADDR e possono scambiare solo pacchetti SCO.
- Park Mode
 - il dispositivo è ancora sincronizzato alla piconet
 - » è un modo per avere più di 7 unità nella piconet;
 - le unità ascoltano regolarmente il traffico per re-sincronizzarsi e ricevere i messaggi *broadcast*;
 - l'indirizzo AM_ADDR viene rilasciato
 - » vengono assegnati PM_ADDR e AR_ADDR;
 - ha un *duty cycle* più breve dei tre stati di risparmio energetico.

Livello Baseband

Scatternet

- Diverse piconet possono coesistere nella stessa area
 - ogni piconet ha un proprio master
 - » regola in modo indipendente i salti del FH;
 - » utilizza un diverso CAC (*Channel Access Code*).
- All'aumentare del numero delle piconet le prestazioni degradano
 - le collisioni (stessa frequenza contemporaneamente) aumentano;
 - comportamento tipico dei sistemi *spread spectrum*!

Livello Baseband Scatternet

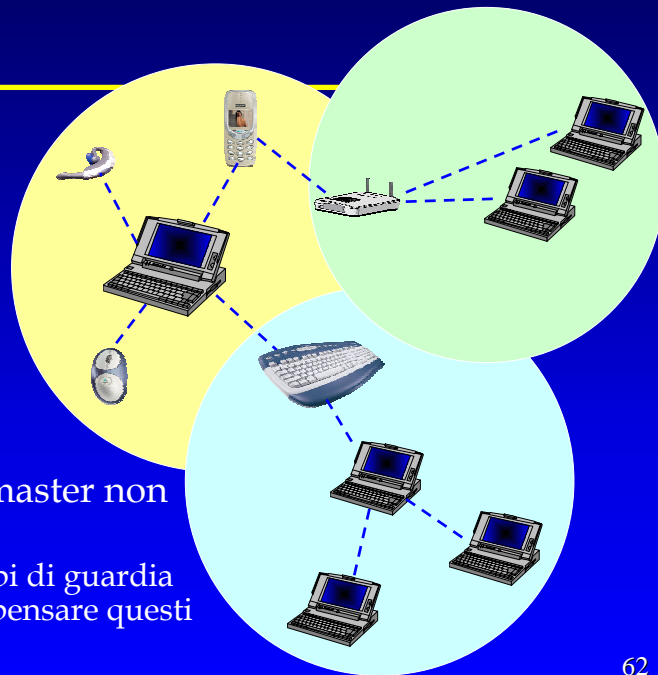
- Se diverse piconet si estendono sulla stessa area, una stazione può partecipare in due o più piconet.
- Un gruppo di piconet nel quale esistono connessioni tra le diverse piconet è detto *scatternet*.
- Una unità può partecipare come slave a diverse piconet
 - può essere master solo in una piconet
 - » due piconet con lo stesso master (uguale sincronizzazione e sequenza FH) sono la stessa!

Lezione 2.3, v. 1.1

61

Livello Baseband Scatternet

- La partecipazione a diverse piconet avviene tramite *time multiplexing*
 - una stazione entra negli stati *hold* o *park* e commuta su un'altra piconet.
- I clock dei diversi master non sono sincronizzati
 - sono necessari tempi di guardia sufficienti per compensare questi disallineamenti.



Lezione 2.3, v. 1.1

62

Livello Baseband

Master-slave switch

- Un dispositivo effettua il *paging* per associarsi ad una piconet
 - per definizione l'unità che effettua il *paging* è il master di una piconet che coinvolge il dispositivo che risponde al *paging*.
- Uno slave vuole instaurare una nuova piconet, con il suo attuale master come slave
 - nella piconet originale il master continua nelle sue funzioni.
- Uno slave vuole diventare il master della sua piconet
 - la creazione di una nuova piconet mediante *paging* delle singole unità richiede molto tempo
 - » conviene sfruttare il master già attivo.

Livello Baseband

Sicurezza

- Per garantire la riservatezza e l'autenticità i meccanismi di sicurezza devono essere implementati
 - a livello di applicazione;
 - a livello di *link*.
- La sicurezza BT prevede 3 modalità:
 - *Security Mode 1: non-secure*;
 - *Security Mode 2: service level enforced security*;
 - *Security Mode 3: link level enforced security*.
- La differenza consiste nel fatto che nella modalità 3 le procedure di sicurezza vengono attivate prima dell'instaurazione del canale.

Livello Baseband

Livelli di sicurezza

- Livelli di sicurezza per i dispositivi
 - *trusted device*
 - » hanno accesso illimitato a tutti i servizi;
 - *untrusted device*.
- Livelli di sicurezza per i servizi:
 - *autenticazione e cifratura*;
 - *autenticazione*;
 - *open-to-all*.

Livello Baseband

Sicurezza

- Per gestire la sicurezza a livello di *link* usa 4 elementi
 - BD_ADDR, 48 bit
 - » pubblico e unico per ogni dispositivo,
 - » può essere ricavato automaticamente tramite *inquiry*;
 - chiave utente privata per autenticazione (*link key*), 128 bit
 - » ricavata durante l'inizializzazione e mai rivelata;
 - chiave utente privata per cifratura, 8-128 bit
 - » derivata dalla chiave per autenticazione,
 - » la lunghezza variabile permette di
 - rispondere a diverse normative nazionali,
 - aumentare la robustezza dell'algoritmo a seconda delle esigenze,
 - » deve essere generata ad ogni nuova sessione di cifratura;
 - RAND, 128 bit
 - » generato da un processo (semi)casuale.

Livello Baseband

Gestione delle chiavi

- Le transazioni tra due o più parti sono gestite dalla chiave del *link* (*link key*)
 - numero casuale di 128 bit;
 - utilizzata nella procedura di autenticazione;
 - è uno dei parametri da cui viene derivata la chiave di cifratura.
- Riguardo alla durata la chiave di link può essere:
 - semi-temporanea
 - » memorizzata in una memoria non volatile;
 - » può essere utilizzata in più sessioni;
 - » può essere modificata;
 - temporanea
 - » la validità è limitata alla sessione;
 - » utilizzate di solito nelle comunicazioni punto-multipunto.

Lezione 2.3, v. 1.1

67

Livello Baseband

Chiave di link

- Esistono 4 tipi di chiavi di *link*
 - *combination key* K_{AB}
 - » generata da informazioni delle unità A e B;
 - *unit key* K_A
 - » generata all'atto della installazione del dispositivo BT,
 - » livello di sicurezza minore rispetto a K_{AB} , ma risulta più scalabile (minori requisiti di memorizzazione);
 - *temporary key* K_{master}
 - » chiave temporanea, per es. per raggiungere più unità contemporaneamente con la stessa chiave di cifratura;
 - *initialization key* K_{init}
 - » usata per l'inizializzazione (K_{AB} e K_A non ancora disponibili),
 - » ricavata da un numero random, BD_ADDR e un codice PIN.

Lezione 2.3, v. 1.1

68

Livello Baseband

Generazione delle chiavi

- Chiave di inizializzazione
 - durante la generazione il PIN deve essere inserito in entrambi i dispositivi;
 - utilizza l'algoritmo E_{22} e come input BD_ADDR, codice PIN, lunghezza codice PIN e un numero casuale IN_RANDOM;
 - la chiave di inizializzazione è usata solo per lo scambio delle chiavi durante la generazione di una chiave di *link*;
 - » appena terminato lo scambio questa chiave deve essere rimossa.

Livello Baseband

Generazione delle chiavi

- Chiave di link
 - *unit key*
 - » generata al primo utilizzo del *device* e memorizzata,
 - » durante l'inizializzazione, le applicazioni decidono quale unità deve fornire la propria *unit key* come chiave di *link*;
 - *combination key*
 - » generata simultaneamente dai dispositivi;
 - la chiave viene memorizzata ed utilizzata anche successivamente per nuove connessioni
 - » l'autenticazione non viene eseguita tramite la generazione di una nuova K_{init} .

Livello Baseband

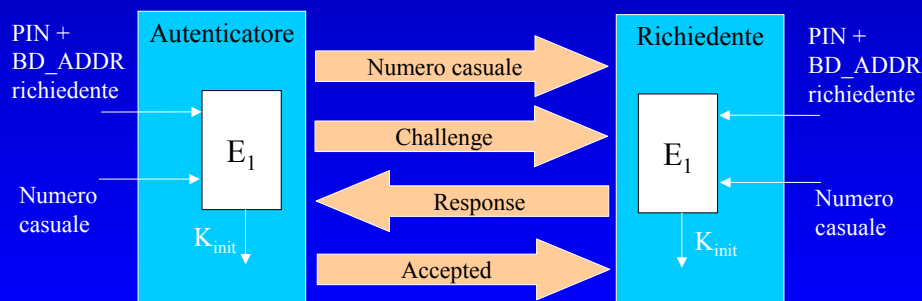
Generazione delle chiavi

- Il master può utilizzare una diversa chiave di cifratura per ogni slave
 - nel caso di trasmissioni *broadcast* si ha uno spreco di banda;
 - l'utilizzo di una chiave K_{master} permette di rendere il traffico *broadcast* accessibile a tutti gli slave
 - » gli slave non possono commutare tra più chiavi di cifratura in tempo reale;
 - il master genera la chiave e la trasmette agli slave;
 - il master comunica agli slave quando iniziare ad utilizzare la nuova chiave;
 - il master comunica quando tornare alla chiave di *link* semi-permanente.

Livello Baseband

Autenticazione: *Pairing*

- L'autenticazione prevede un meccanismo *challenge/response* per verificare la conoscenza di una chiave di *link* comune.
- *Pairing*: costruzione di un canale affidabile tra due *device* (costruzione di K_{init}).



Livello Baseband

Autenticazione

- Il richiedente chiede l'autenticazione.
- L'autenticatore invia un *challenge* (numero casuale) e calcola un MAC (*Message Authentication Code*, algoritmo E_1 , cifratura SAFER+) a partire da tale valore, da BD_ADDR e dalla chiave di link.
- Il richiedente esegue lo stesso conto e ritorna il valore calcolato in una *response*.
- L'autenticatore verifica la correttezza della risposta.
- In caso di fallimento, la procedura può essere ripetuta dopo un intervallo di tempo che cresce con andamento esponenziale
 - evita attacchi al PIN a 4 cifre.

Livello Baseband

Cifratura

- La cifratura riguarda solo il *payload*.
- Si utilizza l'algoritmo E_0 , di tipo *stream cipher*.
- I dispositivi hanno una lunghezza massima della chiave utilizzabile
 - la lunghezza della chiave da utilizzare deve essere negoziata tra le unità.
- Utilizzando una chiave di *link*
 - semi-permanente è possibile cifrare solo il traffico punto-punto;
 - temporanea si perde la riservatezza tra le unità della piconet.

Architetture e Protocolli Wireless -N. O.

Livello Baseband Cifratura

<i>Chiave di link semi-permanente</i>	
Traffico Broadcast	Traffico individuale
Non cifrato	Non cifrato
Non cifrato	Cifrato, chiave semi-permanente
<i>Chiave temporanea master K_{master}</i>	
Traffico Broadcast	Traffico individuale
Non cifrato	Non cifrato
Non cifrato	Cifrato, chiave K_{master}
Cifrato, chiave K_{master}	Cifrato, chiave K_{master}

Lezione 2.3, v. 1.175

Architetture e Protocolli Wireless -N. O.

Livello Link Manager

The diagram illustrates the Bluetooth protocol stack layers and their connections:

- Host Controller Interface:** The top layer where applications and protocols connect.
- Applications/Protocols:**
 - vCard/vCal, OBEX, WAE, WAP, AT Commands, TCS BIN, SDP.
 - WAP uses UDP/TDP and IP.
 - PPP connects to IP.
- RFComm:** Connects to OBEX and WAP.
- L2CAP:** Connects to WAP, AT Commands, TCS BIN, and SDP.
- LMP (Link Manager Protocol):** Connects to L2CAP and Baseband.
- Baseband:** Connects to LMP and Bluetooth radio.
- Bluetooth radio:** The physical layer for communication.
- Audio:** A path from the Host Controller Interface through LMP and Baseband to the Bluetooth radio, indicated by a red arrow.

Lezione 2.3, v. 1.176

Livello Link Manager

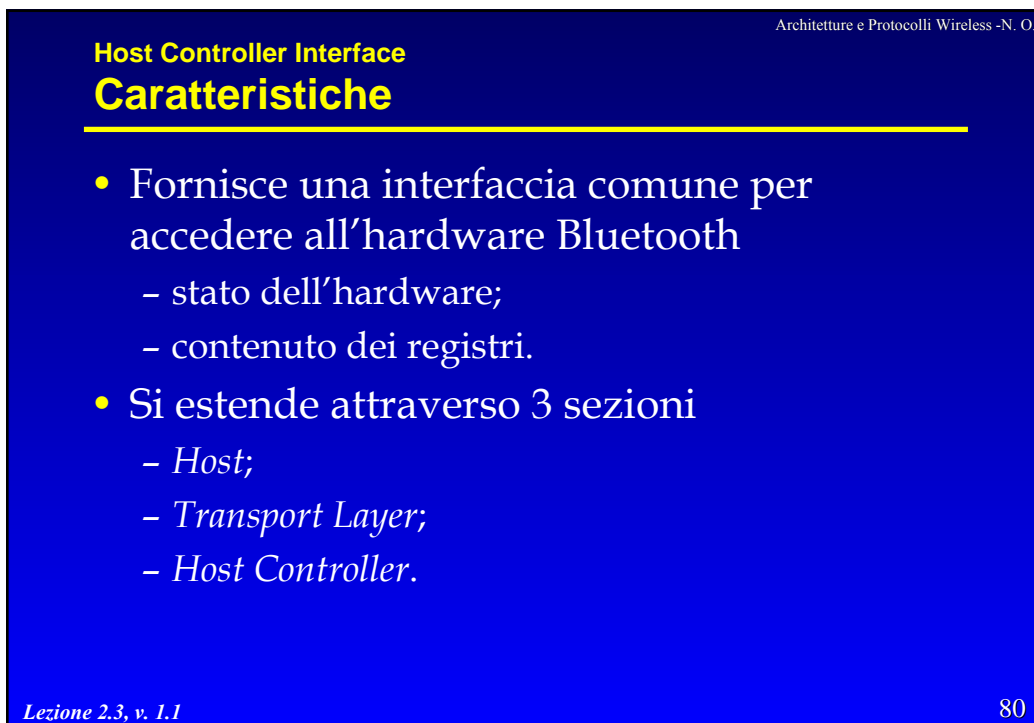
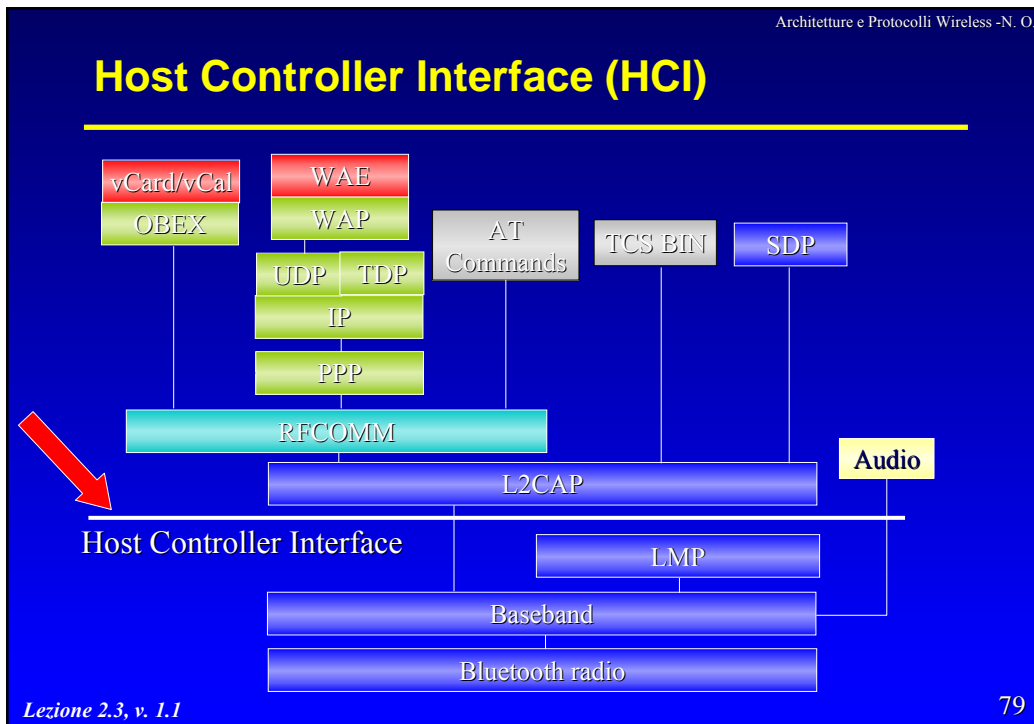
Funzioni

- Gestione delle piconet
 - sincronizzazione *clock*, *switch* master/slave, richiesta nome dispositivo, controllo di potenza.
- Configurazione del link
 - instaurazione e supervisione (negoziiazione dim. dei pacchetti);
 - gestione *link* SCO;
 - Attivazione delle modalità risparmio energetico (*hold*, *sniff*, *park*);
 - QoS;
 - selezione del tipo di pacchetto.
- Sicurezza
 - autenticazione (*pairing*, *challenge/response*, cambiamento chiave del *link*, cambiamento chiave del *link* corrente);
 - cifratura (dimensione della chiave, modalità, inizio/fine).

Livello Link Manager

Caratteristiche

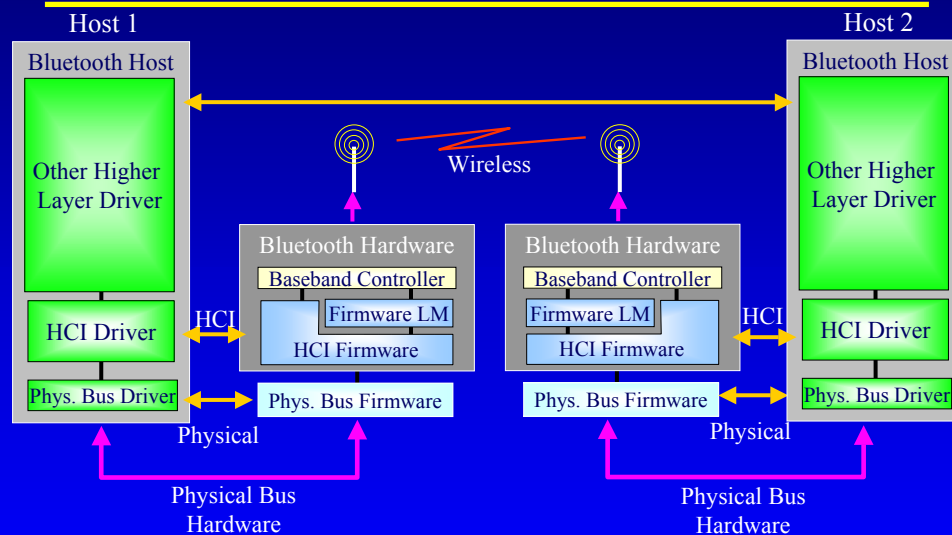
- I livelli LM di diversi dispositivi comunicano attraverso l' **LM Protocol (LMP)**
 - sfruttano il servizio di trasporto offerto dal *Link Controller* (Baseband);
 - inviano pacchetti in singole slot
 - » DM1 (DV nel caso di *link* SCO con pacchetti HV1 e dati inferiori a 9 byte);
 - » hanno la priorità sul resto del traffico;
 - non necessitano di riscontri, essendo il servizio LC affidabile
 - » devono gestire i ritardi variabili introdotti dal livello Baseband.



Host Controller Interface Architettura

- L'HCI funzionalmente si divide in tre parti:
 - HCI firmware (Host Controller)
 - » implementa i comandi HCI accedendo all'hardware Bluetooth (comandi *baseband* e *link manager*, registri di stato, di controllo e di eventi);
 - HCI driver (Host)
 - » riceve notifiche asincrone degli eventi e le decodifica;
 - Host Controller Transport Layer (Intermediate Layer)
 - » definizioni di diversi livelli che possono esistere tra HCI firmware e driver (USB, UART, RS-232).

Host Controller Interface Architettura



Host Controller Interface

Comandi HCI

- I comandi HCI permettono all'Host di controllare i *link* verso altri dispositivi BT attraverso il protocollo LMP
 - i *Policy Command* sono utilizzati per modificare il comportamento dei LM locale e remoto
 - » permettono di impostare come il LM gestisce le piconet;
 - gli *Host Controller and Baseband Commands*, gli *Informational Commands* e gli *Status Commands* consentono all'Host l'accesso a diversi registri dell'Host Controller.

Host Controller Interface

Comandi HCI

- **HCI-Specific Information**
 - consentono il trasferimento verso l'Host Controller di:
 - » comandi HCI, dati ACL e SCO;
 - consentono di ricevere dall'Host Controller
 - » eventi HCI, dati ACL e SCO;
 - il *Transport Layer* permette di scambiarsi informazioni HCI in modo trasparente
 - » le specifiche HCI definiscono il formato per lo scambio di comandi, eventi e dati direttamente tra Host e Host Controller.

Host Controller Interface

Comandi HCI

- **Link Control Commands**
 - consentono di controllare le connessioni verso altri dispositivi BT
 - » instaurazione di piconet e scatternet;
 - » inquiry, paging, ecc.
- **Link Policy Commands**
 - consentono di controllare come il Link Manager gestisce piconet e scatternet
 - » parametri di funzionamento del LM.
- **Host Controller and Baseband Commands**
 - permettono l'accesso e la modifica di parametri di funzionamento dell'hardware BT.

Host Controller Interface

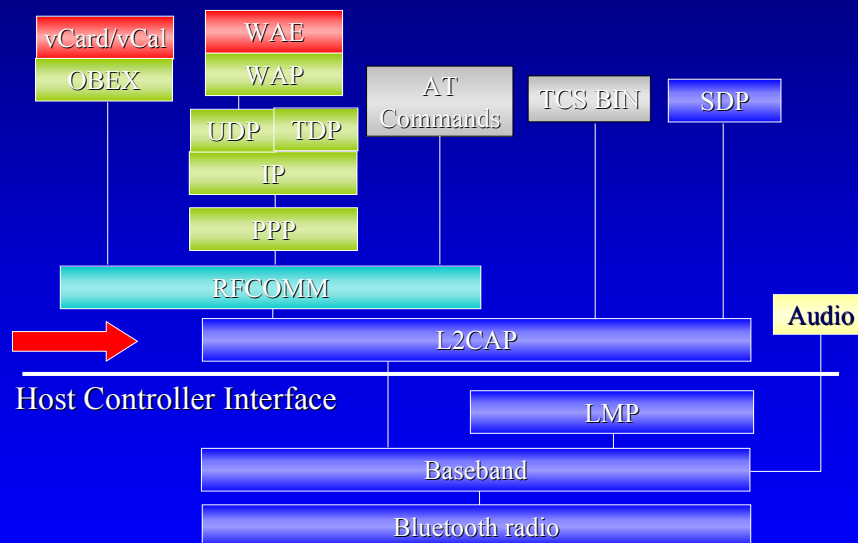
Comandi HCI

- **Informational Parameters**
 - consentono l'accesso a parametri fissati dal produttore dell'hardware
 - » informazioni sul dispositivo e capacità.
- **Status Parameters**
 - sono parametri relativi allo stato attuale dell'Host Controller
 - » l'Host non li può modificare, a parte il reset di alcuni di loro.
- **Testing Commands**
 - permettono la possibilità di testare diverse funzionalità hardware BT.

Host Controller Interface Transport Layer

- **UART**
 - comunicazione tra Host e Host Controller attraverso una coppia di interfacce UART su una linea seriale.
- **RS232**
 - permette di utilizzare una interfaccia RS232 tra l'Host e l'hardware BT in modo trasparente.
- **USB**
 - permette di utilizzare un *device* BT attraverso un bus USB
 - » su un *dongle* esterno;
 - » integrato sulla scheda madre del PC;
 - il codice di classe è uguale per tutti i dispositivi BT
 - » viene caricato lo stesso *stack* protocollare.

L2CAP



Logical Link Control and Adaptation Protocol

Introduzione

- Lavora in parallelo all'LMP ma trasporta informazione d'utente (dati dei livelli superiori)
 - un campo nell'*header* del *payload* distingue i due livelli.
- Fornisce servizi sia orientati alla connessione che no, può operare funzioni di *multiplexing*, di segmentazione e riassettaggio e gestisce gruppi d'utente
 - utilizza solo i *link ACL*.

Logical Link Control and Adaptation Protocol

Funzionalità

- **Protocol Multiplexing**
 - deve essere in grado di distinguere i protocolli di livello superiore (RFCOMM, SDP, TCS)
 - » il livello baseband non fornisce questo servizio.
- **SAR (Segmentation And Reassembly)**
 - i pacchetti Baseband hanno dimensioni limitate;
 - MTU di queste dimensioni sono inefficienti per i protocolli di livello alto
 - » intestazioni, ecc.;
 - i pacchetti provenienti dai livelli superiori vengono segmentati in unità conformi al livello Baseband
 - » il riassettaggio avviene insieme ad un controllo di integrità.

Logical Link Control and Adaptation Protocol

Funzionalità

- **Quality of Service**
 - il processo di instaurazione di connessioni L2CAP permette di scambiare informazioni sulla QoS desiderata;
 - le entità L2CAP devono monitorare le risorse utilizzate ed assicurare che le specifiche di QoS siano soddisfatte.
- **Groups**
 - l'astrazione di gruppo fornita da L2CAP permette ai protocolli di livello superiore di individuare gruppi coincidenti di dispositivi
 - » evita che i protocolli di livello superiore debbano interagire direttamente con i livelli Baseband e LMP per gestire i gruppi efficacemente.

Logical Link Control and Adaptation Protocol

Prerequisiti

- Il *link* ACL viene instaurato dal livello LMP
 - al massimo un *link* presente tra due dispositivi;
 - il livello Baseband consegna i pacchetti in ordine
 - » possono esserci errori sui singoli pacchetti o duplicati.
- Il livello Baseband fornisce un collegamento che appare full-duplex
 - le comunicazioni possono essere unidirezionali (multicast e broadcast).
- L2CAP fornisce un canale affidabile utilizzando i meccanismi a livello Baseband
 - il Baseband effettua il controllo di integrità ed il rinvio dei pacchetti (nACK o timeout);
 - l'uso del broadcast è proibito se l'affidabilità è richiesta.

Logical Link Control and Adaptation Protocol L2CAP non prevede...

- ... il trasporto di audio destinato ai *link* SCO.
- ... ritrasmissioni o calcolo di *checksum* (non forza un canale ad essere affidabile).
- ... un canale multicast affidabile.
- ... il concetto di un nome di gruppo globale.

Logical Link Control and Adaptation Protocol Canali

- Il livello L2CAP si basa sul concetto di canali
 - ogni canale è identificato da un *Channel Identifier (CID)*;
 - i canali possono essere *connection-oriented* (bidirezionali) o *connection-less* (unidirezionali)
 - » i canali *connection-less* permettono di creare gruppi di ricevitori.
- I CID sono identificatori locali univoci del canale
 - alcuni identificatori sono riservati
 - » es. 0x0001 per segnalazione.

Architetture e Protocolli Wireless -N. O.

Logical Link Control and Adaptation Protocol Canali

Tipo di canale	CID Locale	CID Remoto
Connection-oriented	Allocazione dinamica	Allocazione dinamica
Connectionless	Allocazione dinamica	0x0002 (fisso)
Segnalazione	0x0001 (fisso)	0x0001 (fisso)

Lezione 2.3, v. 1.1

Architetture e Protocolli Wireless -N. O.

RFCOMM

Lezione 2.3, v. 1.1

RFCOMM**Emulazione di porte RS-232**

- RFCOMM fornisce una emulazione di porte seriali sopra il protocollo L2CAP.
- Fornisce parti delle specifiche previste dallo standard ETSI TS 07.10.
- RFCOMM è un protocollo di trasporto molto semplice
 - prevede l'emulazione dei 9 circuiti RS-232 (EIA/TIA-232-E);
 - supporta fino a 60 connessioni contemporanee
 - » il numero che è possibile usare simultaneamente dipende dall'applicazione.

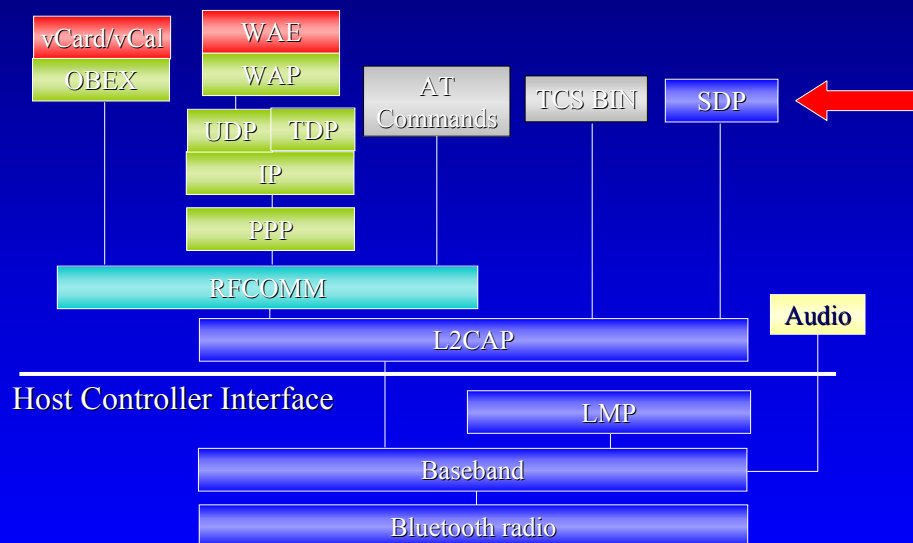
RFCOMM**Applicazioni**

- RFCOMM fornisce porte seriali virtuali alle applicazioni.
- RFCOMM permette la comunicazione di rete alle applicazioni
 - collegando direttamente le due entità che devono comunicare tramite un *link* Bluetooth;
 - collegando una entità ad un dispositivo di rete (modem, AP) tramite un *link* Bluetooth.

RFCOMM Applicazioni

- RFCOMM distingue due tipi di dispositivi:
 - *Type 1: endpoint* (computer, stampanti);
 - *Type 2: parti del segmento di comunicazione* (modem).
- Le informazioni scambiate con il protocollo RFCOMM permette di supportare entrambi i tipi di dispositivi
 - alcune informazioni sono utilizzate solo dai *device Type 2*.
- Servizi RFCOMM
 - trasporto dei segnali di controllo RS-232 (TD, RX, RTS, CTS, ecc);
 - emulazione null-modem;
 - emulazione di più porte tra due *device*.

Service Discovery Protocol (SDP)



Service Discovery Protocol

Scopi

- Il protocollo SDP permette alle applicazioni di scoprire
 - i servizi disponibili sui dispositivi vicini;
 - le caratteristiche di tali servizi.
- Il *Service Discovery* in Bluetooth è intrinsecamente differente rispetto a quello nelle reti cablate
 - dispositivi RF in prossimità in movimento;
 - ottimizzazione per la struttura Bluetooth.
- SDP non definisce protocolli per accedere ai servizi
 - per questo ci sono specifici protocolli nello *stack* Bluetooth.

Service Discovery Protocol

Funzionamento

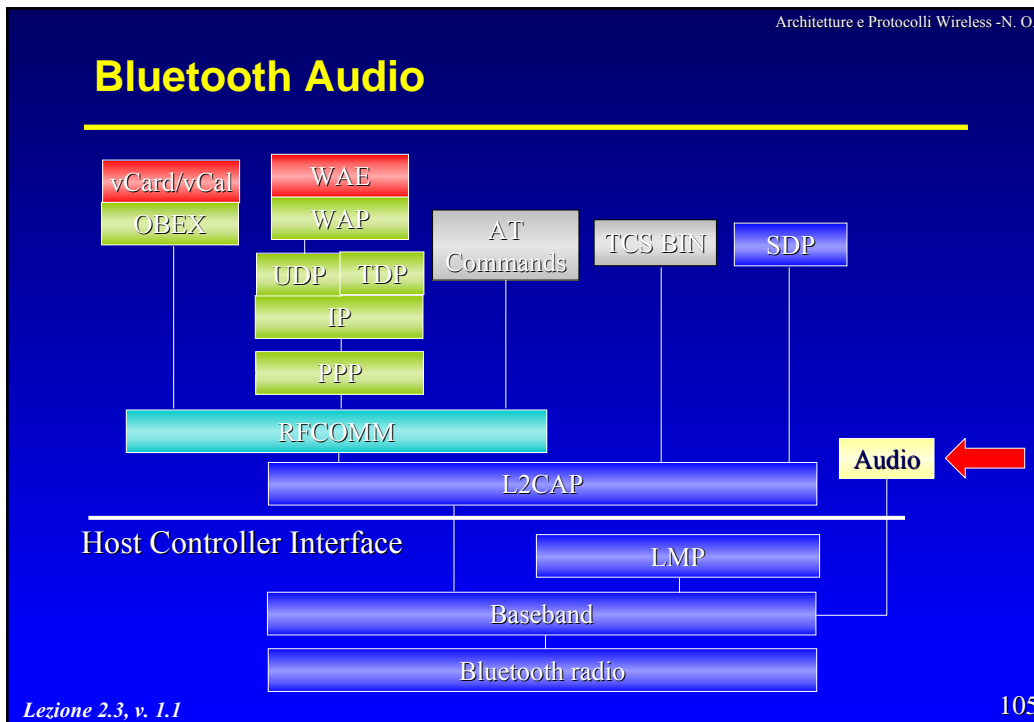
- SDP è un protocollo semplice
 - pochi requisiti sul trasporto sottostante (affidabile o non affidabile).
- SDP utilizza un meccanismo client/server a richiesta/risposta
 - i client richiedono i servizi disponibili e i loro attributi ai server (*SDP requests*):
 - » tipo o classe del servizio,
 - » meccanismo o protocollo necessario per utilizzare il servizio;
 - i server rispondono (*SDP responses*).

Service Discovery Protocol Ricerca dei servizi

- Ricerca di servizi noti
 - identificati attraverso identificativi univoci noti (UUID, *Universal Unique IDentifier*) degli attributi.
- *Browsing* di servizi
 - elenco di tutti i servizi disponibili.

Service Discovery Protocol Funzionamento

- I server mantengono una lista dei servizi attivi (*service record*).
- L'insieme di server disponibili può variare dinamicamente in base alla distanza tra le unità BT.
- SDP non prevede meccanismi per notificare ai client
 - la disponibilità di un nuovo server;
 - l'allontanamento di un server in prossimità.
- Per queste funzioni si possono utilizzare
 - altri meccanismi;
 - polling.



Architetture e Protocolli Wireless -N. O.

Bluetooth Audio Caratteristiche

- Interfaccia radio Bluetooth:
 - 64 kb/s log PCM
 - » A-law o μ -law,
 - » la compressione segue lo standard G.711;
 - 64 kb/s CVSD (*Continuously Variable Slope Delta modulation*)
 - » consiste in una modulazione Delta con quantizzatore adattivo;
 - » l'ingresso è rappresentato da un PCM 64 kb/s;
 - » il clock del sistema è 64 kHz;
 - lo schema di modulazione viene scelto mediante negoziazione del LMP.
- Interfaccia di linea
 - qualità pari o superiore ad un log PCM a 64 kb/s.

Lezione 2.3, v. 1.1

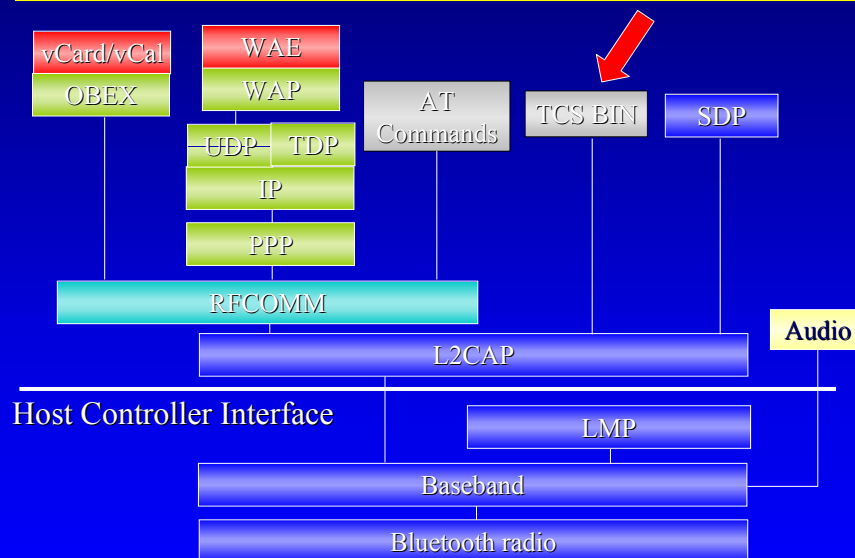
106

Bluetooth Audio

Gestione degli errori

- Nei pacchetti DV e HV3 la voce non è protetta da FEC
 - CVSD è abbastanza insensibile a errori casuali su singoli bit;
 - il problema consiste nella mancanza di pacchetti
 - » scarto dovuto a errore sul CAC o codice HEC.
- Nei pacchetti HV2 si utilizza un FEC 2/3
 - alcuni errori possono essere rilevati ma non corretti
 - » il decodificatore dovrebbe minimizzare gli effetti percepibili.
- Nei pacchetti HV1 si utilizza un FEC 1/3
 - lo schema di decodifica assume errori sul singolo bit;
 - non esistono errori rilevabili ma non correggibili.

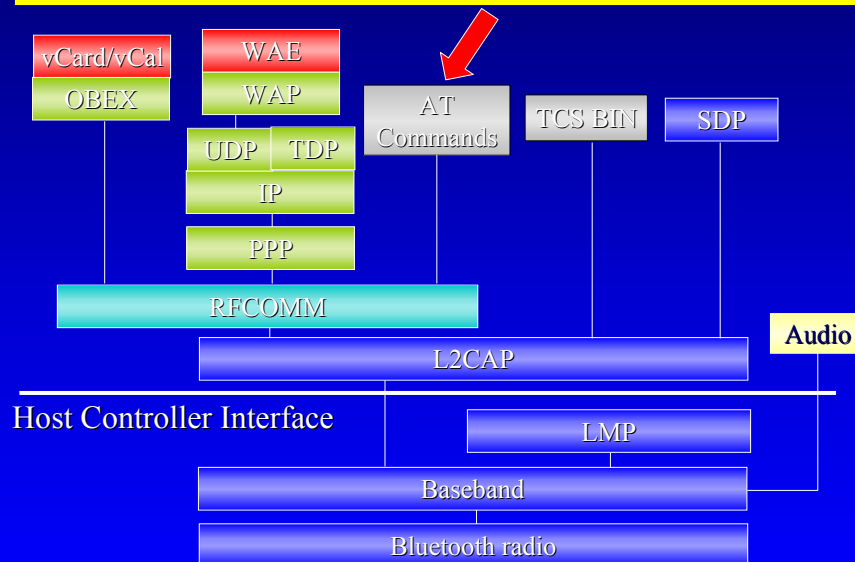
Telephony Control protocol – Binary



Telephony Control protocol Specification – Binary Caratteristiche

- Protocollo *bit-oriented*.
- Definisce la segnalazione di controllo necessaria per l'instaurazione di chiamate voce/dati.
- Basato sulle raccomandazioni ITU Q.931.
- Funzionalità:
 - *Call Control*: instaurazione e rilascio di chiamate;
 - *Group Mangement*: gestione di gruppi di dispositivi Bluetooth;
 - *ConnectionLess*: segnalazione non correlata ad un chiamata in corso.

Telephony Control protocol – AT Commands

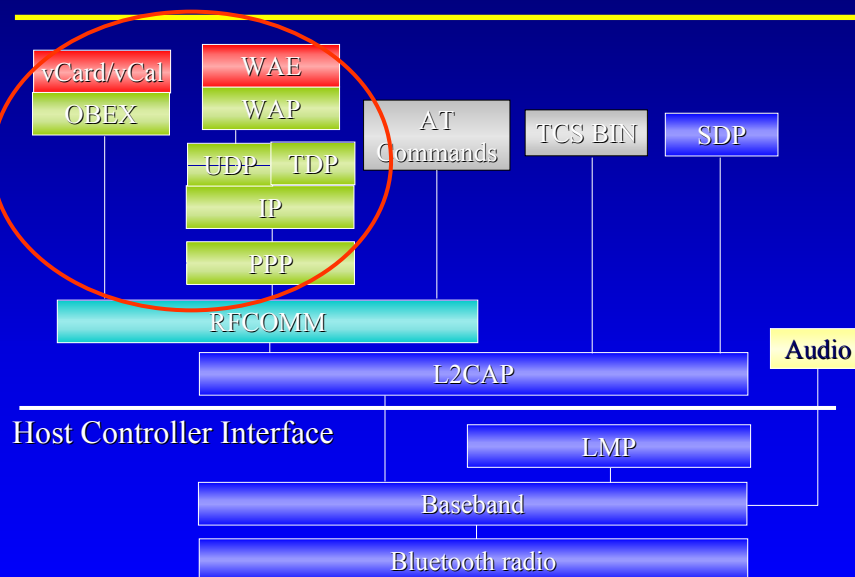


Telephony Control protocol – AT Commands

Caratteristiche

- Definisce l'insieme di comandi AT che possono essere utilizzati per controllare un telefono o un modem tramite BT.
- Basati sulla raccomandazione ITU-T V.250 e ETS 300 916 (GSM 07.07).
- I comandi per FAX sono specificati dall'implementazione:
 - Fax Class 1.0 TIA-578-A e ITU T.31 Service Class 1.0;
 - Fax Class 2.0 TIA-592 e ITU T-32 Service Class 2.0;
 - Fax Service Class 2 - Non standard industriale.

Protocolli Adottati



Protocolli adottati**PPP e TCP/IP**

- PPP è stato pensato per essere utilizzato sopra RFCOMM per connessioni punto-punto
 - inizializza e trasporta le connessioni TCP/IP.
- TCP/IP permette la connessione di apparati
 - tra di loro;
 - come bridge per il collegamento ad Internet.

Protocolli adottati**OBEX**

- IrOBEX è un protocollo di sessione sviluppato da *Infrared Data Association* (IrDA) per lo scambio di oggetti in modo semplice e spontaneo.
 - fornisce le funzionalità base di HTTP
 - » in modalità più leggera,
 - » in modo indipendente dal meccanismo e dalle API di trasporto;
 - definisce completamente il protocollo
 - » comunicazione tra dispositivi,
 - » modello per la rappresentazione di oggetti ed operazioni.

Protocolli adottati**vCard, vCalendar**

- Specifiche controllate dal Internet Mail Consortium.
- Definiscono formati elettronici standard per biglietti da visita e calendari personali (appuntamenti, organizzazione temporale di attività).
- L'obiettivo è quello di favorire ulteriormente lo scambio di informazioni personali attraverso questi formati ben definiti e supportati.
- Altri formati supportati da OBEX in Bluetooth sono vMessage e vNote.

Protocolli adottati**WAP**

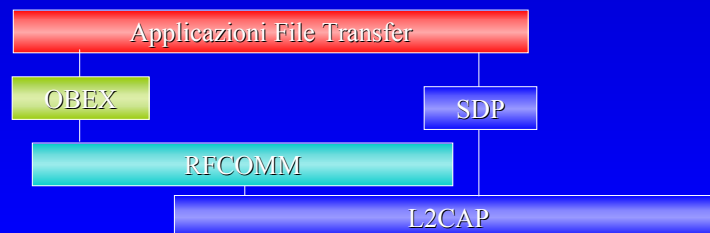
- Il *Wireless Application Protocol* è stato studiato
 - per essere utilizzato su diverse reti radio su larga scala;
 - per rendere accessibili i contenuti Internet e i servizi telefonici agli apparati wireless (telefoni cellulari, palmari, ecc.).
- L'adozione di WAP permette
 - di riutilizzare tutte le applicazioni già sviluppate in ambito WAE (*Wireless Application Environment*);
 - di sviluppare gateway di conversione per realizzare nuove funzionalità
 - » controllo remoto, reperimento di dati da PC da parte di cuffie, ecc.
 - di realizzare applicazioni personali che utilizzano WML e script WML come SDK universali.

Modelli utente

- Profili specifici sono stati specificati per descrivere come devono essere realizzare le implementazioni dei “modelli utente”
 - in questo modo si riducono i rischi di incompatibilità di servizi su dispositivi di diversi produttori.
- I “modelli utente” descrivono una varietà di scenari all’interno dei quali viene usato Bluetooth.
- I profili possono essere descritti come un attraversamento verticale dello stack protocollare
 - definiscono le opzioni obbligatorie;
 - definiscono un insieme di valori da utilizzare per i parametri di ogni protocollo.

Modelli utente File transfer

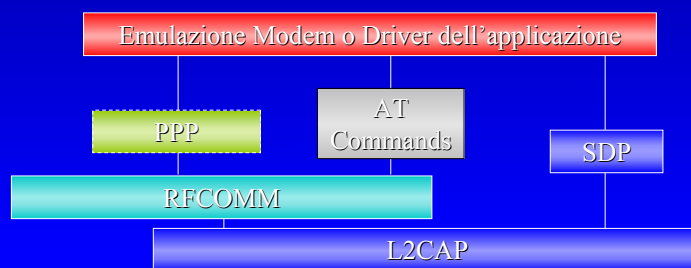
- Permettono il trasferimento di oggetti tra dispositivi
 - *File Transfer Profile*: .xls, .ppt, .wav, intere directory, formati di streaming, browsing di directory;
 - *Object Push Profile*: vCard.



Modelli utente

Internet bridge

- Telefoni radiomobili o modem *cordless* permettono di essere utilizzati per dial-up (*Dial-up Networking Profile*) e fax (*Fax Profile*)
 - il fax non prevede la presenza di PPP.



Lezione 2.3, v. 1.1

119

Modelli utente

Accesso LAN

- Diversi dispositivi dati utilizzano un Access Point per l'accesso alla LAN (*LAN Access Profile*)
 - lo *stack* protocollare è molto simile al *dialup*.



Lezione 2.3, v. 1.1

120

Architetture e Protocolli Wireless -N. O.

Modelli utente

Sincronizzazione

- Sincronizzazione delle informazioni utente (PIM, *Personal Information Management*) tra dispositivi
 - rubriche telefoniche, calendari, messaggi, note.

121

Lezione 2.3, v. 1.1

Architetture e Protocolli Wireless -N. O.

Modelli utente

Three-in-one Phone

- Un unico telefono può essere connesso a diversi servizi
 - altro telefono su Bluetooth (walkie-talkie);
 - servizio telefonico PSTN;
 - servizio radiomobile cellulare.

122

Lezione 2.3, v. 1.1

Modelli utente

Cuffie

- Le cuffie rappresentano un *device* input/output remoto
 - grazie ai comandi AT permettono di controllare l'instaurazione/termine della chiamata senza agire sul telefono/PC.

