

**Università di Genova**  
**Facoltà di Ingegneria**

---

**Telematica**

**5. *Wireless* (Radiomobile e WLAN)**

Prof. Raffaele Bolla



Telematica

***Wireless* (Radiomobile e WLAN)**

---

- **Introduzione**
- **Radiomobile Cellulare**
- **IEEE 802.11**
- *Bluetooth*
- *HomeRF*

## Introduzione Wireless

---

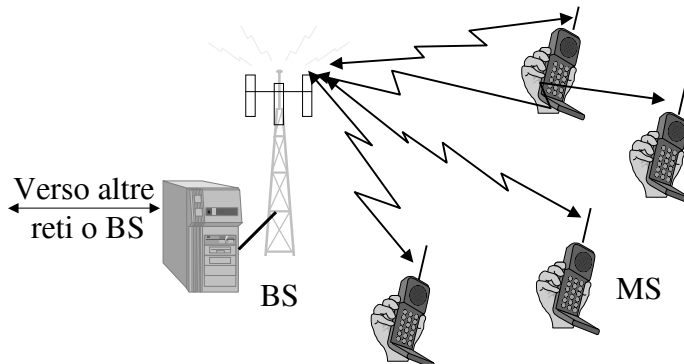
- Le reti wireless sono reti in cui i terminali accedono alla rete tramite canali “senza fili” (radio in genere).
- Le reti radiomobili sono reti *wireless* dove i terminali utenti possono spostarsi sul territorio senza perdere la connettività con la rete.
- Le reti cellulari sono reti radiomobili la cui copertura geografica è ottenuta con una tassellatura di aree adiacenti e/o sovrapposte dette celle.
- Le Wireless LAN (WLAN) sono reti *wireless* che forniscono coperture e servizi tipici di una LAN.

3

## Punto di accesso fisso

---

- I terminali mobili (*Mobile Station, MS*) non comunicano mai direttamente ma sempre tramite un stazione fissa (*Base station, BS*) di riferimento.

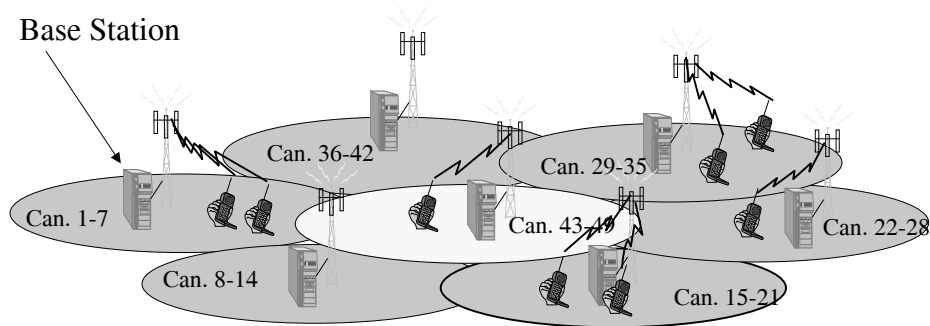


4



## Reti Cellulari

---



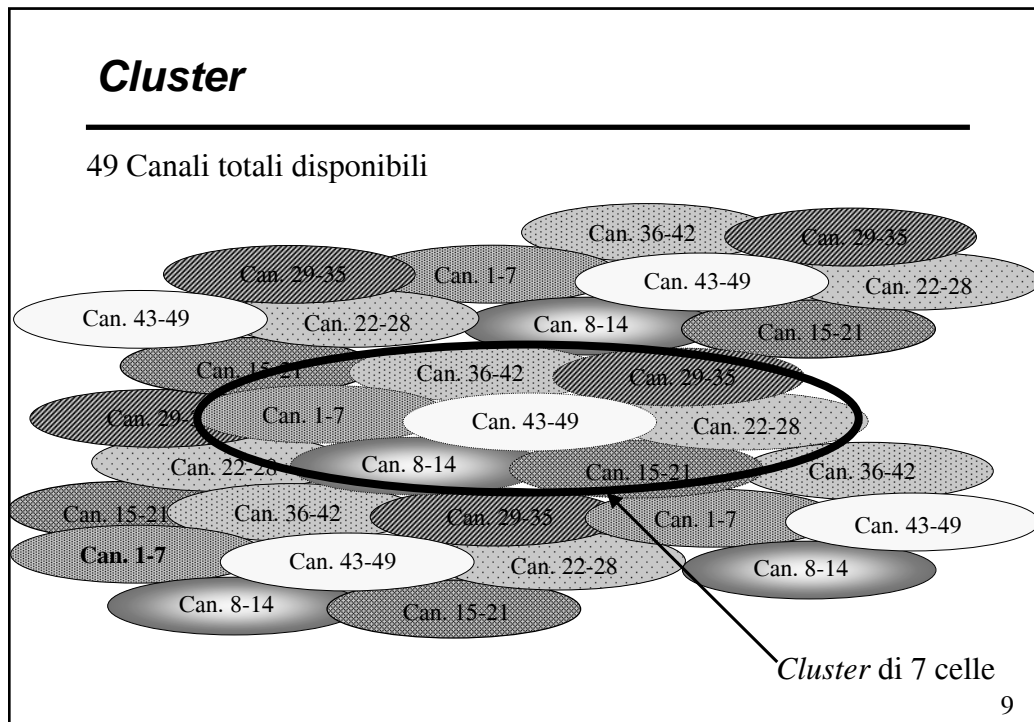
7

## Reti Cellulari

---

- L'efficienza nelle reti cellulari viene misurata essenzialmente in base al riuso dei canali radio disponibili in celle adiacenti.
- Se si potessero riusare tutti i canali in ciascuna cella si avrebbe efficienza unitaria.
- Le celle vengono organizzate in "cluster" di N celle: all'interno di un cluster, ciascuna cella utilizza un sottoinsieme unico di canali.
- La dimensione del cluster è una misura dell'efficienza del sistema: più sono grossi i cluster (cioè più celle li compongono) meno efficiente è il sistema.
  - Sistemi analogici con accesso FDMA (AMPS, TACS, NMT): cluster di 19 o 21 celle
  - Sistemi numerici con accesso di tipo TDMA o misto FDMA/TDMA (GSM, D-AMPS, JCD): cluster di 7 o 9 celle
  - Sistemi numerici con accesso CDMA (IS-95): cluster di 1 cella (almeno in linea di principio)

8



## Rete Cellulare

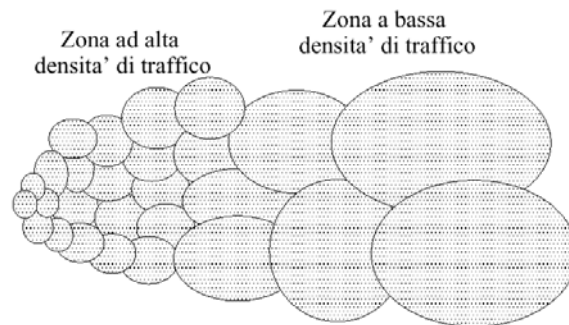
---

- Consideriamo una superficie da servire di 400.000 km<sup>2</sup> (corrispondente circa alla superficie dell'Italia comprese le acque territoriali), ed indichiamo con R il raggio della cella, A la sua area, N il numero totale delle celle.
- Supponiamo di avere a disposizione 490 canali (ogni canale corrisponde allo spazio in freq. necessario ad una conversazione telefonica) e *cluster* di 7 celle (quindi 70 canali per cella):
  - Con un'unica cella potremmo avere al massimo 490 conversazioni contemporanee
  - Con R = 60 Km avremmo per ogni cella (supponiamo celle uguali)  $A = 60^2 \cdot \pi \approx 11.300 \text{ Km}^2$ , quindi  $N = 400.000/11.300 \approx 36$  quindi un totale di  $36 \cdot 70 = 2520$  conversazioni contemporanee.
  - Con R=10 Km avremmo  $A \approx 314 \text{ Km}^2$ ,  $N = 400.000/314 \approx 1274$ , e quindi  $N = 1274 \cdot 70 = 89.180$  conversazioni contemporanee.
  - Con R=1 Km avremmo  $A \approx 3,14 \text{ Km}^2$ ,  $N = 400.000/3,14 \approx 127324$ , e quindi  $N = 127324 \cdot 70 = 8.912.680$  conversazioni contemporanee.

## Rete cellulare

---

- Ovviamente il complessivo aumento di capacità con celle di egual superficie viene realmente sfruttato solo se l'utenza risulta equamente distribuita sul territorio.
- Se per assurdo, tutti gli utenti si concentrassero in una cella, in realtà negli esempi precedenti il numero massimo di conversazioni si ridurrebbe comunque a 70.
- Per mantenere alta l'efficienza le celle vengono realizzate di dimensioni più piccole in corrispondenza di aree con elevata concentrazione di utenza (centri abitati, strade).



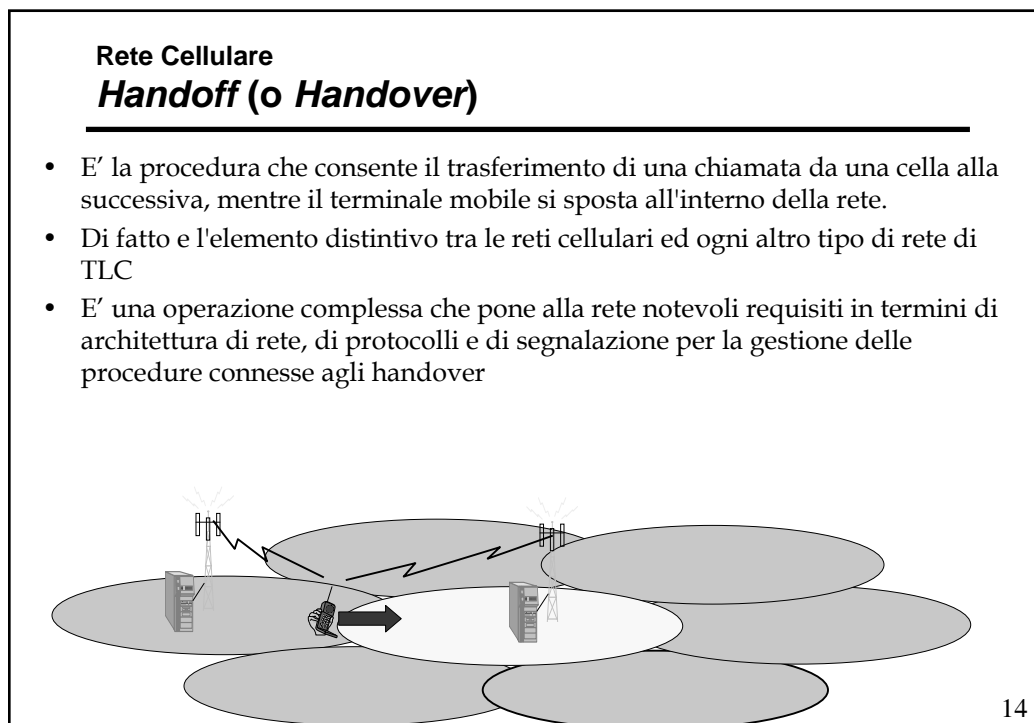
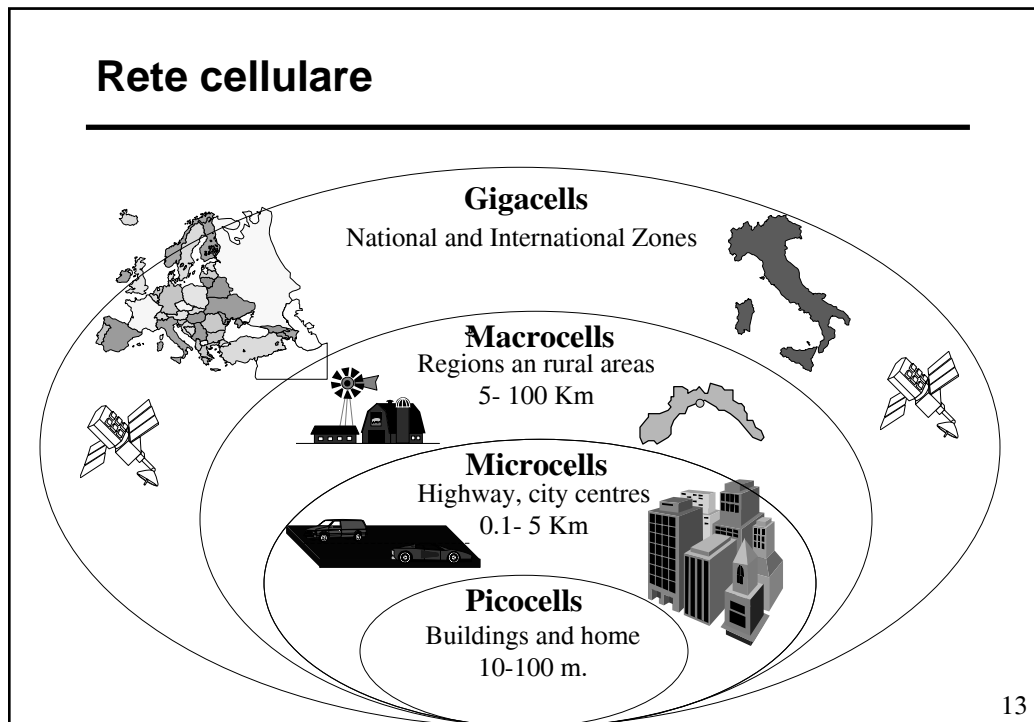
11

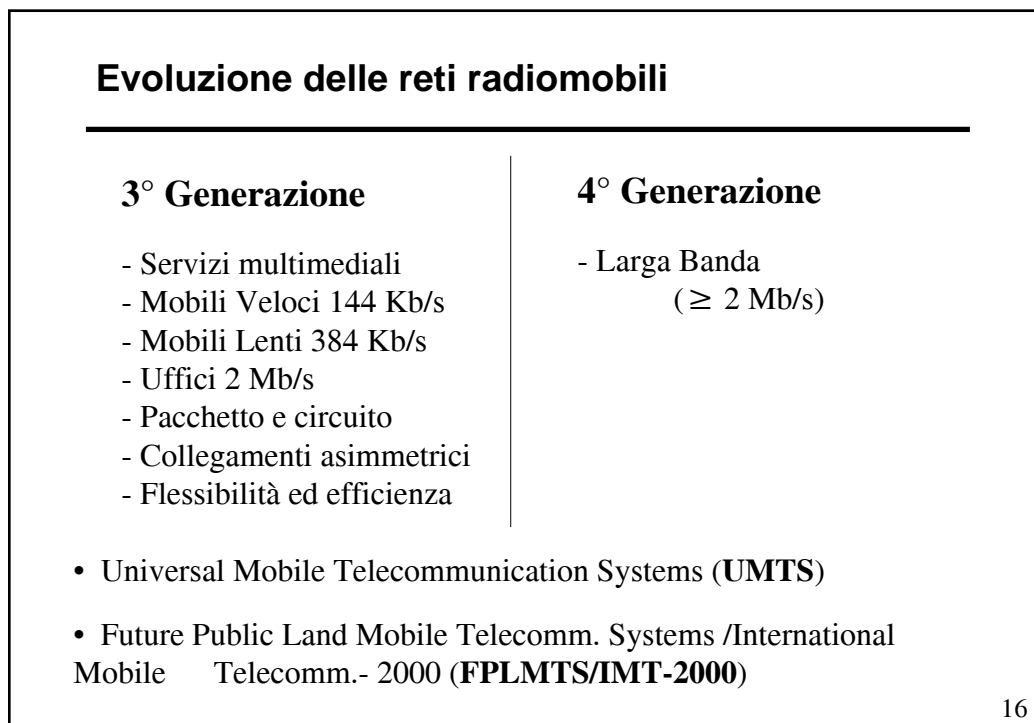
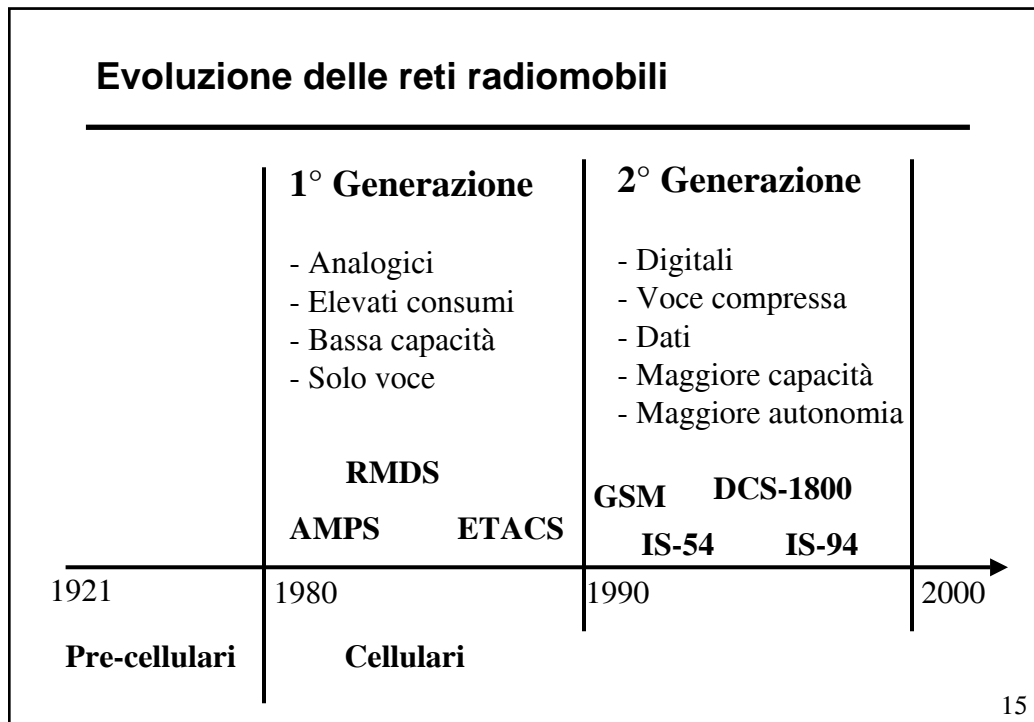
## Rete cellulare

---

- Le celle di copertura non sono necessariamente cerchi (o esagoni) regolari tutte delle stesse dimensioni
- L'effettiva dimensione della cella è determinata dalla potenza degli apparati, dai ritardi di propagazione e dalla densità di traffico.
- E' possibile usare antenne direzionali per avere celle di forma e dimensione particolare
- E' possibile avere celle di dimensione (e forma) diversa per esigenze diverse
- E' possibile avere celle stratificate (celle a ombrello)

12







## GSM

### La storia

---

- **1982:** la CEPT (*Conference Europeenne des Administrations des Postes et des Telecommunications*) istituisce un gruppo speciale per lo studio di un insieme uniforme di regole per lo sviluppo di una futura rete cellulare pan-europea: il *Groupe Special Mobile* da cui GSM
- **1984:** istituzione di 3 *Working Parties* (WP3) per la definizione dei servizi da fornire in GSM: l'interfaccia radio, i formati di trasmissione e i protocolli di segnalazione, le interfacce e l'architettura di rete
- **1985:** definizione della lista di raccomandazioni che il GSM deve produrre (finiranno per essere circa 130: 5000 pagine in 12 volumi!)
- **1986:** viene istituito il cosiddetto nucleo permanente con lo scopo di coordinare il lavoro del GSM, soprattutto visto il forte interesse da parte dell'industria

17

## GSM

### La storia

---

- **1987:** viene firmato un primo *Memorandum of Understanding* (MoU) tra operatori Telecom in rappresentanza di 12 Nazioni (europee) con i seguenti obiettivi:
  - co-ordinare lo sviluppo temporale delle reti GSM europee e verificarne il loro standard
  - pianificare l'introduzione dei servizi
  - concordare politiche di instradamento e la tariffazione (modalità e prezzi)
- **1988:** con l'istituzione di ETSI (*European Telecommunication Standards Institute*) il lavoro relativo a GSM viene "spostato" in questo foro
- **1990:** viene deciso di applicare le specifiche GSM anche al sistema DCS1800 (*Digital Cellular System on 1800 MHz*), un sistema di tipo PCN (*Personal Communication Networks*) inizialmente sviluppato in U.K.

18

## GSM

### La storia

- **1991:** (luglio) il lancio commerciale del GSM, pianificato per questa data, viene rimandato al
- **1992** per la mancanza di terminali mobili conformi allo standard (?!?)
- **1992:** viene rilasciato lo standard definitivo relativo a GSM, che a questo punto diventa l'acronimo di *Global System for Mobile communications*
- **1992:** introduzione ufficiale dei sistemi GSM commerciali
- **1993:** il MoU di GSM raccoglie 62 membri di 39 paesi; inoltre altre 32 organizzazioni in rappresentanza di 19 paesi partecipano come osservatori in attesa di firmare il MoU
- **1993|98:** rapidissimo sviluppo dell'utenza e notevole miglioramento della qualità del servizio offerto, nonchè del numero di servizi offerti

19

## GSM

### Struttura della trama

time slot = 156.25 bits = 577  $\mu$ s

tasso = 270.833 kbit/s



trama = 8 slots = 4.62 ms

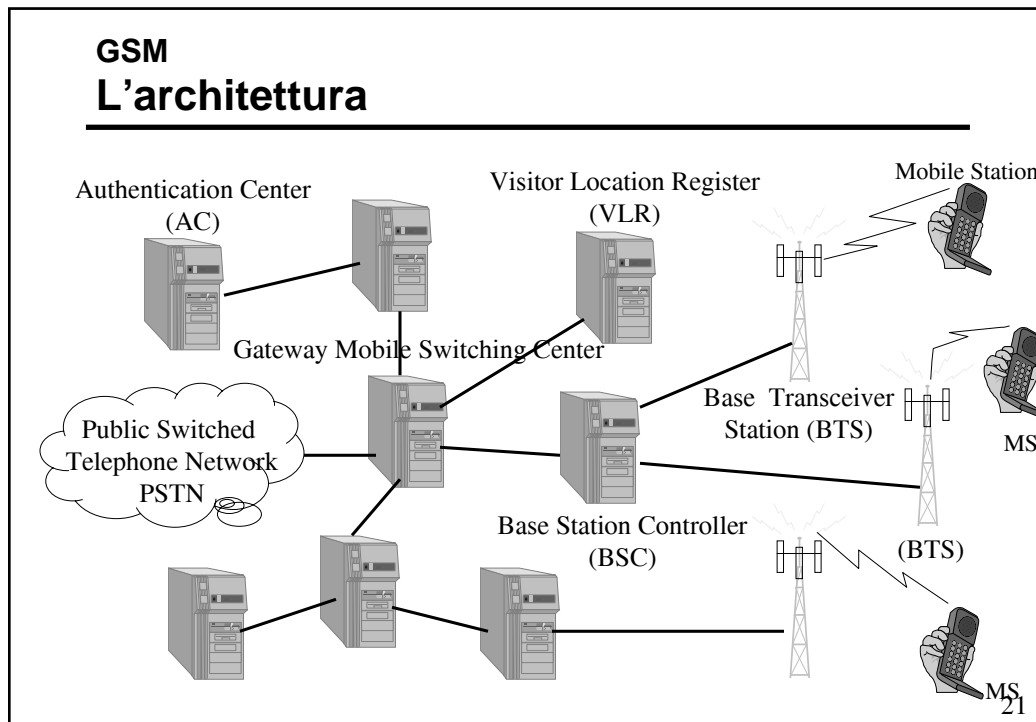


multitrama = 26 trame = 120 ms



\*: Informazione di controllo

20



### GSM Canali di controllo

- I canali di controllo (*Control Channel, CCH*) del GSM sono:
  - Canale di diffusione (*Broadcast CCH, BCCH*)
  - Canale di controllo comune (*Common CCH, CCCH*)
  - Canale di controllo dedicato "autonomo" (*Stand-alone Dedicated CCH, SDCCH*)
  - Canale di controllo associato (*Associated CCH, ACCH*)

## GSM

### Canali di controllo

---

- BCCH
  - Unidirezionale BST - MS, diffonde informazioni di sistema e di sincronizzazione (ID della cella, struttura dei canali, condizioni di accesso, parametri radio utilizzabili (es. contr. di pot.)). È usato anche dalla MS per effettuare misure sulle celle adiacenti.
- CCCH
  - Bidirezionale. Da BST a MS serve ad inviare:
    - » Messaggi di chiamata (*Paging CHannel PCH*)
    - » Messaggi di assegnazione risorsa (*Access Grant Channel, AGCH*)
  - Da MS a BST è gestito tramite accesso casuale (*Random Access CHannel, RACH*) e permette l'invio di richieste di chiamate.

23

## GSM

### Canali di controllo

---

- SDCCH
  - Bidirezionale che porta segnalazioni specifiche ad una connessione.
- ACCH
  - Bidirezionale, è associato ad un canale di traffico. Ce ne sono di due tipi:
    - » Lento, *Slow-ACCH (SACCH)*, usato nel corso della trasmissione per la gestione della stessa.
    - » Veloce, *Fast-ACCH (FACCH)*, usato per *handover*, ottenuto eliminando trame informative.

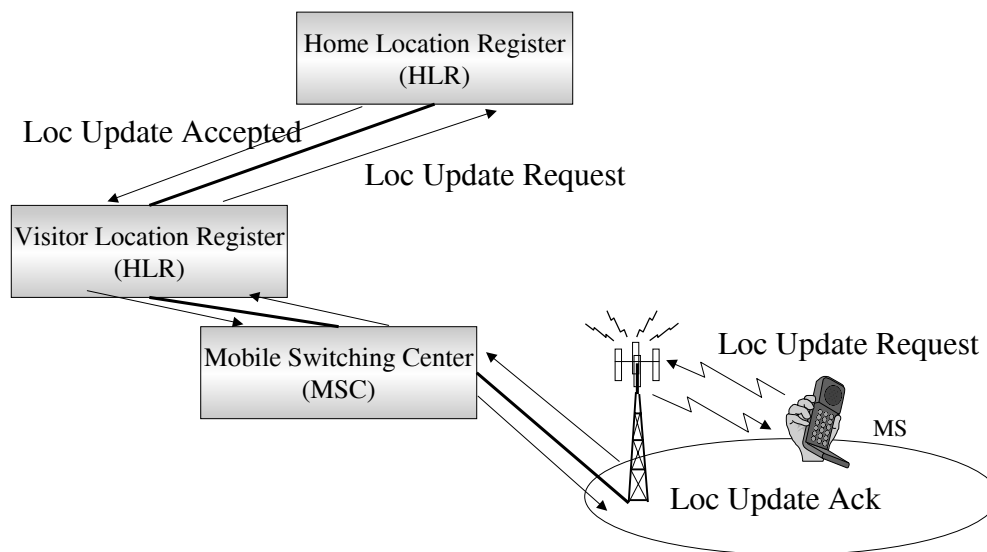
24

### GSM Canali di controllo

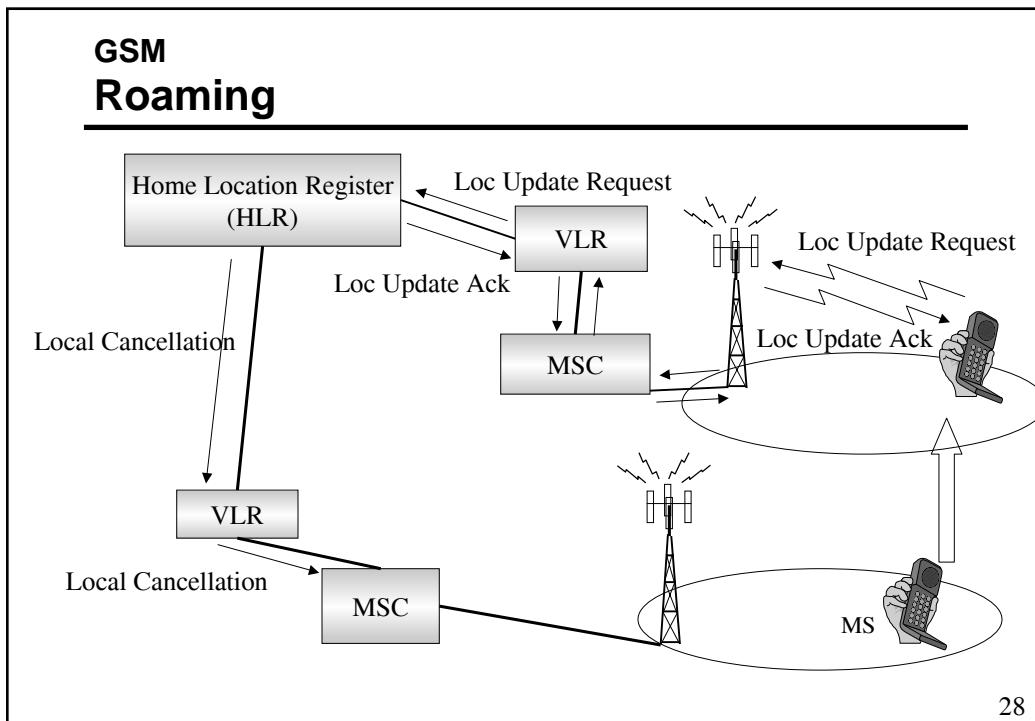
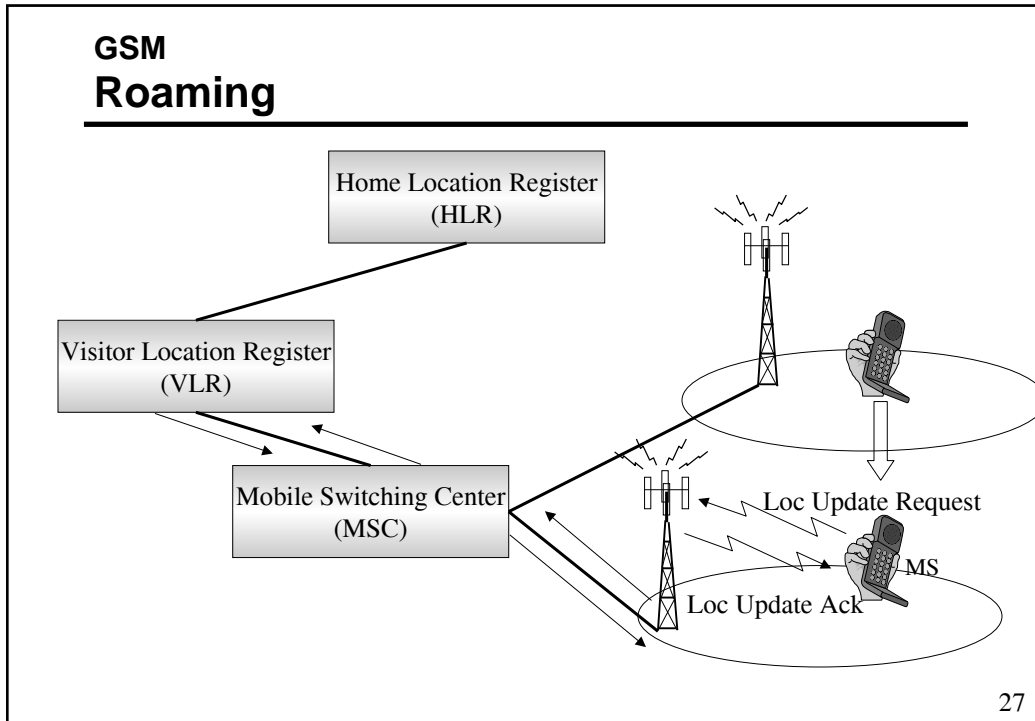
Canale	Velocità (bit/s)	Ritardo (ms)
FACCH	9200	58
SDCCH	782	250
SACCH	391	485
BCCH	782	250
AGCH	782	250
PCH	782	250
RACH	34	236

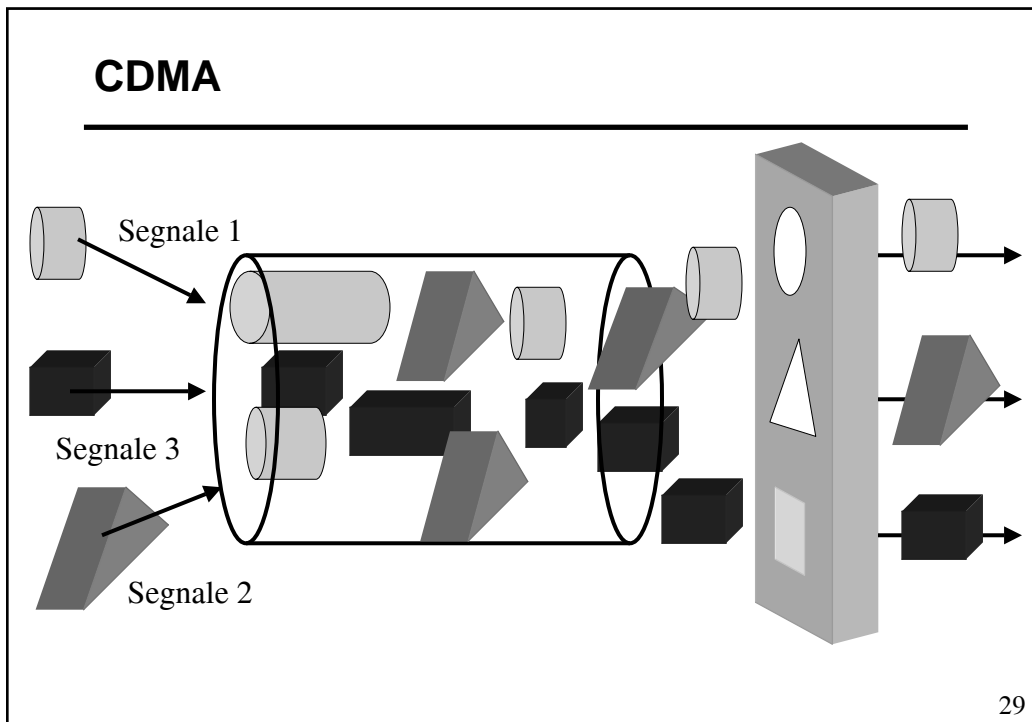
25

### GSM Roaming



26





## CDMA

---

- *Frequency hopping*
  - ogni quanto di tempo le stazioni cambiano frequenza di trasmissione, secondo una sequenza prefissata.
- *Direct sequence*
  - La velocità base di trasmissione è molto più alta di quella della singola stazione, ed a ogni bit generato dalla stazione vengono trasmessi più bit (*chip*) dal trasmettitore.  
Ad ogni stazione viene associata una codifica particolare che sia il più possibile scorrelata con quella degli altri.
- L'effetto in ambedue i casi è uno "*spreading*" nello spettro delle singole trasmissioni; queste tecniche vengono quindi chiamate di tipo "*Spread-spectrum*".

## CDMA

---

- Vantaggi
  - Sicurezza, difficile da decodificare
  - Poco sensibili a disturbi su parti ristrette dello spettro
  - Non hanno bisogno di avere un sincronismo comune, basta un sincronismo fra ricevitore e trasmettitore
  - Permettono a stazioni base adiacenti di comunicare con lo stesso mobile (*soft-handoff*).
  - Non esiste un limite fisso (*hard*) sul numero massimo di stazioni.
  - Non si deve realizzare una pianificazione di frequenza.

31

## CDMA

---

- Svantaggi
  - E' complesso da realizzare
  - Richiede un controllo di potenza accurato (tutti i trasmettitori trasmettono sullo stesso canale)
  - Richiede la disponibilità di larghi tratti di spettro liberi.
- Si osservi che, anche se la ri-utilizzabilità delle frequenze da cella a cella sembra indicare una maggiore efficienza del CDMA sul TDMA, in realtà da questo punto di vista i due metodi sono equivalenti.

32



## WirelessLAN

---

- Si tratta di reti in area locale in cui i le stazioni terminali (e talvolta anche i nodi intermedi) usano collegamenti senza fili.
- Sono anch'esse pensate come reti mobili, ma la mobilità è in genere intesa come relativamente lenta.
- Il loro scopo è quello sia di agevolare i cablaggi che "liberare" gli utenti da postazioni di lavoro fisse.

33

## WirelessLAN

---

- Fra gli standard importanti in questo ambito vanno citati:
  - IEEE 802.11
  - HIPERLAN (*European High PERFORMANCE LAN*)
  - Bluetooth
  - HomeRF - Shared Wireless Access Protocol - Cordless Access (SWAP-CA)

34

## WirelessLAN - 802.11

---

- Lo standar iniziale é stato pubblicato nel 1997; é stato aggiornato con l'IEEE 802.11:1999 ed é stato adottato dall'OSI/IEC co,e 8802-11:1999
- Il sito ufficiale é [www.ieee802.org/11/](http://www.ieee802.org/11/)
- Ci sono diversi gruppi di lavoro sul progetto 802.11:
  - » 802.11D: Additional Regulatory Domains
  - » 802.11E: Quality of Services
  - » 802.11F: Inter-Access Point Protocols (IAPP)
  - » 802.11G: Higher data Rates at 2.4 GHz
  - » 802.11H: Dynamic Channel Selection and Transmission Power Control
  - » 802.11i: Authentication and Security
- Ad oggi sono presenti due versioni dello standard:
  - 802.11b: opera nella banda di 2.4 GHz ed é già utilizzato largamente
  - 802.11a: opera nella banda dei 5 GHz a velocità superiori

35

## WirelessLAN IEEE 802.11

---

- Mezzi trasmissivi:
  - Onde elettromagnetiche attraverso l'etere (radio, luce visibile o infrarossi)
- Terminali supportati:
  - Fissi, spostabili, mobili a velocità pedestre ed eventualmente veicolare.
- Estensione, due configurazioni previste:
  - *Basic Service Area* (BSA): interconnessione diretta fra nodi terminali
  - *Extended Service Area* (ESA): la comunicazione fra stazioni avviene tramite un sistema di distribuzione.

36

**WirelessLAN**  
**IEEE 802.11**

---

- Velocità:
  - 802.11b: inizialmente 1-2 Mb/s (1997), 5.5-11 Mb/s nella seconda versione (1999).
  - 802.11a: 6,9,12,18,24,36,48 e 54 Mb/s (6, 12 e 24 sono obbligatori).
- Coperture:
  - 50-100 mt (802.11b) and 15-30 mt (802.11a) con antenne omnidirezionali; con antenne direzionali ad alto guadagno é possibile arrivare fino a 40 Km.
- Servizi:
  - con e senza vincoli sul ritardo
- Tecnica di accesso multiplo:
  - unica per diversi livelli fisici.

37

**WLAN-IEEE 802.11**  
**Peculiarità dell'ambiente *wireless***

---

- Tipo di mezzo "difficile"
  - Interferenze e rumore
  - Qualità variabile nello spazio e nel tempo
  - Condiviso con eventuali elementi 802.11 "non richiesti"
  - Condiviso con elementi non-802.11
- Non si può assumere la connettività completa (stazioni nascoste)
- Diversi regolamenti internazionali

38

WLAN-IEEE 802.11

## **Peculiarità dell'ambiente *wireless***

---

- Presenza della mobilità
  - Variazione della affidabilità del collegamento
  - Funzionamento a batteria: *power management*
  - Gestione del movimento
- Sicurezza
  - Nessun confine fisico
  - LAN sovrapposte

39

WLAN-IEEE 802.11

## **Specifiche**

---

- Un singolo MAC che supporti diversi livelli fisici
  - Canali singoli e multipli
  - Differenti caratteristiche di "*Medium sense*"
- Permettere la sovrapposizione di più reti nella stessa area geografica
- Robustezza all'interferenza
- Risolvere il problema dei nodi nascosti
- Fornire supporto ai traffici con requisiti di ritardo massimo

40

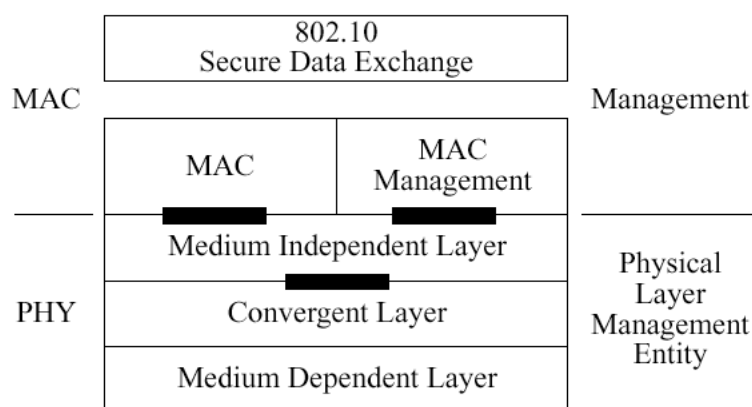
## WLAN-IEEE 802.11

**Caratteristiche**

- Il MAC supporta attualmente 3 livelli fisici
  - *Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS)*
  - *Direct Sequency Spread Spectrum (DSSS)*
  - *Infrared*
- Permette due tipi di configurazioni
  - Infrastruttura
  - Indipendente (Ad Hoc)
- Usa la tecnica CSMA/CA (*Collision Advoidance*) con un punto di “coordinamento” opzionale.

41

## WLAN-IEEE 802.11

**Architettura**

42

WLAN-IEEE 802.11

## Architettura

---

- MAC Entity
  - Meccanismo di accesso
  - Frammentazione
  - Encriptaggio
- MAC Management
  - Sincronizzazione
  - *Power management*
  - *Roaming*
- Physical Convergence
  - Riunisce le funzionalità comuni
  - L'individuazione *clear channel* (canale libero)

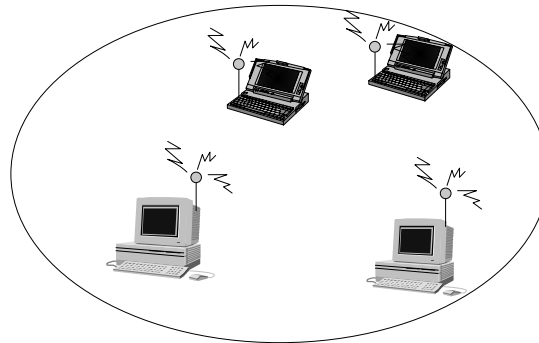
43

WLAN-IEEE 802.11

## Architettura - Indipendente

---

- "Ad hoc" network
- Comunicazioni dirette
- Copertura limitata

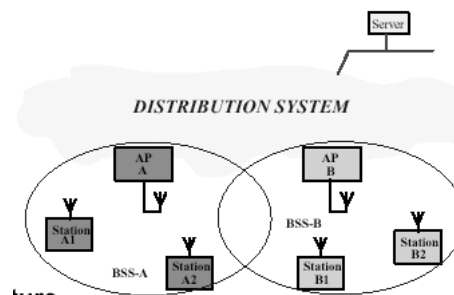


44

## WLAN-IEEE 802.11

**Architettura - Infrastruttura**

- Infrastruttura: *Access Point* (AP) e Stazioni
- Il *Distribution System* (DS) interconnette le diverse celle (*Basic Service Set - BSS*) attraverso gli AP per formare un *Extended Service Set (ESS)*:
  - La connessione fra può essere sia *wireless* che *wired*.
  - la struttura interna del DS non è definita dallo standard
- Una stazione, detta *Portal*, presente sul sistema di distribuzione interconnette la WLAN con altre reti.



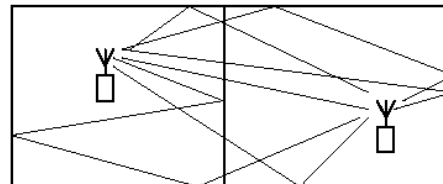
45

## WLAN-IEEE 802.11

**Frequency Hop Spread Spectrum**

- Banda: 2.4 GHz (2.4 - 2.4835)
- Modulazione: Gaussian shaped FSK a 2 o 4 livelli
- Velocità minima 1 Mb/s, massima 2 Mb/s
- Fino ad massimo di 26 reti co-locate
- Permette un buona robustezza al fading dovuto ai cammini multipli (comuni nell'ambienti "indoor")

- Percorsi di propagazione multipli, interferendo l'uno con l'altro, creano del *fading* selettivo in frequenza
- Le fluttuazioni sono correlate a frequenze adiacenti ma si scorrelano, in ambiente indoor, dopo pochi MHz



46

## WLAN-IEEE 802.11

**Frequency Hop Spread Spectrum**

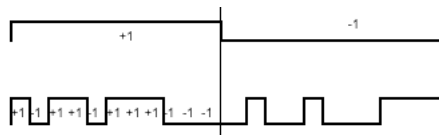
- Lo spettro complessivo è diviso in 79 canali da 1 MHz ciascuno
- Un elaboratore predesignato genera una lista con le 79 frequenze in un ordine specifico
  - Ogni "salto" (*hop*) deve distare almeno 6 canali.
  - Le diverse possibile sequenze (78) sono ottenute spostando l'inizio della sequenza di un *offset* e ricalcolandola con modulo 79
- Le 78 sequenze sono organizzate in 3 insiemi di 26 elementi
- Il *throughput* continua a salire fino a 15 reti collocate, in condizioni di traffico elevato.

47

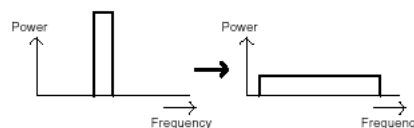
## WLAN-IEEE 802.11

**DirectSequence Spread Spectrum**

- Il segnale relativo ad un simbolo viene "sparso" su una sequenza:



- Banda più larga
- Potenza meno "densa"



48



**WLAN-IEEE 802.11****DirectSequence Spread Spectrum**

---

- Banda: 2.4 GHz (2.4 - 2.4835)
- Prima versione: velocità minima 1 Mb/s (*Differential Binary Phase Shift Key DBPSK*), massima 2 Mb/s (*Differential Quadrature Phase Shift Key DQPSK*)
- Seconda versione (Higher Rate DSSS): velocità minima 5.5 Mb/s, massima 11 Mb/s
- Tasso di simbolo 1 MHz
- *Chipping rate* 11 MHz
- 7 canali complessivi, radunati in coppie (in Europa uno dei canali della prima coppia non può essere usato); i canali di ogni coppia possono operare simultaneamente senza interferenza.

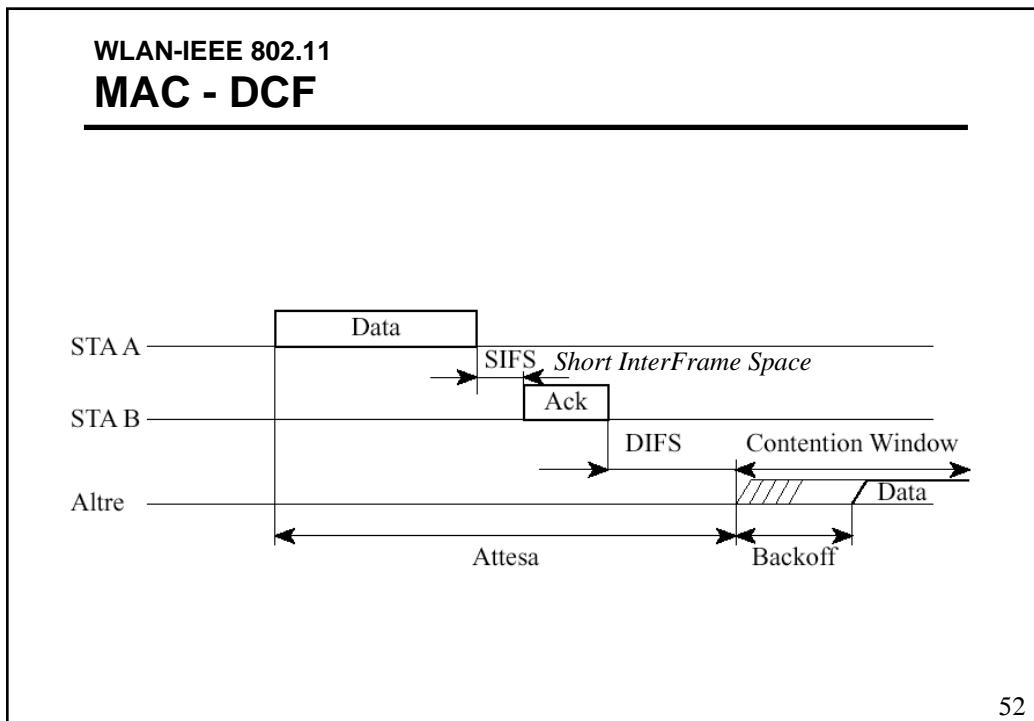
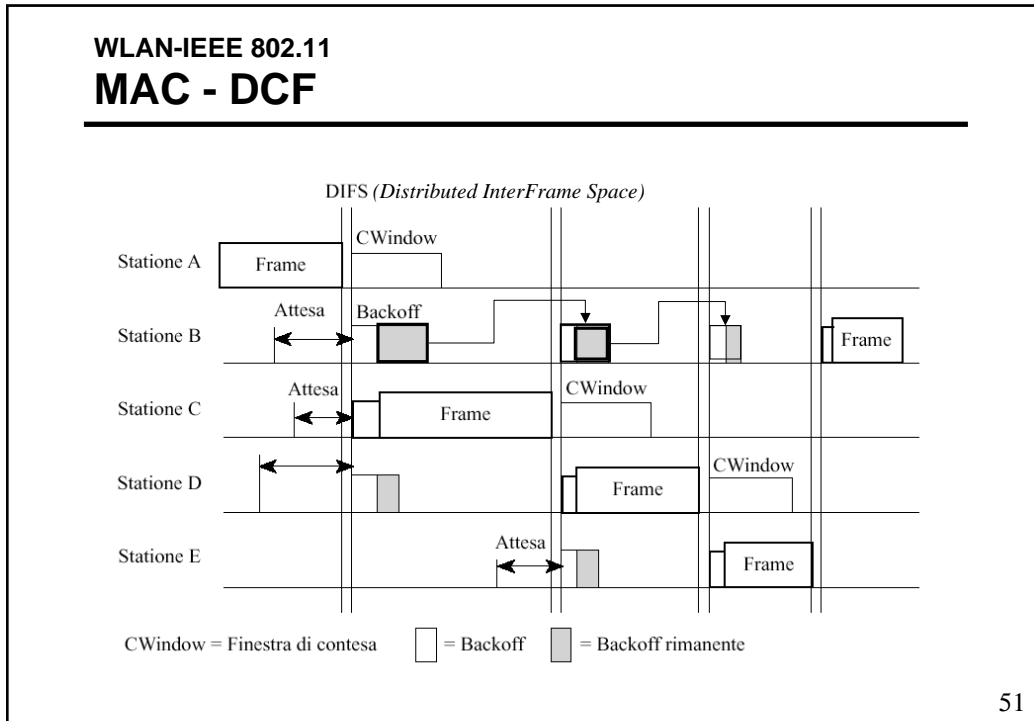
49

**WLAN-IEEE 802.11****MAC**

---

- La tecnica scelta è il Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance (CSMA/CA)
- Due funzionalità presenti
  - *Distribution Coordination Function*
    - » Realizza il meccanismo di MAC in forma completamente distribuita
  - *Point Coordination Function*
    - » Versione centralizzata per permettere la realizzazione di servizi "*delay bounded*"

50



## WLAN-IEEE 802.11

**MAC - Inter Frame Spaces**

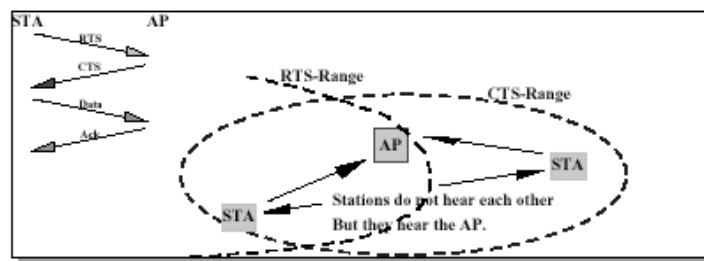
- **SIFS** (*Short Inter Frame Space*) - separa la trasmissione di pacchetti appartenenti allo stesso dialogo (es. Pacchetto + ACK). Viene calcolato in base ai tempi necessari agli apparati hw per commutare tra tx/rx.
- **PIFS** (*Point Coordination Inter Frame Space*) - é utilizzato dal Point Coordinator per gestire il polling. É pari allo SIFS + il tempo di una slot
- **DIFS** (*Distributed Inter Frame Space*) - il tempo che una stazione deve attendere prima di accedere al canale. Corrisponde al PIFS + il tempo di una slot.
- **EIFS** (*Extended Inter Frame Space*) - utilizzato da una stazione che non riceve correttamente il pacchetto per non collidere con un pacchetto successivo appartenente allo stesso dialogo.

53

## WLAN-IEEE 802.11

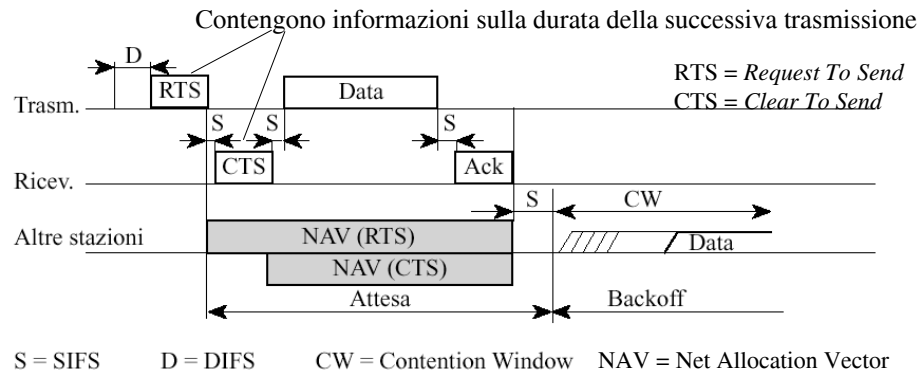
**MAC - DCF**

- Le collisioni non sono evitate completamente per due motivi:
  - Tempi di backoff simili
  - Stazioni nascoste



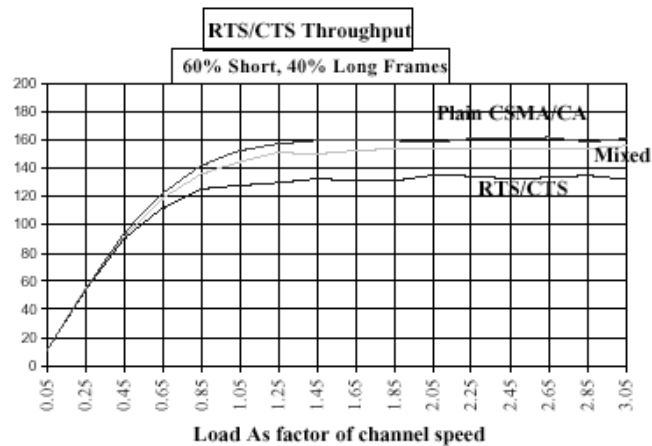
54

**WLAN-IEEE 802.11**  
**MAC - DCF**



Se i pacchetti sono molto corti il sistema è inefficiente per cui per lunghezze sotto una certa soglia è prevista la tx senza RTS/CTS;  
La tx diretta viene effettuata anche nel caso di broadcast

**WLAN-IEEE 802.11**  
**MAC - DCF**



## WLAN-IEEE 802.11

**MAC - DCF**

---

- Si osservi che il MAC prevede sia una funzione di frammentazione e recupero di errore (solo per *point to point*);
- Questo perché
  - Nei collegamenti radio la BER è alta e la probabilità di avere un pacchetto errato aumenta con la lunghezza del pacchetto stesso;
  - Più i pacchetti sono corti, meno *overhead* genera una eventuale ritrasmissione;

57

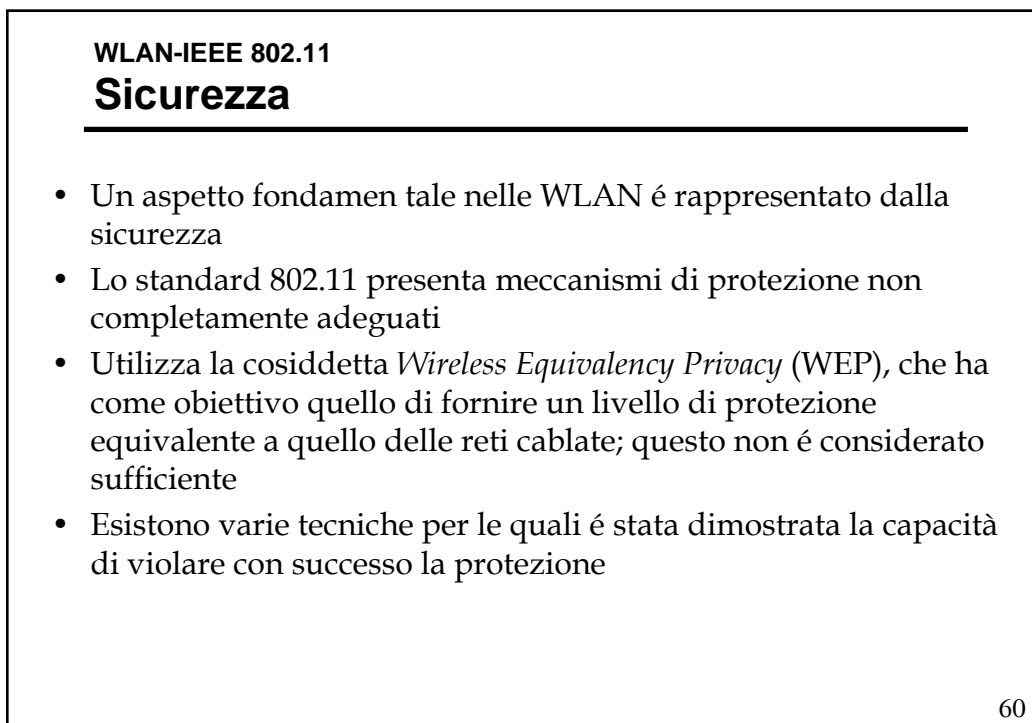
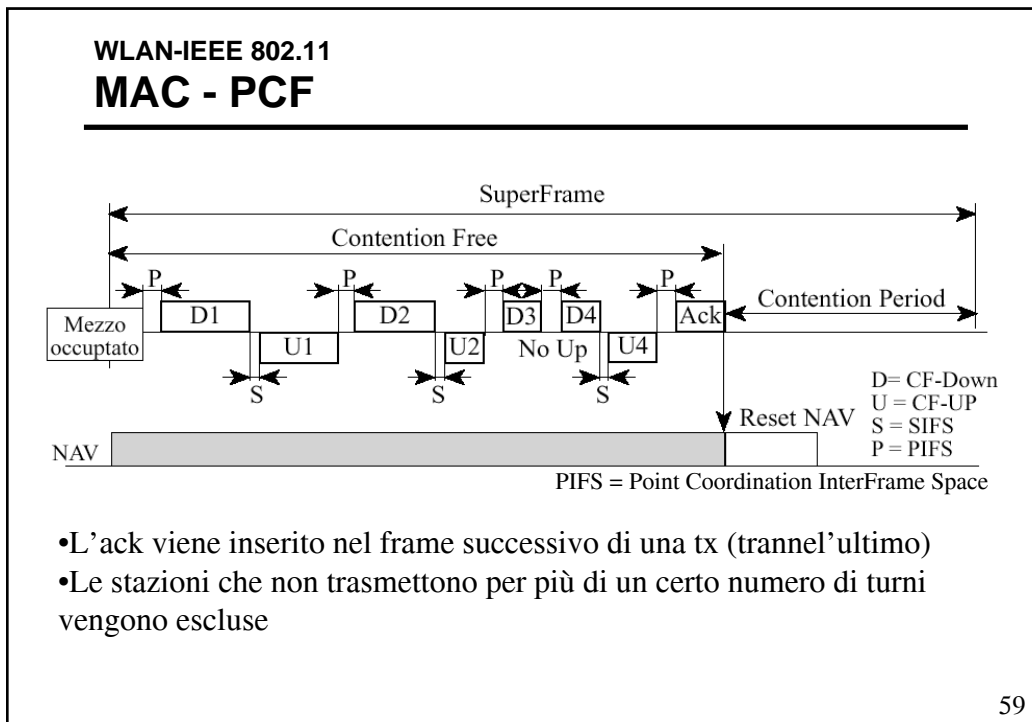
## WLAN-IEEE 802.11

**MAC - PCF**

---

- Viene gestita da alcune stazioni specializzate (per es. AP) che vengono chiamate *Point Coordinator (PC)*.
- Una PCF non può sovrapporsi ad un'altra sullo stesso canale trasmissivo.
- In sostanza viene creata una struttura temporale detta Superframe divisa in due parti:
  - Contention free period: gestita da un PC con un meccanismo polling
  - Contention period: gestito come nel DCF.
- Serve a fornire servizi con requisiti di ritardo.

58



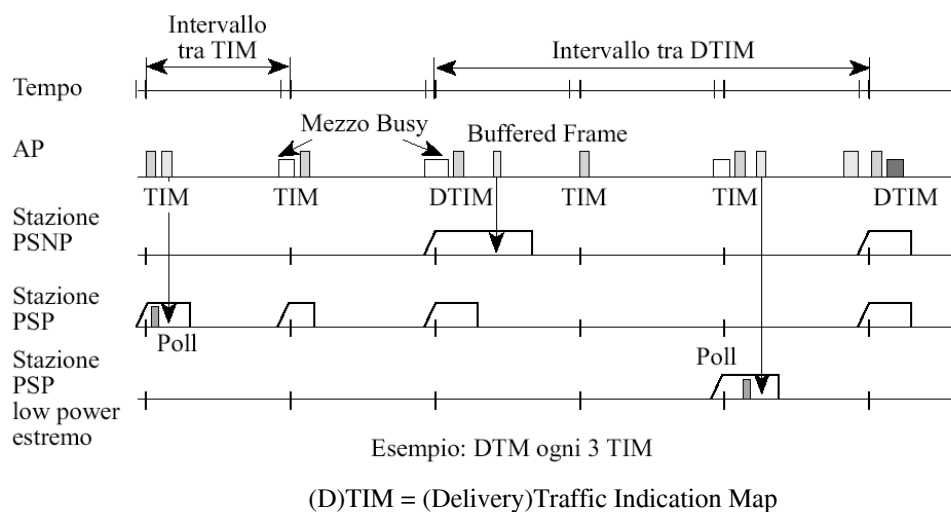
## WLAN-IEEE 802.11

**Sicurezza**

- Due sono gli aspetti legati alla sicurezza:
  - Prevenire l'utilizzo da parte della rete da parte di stazioni non autorizzate
  - Evitare l'ascolto del traffico della LAN da parte di stazioni esterne
- Le WLAN prevedono una fase di autenticazione della stazione che desiderano entrare nella LAN (richiedendo la conoscenza di una chiave segreta)
- La cattura del traffico locale viene evitata criptando il traffico trasmesso
- La chiave di criptatura può essere a 64, 128 o 154 bit

61

## WLAN-IEEE 802.11

**Controllo di potenza**

62

**WLAN-IEEE 802.11****Sicurezza**

---

- Un elemento fondamentale per le wireless LAN è rappresentato dalla sicurezza.
- L'IEEE 802.11 soffre di meccanismi di protezione attualmente non del tutto adeguati
- Usa quello che è chiamato *Wired Equivalent Privacy* (WEP), che ha l'obiettivo di fornire una protezione equivalente a quella fornita dalle "wired LAN" che non è considerata sufficiente
- Sono stati dimostrati e divulgate varie tecniche per effettuare con successo "attacchi" allo standard.

63

**WLAN****HiperLAN**

---

- La prima proposta viene presentata nell'ETSI nel 1995
- La copertura prevista va da 10 a 100 m
- Lo spettro allocato dal CEPT è 5.15-5.30 GHz (5 canali) e 17.1-17.2 GHz
- Velocità di trasmissione 23.529 Mbit/s, GMSK
- *Packet error rates*  $< 10^{-3}$ , (*adaptive equalization based on a training sequence per packet*)
- *Multi-hop routing* che usa database dinamici nei nodi
- *Carrier Sense Multiple Access* a tre fasi - *prioritization, elimination, yield*; probabilità di collisione  $< 3\%$  (relativamente diverso dal IEEE 802.11)
- *Power saving in Hardware.*

64



## WLAN

### HiperLAN

---

	<b>HIPERLAN Type 1</b>	<b>HIPERLAN Type 2</b>	<b>HIPERLAN Type 3</b>	<b>HIPERLAN Type 4</b>
<b>Link type</b>	Wireless LAN MAC	Wireless ATM MAC	Wireless high speed remote access MAC	Wireless very high speed wireless infrastructure MAC
<b>Link Frequency</b>	5 GHz	5 GHz	5 GHz	17 GHz
<b>Data Rate</b>	> 20 Mbit/sec	> 20 Mbit/sec	> 20 Mbit/sec	155 Mbit/sec

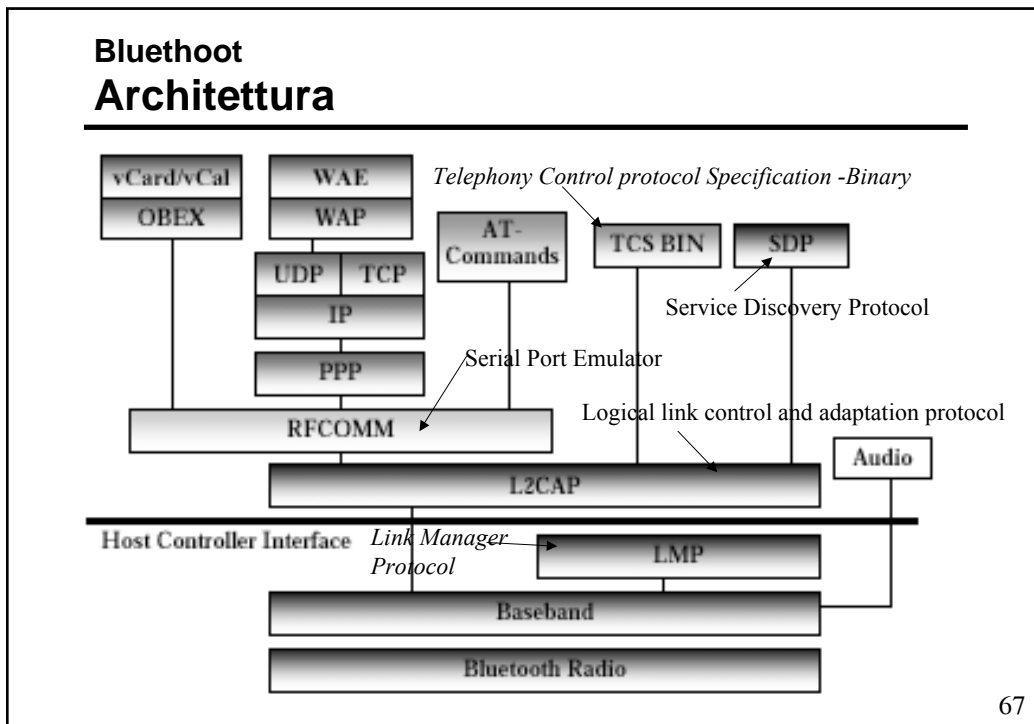
65

## Bluetooth

---

- Si tratta di un tipo di rete studiata per l'interconnessione di apparati (pc con stampanti, modem, telefoni fissi e cellulari, ...) all'interno di una stanza o comunque di un ambiente di piccole dimensioni.
- Realizza quella che talvolta viene chiamata *Personal Area Network (PAN)*.
- L'estensione della rete dovrebbe quindi essere intorno alla decina di metri, ma lo standard prevede anche apparati con potenze sufficienti a raggiungere la 50 di metri di copertura (portandosi a competere con 802.11 e *HomeRF*).

66



### Bluetooth Livello Radio

Spettro  
(Frequency Hopping)

Geography	Regulatory Range	RF Channels
USA, Europe and most other countries <sup>1)</sup>	2.400-2.4835 GHz	$f=2402+k$ MHz, $k=0, \dots, 78$

*Table 2.1: Operating frequency bands*

Note 1. The Bluetooth Specification includes a special frequency hopping pattern to provide provisions for compliance with national limitations like in France. The frequency range for France is 2.4465 - 2.4835 GHz and the corresponding RF channels are  $f = 2454 + k$  MHz,  $k = 0, \dots, 22$ .

Potenza

Power Class	Maximum Output Power (P <sub>max</sub> )	Nominal Output Power	Minimum Output Power <sup>1)</sup>	Power Control
1	100 mW (20 dBm)	N/A	1 mW (0 dBm)	P <sub>min</sub> < +4 dBm to P <sub>max</sub> Optional: P <sub>min</sub> <sup>2)</sup> to P <sub>max</sub>
2	2.5 mW (4 dBm)	1 mW (0 dBm)	0.25 mW (-6 dBm)	Optional: P <sub>min</sub> <sup>2)</sup> to P <sub>max</sub>
3	1 mW (0 dBm)	N/A	N/A	Optional: P <sub>min</sub> <sup>2)</sup> to P <sub>max</sub>

*Table 3.1: Power classes*

68

## Bluetooth Livello Baseband

---

- Sono previsti due tipi di servizi:
  - *Synchronous Connection Oriented* (SCO)
  - *Asynchronous Connectionless* (ACL)
- La rete è organizzata in gruppi di stazioni dette "*piconet*".
- Ogni *piconet* vede una stazione assumere il ruolo di master e le altre di slave.
- Il master fornisce il sincronismo e coordina le trasmissioni interrogando ciclicamente (*polling*) gli slave.

69

## Bluetooth Livello Baseband

---

*Full-duplex* via *Time Division Duplex*

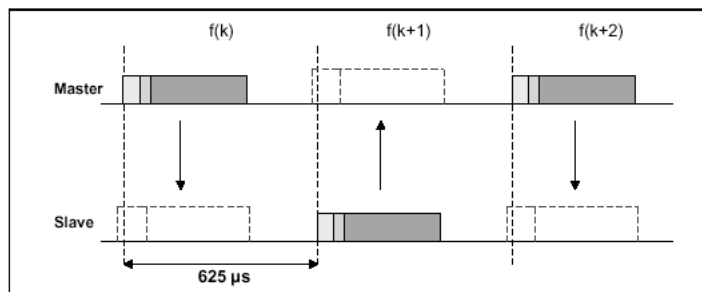


Figure 2.1: TDD and timing

70

## Bluetooth Livello Baseband

Tasso nominale di “salti” (*hop*) è 1600 hop/s.

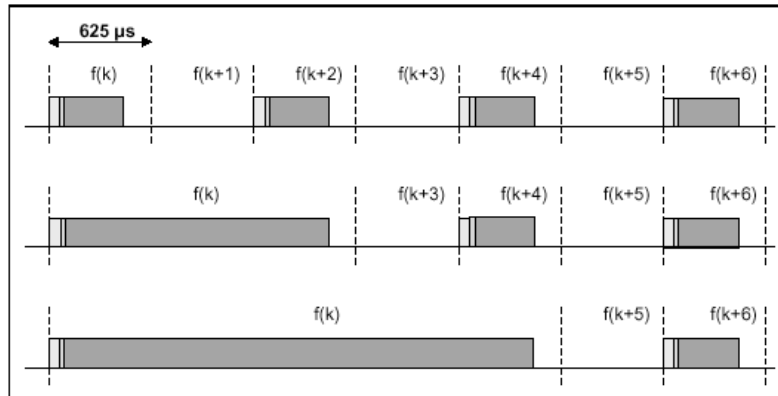


Figure 2.2: Multi-slot packets

71

## Bluetooth

### Livello Baseband

## Tassi trasmissivi (ACL)

Type	Payload Header (bytes)	User Payload (bytes)	FEC	CRC	Symmetric Max. Rate (kb/s)	Asymmetric Max. Rate (kb/s)	
						Forward	Reverse
DM1	1	0-17	2/3	yes	108.8	108.8	108.8
DH1	1	0-27	no	yes	172.8	172.8	172.8
DM3	2	0-121	2/3	yes	258.1	387.2	54.4
DH3	2	0-183	no	yes	390.4	585.6	86.4
DM5	2	0-224	2/3	yes	286.7	477.8	36.3
DH5	2	0-339	no	yes	433.9	723.2	57.6
AUX1	1	0-29	no	no	185.6	185.6	185.6

Table 4.10: ACL packets

72

## Bluetooth Tassi trasmissivi (ACL)

---

Type	Payload Header (bytes)	User Payload (bytes)	FEC	CRC	Symmetric Max. Rate (kb/s)
HV1	na	10	1/3	no	64.0
HV2	na	20	2/3	no	64.0
HV3	na	30	no	no	64.0
DV*	1 D	10+(0-9) D	2/3 D	yes D	64.0+57.6 D

Table 4.11: SCO packets

73

## Bluetooth Link Manager Protocol

---

- E' responsabile dell'instaurazione dei link
- Si occupa anche degli aspetti legati alla sicurezza quali
  - Autenticazione
  - Cifratura
  - Scambio delle chiavi di cifratura
- Controlla e negozia la dimensione dei pacchetti nel livello *baseband*

74

## Bluetooth

### Logical Link Control and Adaptation Protocol

---

- Lavora in parallelo all'LMP ma trasporta informazione d'utente (dati dei livelli superiori)
- Fornisce servizi sia orientati alla connessione che no, può operare funzioni di *multiplexing*, di segmentazione e riassettaggio e gestisce gruppi d'utente.

75

## Home-RF v. 2.0

---

- Sono specifiche definite da un consorzio di aziende "*HomeRF Working Group Inc. (HRFWG)*" (<http://www.homerf.org/>) formatosi all'inizio del 1998
- Fanno parte del consorzio fra gli altri:
  - AT&T
  - Compaq Computer Corp.
  - Dolby Laboratories
  - Fujitsu, Ltd.
  - Motorola
  - National Semiconductor
  - Nokia, Inc.

76

## Home-RF v. 2.0

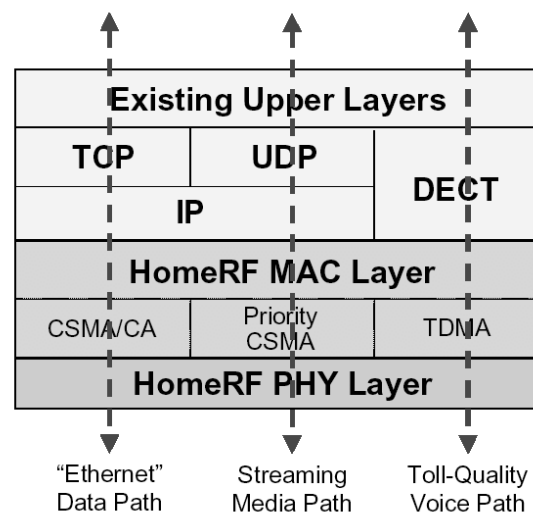
---

- 10 Mb/s di velocità massima con possibilità di scendere a 5 Mb/s, 1.6 Mb/s o 0.8 Mb/s in condizioni ambientali difficili
- Compatibile con lo standard HomeRF 1.2 a 1.6 Mb/s e 0.8 Mb/s
- Topologie simultaneamente attive sia di tipo host/client che peer to peer (ad hoc)
- Modalità con risparmio energetico elevato
- Efficaci misure per il diniego di accesso e la protezione
- Fino a 8 flussi prioritari simultanei per audio e video mono e bi-direzionali
- Fino a 8 conessioni a qualità vocale bi-direzionali simultanee (4 inizialmente)

77

## Home-RF v. 2.0

---



78

