

Università di Genova  
Facoltà di Ingegneria

---

**Telematica**

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

Prof. Raffaele Bolla



Telematica  
*Wireless*

---

- **Radiomobile Cellulare**
- ***Wireless* LAN (IEEE 802.11)**

## Wireless

---

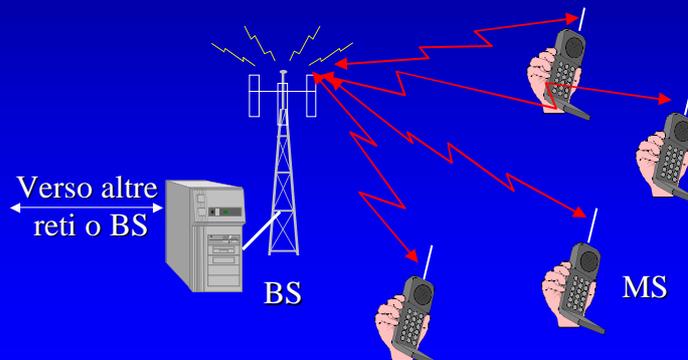
- Le **reti wireless** sono reti in cui i terminali accedono alla rete tramite canali “senza fili” (radio in genere).
- Le **reti radiomobili** sono reti *wireless* dove i terminali utenti possono spostarsi sul territorio senza perdere la connettività con la rete.
- Le **reti cellulari** sono reti radiomobili 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 di una LAN.

3

## Punto di accesso fisso

---

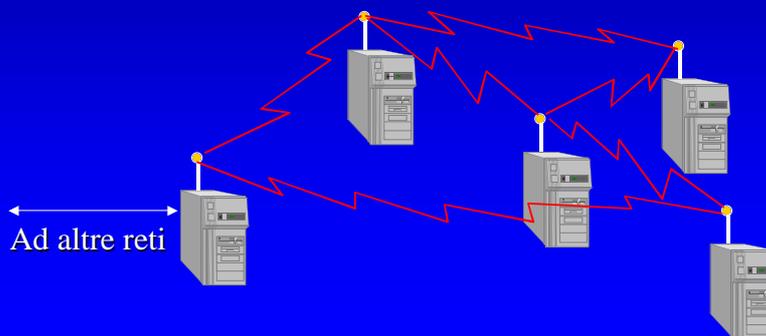
- I terminali mobili (*Mobile Station, MS*) non comunicano mai direttamente ma sempre tramite un stazione fissa (*Base station, BS*) di riferimento.



4

## Autoconfiguranti

- I terminali (sia mobili che non) comunicano direttamente fra loro creando una rete autoconfigurante (ad hoc). Uno o più terminali fissi fanno da “gateway” verso altre reti.

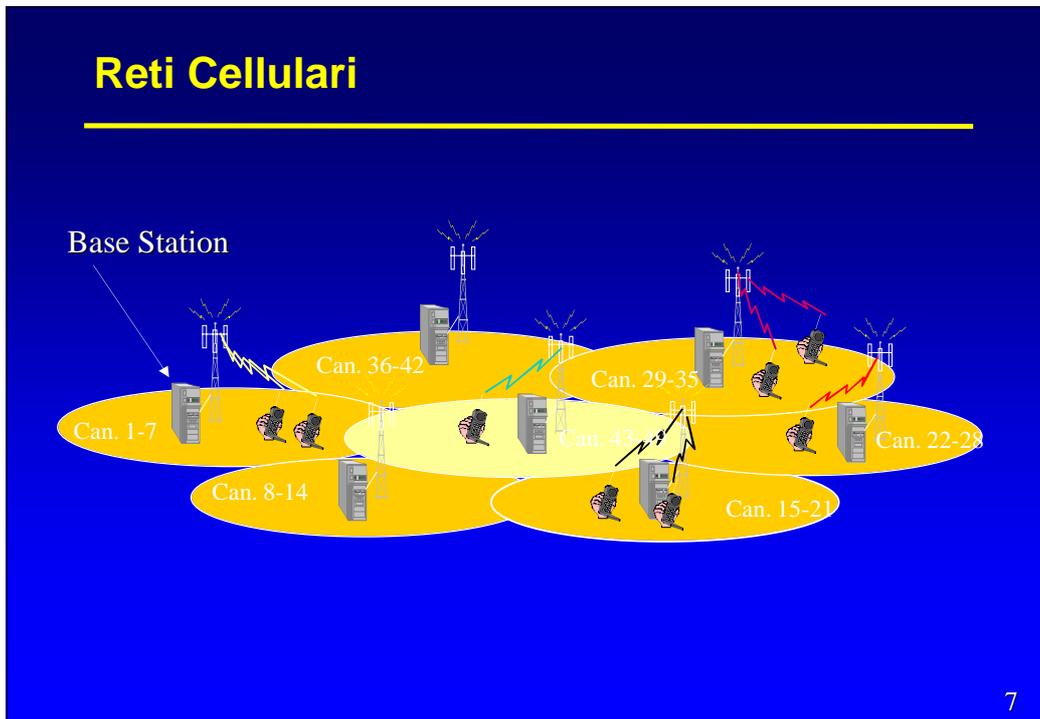


5

## Reti cellulari

- La velocità di trasmissione nelle reti *wireless* è limitata dalla porzione di spettro disponibile.
- Per servire un numero elevato di utenti, come nel caso della telefonia mobile, una soluzione consiste il territorio in aree dette celle, ed assegnare ad ogni cella uno spazio dello spettro (canali in frequenza).
- Questa suddivisione spaziale permette un riuso delle frequenze (riutilizzare gli stessi canali in celle diverse), che deve essere fatto in modo da minimizzare l'interferenza tra celle vicine; il risultato è un significativo aumento della capacità totale disponibile.
- La struttura delle reti cellulari prevede un punto di accesso fisso (Base Station) per ogni cella ed ogni cellulare utilizza la BS della cella in cui al momento risiede.

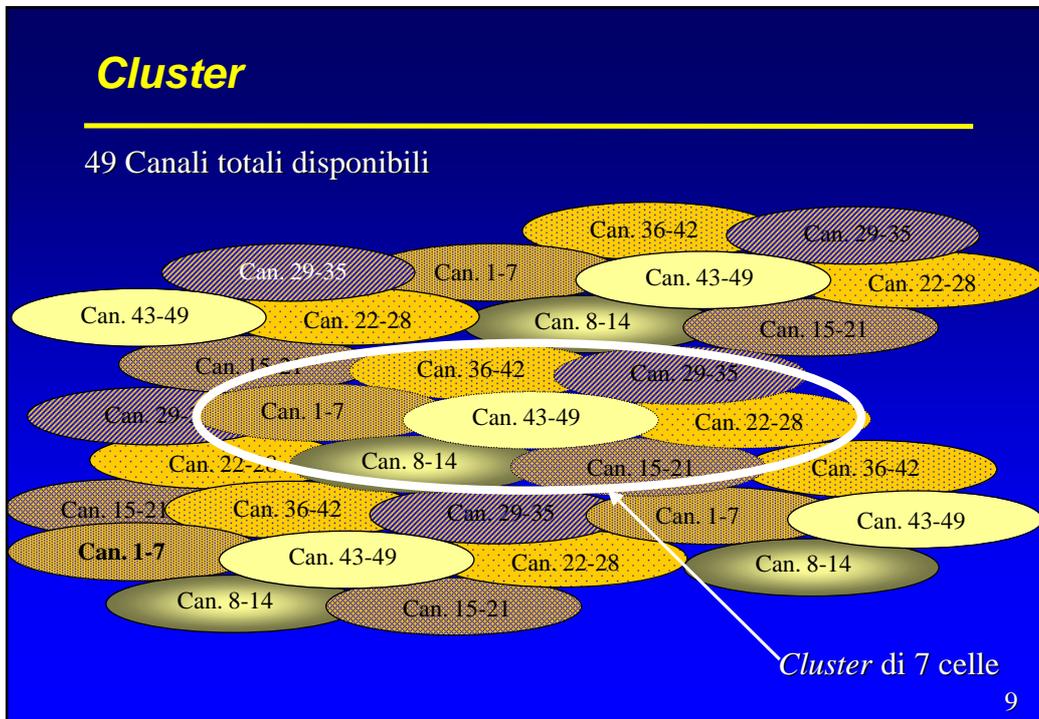
6



## 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



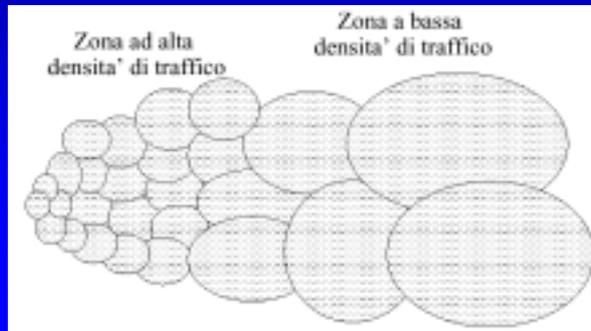
## Rete Cellulare

- 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  $N = 400.000/11.000 \approx 36$  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.

10

## 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).

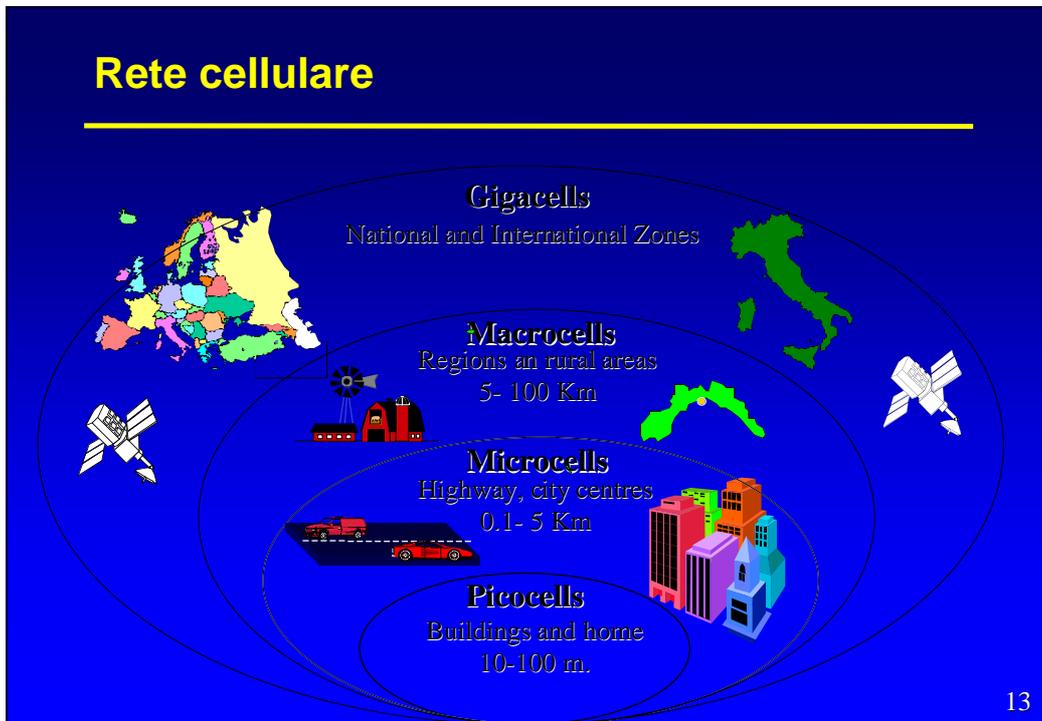


11

## 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)

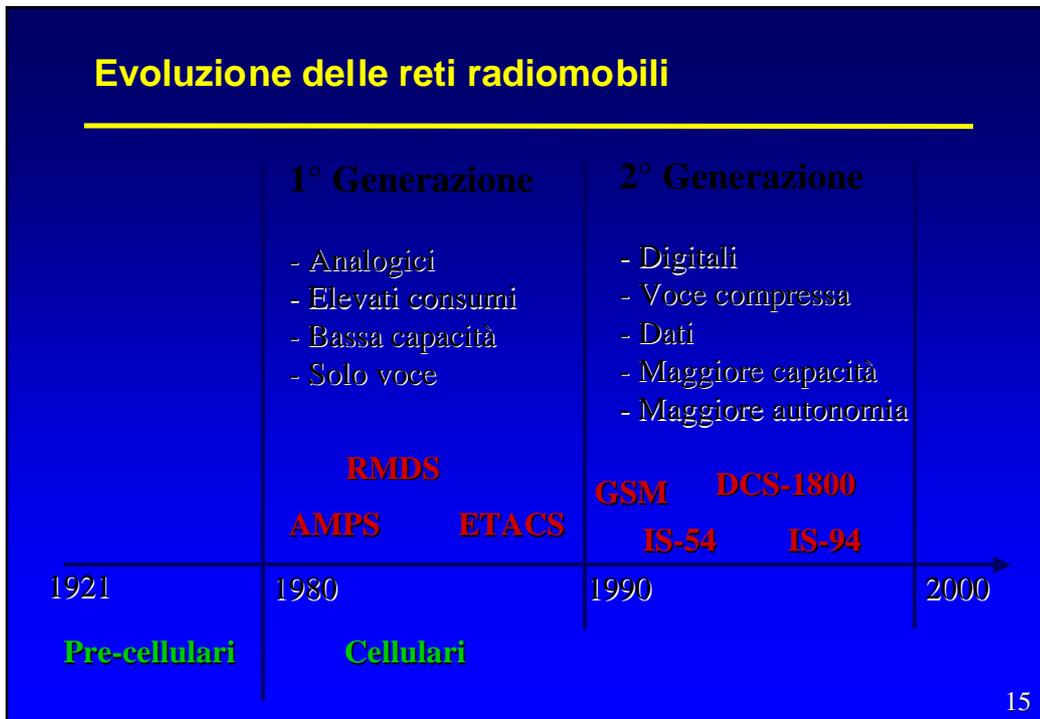
12



## Rete Cellulare *Handoff (o Handover)*

- E' la procedura che consente il trasferimento di una chiamata da una cella alla successiva, mentre il terminale mobile si sposta all'interno della rete.
- Di fatto e l'elemento distintivo tra le reti cellulari ed ogni altro tipo di rete di TLC
- E' una operazione complessa che pone alla rete notevoli requisiti in termini di architettura di rete, di protocolli e di segnalazione per la gestione delle procedure connesse agli handover

14



## 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

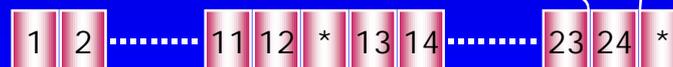
tasso = 270.833 kbit/s



trama = 8 slots = 4,62 ms

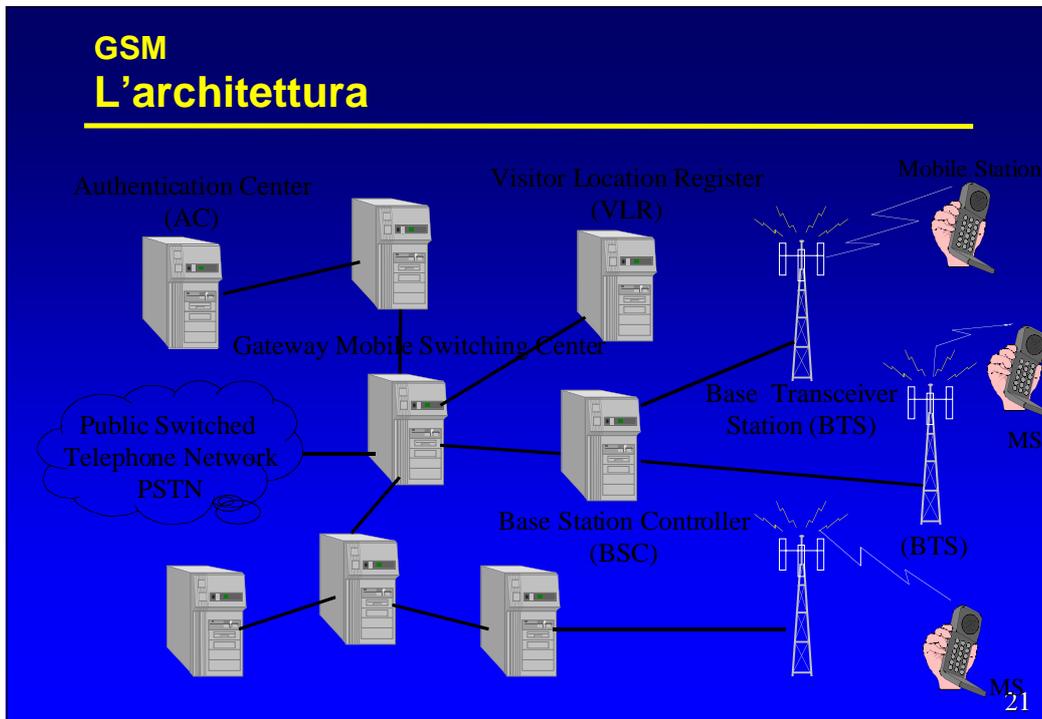


multitrama = 26 trame = 120 ms



\*: 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.

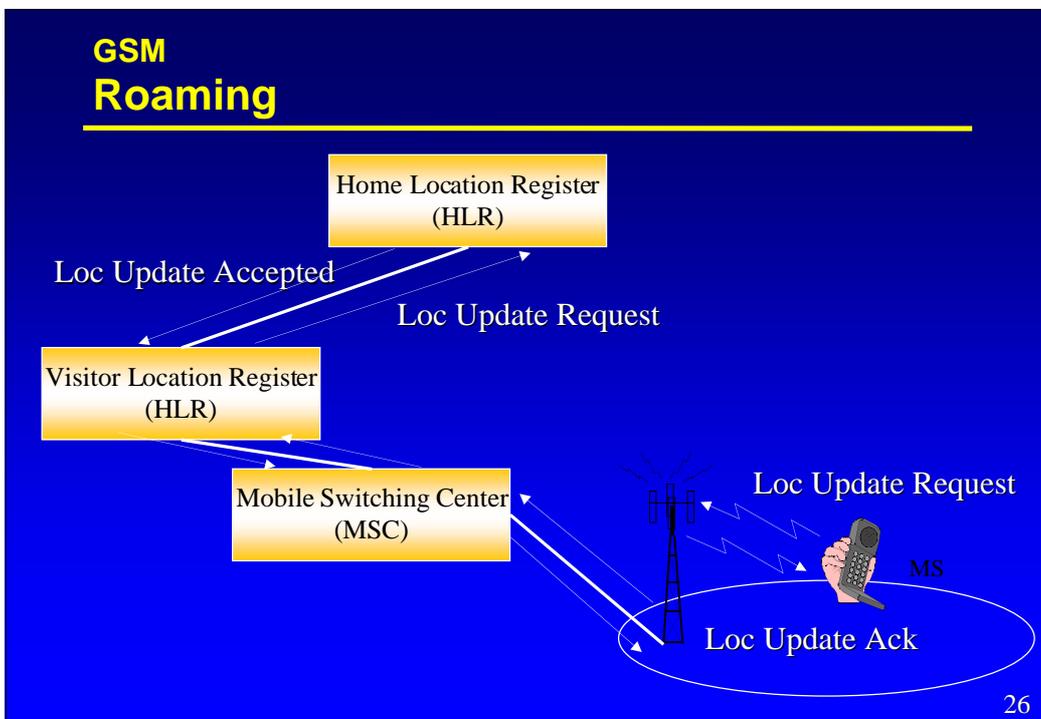
24

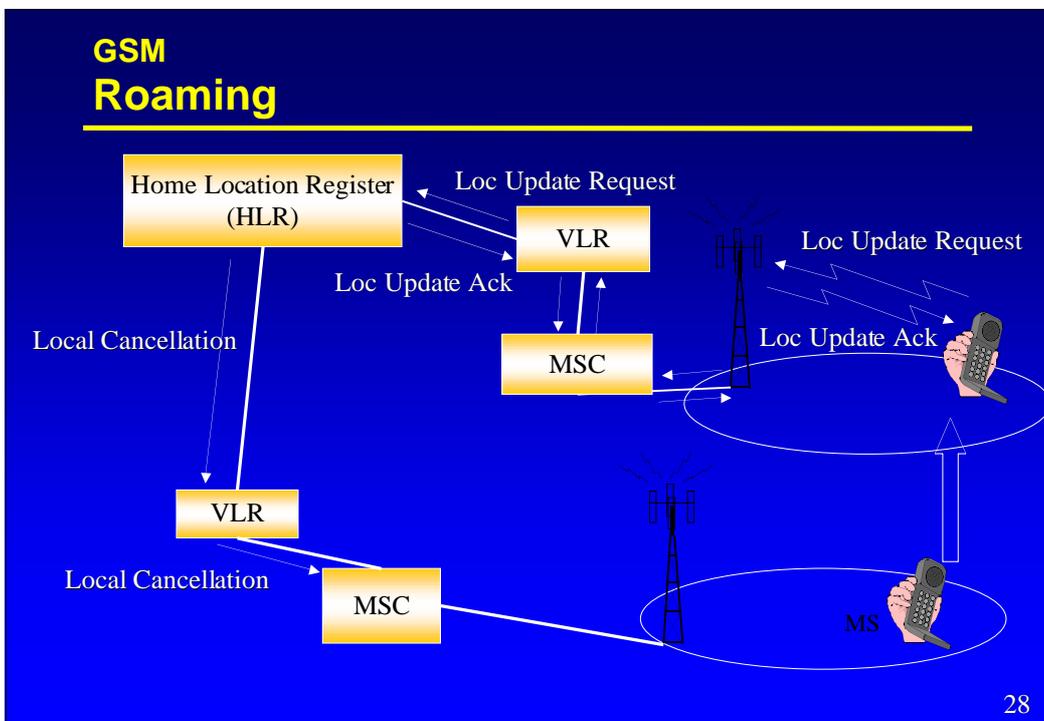
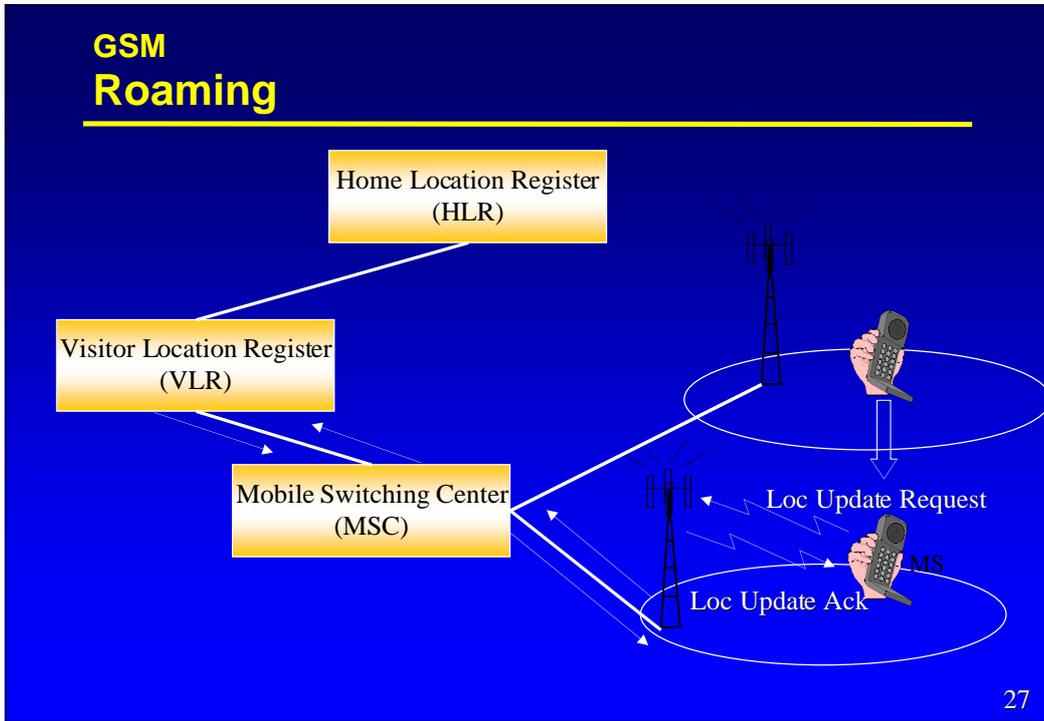
**GSM**  
**Canali di controllo**

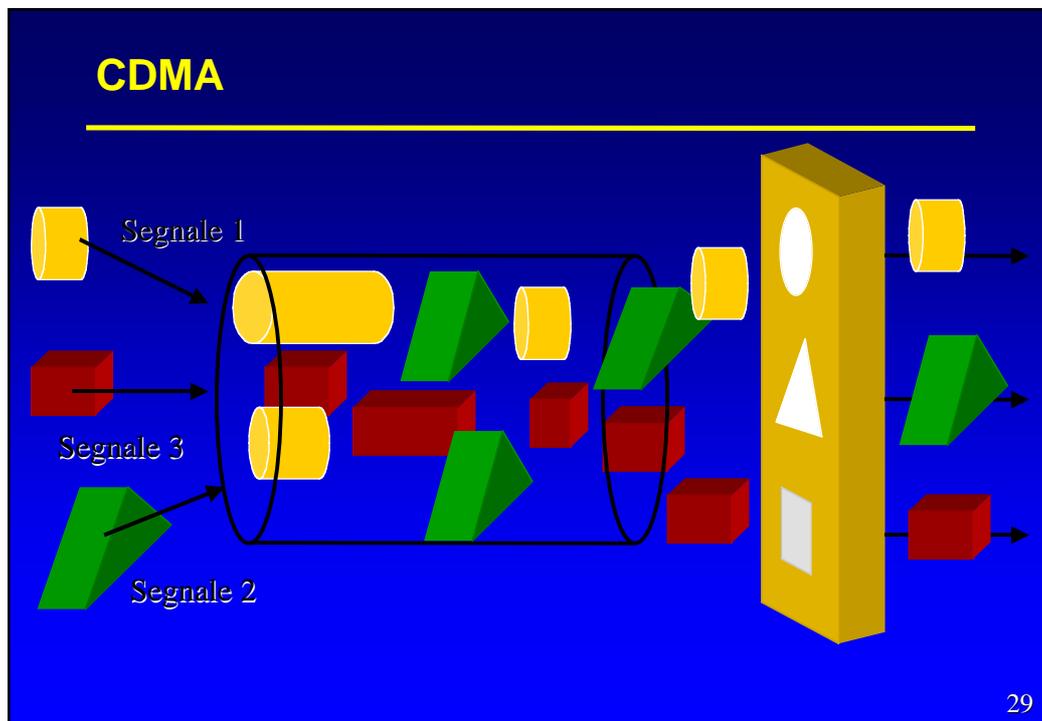
---

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







## 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*)

34

## 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.

35

## WirelessLAN IEEE 802.11

---

- Velocità:
  - 1-20 Mb/s (tipicamente 1-2 Mb/s).
- Servizi:
  - con e senza vincoli sul ritardo
- Tecnica di accesso multiplo:
  - unica per diversi livelli fisici.

36

## 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

37

## 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

38

## 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

39

## WLAN-IEEE 802.11

**Caratteristiche**

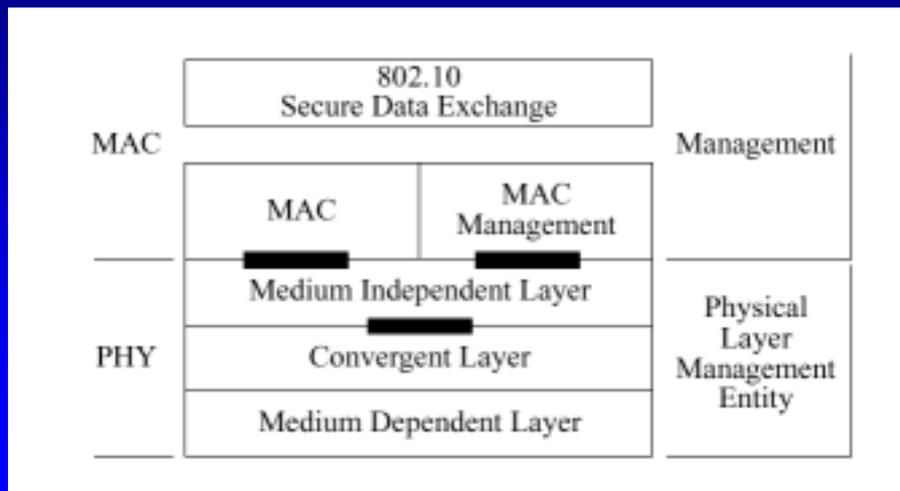
---

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

40

## WLAN-IEEE 802.11

## Architettura



41

## WLAN-IEEE 802.11

## Architettura

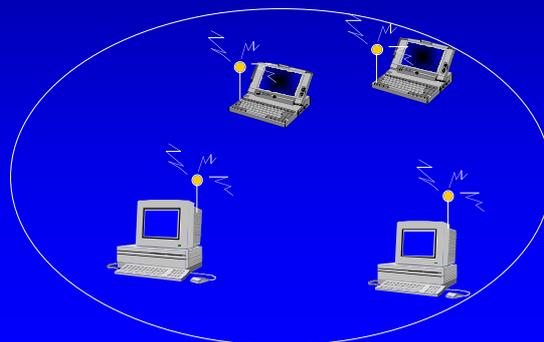
- MAC Entity
  - Meccanismo di accesso
  - Frammentazione
  - Encrittaggio
- MAC Management
  - Sincronizzazione
  - *Power management*
  - *Roaming*
- Physical Convergence
  - Riunisce le funzionalità comuni
  - L'individuazione *clear channel* (canale libero)

42

WLAN-IEEE 802.11

## Architettura - Indipendente

- “Ad hoc” network
- Comunicazioni dirette
- Copertura limitata

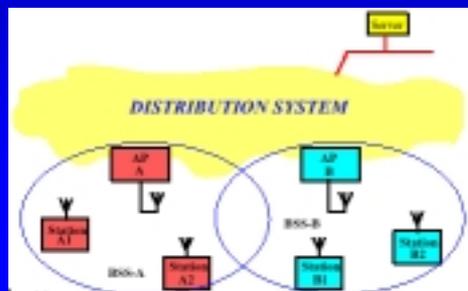


43

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.



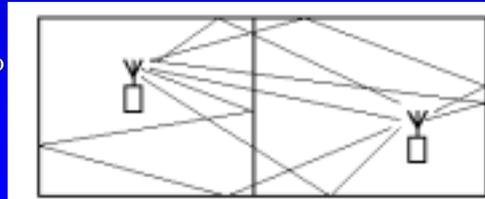
44

## 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



45

## 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 colocate, in condizioni di traffico elevato.

46

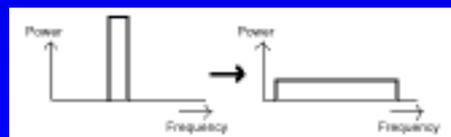
## WLAN-IEEE 802.11

**DirectSequence Spread Spectrum**

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



- Banda più larga
- Potenza meno “densa”



47

## WLAN-IEEE 802.11

**DirectSequence Spread Spectrum**

- Banda: 2.4 GHz (2.4 - 2.4835)
- Velocità minima 1 Mb/s, massima 2 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.

48

## WLAN-IEEE 802.11

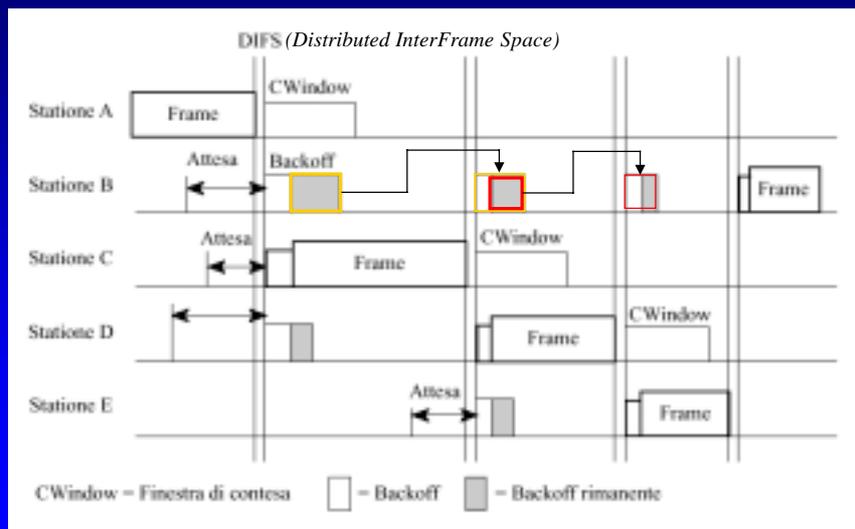
## MAC

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

49

## WLAN-IEEE 802.11

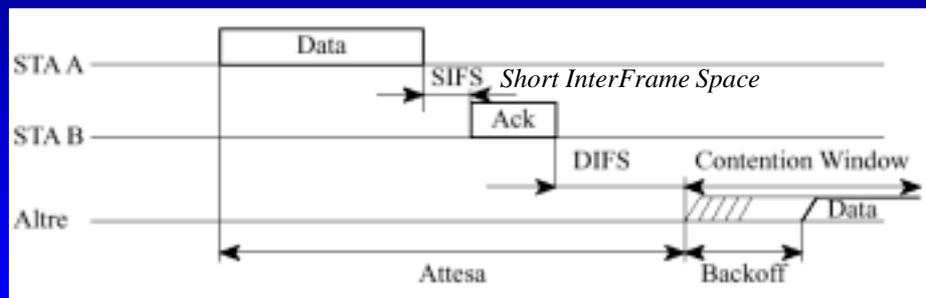
## MAC - DCF



50

## WLAN-IEEE 802.11

## MAC - DCF

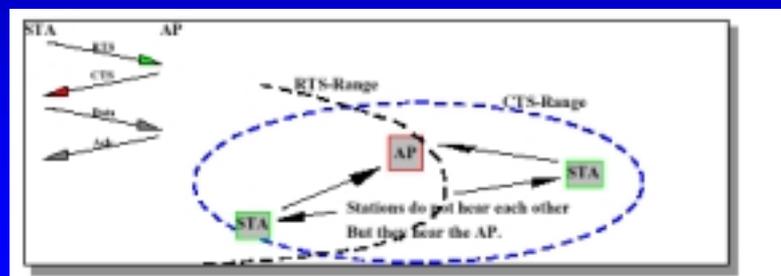


51

## WLAN-IEEE 802.11

## MAC - DCF

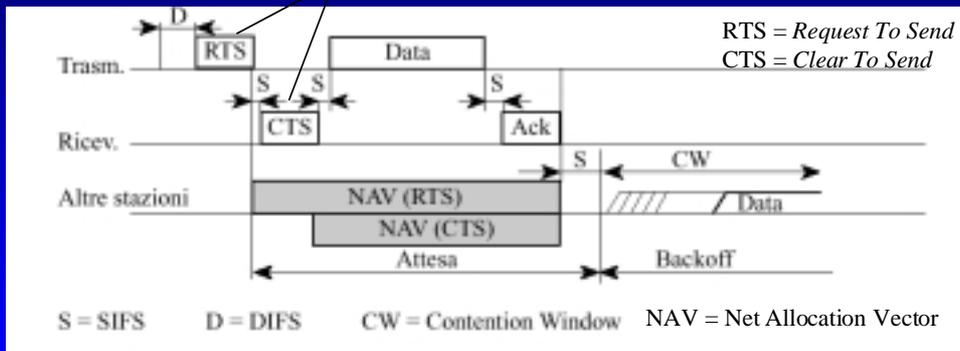
- Le collisioni non sono evitate completamente per due motivi:
  - Tempi di backoff simili
  - Stazioni nascoste



52

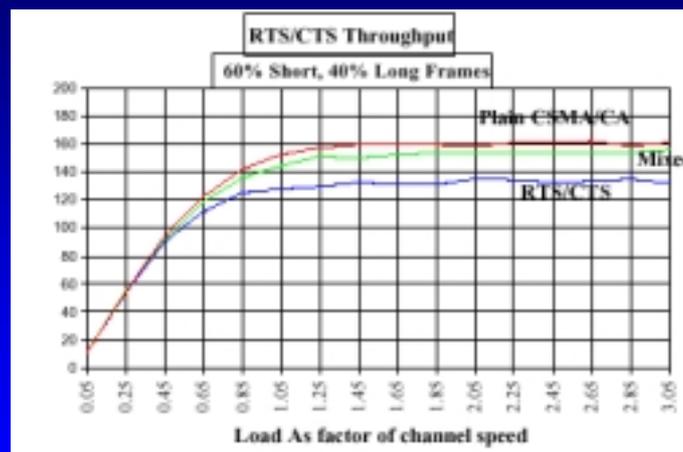
**WLAN-IEEE 802.11  
MAC - DCF**

Contengono informazioni sulla durata della successiva trasmissione



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;

55

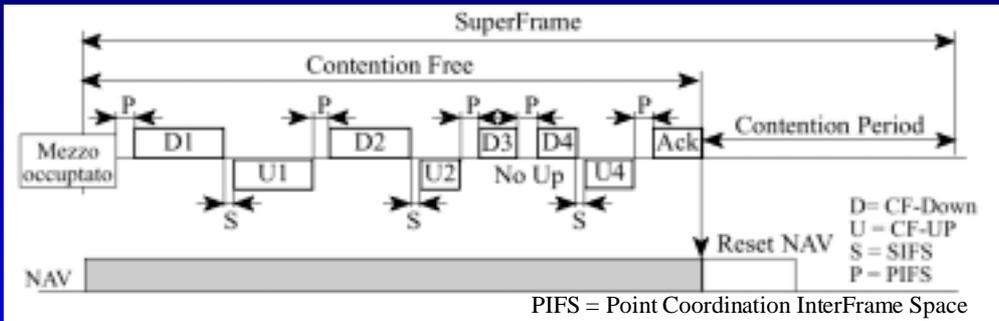
## WLAN-IEEE 802.11

**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.

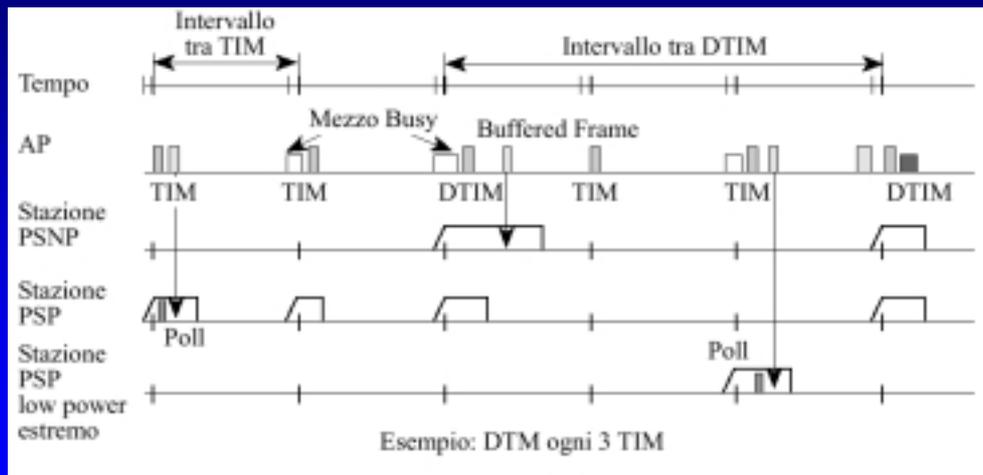
56

**WLAN-IEEE 802.11  
MAC - PCF**



- L'ack viene inserito nel frame successivo di una tx (tranel'ultimo)
- Le stazioni che non trasmettono per più di un certo numero di turni vengono escluse

**WLAN-IEEE 802.11  
Controllo di potenza**



(D)TIM = (Delivery)Traffic Indication Map

## WLAN HiperLAN

- La prima proposta viene presentata nell'ETSI nel 1995
- La copertura prevista va da 10 a 100m
- 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.*

59

## WLAN HiperLAN

	HIPERLAN Type 1	HIPERLAN Type 2	HIPERLAN Type 3	HIPERLAN Type 4
<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

60