



# Reti di Calcolatori I

**Prof. Roberto Canonico**

**Dipartimento di Ingegneria Elettrica e delle Tecnologie dell'Informazione**

**Corso di Laurea in Ingegneria Informatica**

**A.A. 2019-2020**

## Reti wireless

**I lucidi presentati al corso sono uno strumento didattico  
che NON sostituisce i testi indicati nel programma del corso**



## Nota di Copyright

Questo insieme di trasparenze è stato ideato e realizzato dai ricercatori del Gruppo di Ricerca COMICS del Dipartimento di Informatica e Sistemistica dell'Università di Napoli Federico II. Esse possono essere impiegate liberamente per fini didattici esclusivamente senza fini di lucro, a meno di un esplicito consenso scritto degli Autori. Nell'uso dovranno essere esplicitamente riportati la fonte e gli Autori. Gli Autori non sono responsabili per eventuali imprecisioni contenute in tali trasparenze né per eventuali problemi, danni o malfunzionamenti derivanti dal loro uso o applicazione.

### Autori:

Simon Pietro Romano, Antonio Pescapè, Stefano Avallone,  
Marcello Esposito, Roberto Canonico, Giorgio Ventre



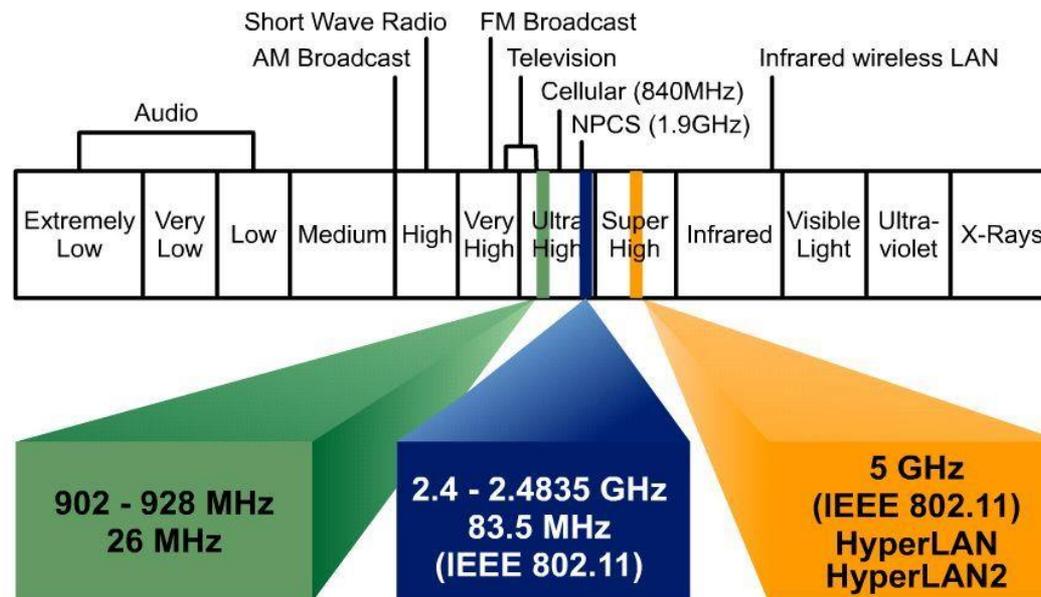
# Reti wireless

- Nelle reti wireless i dispositivi non sono collegati fisicamente, ma comunicano tramite onde elettromagnetiche che si propagano nello spazio
- Per tali comunicazioni si usano apposite porzioni dello spettro elettromagnetico
- Lo spettro elettromagnetico è una risorsa scarsa ed il suo uso è regolamentato
- A livello internazionale:
  - negli USA dalla FCC (*Federal Communications Commission*)
  - in Europa dall'ETSI (*European Telecommunications Standard Institute*)
- Localmente anche da specifiche autorità nazionali



# Bande ISM

- In contesti di rete LAN, le tecnologie wireless impiegano onde elettromagnetiche nelle cosiddette **bande ISM *unlicensed***
  - ISM sta per *Industrial, Scientific and Medical*
- Le bande ISM unlicensed sono definite dall'ITU, ma l'uso di queste bande può differire da stato a stato a causa di specifiche regolamentazioni nazionali



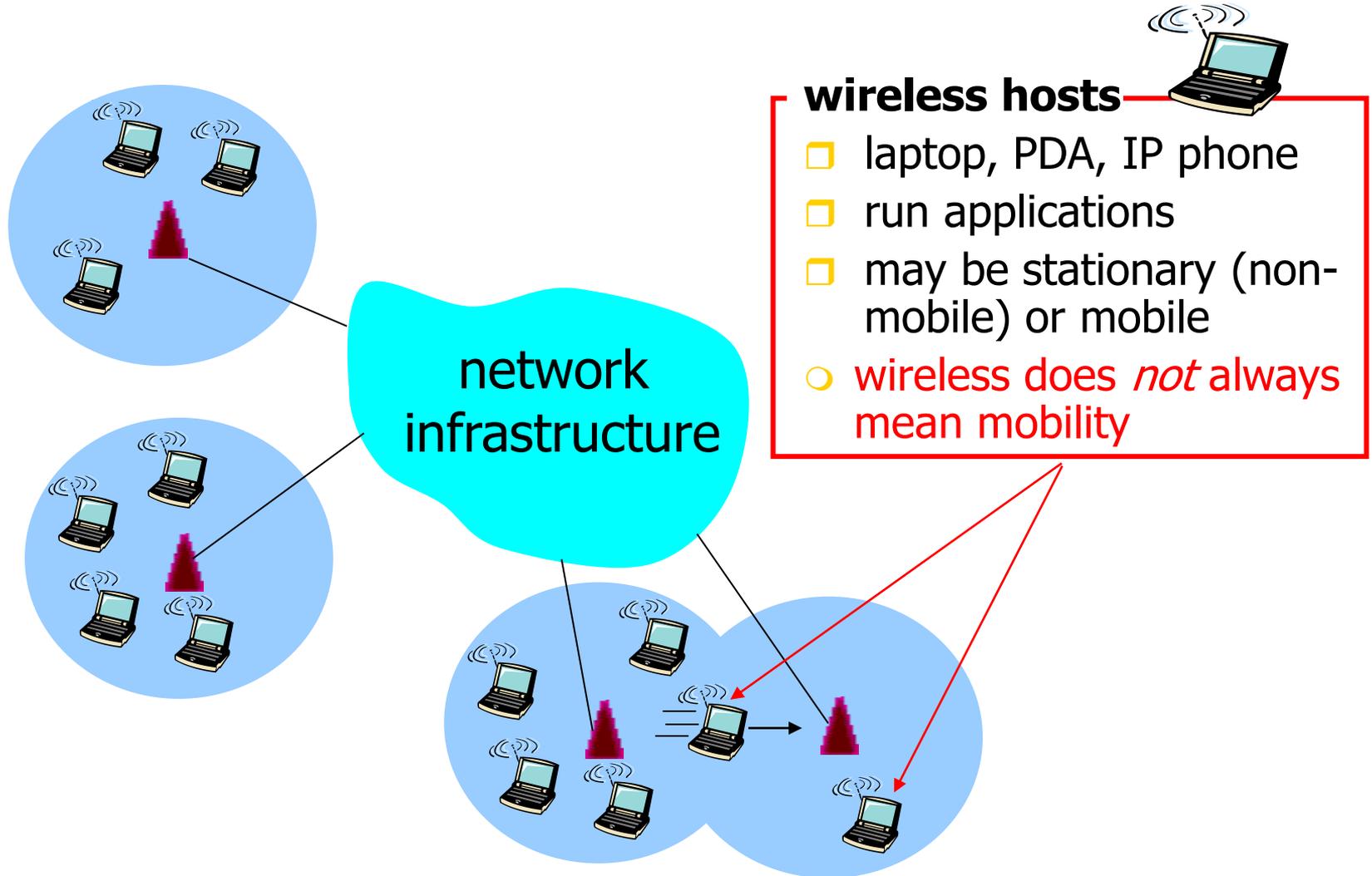


# Bande ISM nel mondo

- La banda a 2.4 GHz è disponibile in tutto il mondo
- La FCC consente l'uso unlicensed anche della banda a 900 MHz
- La banda a 900 MHz in Europa è usata per il GSM e, quindi, non è usabile senza licenza
- Sono imposti dei limiti sulla massima potenza trasmessa in banda:
  - Nord America: 1\* W sia a 900 MHz che a 2.4 GHz
  - Europa: 100\* mW a 2.4 GHz
- Sono anche imposti limiti sulle emissioni fuori banda

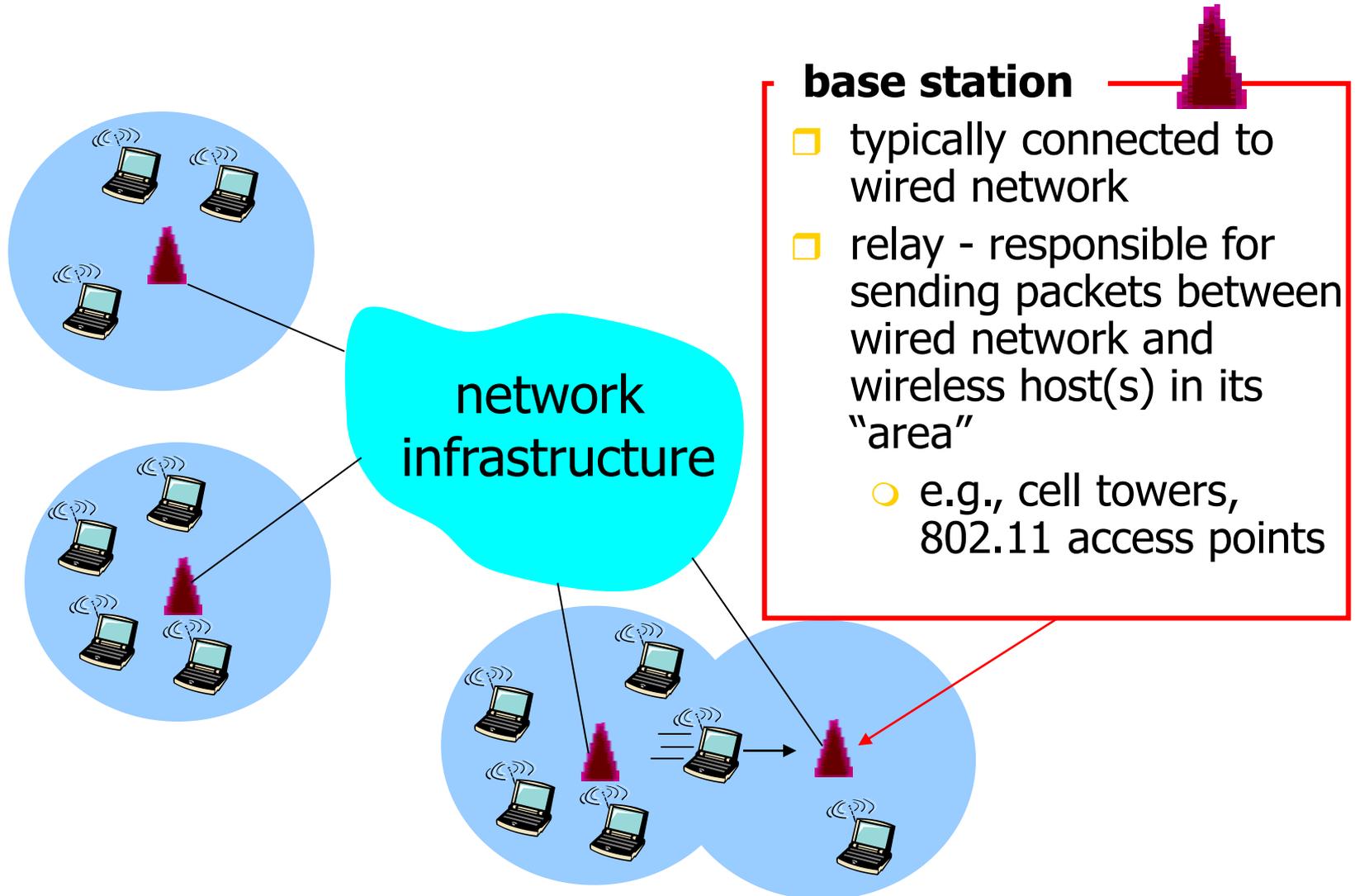


# Elements of a wireless network



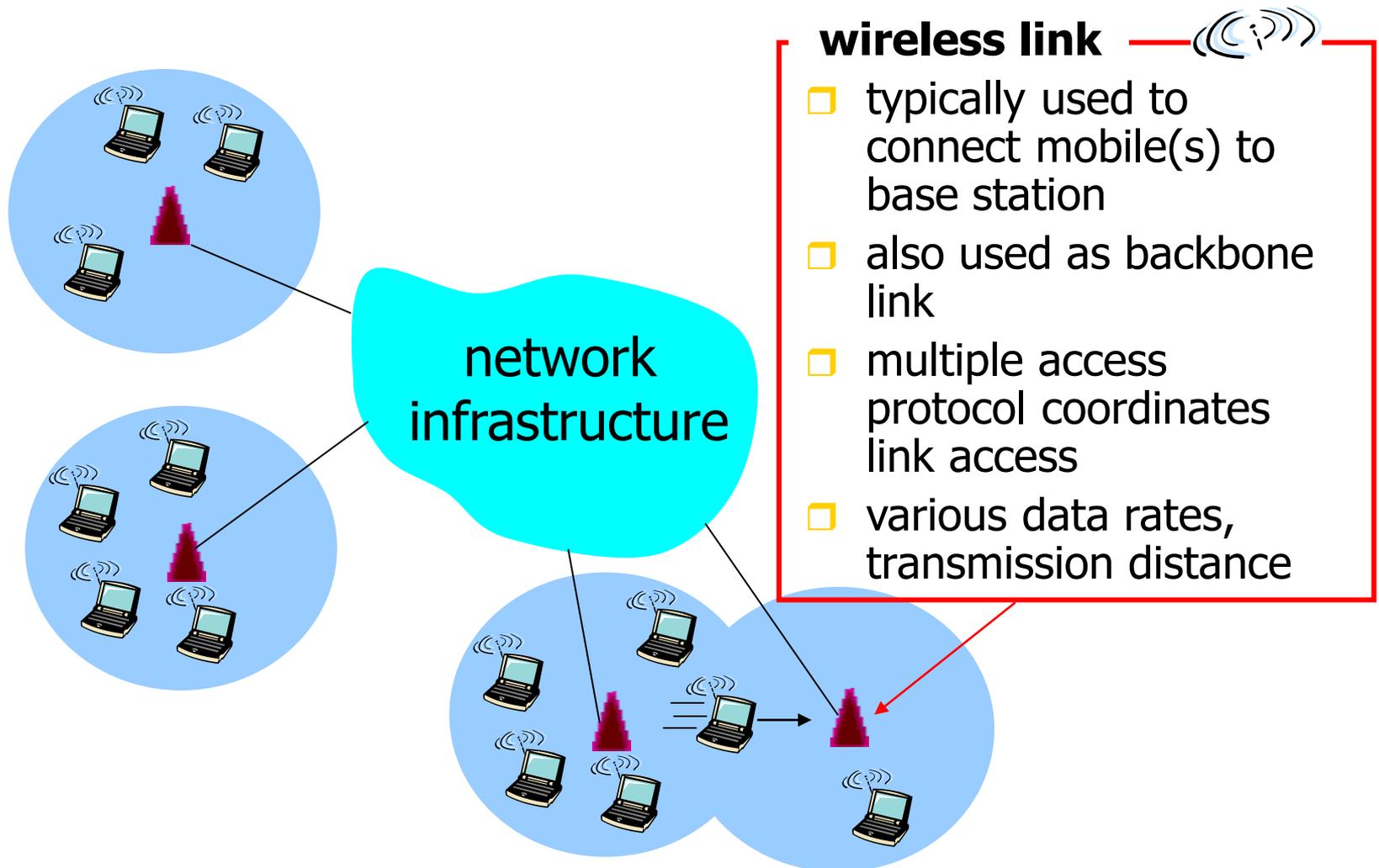


# Elements of a wireless network



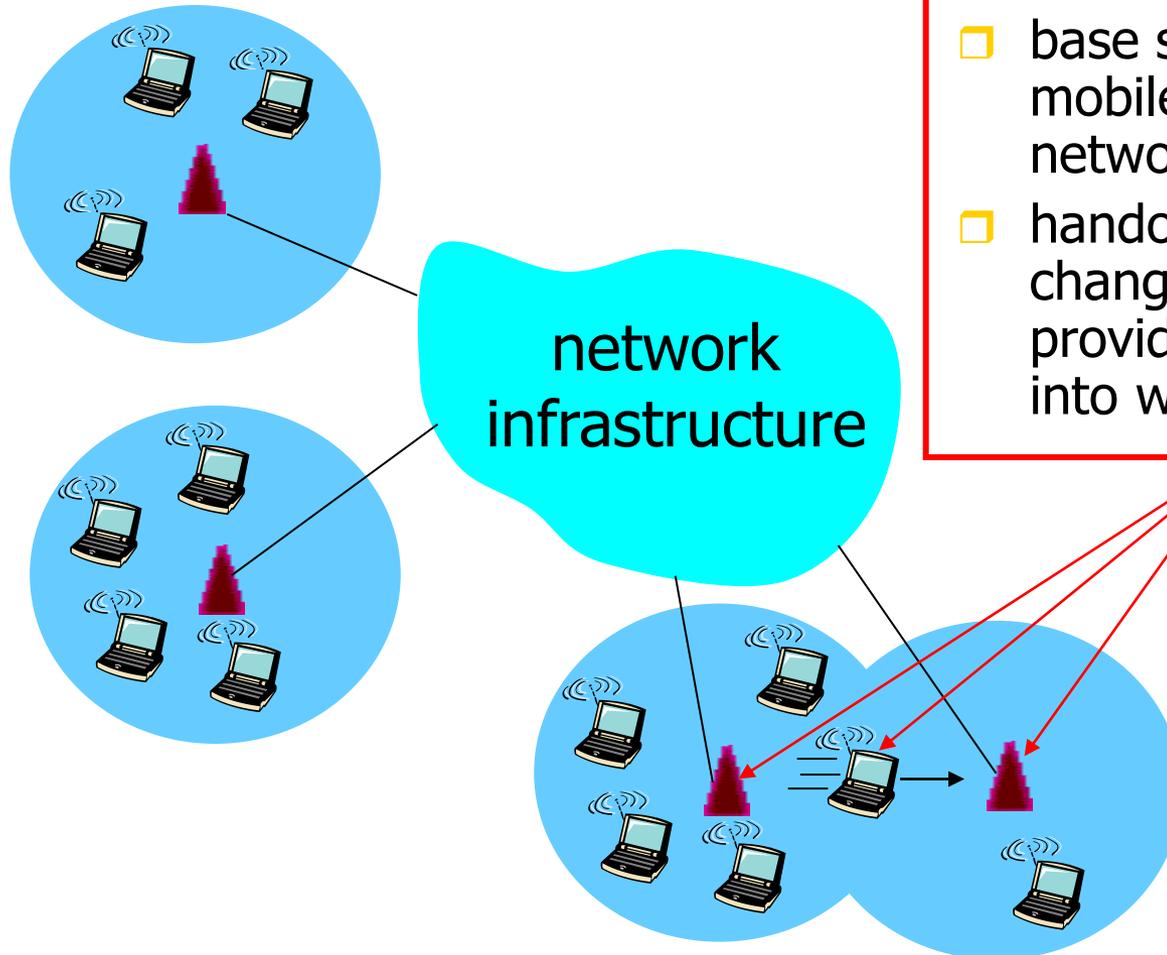


# Elements of a wireless network





# Elements of a wireless network

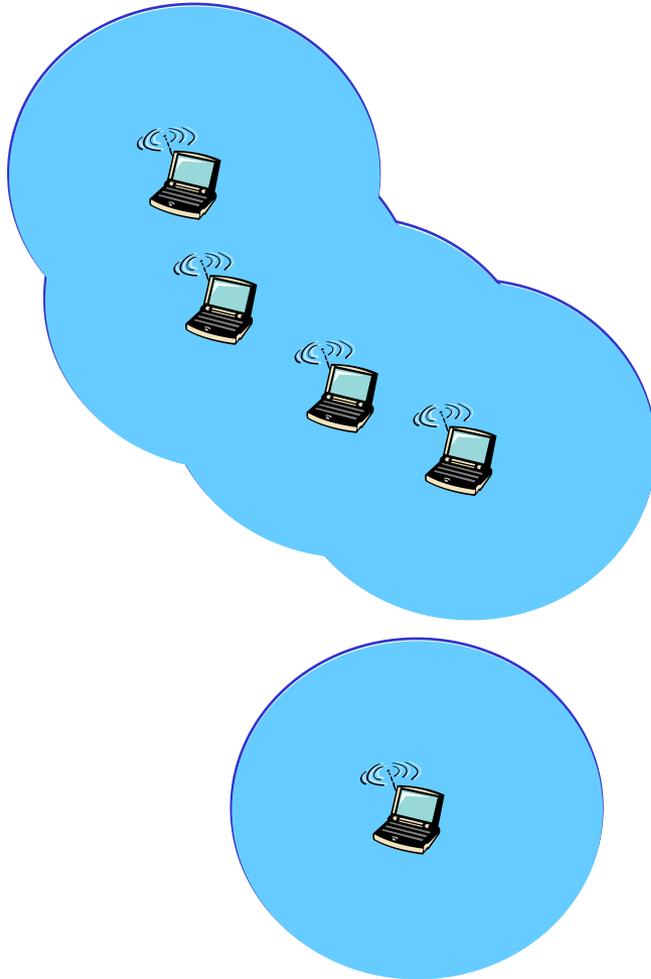


## infrastructure mode

- base station connects mobiles into wired network
- handoff: mobile changes base station providing connection into wired network



# Elements of a wireless network



## ad hoc mode

- ❑ no base stations
- ❑ nodes can only transmit to other nodes within link coverage
- ❑ nodes organize themselves into a network: route among themselves



# Wireless networks taxonomy

|                               | single hop  | multiple hops   |
|-------------------------------|---|---|
| infrastructure<br>(e.g., APs) | host connects to base station (WiFi, WiMAX, cellular) which connects to larger Internet | host may have to relay through several wireless nodes to connect to larger Internet: <i>mesh net</i>                      |
| no infrastructure             | no base station, no connection to larger Internet (Bluetooth, ad hoc nets)              | no base station, no connection to larger Internet. May have to relay to reach other a given wireless node<br>MANET, VANET |



# Wireless Link Characteristics

Differences from wired link ....

- **decreased signal strength:** radio signal attenuates as it propagates through matter (path loss)
- **interference from other sources:** standardized wireless network frequencies (e.g., 2.4 GHz) shared by other devices (e.g., phone); devices (motors) interfere as well
- **multipath propagation:** radio signal reflects off objects ground, arriving at destination at slightly different times

.... make communication across (even a point to point) wireless link much more “difficult”

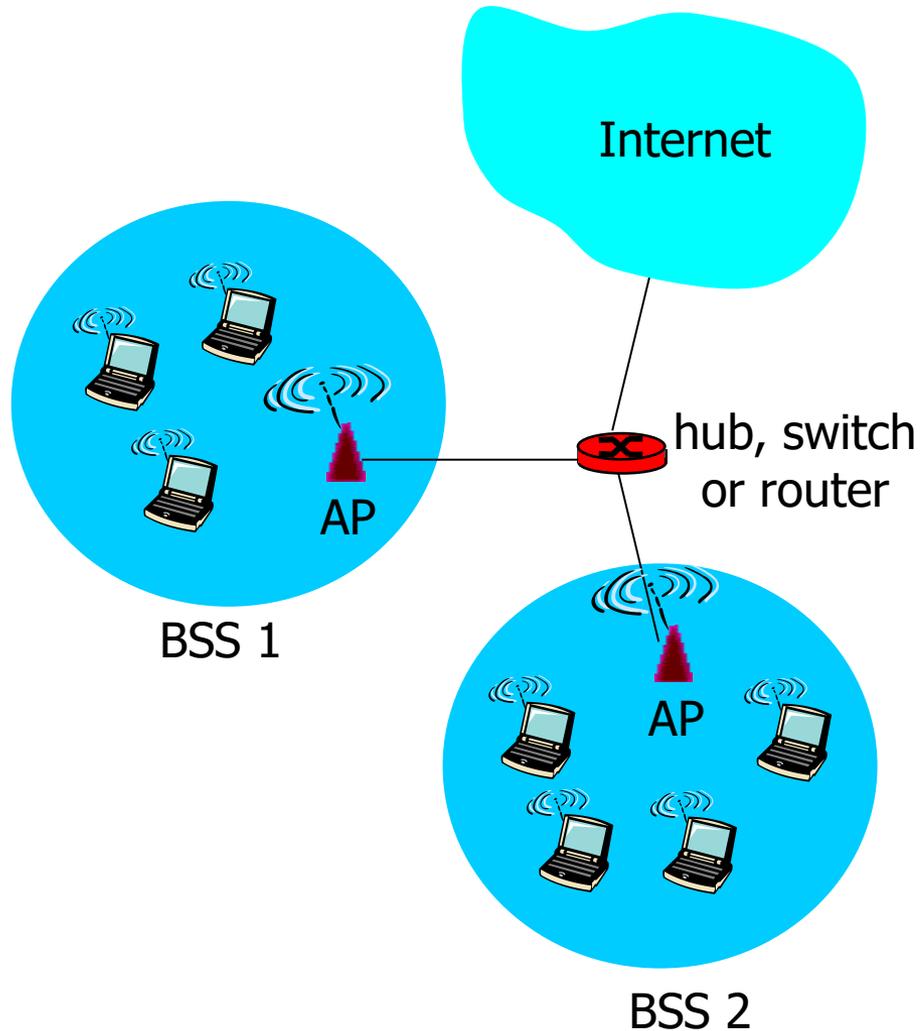


# Reti LAN wireless: WLAN

- Le tecnologie per reti WLAN sono progettate per un impiego in aree geografiche limitate e si basano sull'utilizzo di frequenze nelle bande ISM non sottoposte al vincolo di licenza (*unlicensed bands*)
  - Chiunque può creare una sua propria WLAN purchè rispetti i limiti di emissione previsti dalle norme nazionali
- Le tecnologie WLAN hanno lo scopo principale di “fare da mediatore” nell'accesso al mezzo di comunicazione condiviso (la porzione di spettro utilizzata nella WLAN)



# 802.11 LAN architecture



- ❑ wireless host communicates with base station
- base station = access point (AP)
- ❑ Basic Service Set (BSS) (aka "cell")
- ❑ A BSS in infrastructure mode contains:
  - wireless hosts
  - access point (AP)
- A BSS in ad hoc mode is composed of hosts only



# WLAN/802.11: livello fisico

- 802.11 è progettato per trasmettere dati usando tre tecniche differenti:
  - *frequency hopping*
  - *direct sequence*
  - *diffused infrared*
- Le prime due tecniche sfruttano il range di frequenza intorno ai 2.4 GHz e sono tecniche del tipo “*spread spectrum*”:
  - L’obiettivo di tali tecniche è quello di diffondere il segnale su di un intervallo di frequenza ampio, in modo tale da minimizzare l’effetto dell’interferenza da parte di altri dispositivi



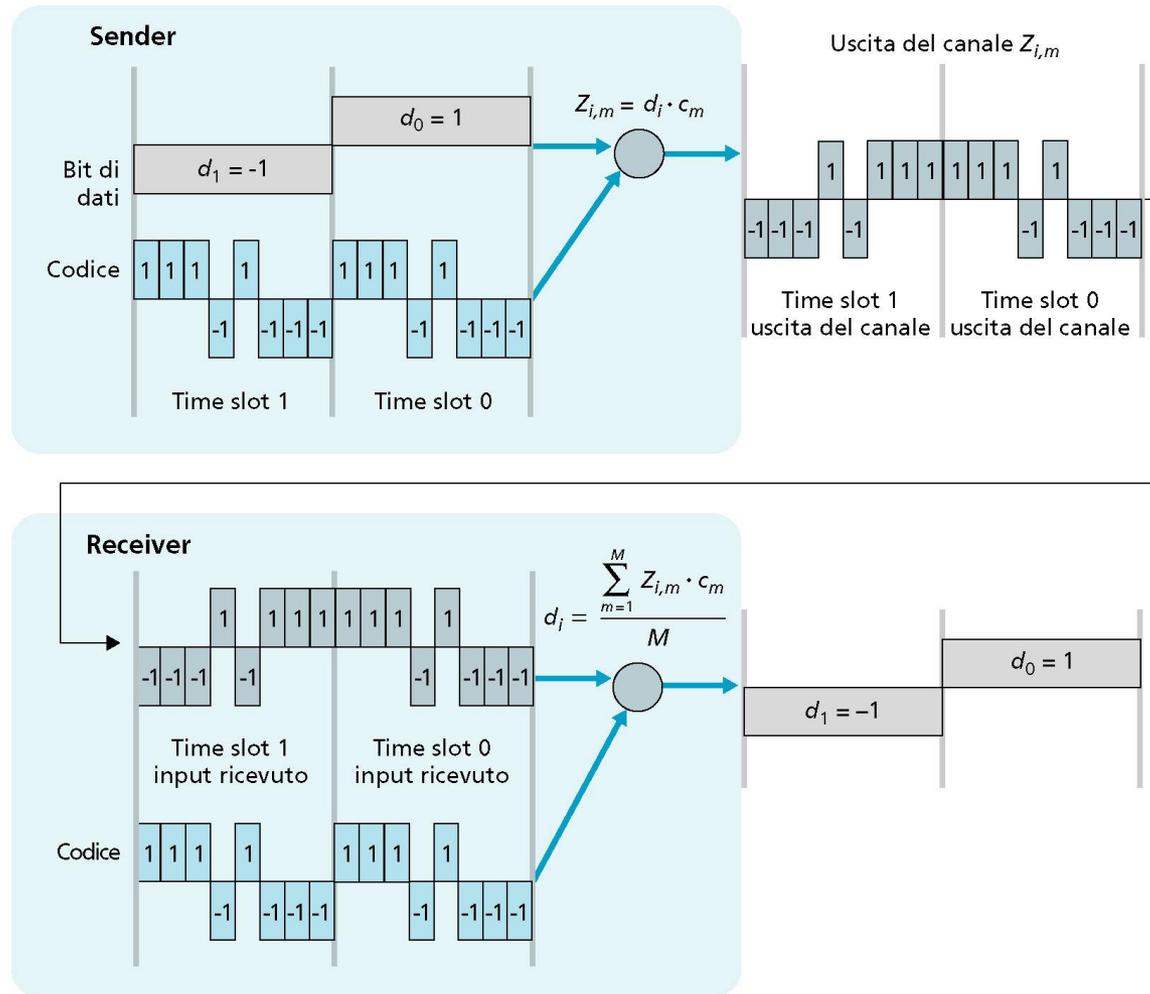
# Protocolli di suddivisione del canale: CDMA

## CDMA (Code Division Multiple Access)

- Un codice unico è assegnato ad ogni utente:
  - *code set partitioning*
- Usato principalmente nei canali wireless di tipo broadcast (reti cellulari, satellitari, ecc.)
- Tutti gli utenti condividono la stessa frequenza di trasmissione, ma ognuno di essi possiede un codice unico (noto come “*chipping sequence*”) per codificare i dati
- ***segnale codificato*** = (dati originali) X (chipping sequence)
- ***decodifica***: prodotto scalare del segnale codificato e della chipping sequence
- Consente a diversi nodi di trasmettere simultaneamente, riducendo al minimo l’interferenza nel caso in cui si siano scelti codici “ortogonali”

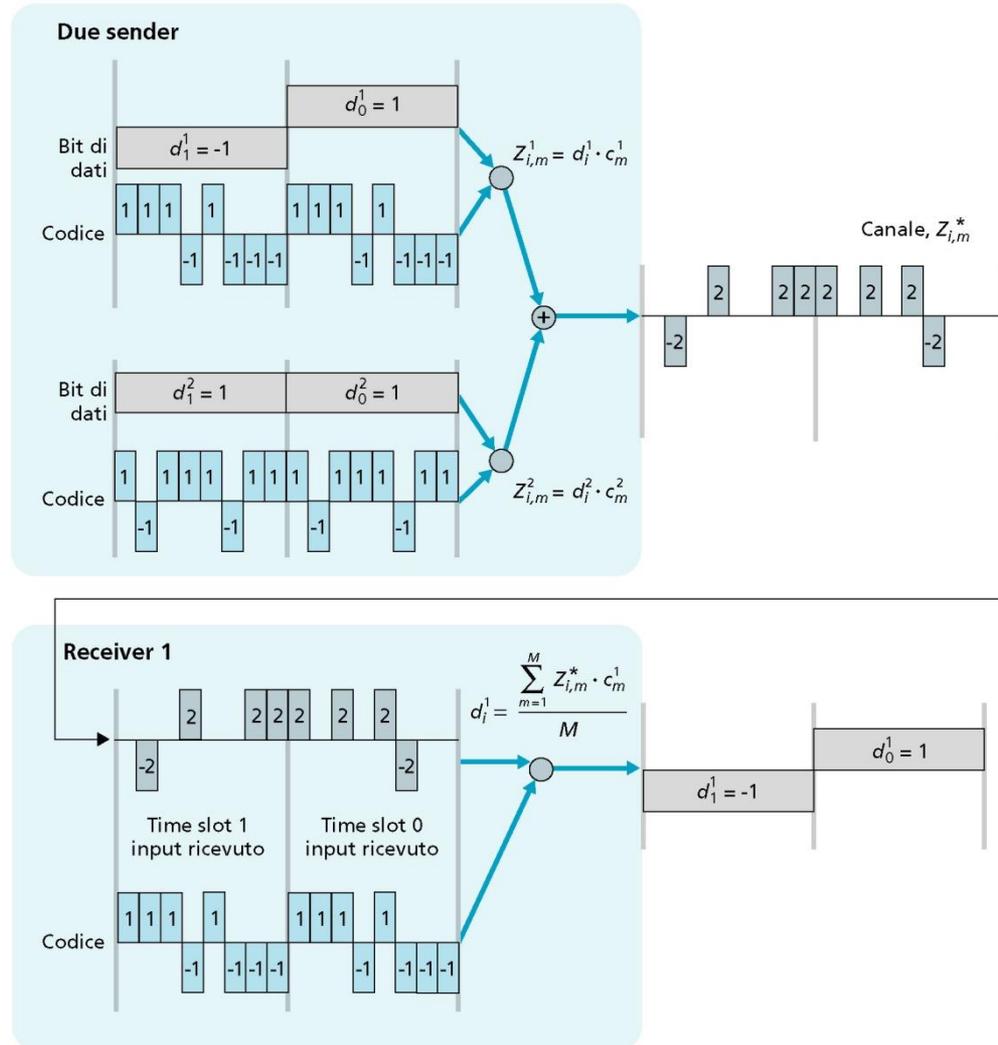


# CDMA: codifica e decodifica





# CDMA: interferenza tra due mittenti\*



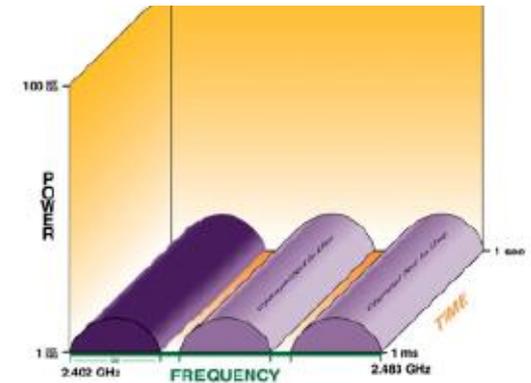
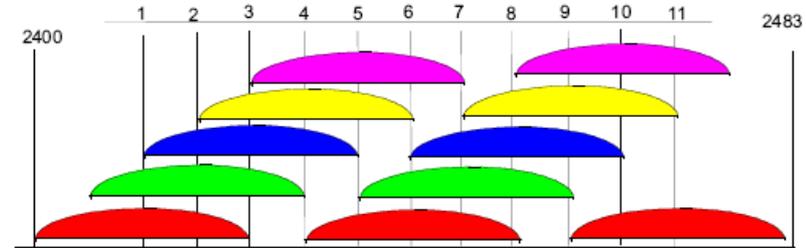
\* CDMA lavora nell'ipotesi che i segnali dei bit trasmessi con interferenza siano cumulativi. 18



# Spread spectrum

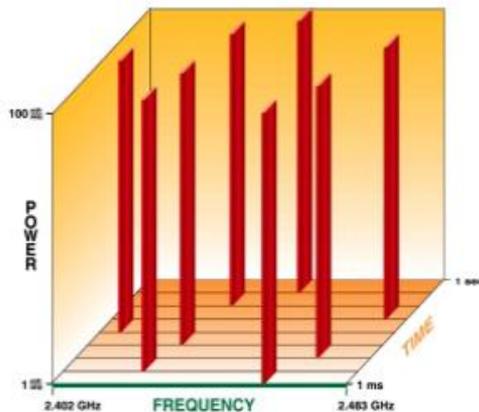
- **Direct sequence**

- 11 canali stazionari da 22 MHz
- data rate = 11 Mbps
- 3 canali non sovrapposti
- codifica del bit in una stringa di bit:
  - chipping sequence
  - ridondanza in cambio di robustezza al rumore
- trasmissione delle chipping sequence su un range di frequenze
- cambio di canale in caso di interferenza



- **Frequency hopping**

- 79 canali ciascuno ampio 1 MHz
- cambio di frequenza (hop) almeno ogni 0.4 secondi
- richiede sincronizzazione
- ridotta sensibilità alle interferenze
- un pacchetto perso viene trasmesso al successivo hop





# WLAN/802.11: frequency hopping

- Il segnale è trasmesso su una sequenza “random” di frequenze
- Tale sequenza è in realtà calcolata in maniera algoritmica, tramite un generatore di numeri pseudo-casuali
- Il ricevitore:
  - utilizza il medesimo algoritmo del mittente
    - inizializzazione con il medesimo *seme*
  - è dunque in grado di “saltare” le frequenze in maniera sincronizzata con il mittente, per ricevere correttamente le frame



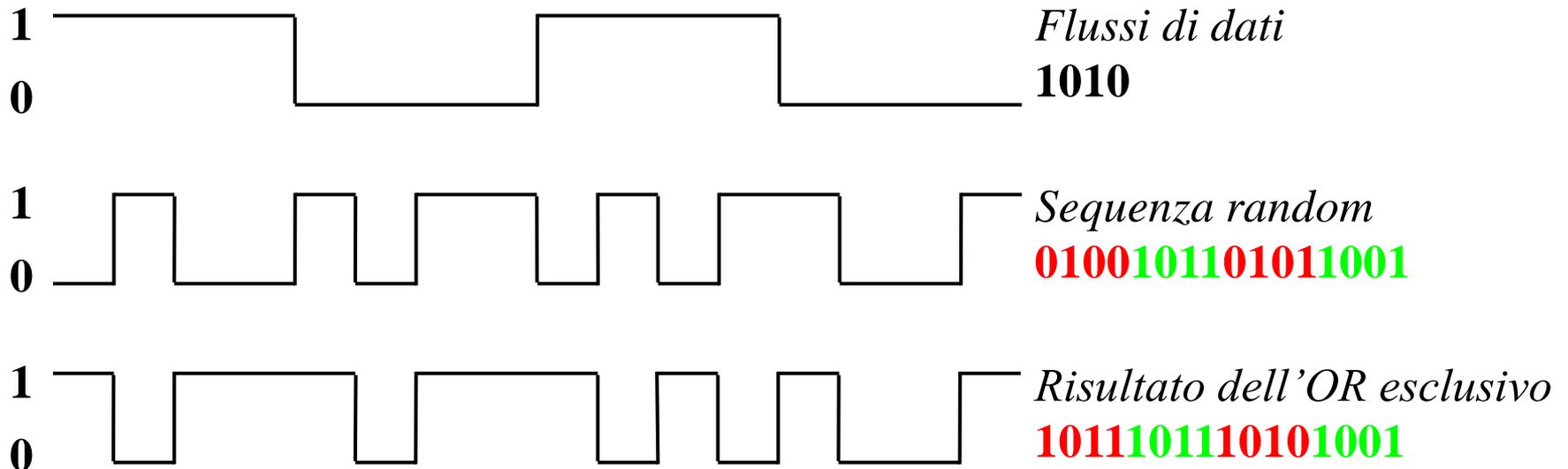
# WLAN/802.11: direct sequence

- Ogni bit di una frame è rappresentato da molteplici bit nel segnale trasmesso
  - Il mittente invia, in effetti, il risultato dell'OR esclusivo di tale bit e di  $n$  bit scelti in maniera casuale
  - Come nel caso del *frequency hopping*, la sequenza di bit casuali è generata da un generatore di numeri “*pseudo-casuali*” nota sia al mittente che al ricevitore
  - I valori trasmessi sono noti come *chipping sequence* (come nel caso del CDMA)
  - L'802.11 utilizza una *chipping sequence* a 11 bit



# WLAN/802.11: direct sequence

- Un esempio: chipping sequence a 4 bit



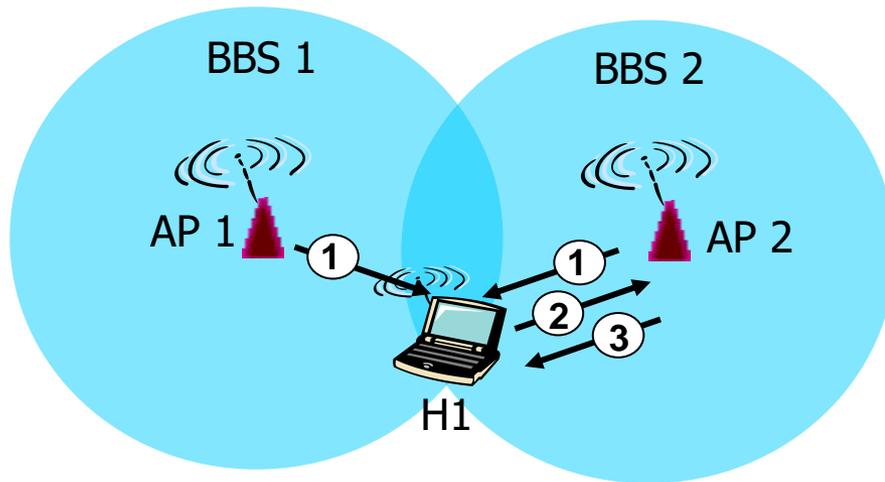


# 802.11: Canali ed associazione ad un Access Point

- 802.11b: 2.4GHz-2.485GHz
  - Lo spettro è diviso in 11 canali a differenti frequenze
    - Solo 3 canali risultano non sovrapposti
  - All'atto dell'installazione di un AP, l'amministratore di rete sceglie il canale da utilizzare per la trasmissione
  - Possibilità di interferenza nel caso in cui due AP vicini utilizzino lo stesso canale
- Un host deve **associarsi** ad un AP
  - Controlla i vari canali ascoltando le cosiddette *beacon frame*, contenenti MAC address ed identificativo (SSID – Service Set Identifier) dell'AP
  - Seleziona l'AP cui associarsi ed inizia la procedura di associazione (che può prevedere anche una fase di autenticazione)
  - Al termine di tale procedura, tipicamente effettuerà una richiesta DHCP per ottenere un indirizzo IP nella subnet dell'AP

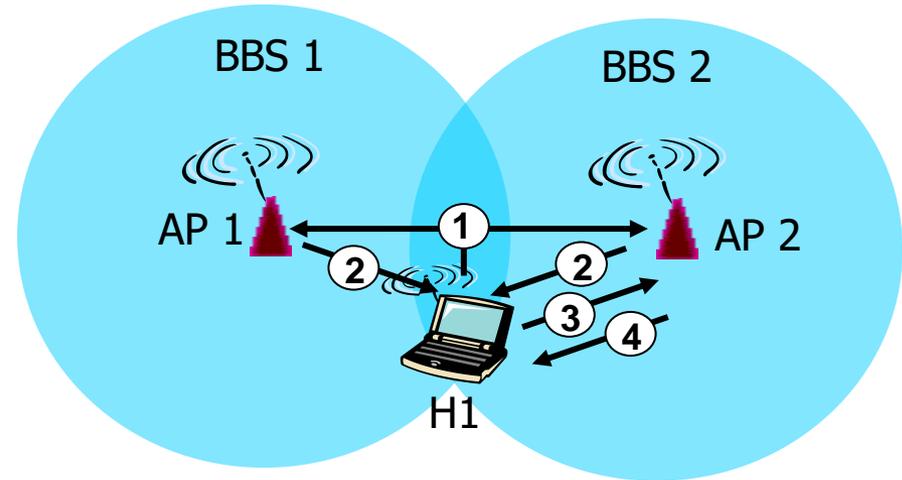


# 802.11: passive/active scanning



## Passive Scanning:

- (1) beacon frames sent from APs
- (2) association Request frame sent: H1 to selected AP
- (3) association Response frame sent: from selected AP to H1



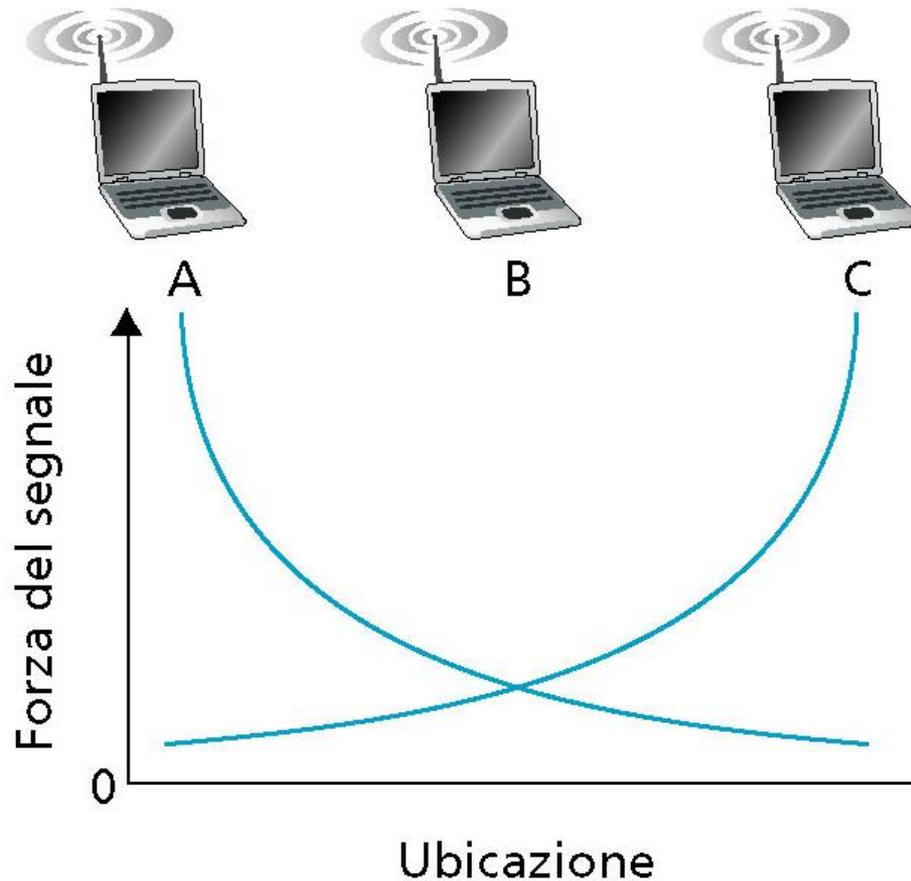
## Active Scanning:

- (1) Probe Request frame broadcast from H1
- (2) Probes response frame sent from APs
- (3) Association Request frame sent: H1 to selected AP
- (4) Association Response frame sent from selected AP to H1



# Attenuazione del segnale (*fading*)

A e C sono situati in modo che la forza del loro segnale non è sufficiente perché essi possano rilevare le rispettive trasmissioni...



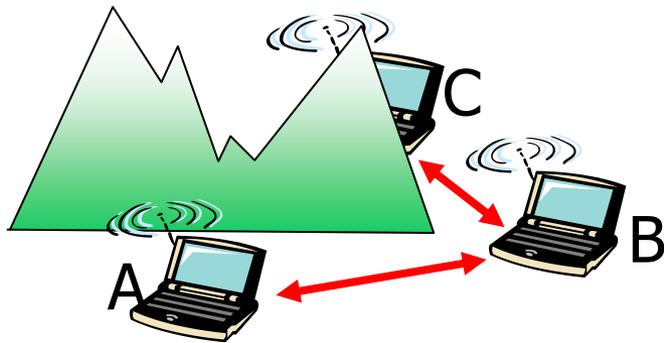
...i segnali sono, tuttavia, abbastanza forti da presentare interferenza tra loro alla stazione B

(b)

# Wireless network characteristics

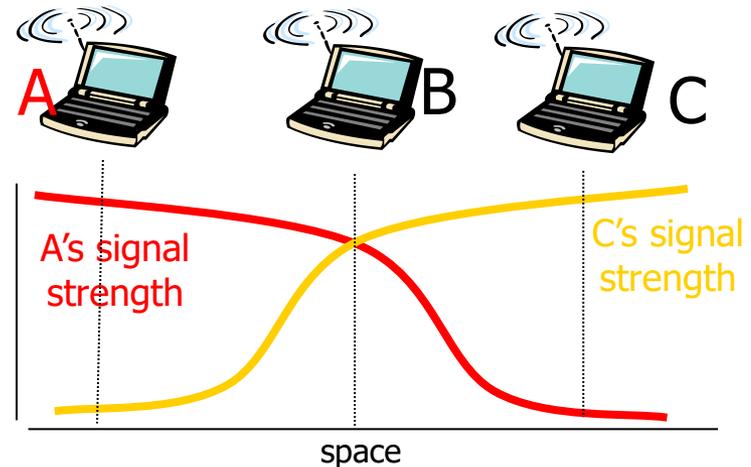


Multiple wireless senders and receivers create additional problems (beyond multiple access):



## Hidden terminal problem

- B, A hear each other
- B, C hear each other
- A, C can not hear each other means A, C unaware of their interference at B



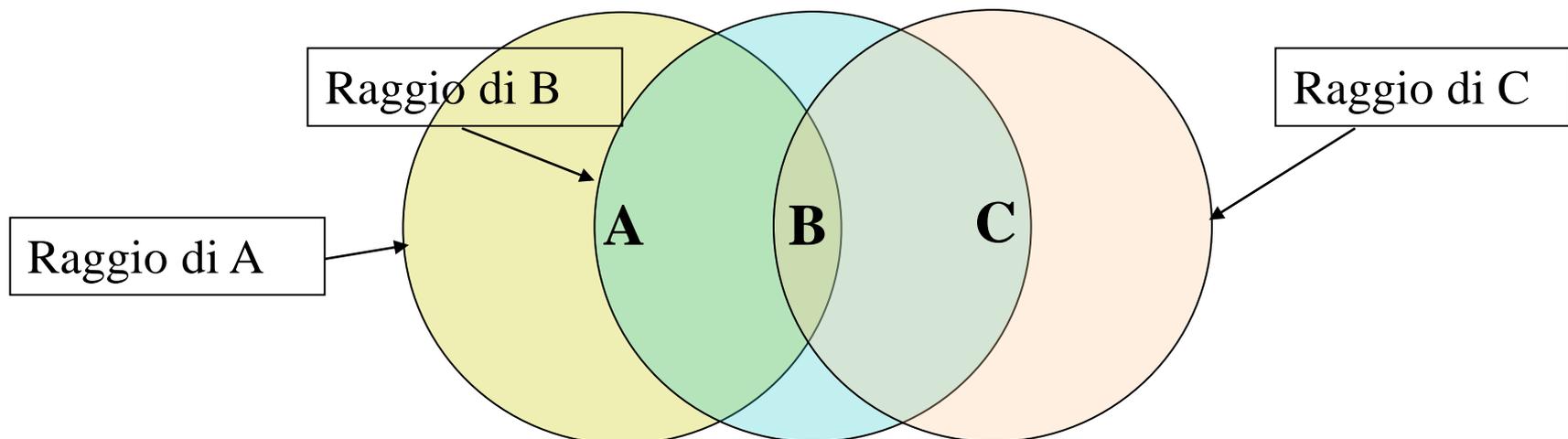
## Signal attenuation:

- B, A hear each other
- B, C hear each other
- A, C can not hear each other interfering at B



## WLAN/802.11: Hidden nodes problem

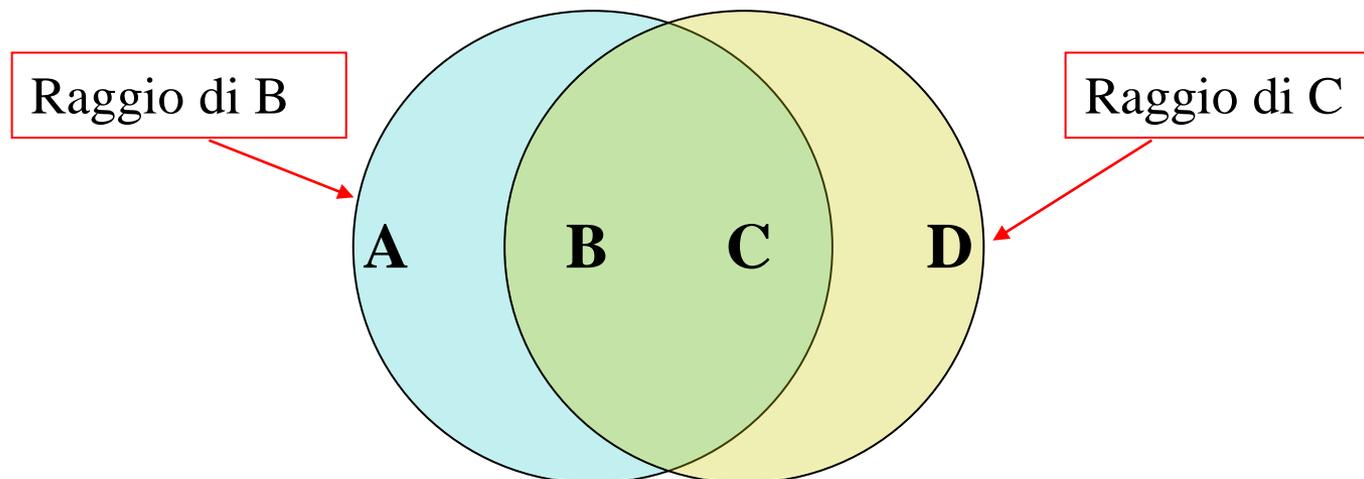
- Le trasmissioni di A non sono ascoltate da C (e viceversa)
- A e C possono inviare dati simultaneamente verso B causando una collisione in ricezione
- Né A né C sono in grado di rilevare la collisione
- A e C sono detti *nodi nascosti* (l'uno rispetto all'altro)





## WLAN/802.11: Exposed nodes problem

- B invia dati ad A
- C è al corrente di tale comunicazione perché ascolta le trasmissioni di B:
  - È un errore per C concludere di non poter trasmettere a nessuno
    - Ad esempio, C potrebbe inviare frame a D senza interferire con la capacità di A di ricevere dati da B





# IEEE 802.11: accesso multiplo

- Come Ethernet, usa il CSMA:
  - Accesso random
  - carrier sense: si evitano collisioni con eventuali trasmissioni in corso
- A differenza di Ethernet:
  - Non effettua *collision detection*
    - Tutte le frame sono trasmesse nella loro interezza
  - Usa gli *acknowledgment*
    - Conferma di avvenuta ricezione
- Perché non si effettua la *collision detection*?
  - Difficoltà a ricevere durante la trasmissione, a causa della debolezza dei segnali ricevuti (fading)
  - Impossibile in alcuni casi accorgersi delle collisioni:
    - Stazione nascosta (hidden terminal)
    - fading
- Obiettivo: ***evitare le collisioni***: CSMA/C(ollision)A(voidance)



# Protocollo CSMA/CA

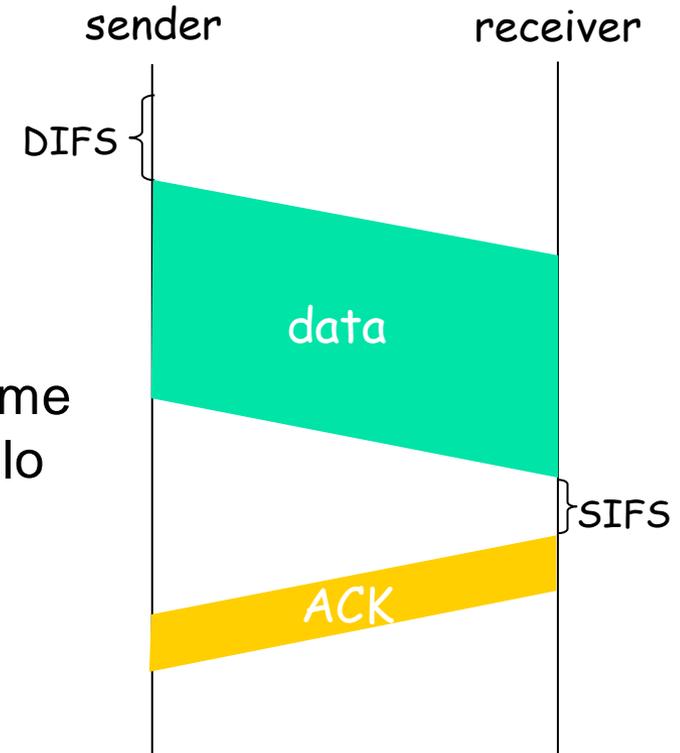
## 802.11 sender

- se il canale è inattivo per un tempo pari a **DIFS** (Distributed Inter Frame Space) allora
  - Trasmette un'intera frame (senza CD)
- se il canale è occupato
  - Sceglie un *backoff time* casuale
  - Il timer viene decrementato mentre il canale è inattivo
  - Allo scadere del timer, trasmette una frame
  - Se non riceve ACK, incrementa l'intervallo di backoff casuale, torna al passo 2

## 802.11 receiver

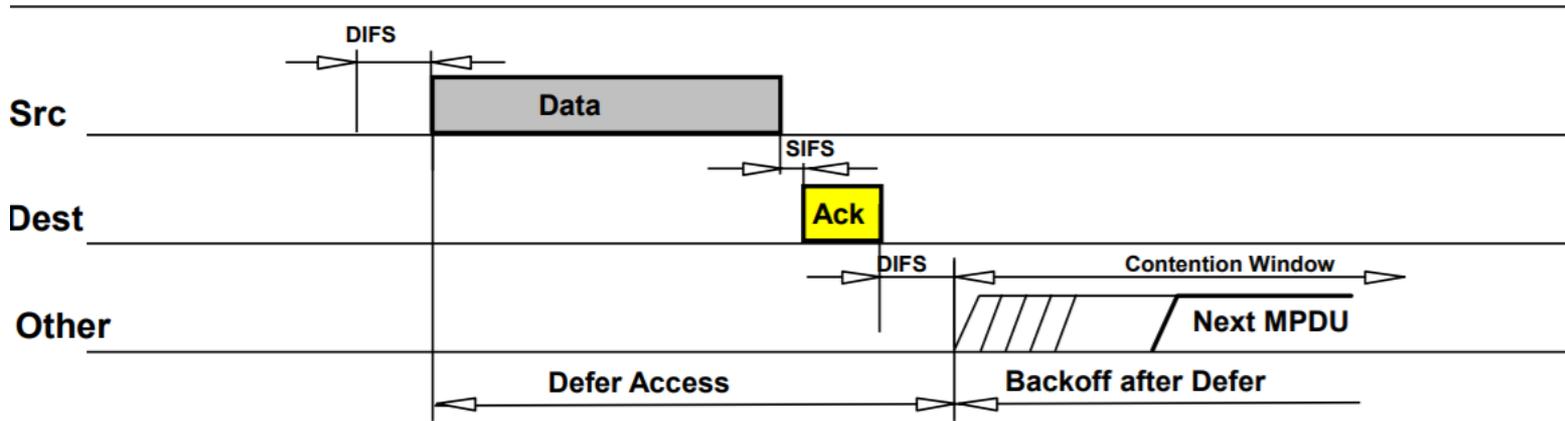
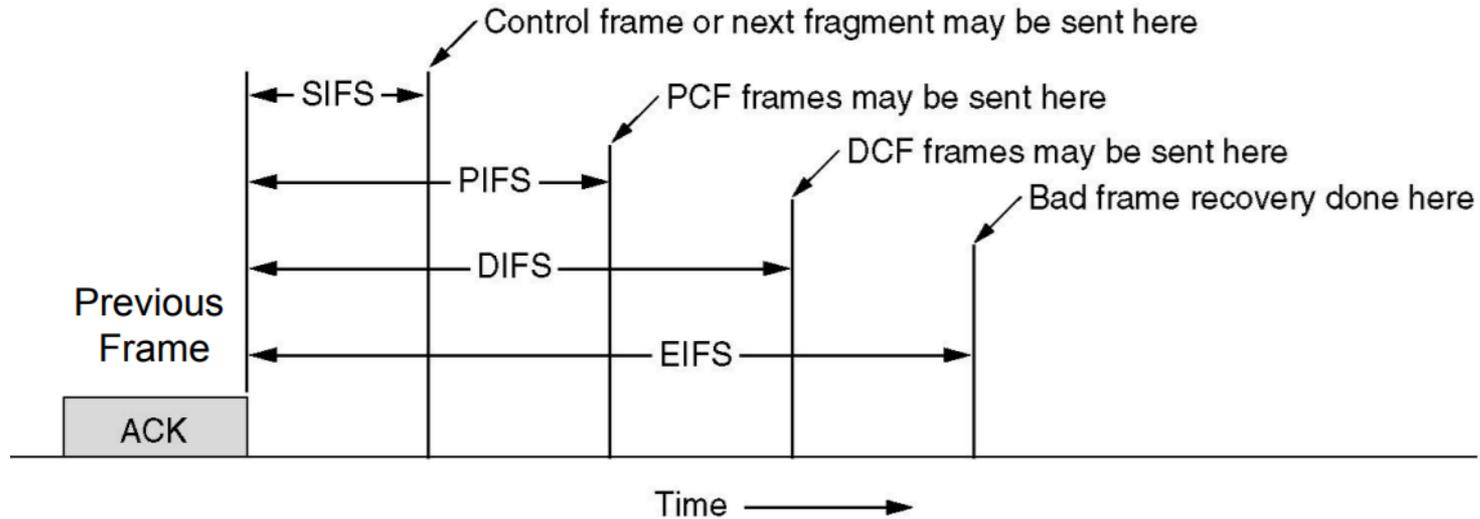
- se la frame è ricevuta in maniera corretta
  - restituisce un ACK dopo un tempo **SIFS** (Short Inter Frame Space)

$SIFS < DIFS$ , gli ACK hanno priorità di accesso rispetto alle frame che portano dati



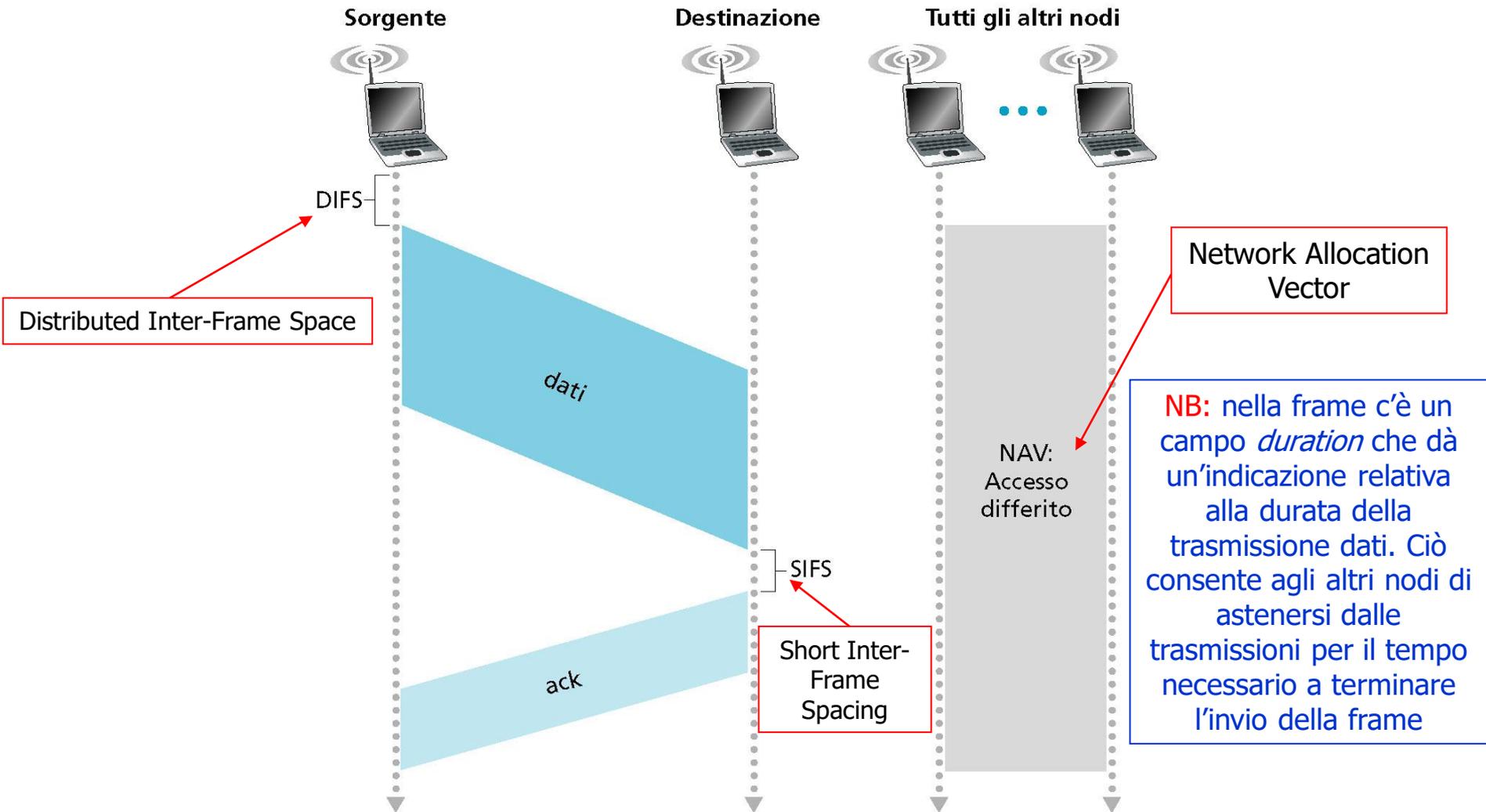


# Interframe spacing e sequenza di trasmissione





# WLAN/802.11: gestione dell'accesso





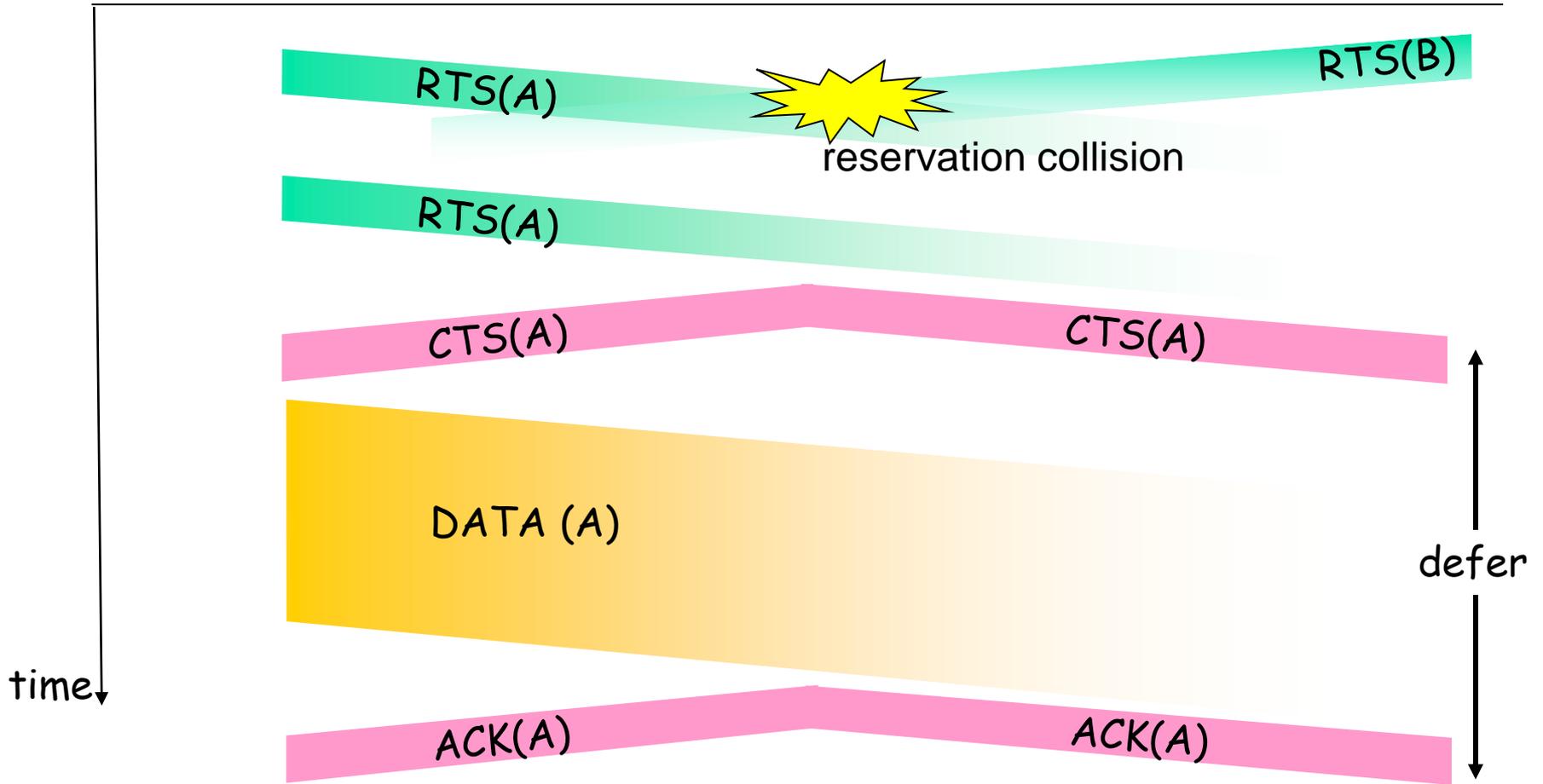
# Collision Avoidance: RTS/CTS

- *Idea:* consentire al mittente di “prenotare” il canale
  - Evitare collisioni per le frame di dati “lunghe”
- Soluzione opzionale
- Il mittente trasmette prima una piccola frame request-to-send (RTS) all'AP, usando il CSMA
  - Le frame RTS possono collidere (ma sono piccole...)
- L'AP invia in broadcast una frame clear-to-send CTS in risposta alla frame RTS
- La frame CTS è ascoltata da tutti i nodi
  - Il mittente trasmette la frame dati
  - Le altre stazioni differiscono le loro trasmissioni

Si evitano completamente le collisioni sui dati, usando piccoli pacchetti di prenotazione!

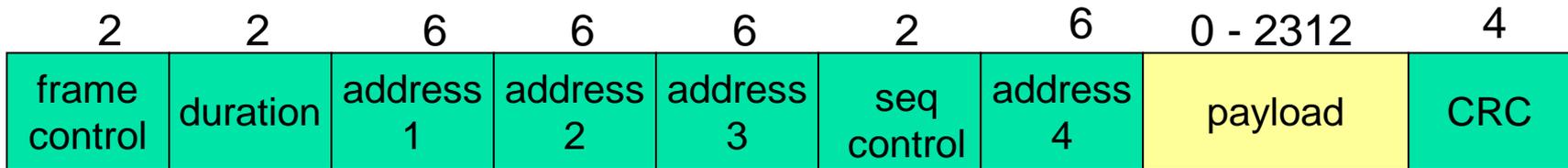


# Collision Avoidance: RTS-CTS exchange





# 802.11 frame: addressing



**Address 1:** MAC address of wireless host or AP to receive this frame

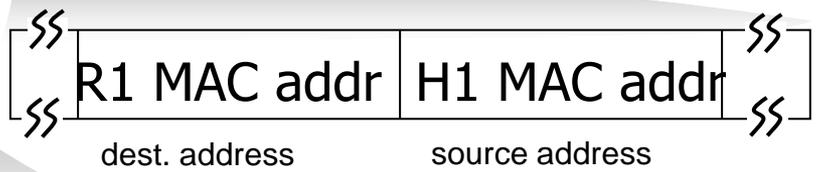
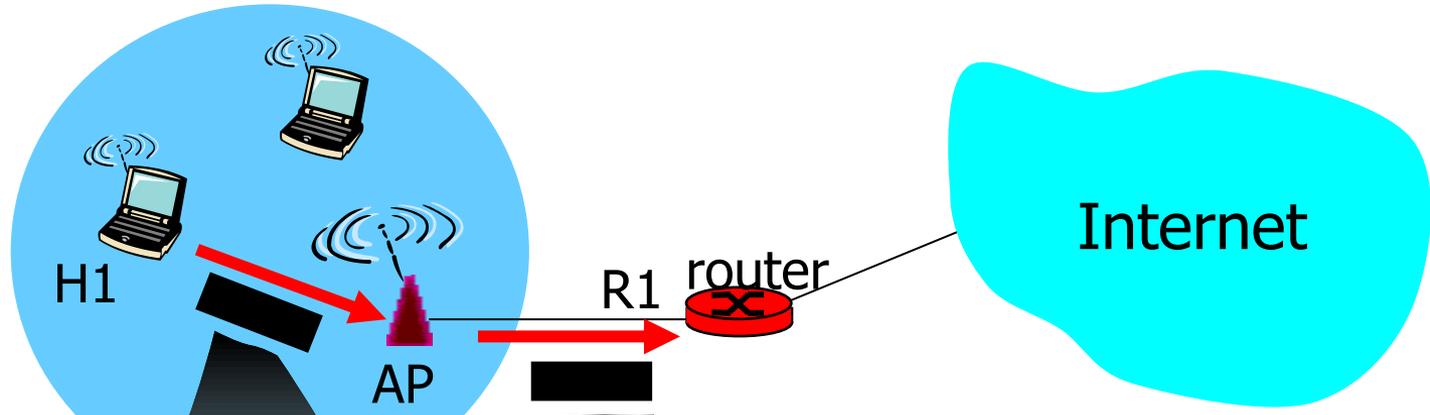
**Address 2:** MAC address of wireless host or AP transmitting this frame

**Address 3:** MAC address of router interface to which AP is attached

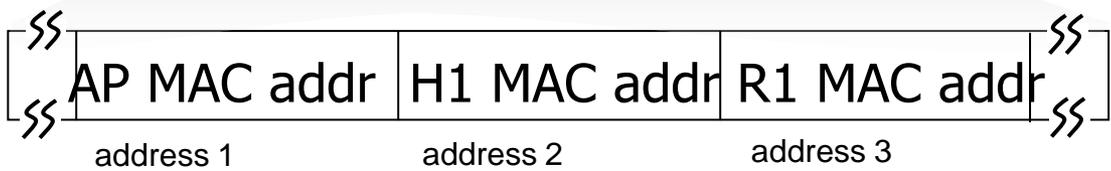
**Address 4:** used only within infrastructure



# 802.11 frame: addressing



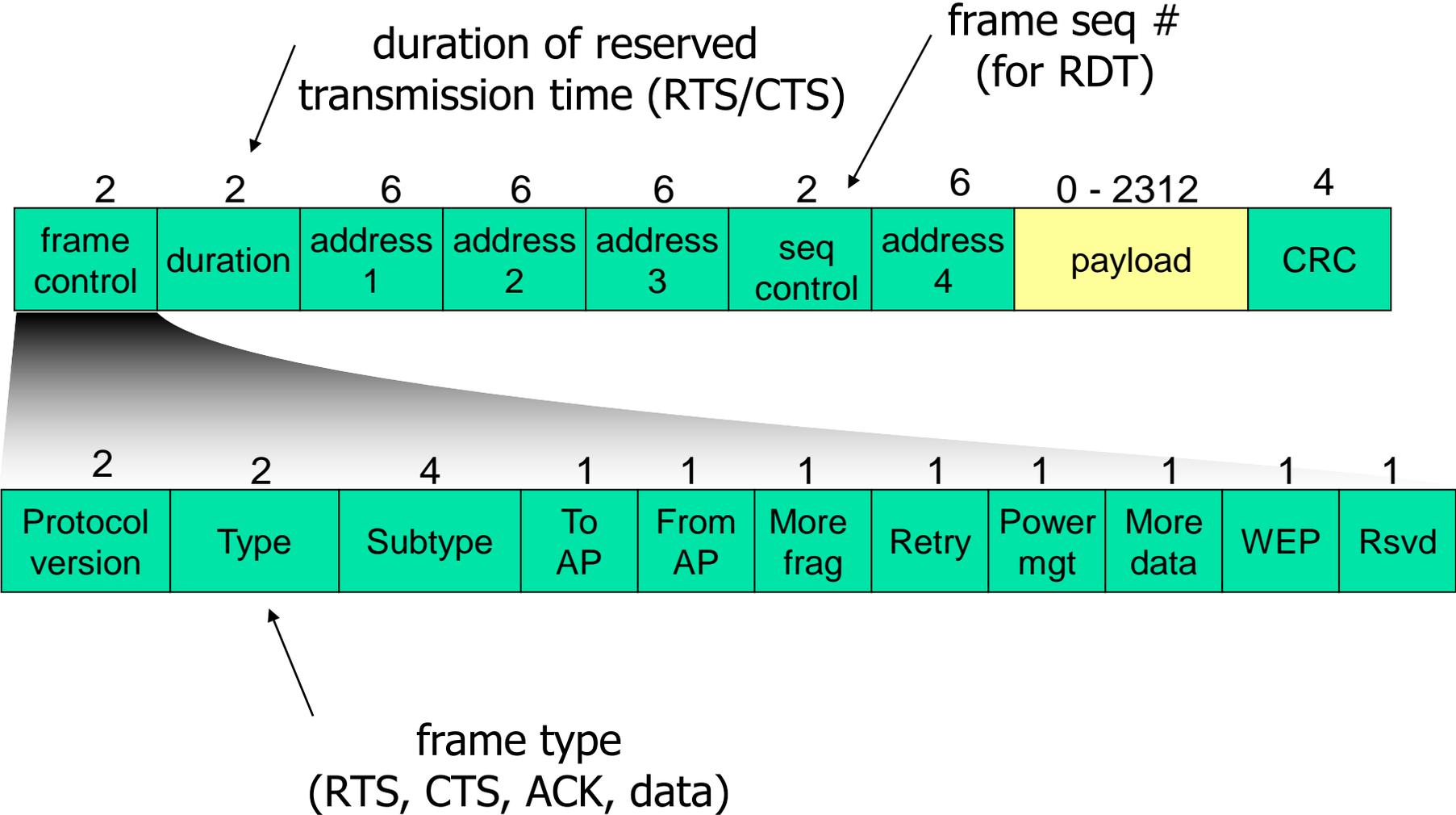
802.3 frame



802.11 frame



# 802.11 frame: altri dettagli





## WLAN/802.11: collision avoidance (1/2)

- Lo standard 802.11 risolve il problema dello hidden terminal introducendo l'algoritmo CSMA/CA con RTS/CTS
- Prima di inviare i dati, il mittente trasmette una frame di "richiesta di trasmissione":
  - Request to Send (RTS):
    - In tale frame è presente anche un campo che indica la lunghezza della frame dati da trasmettere
- Il ricevitore risponde con una frame di "permesso di trasmissione":
  - Clear to Send (CTS)
    - In tale frame viene replicato il valore relativo alla lunghezza dei dati, annunciato dal mittente

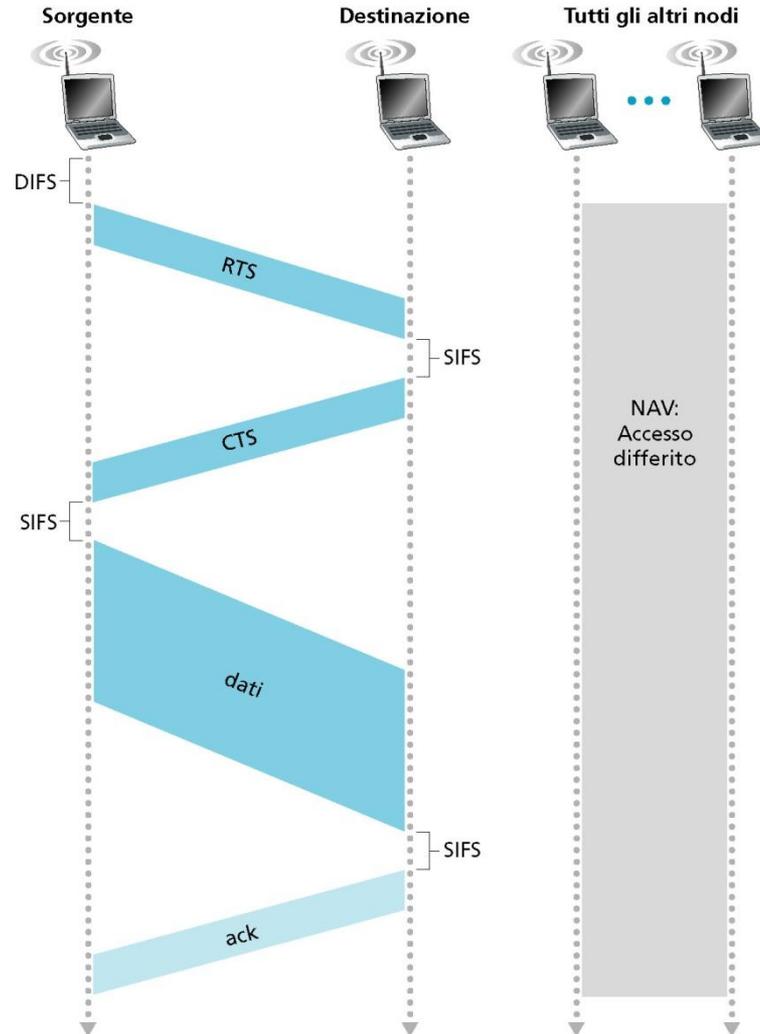


## WLAN/802.11: collision avoidance (2/2)

- Un nodo che vede la frame CTS sa di essere vicino al ricevitore:
  - Esso non può trasmettere per tutto il tempo necessario ad inviare la frame dati (la cui lunghezza è stata specificata nella frame RTS)
- Un nodo che vede la frame RTS, ma non quella CTS, non è abbastanza vicino al ricevitore per interferire con esso e può quindi trasmettere senza attendere
- Il ricevitore invia un ACK dopo aver ricevuto una frame
- I nodi non rilevano le collisioni:
  - Se due nodi inviano una frame RTS in contemporanea, queste frame collideranno
  - I nodi assumono che vi sia stata una collisione se non ricevono una frame CTS di risposta



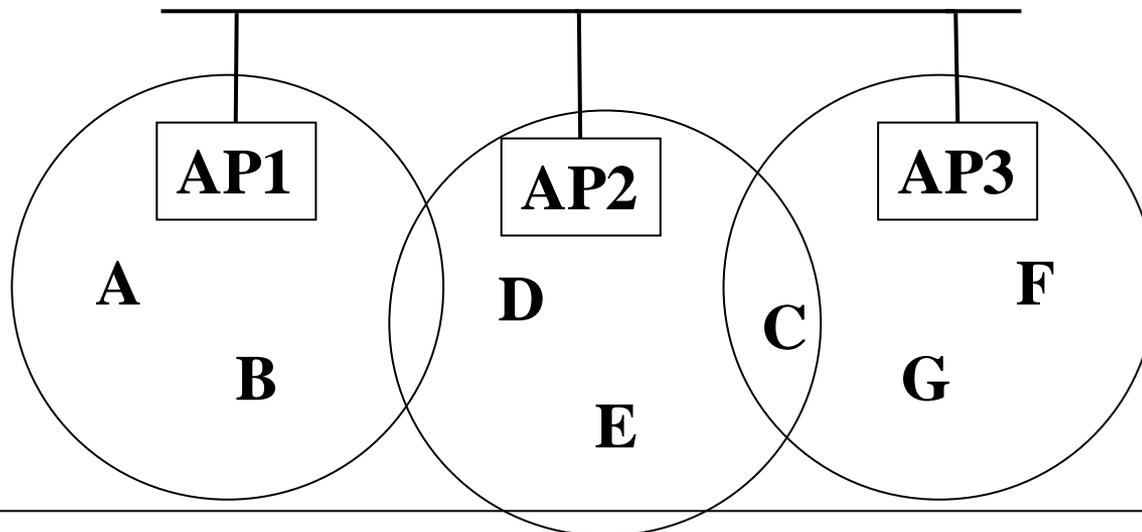
# WLAN/802.11: il CSMA/CA in funzione





# WLAN/802.11: Distribution system (1/4)

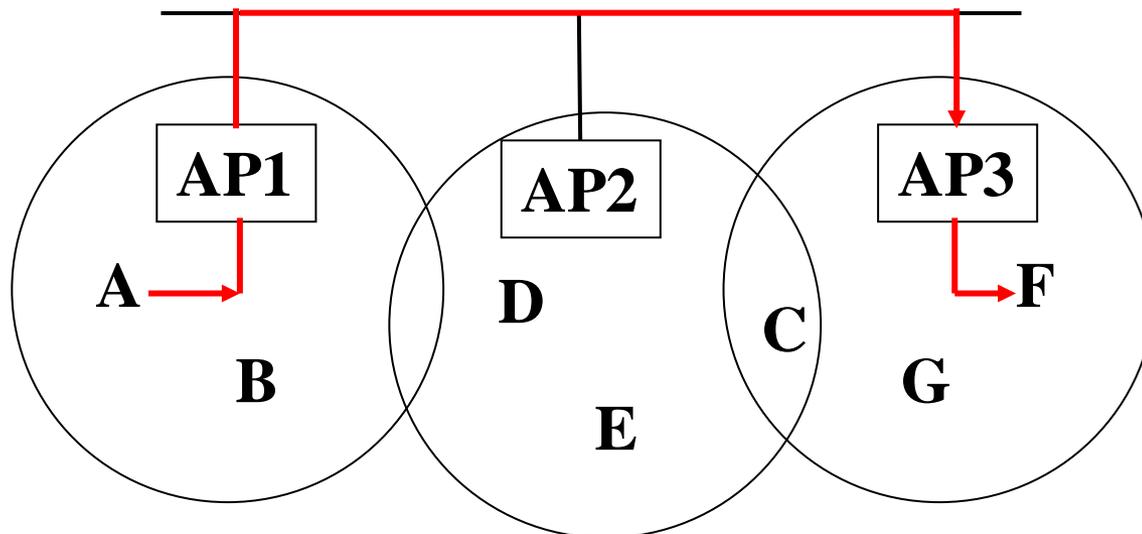
- Per fornire il supporto alla mobilità e la connessione ad altre reti (prima tra tutte, la rete Internet), si utilizzano dei nodi speciali:
  - Access Point (AP):
    - Si tratta di nodi connessi ad un'infrastruttura di rete fissa, chiamata *Distribution System*





## WLAN/802.11: Distribution system (2/4)

- Ogni nodo si associa ad un particolare *access point*
- Se A vuole comunicare con F:
  - A invia una frame al suo access point (AP1)
  - AP1 inoltra ad AP3 la frame attraverso il *distribution system*
  - AP3 trasmette la frame ad F





## WLAN/802.11: Distribution system (3/4)

- La tecnica per selezionare un Access Point è detta *scanning* e prevede quattro passi:
  1. Il nodo invia una frame di *probe*
  2. Tutti gli AP alla portata del nodo rispondono con una frame di *risposta al probe*
  3. Il nodo seleziona uno degli AP (tipicamente quello con la migliore qualità del segnale ricevuto), e gli invia una frame di *richiesta di associazione*
  4. L'AP selezionato risponde con una frame di *conferma di associazione*



# WLAN/802.11: Distribution system (4/4)

- Il protocollo descritto è utilizzato:
  - Quando il nodo si unisce alla rete
  - Quando il nodo diventa “scontento” dell’attuale AP utilizzato
    - Questo avviene, per esempio, perché il segnale ricevuto da tale AP risulta indebolito a causa del fatto che il nodo si sta allontanando da esso
- Durante lo spostamento, un nodo potrebbe preferire un nuovo AP ed inviargli una richiesta di associazione:
  - Il nuovo AP invia una notifica del cambiamento al vecchio AP, attraverso il *distribution system*



# I valori degli indirizzi

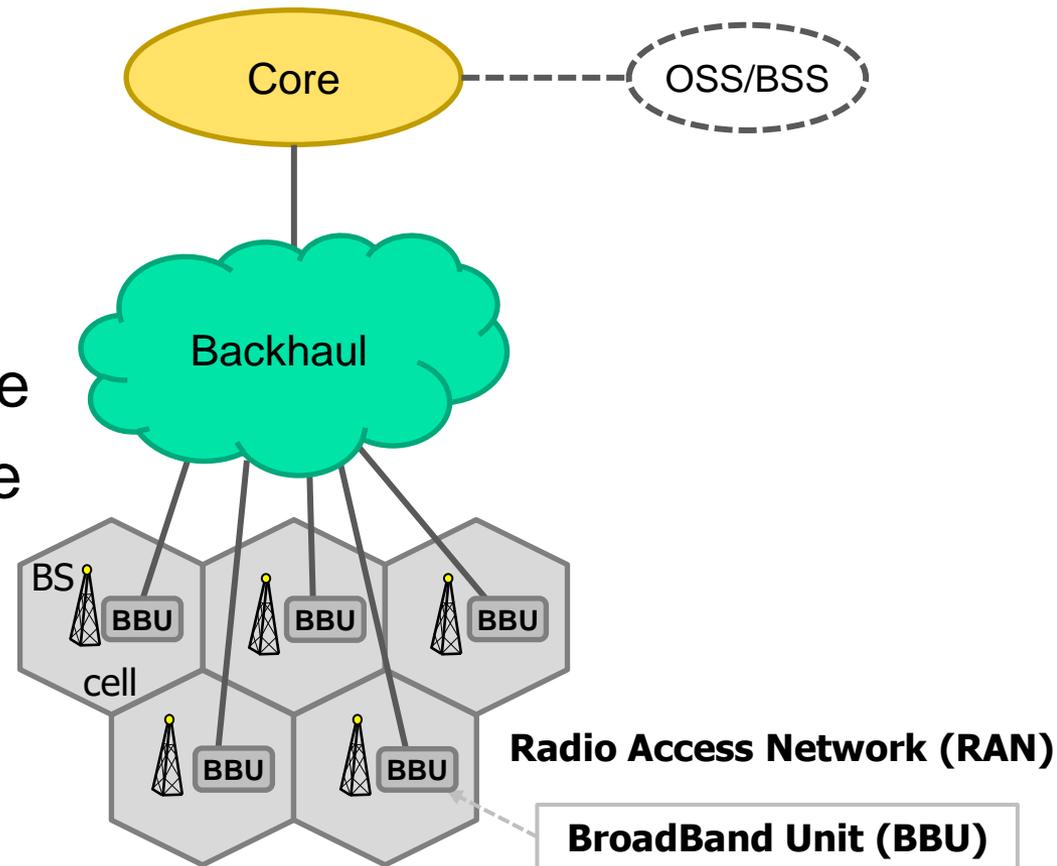
| scenario                          | to DS | from DS | address 1 | address 2 | address 3 | address 4 |
|-----------------------------------|-------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| ad-hoc network                    | 0     | 0       | DA        | SA        | BSSID     | -         |
| infrastructure network, from AP   | 0     | 1       | DA        | BSSID     | SA        | -         |
| infrastructure network, to AP     | 1     | 0       | BSSID     | SA        | DA        | -         |
| infrastructure network, within DS | 1     | 1       | RA        | TA        | DA        | SA        |

- SA = Source Address
- DA = Destination Address
- BSSID = Indirizzo dell'AP
- TA = Transmitter Address
- RA = Receiver Address



# Cenni alla struttura delle reti cellulari

- Le reti cellulari sono reti pubbliche a copertura nazionale
- Sono gestite da operatori commerciali su licenza concessa a livello nazionale
- Il territorio è ripartito in celle
- La rete consiste di:
  - una parte di accesso, detta RAN
  - una parte wired detta di backhaul
  - un backbone o core





# Uso delle frequenze nelle reti cellulari

- Nelle reti cellulari, l'operatore utilizza bande di frequenza licenziate ripartite in canali non sovrapposti le cui frequenze centrali sono assegnate secondo lo schema di figura
  - Due celle adiacenti usano canali non sovrapposti

