



Reti di Calcolatori I

Prof. Roberto Canonico

Dipartimento di Ingegneria Elettrica e delle Tecnologie dell'Informazione

Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

A.A. 2020-2021

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



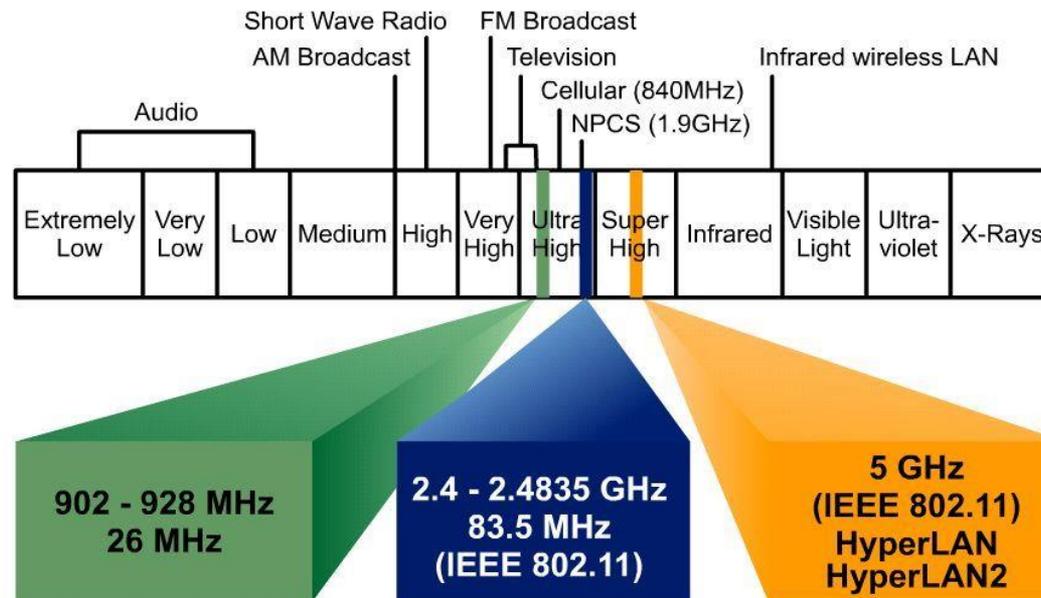
Reti wireless

- 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



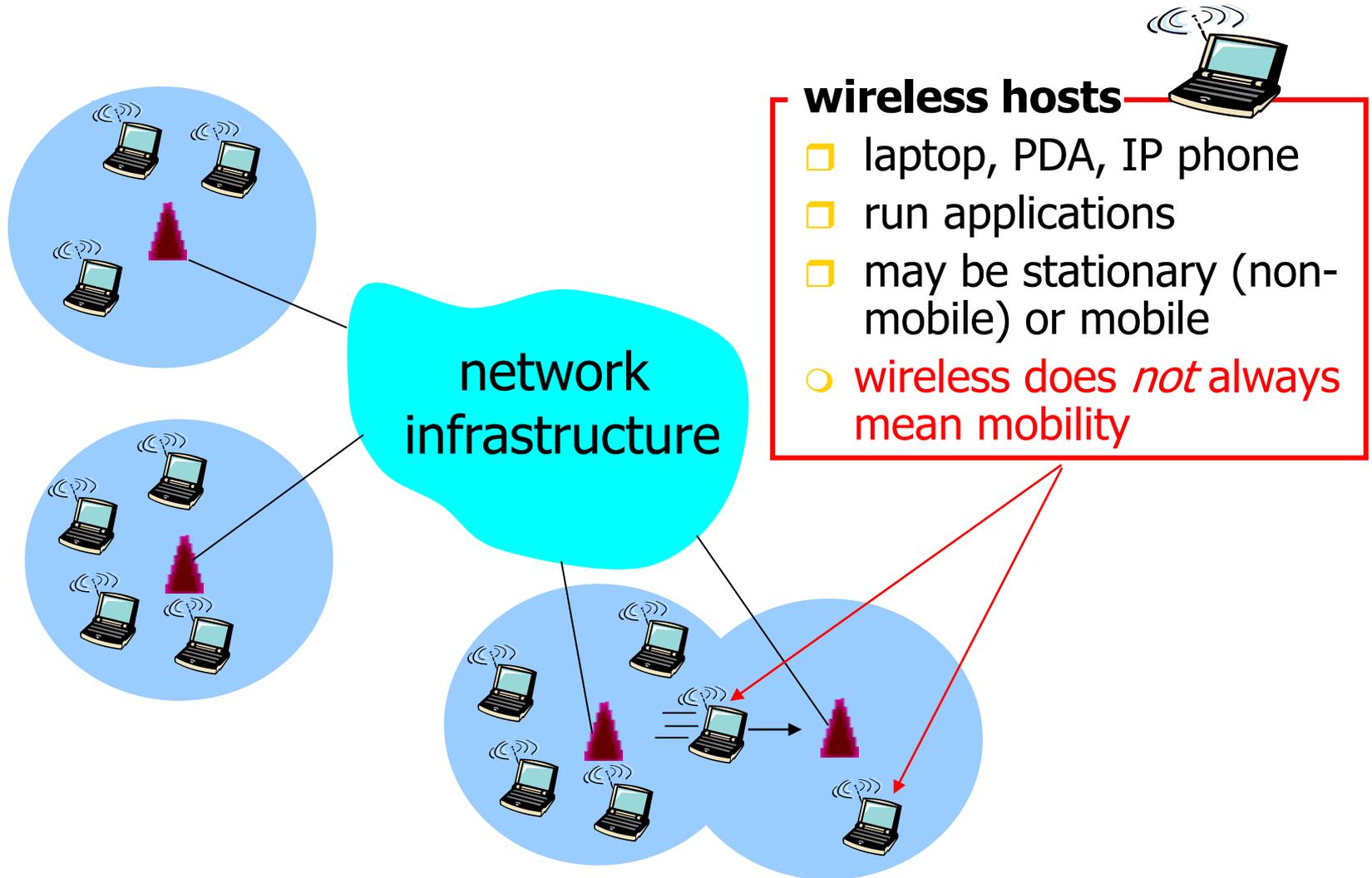


Bande ISM nel mondo

- 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

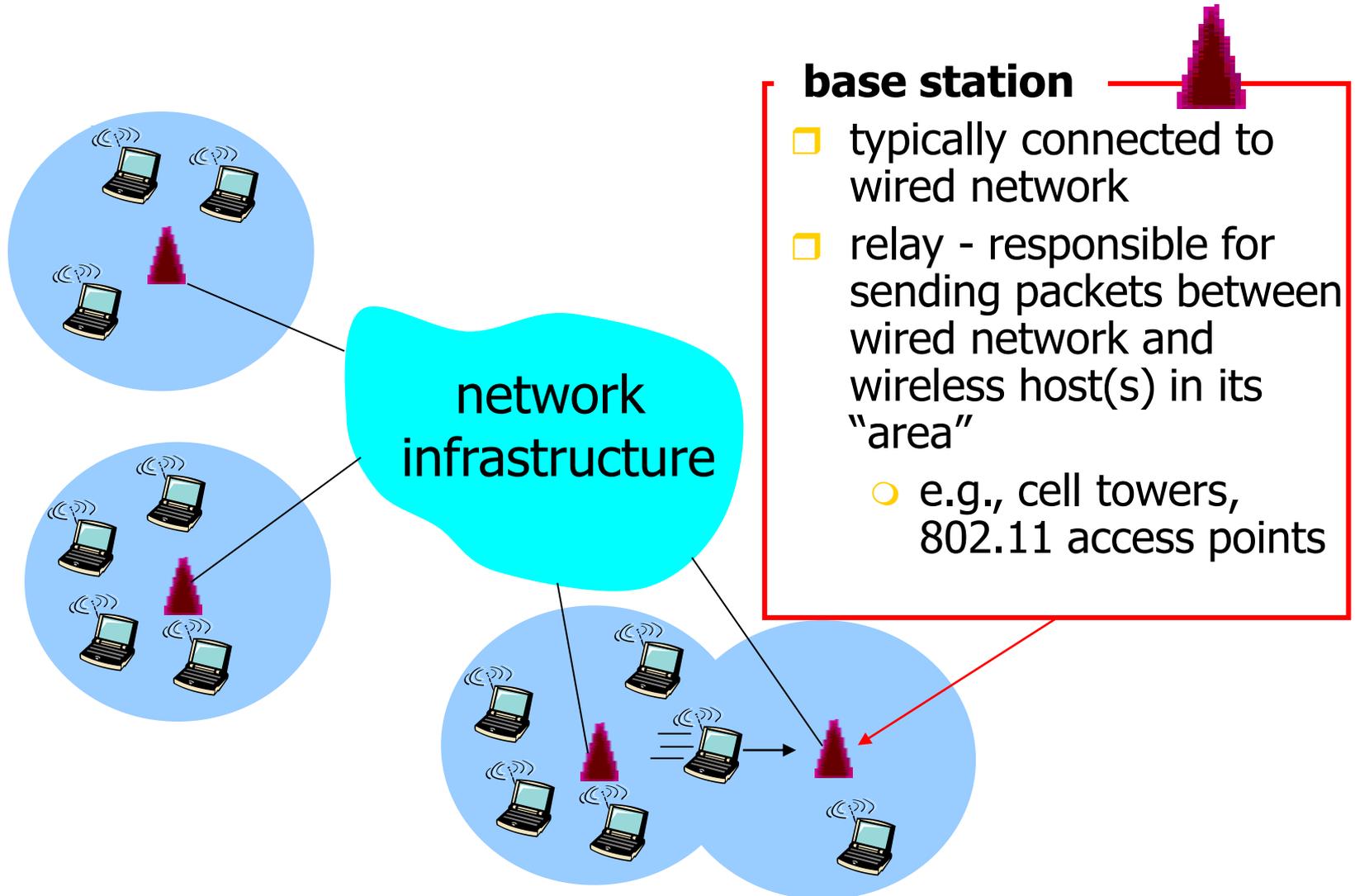


Elements of a wireless network



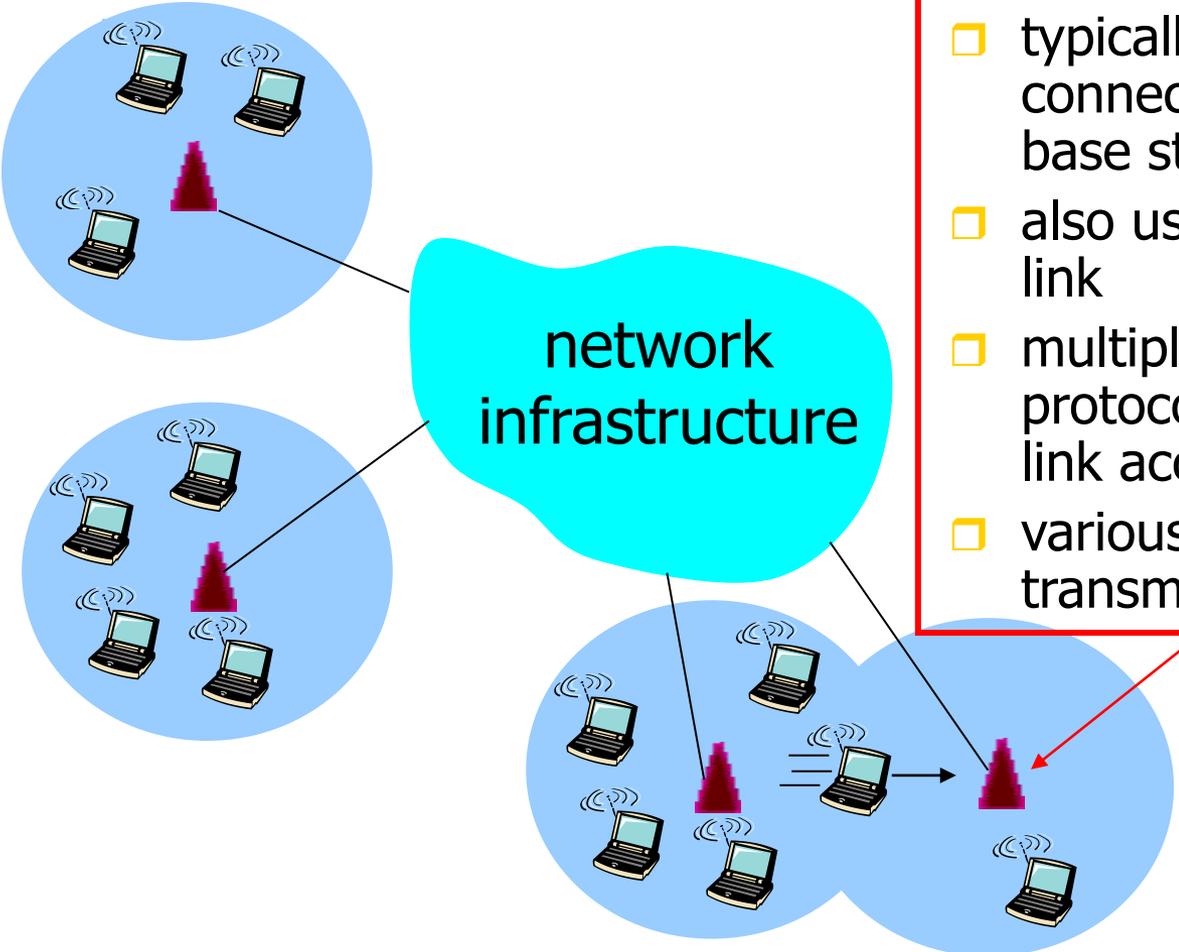


Elements of a wireless network





Elements of a wireless network

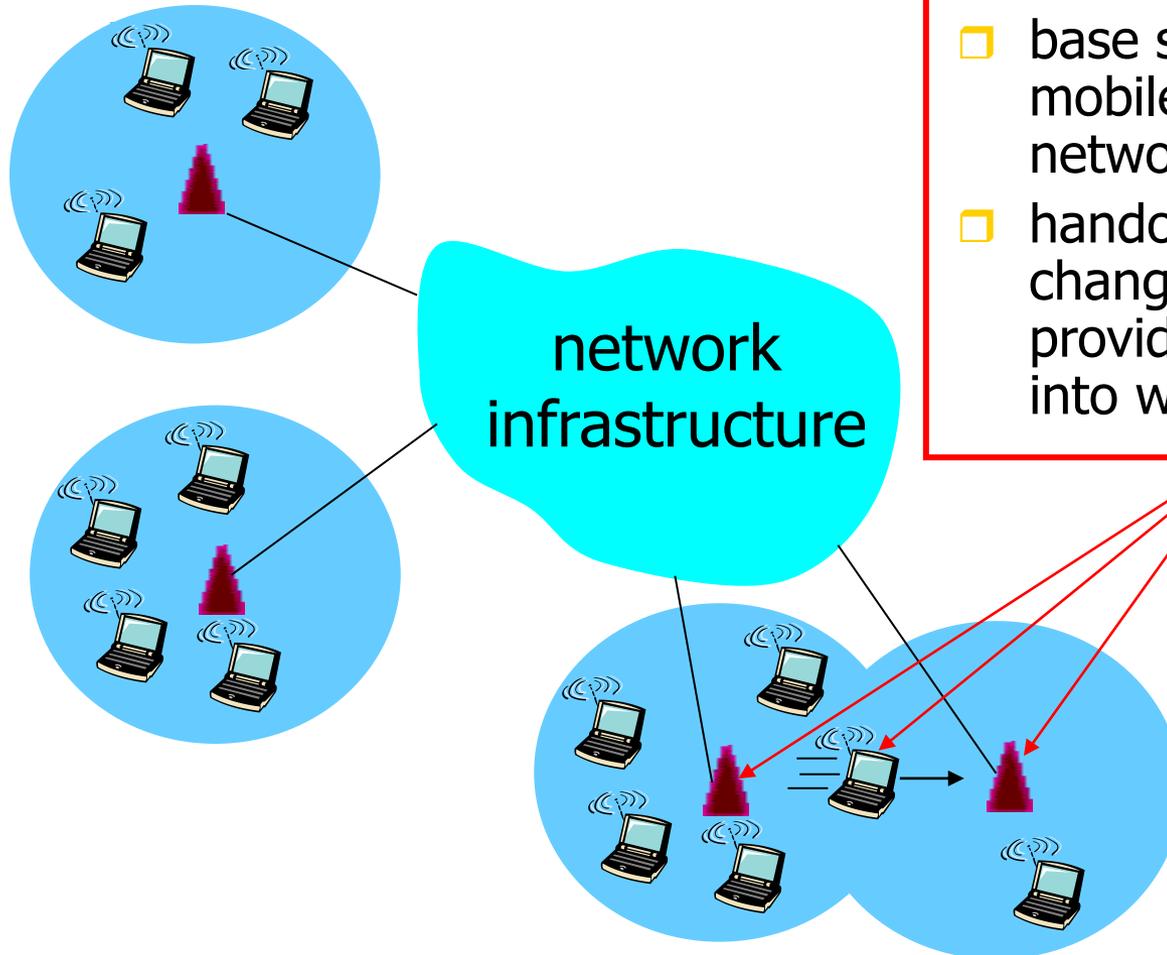


wireless link

- typically used to connect mobile(s) to base station
- also used as backbone link
- multiple access protocol coordinates link access
- various data rates, transmission distance



Elements of a wireless network

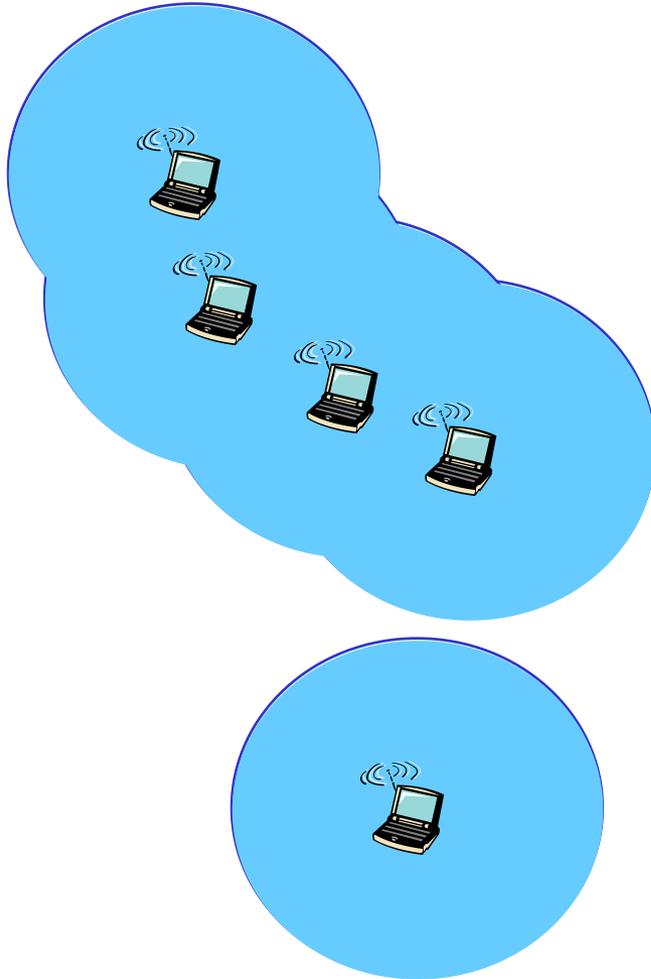


infrastructure mode

- 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 (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 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”

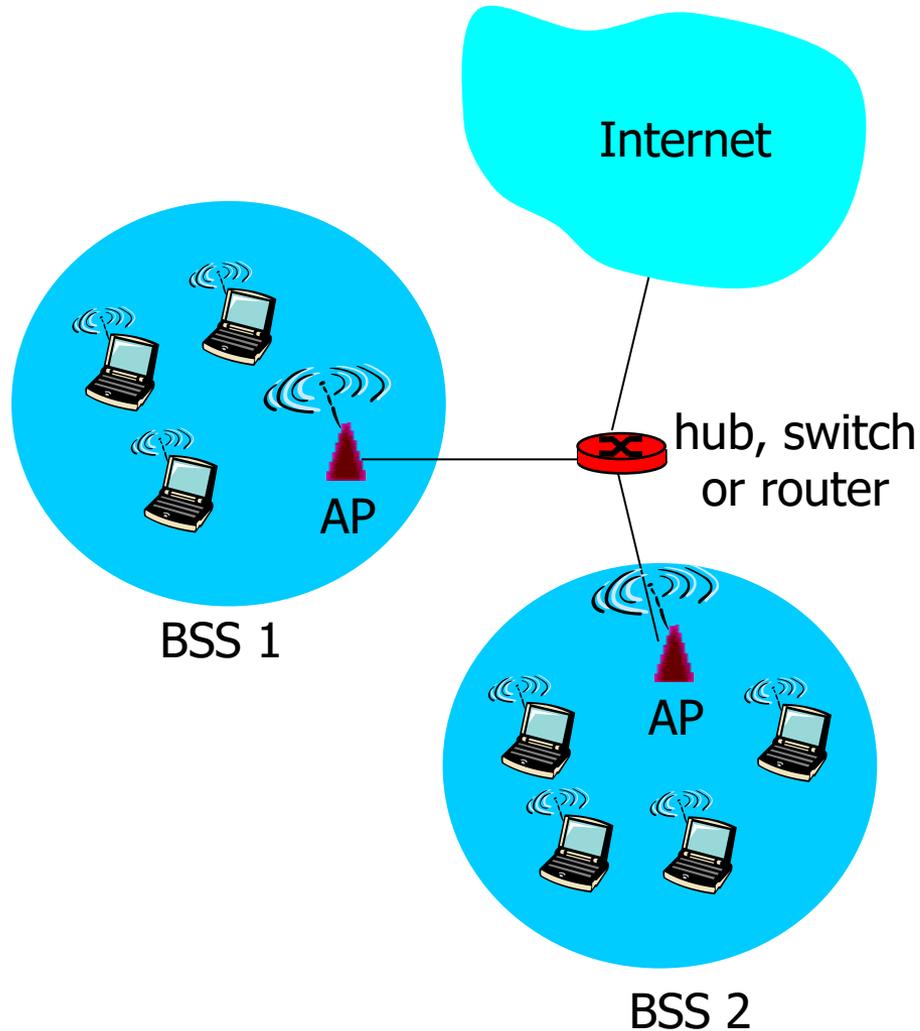


Reti LAN wireless: WLAN

- 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: livello fisico

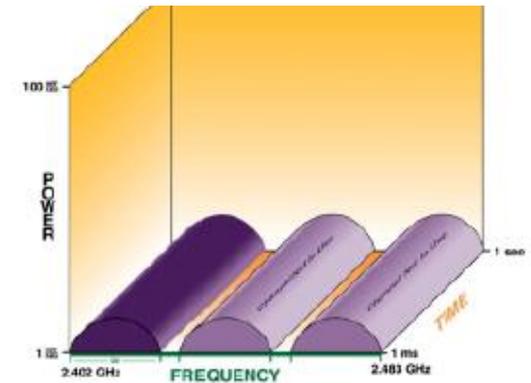
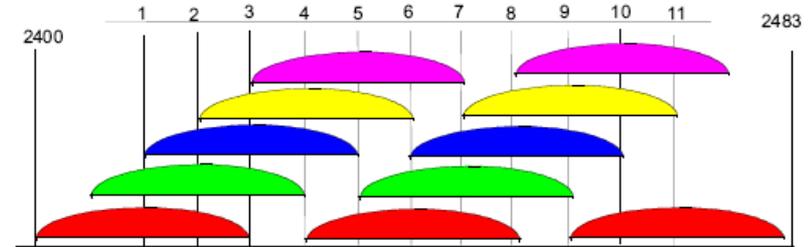
- Le tecnologie di rete WLAN sono progettate per trasmettere dati nelle bande ISM
- Esse usano principalmente due tecniche:
 - *direct sequence* → 802.11/WiFi
 - *frequency hopping* → Bluetooth
- Le due tecniche sono del tipo “*spread spectrum*”:
 - L’obiettivo di tali tecniche è quello di diffondere il segnale su di un intervallo di frequenza ampio, in modo tale da minimizzare l’effetto dell’interferenza da parte di altri dispositivi



Spread spectrum

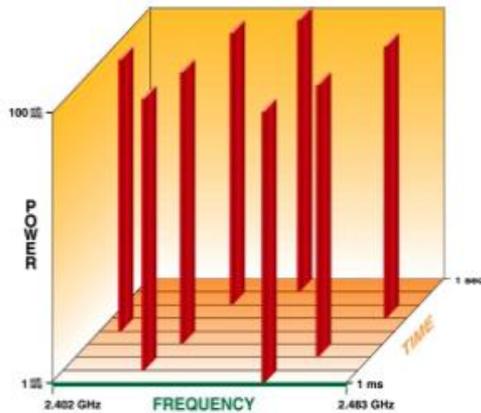
- **Direct sequence**

- 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





Bluetooth: 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



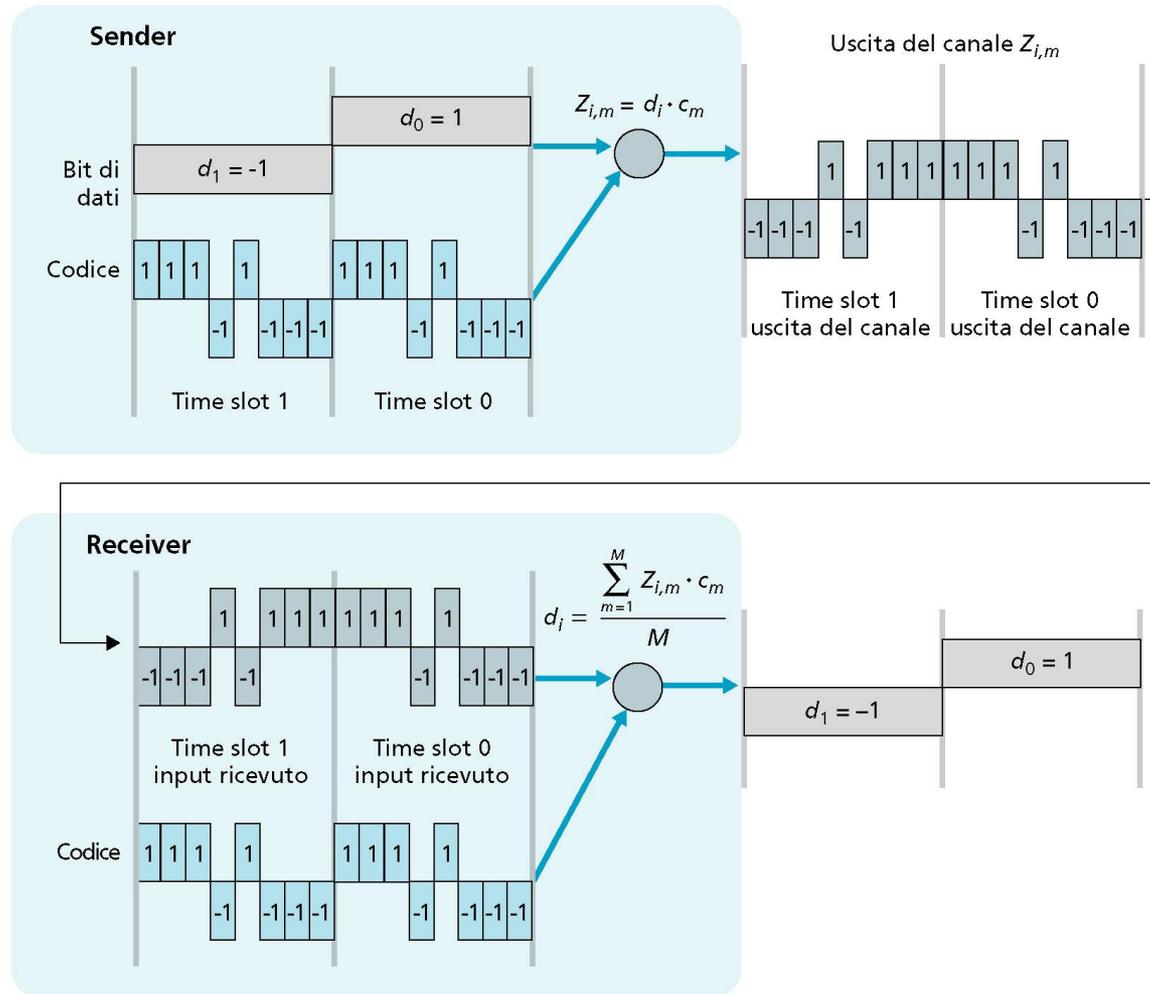
Protocolli di suddivisione del canale: CDMA

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”

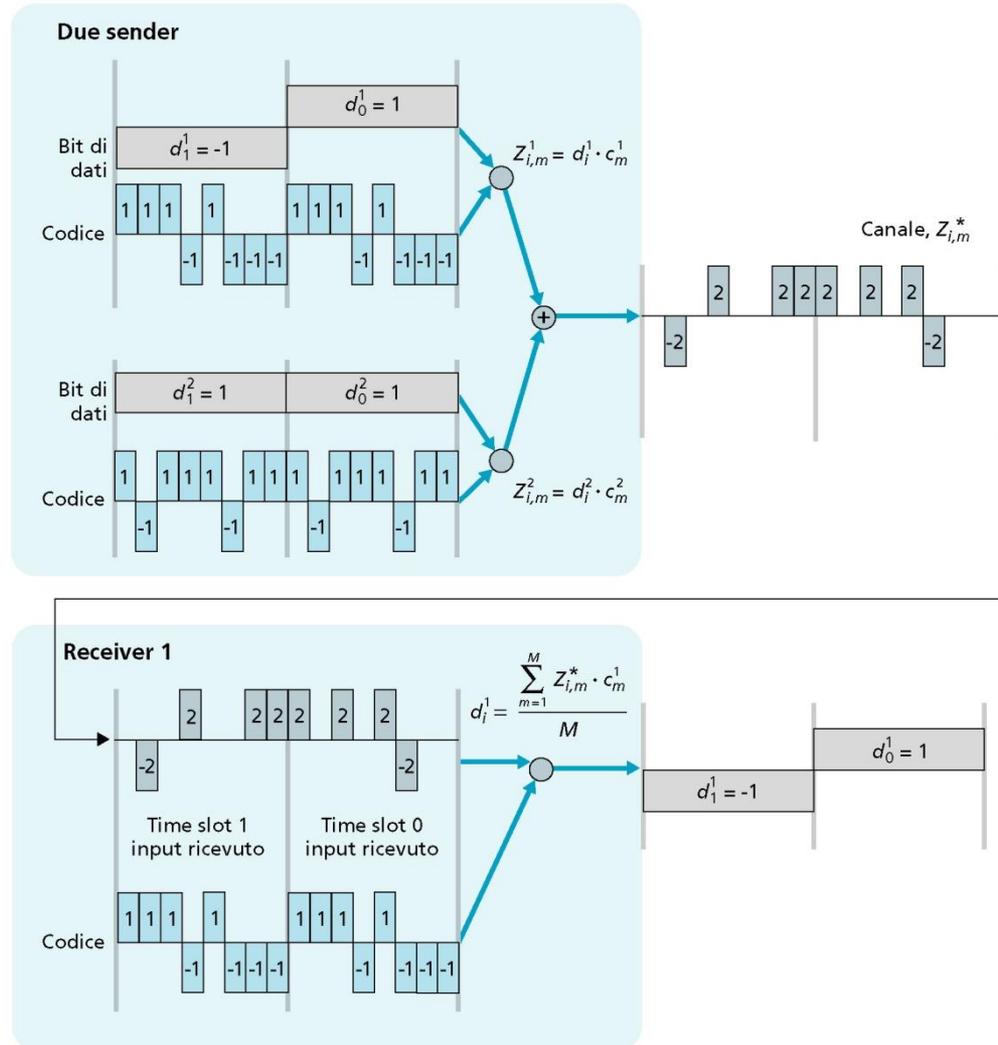


CDMA: codifica e decodifica





CDMA: interferenza tra due mittenti*



* CDMA lavora nell'ipotesi che i segnali dei bit trasmessi con interferenza siano cumulativi. 20



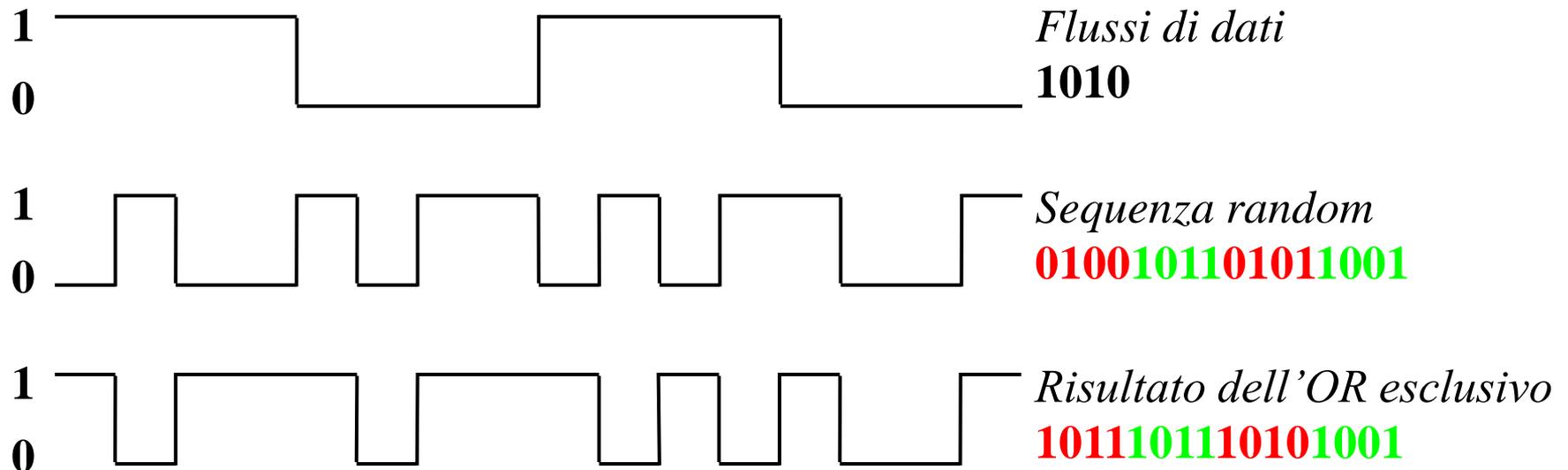
802.11/ WiFi: direct sequence

- 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



Direct sequence

- Un esempio: chipping sequence a 4 bit



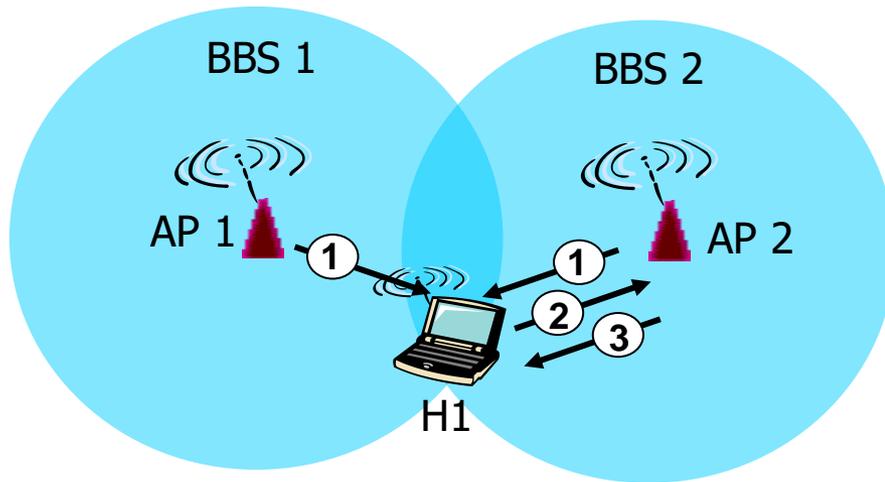


802.11: Canali ed associazione ad un Access Point

- 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

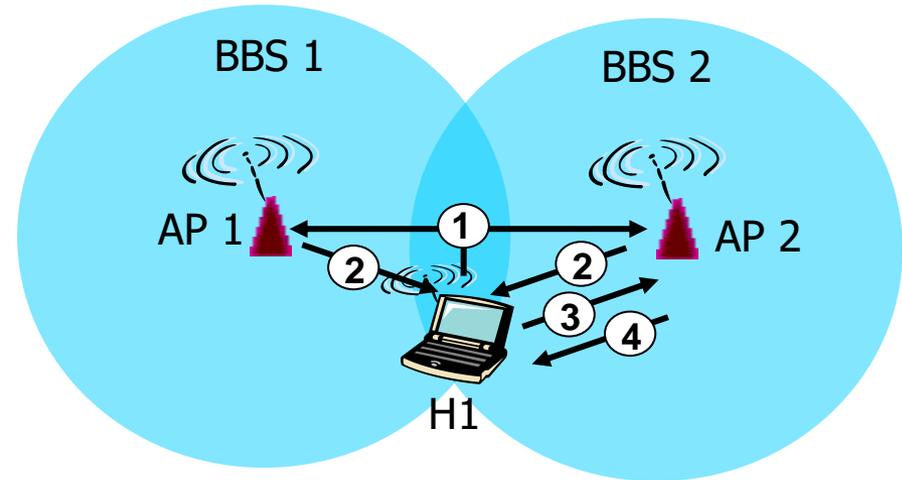


802.11: passive/active scanning



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



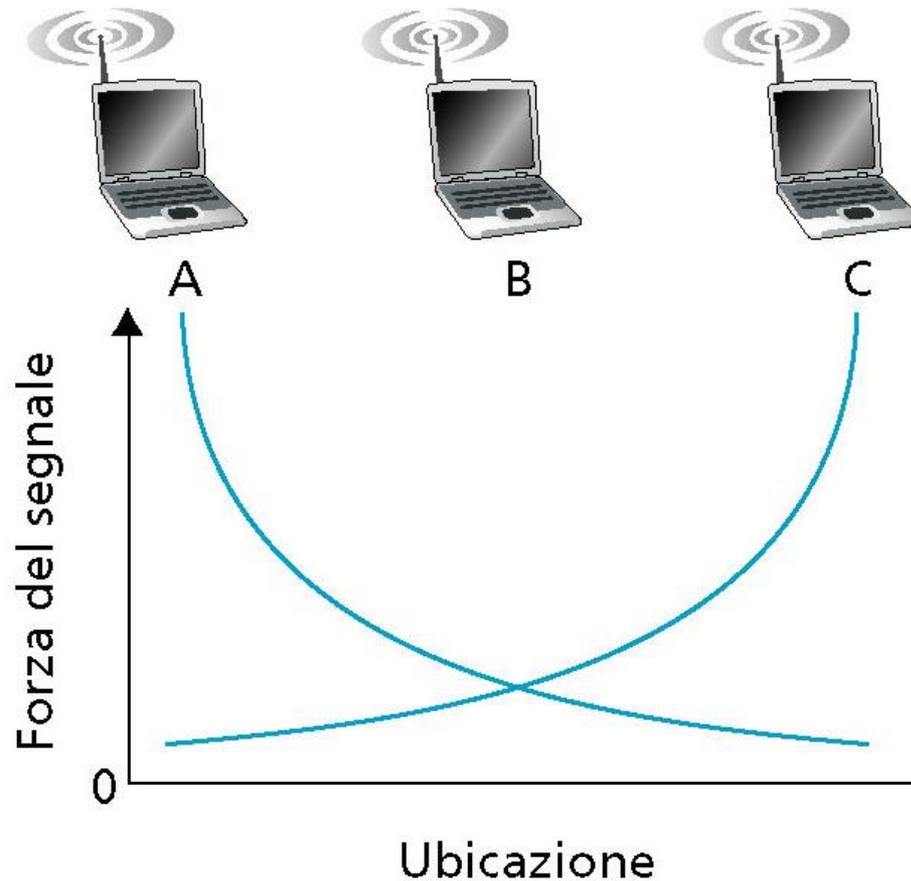
Active Scanning:

- (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...



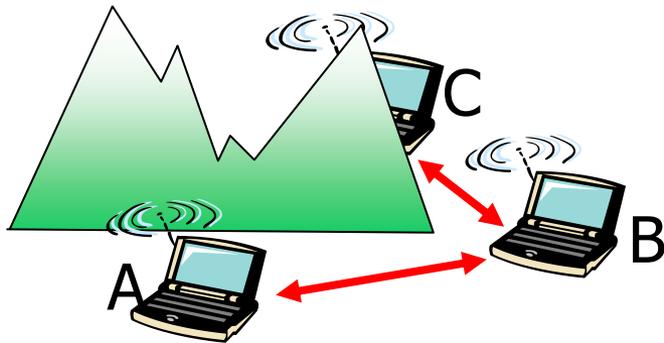
...i segnali sono, tuttavia, abbastanza forti da presentare interferenza tra loro alla stazione B

(b)

Wireless network characteristics

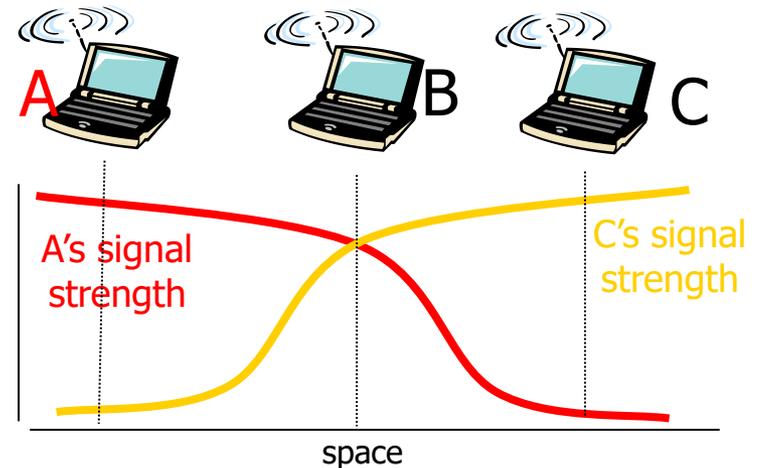


Multiple wireless senders and receivers create additional problems (beyond multiple access):



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



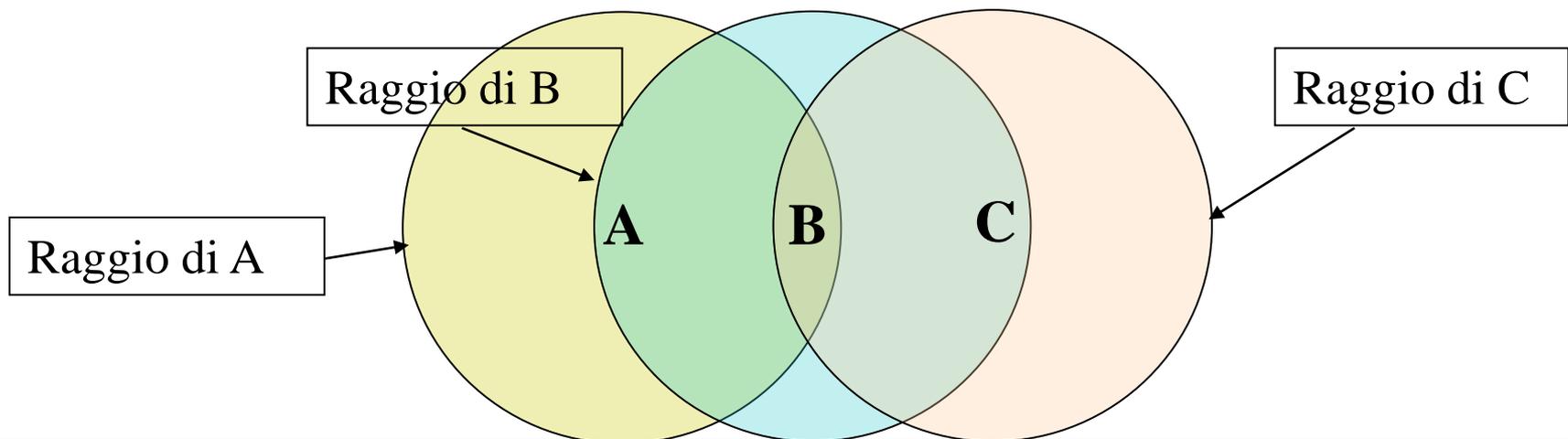
Signal attenuation:

- 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

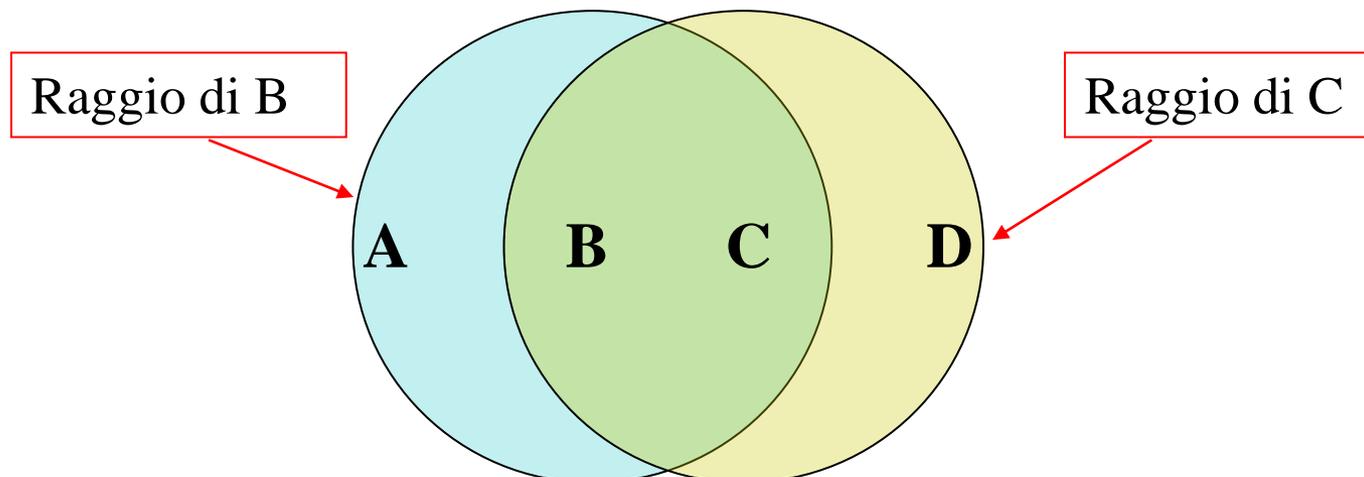
- Le trasmissioni di A non sono ascoltate da C (e viceversa)
- A e C possono inviare dati simultaneamente verso B causando una collisione in ricezione
- Né A né C sono in grado di rilevare la collisione
- A e C sono detti *nodì nascosti* (l'uno rispetto all'altro)





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

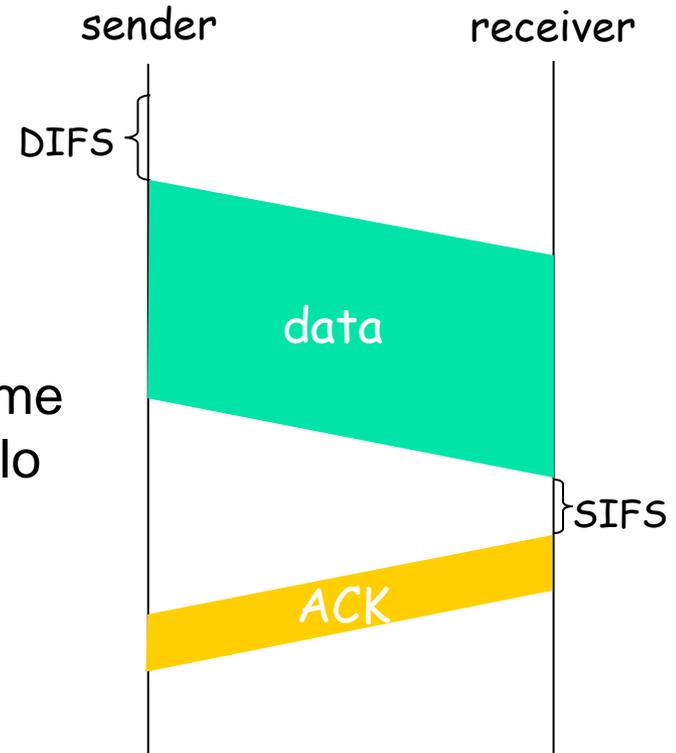
802.11 sender

- 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

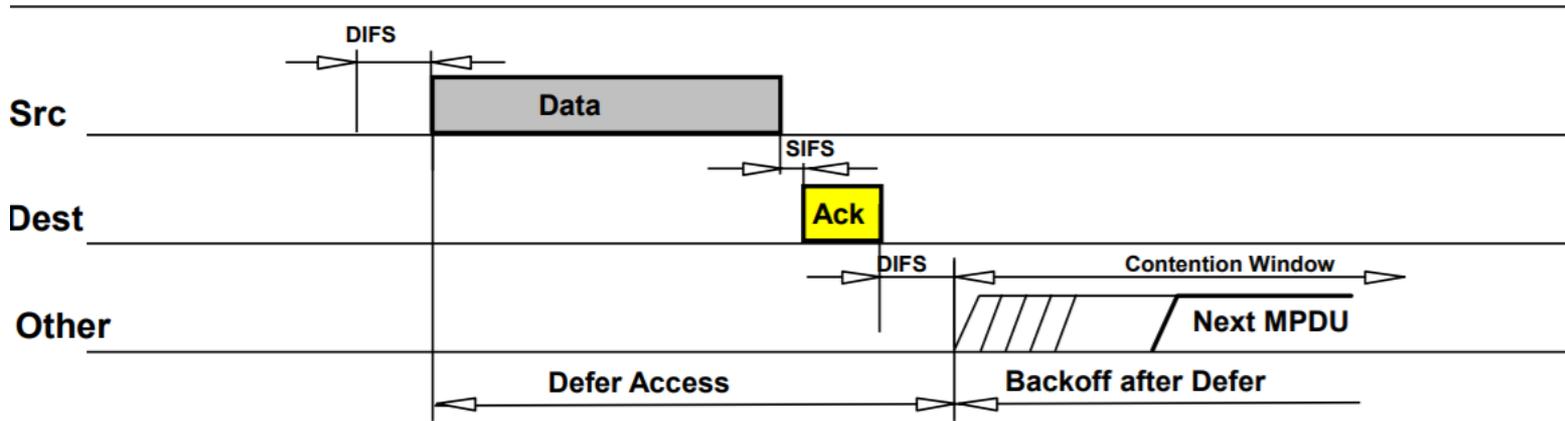
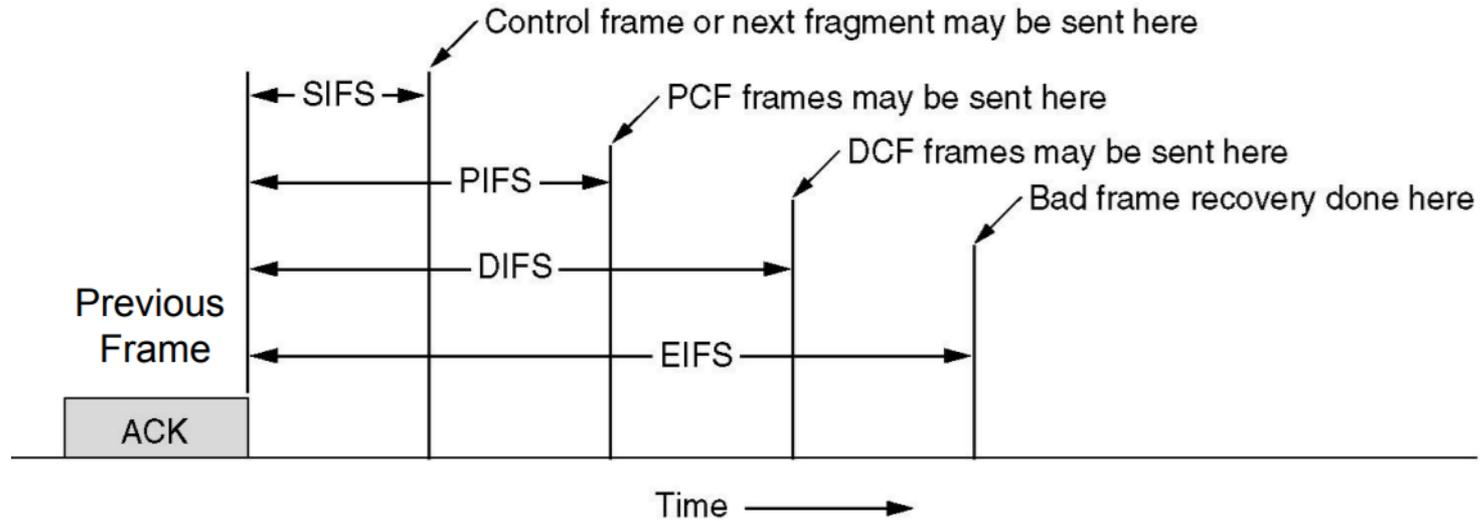
- se la frame è ricevuta in maniera corretta
 - restituisce un ACK dopo un tempo **SIFS** (Short Inter Frame Space)

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



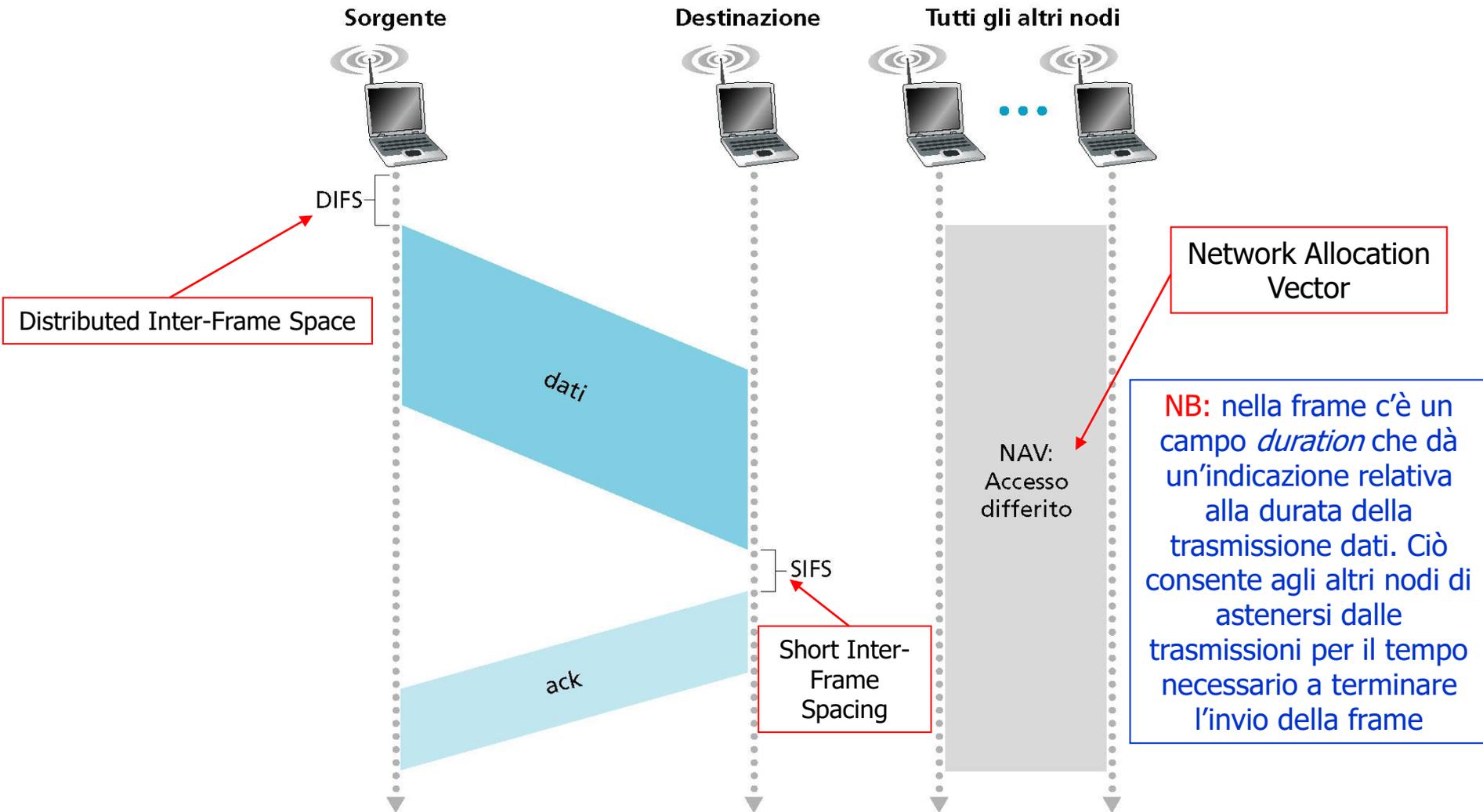


Interframe spacing e sequenza di trasmissione





WLAN/802.11: gestione dell'accesso





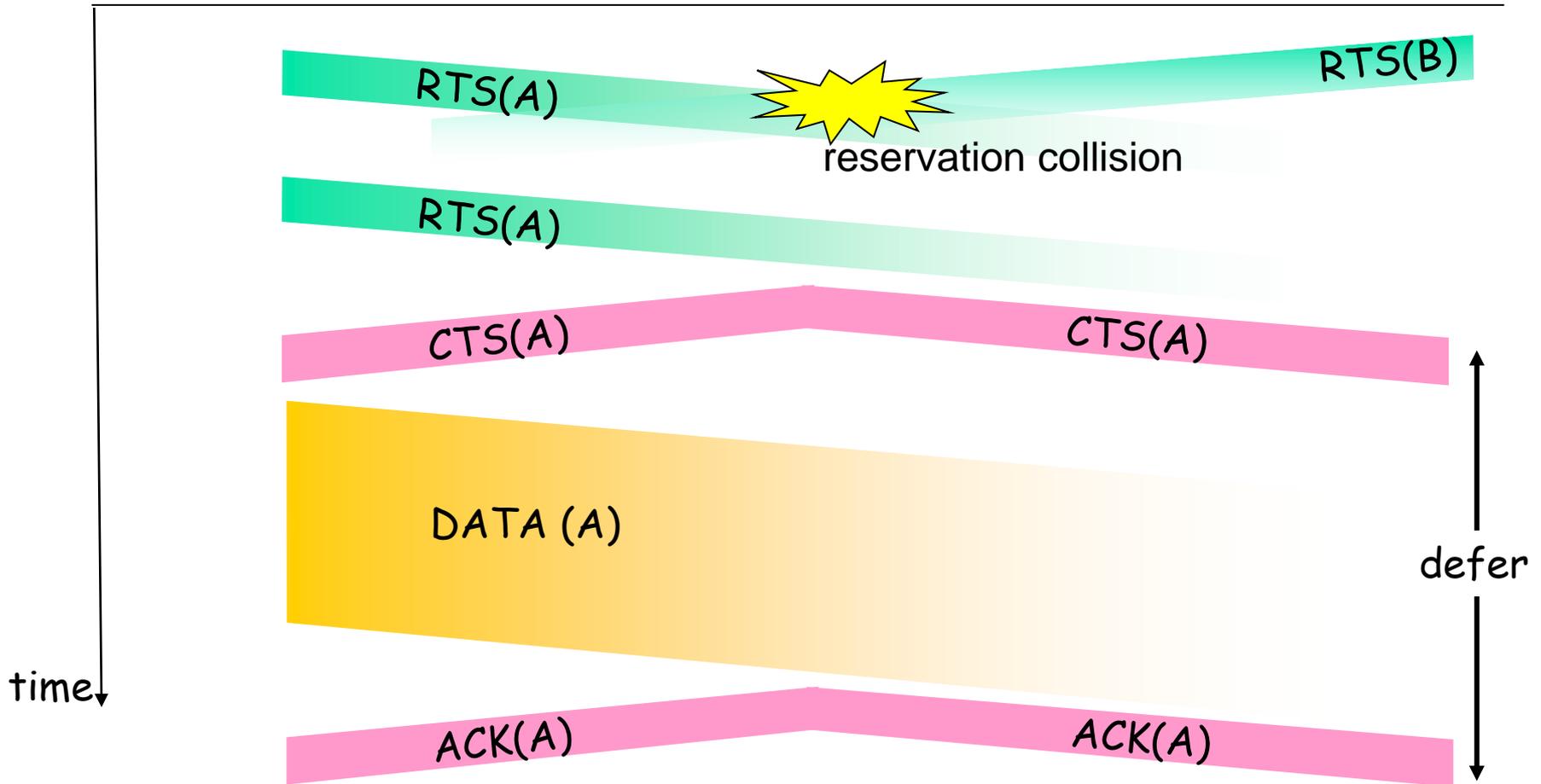
Collision Avoidance: RTS/CTS

- *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!

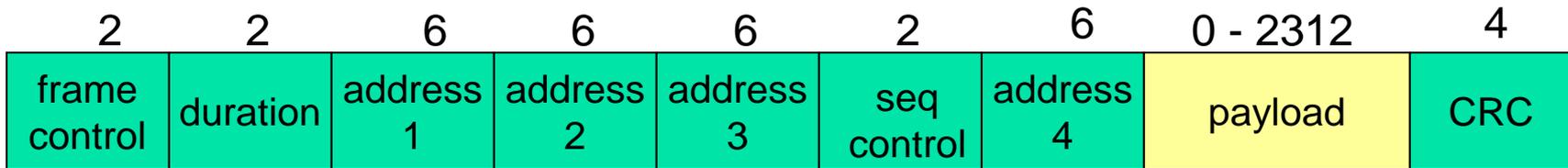


Collision Avoidance: RTS-CTS exchange





802.11 frame: addressing



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

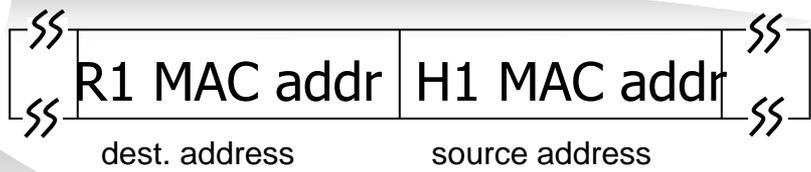
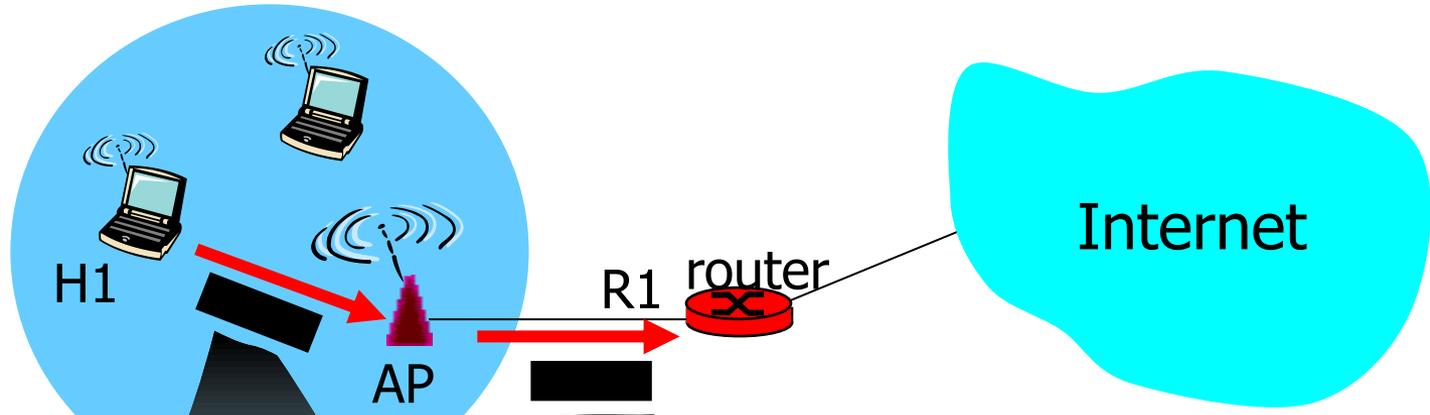
Address 2: MAC address of wireless host or AP transmitting this frame

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

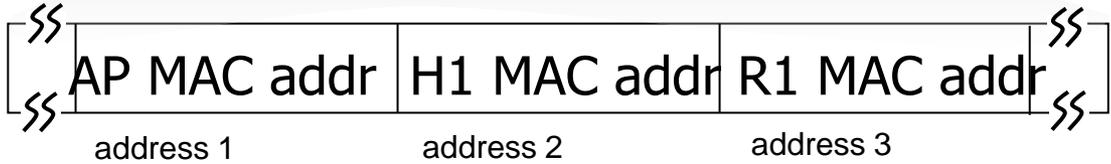
Address 4: used only within infrastructure



802.11 frame: addressing



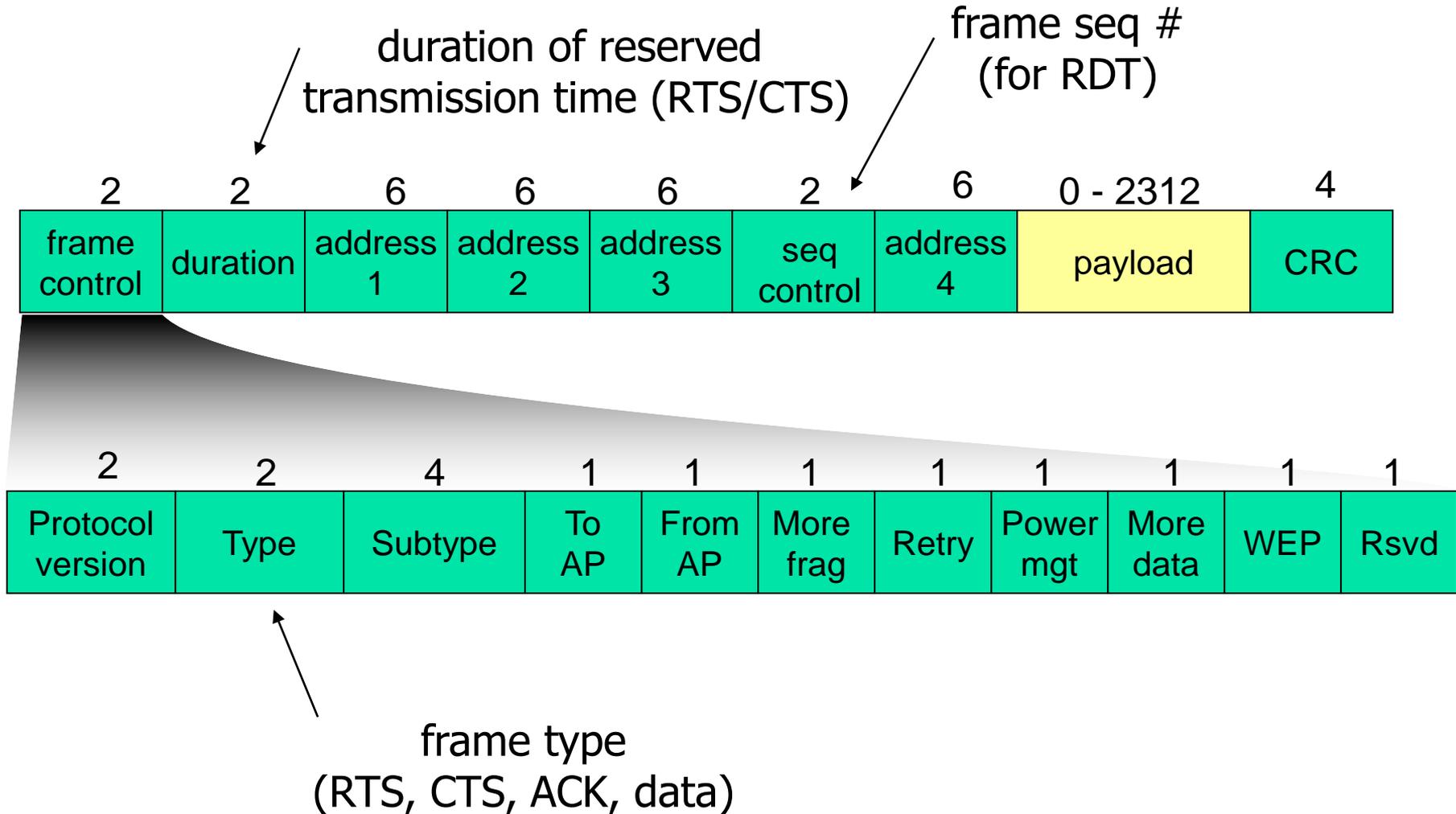
802.3 frame



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

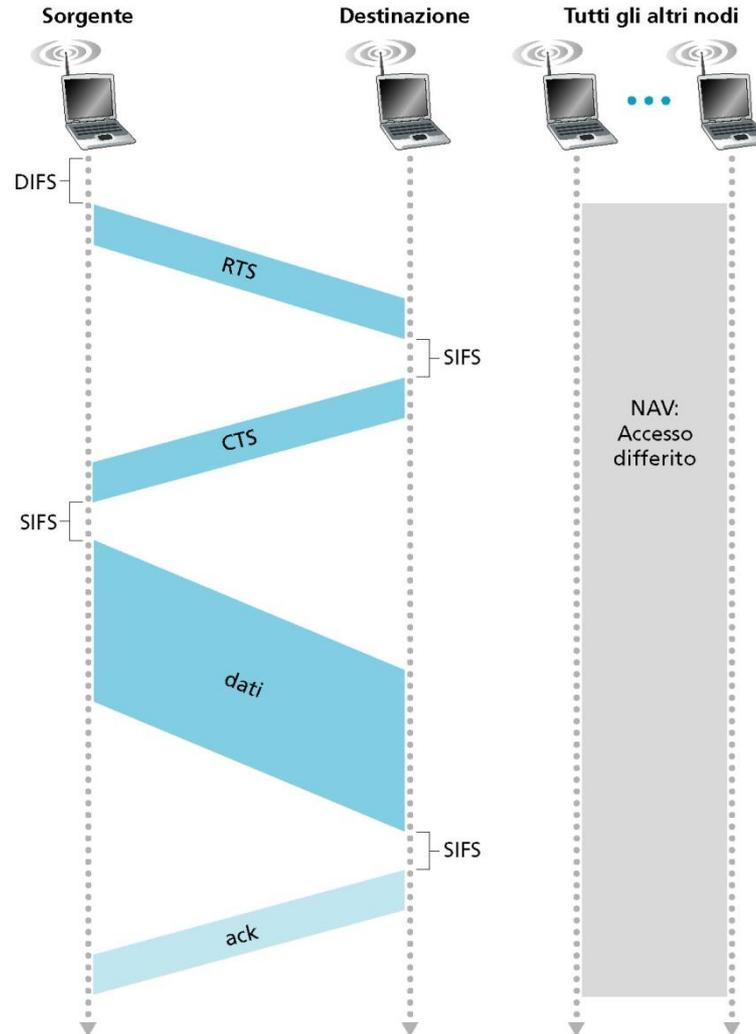


WLAN/802.11: collision avoidance (2/2)

- 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



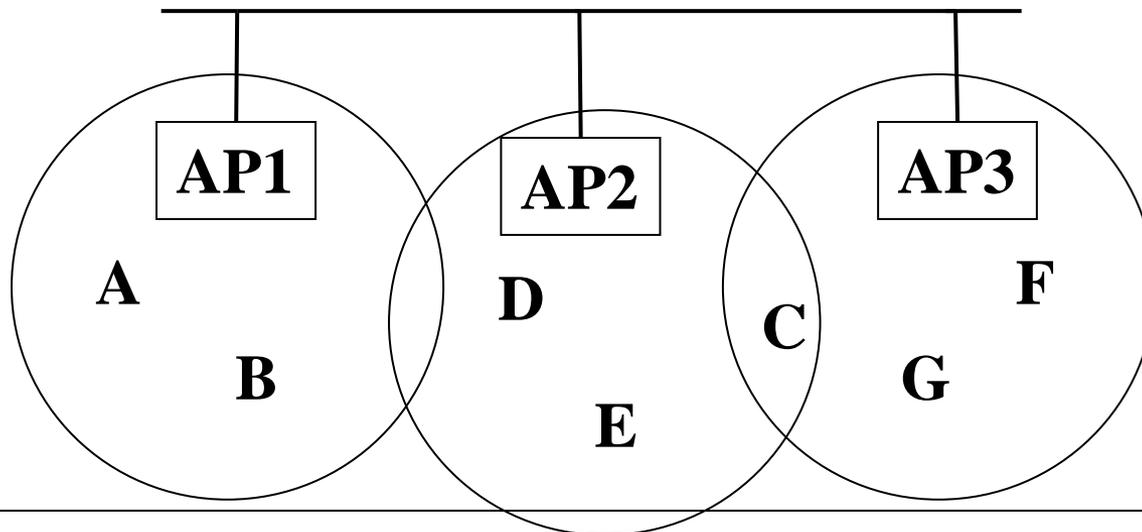
WLAN/802.11: il CSMA/CA in funzione





WLAN/802.11: Distribution system (1/4)

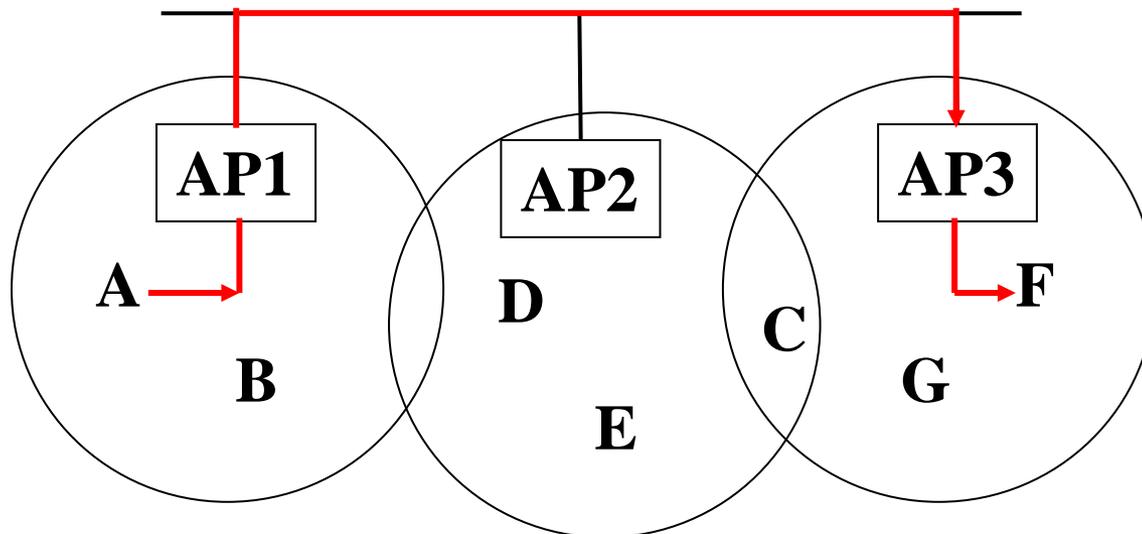
- Per fornire il supporto alla mobilità e la connessione ad altre reti (prima tra tutte, la rete Internet), si utilizzano dei nodi speciali:
 - Access Point (AP):
 - Si tratta di nodi connessi ad un'infrastruttura di rete fissa, chiamata *Distribution System*





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

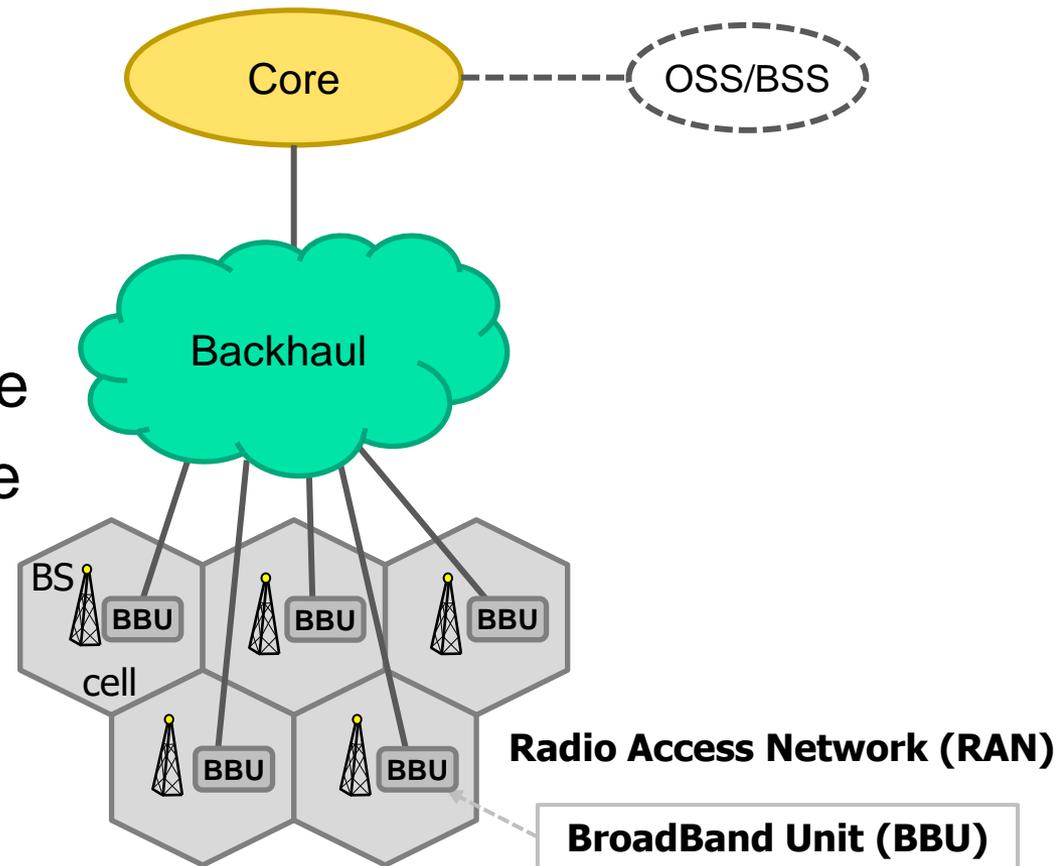
scenario	to DS	from DS	address 1	address 2	address 3	address 4
ad-hoc network	0	0	DA	SA	BSSID	-
infrastructure network, from AP	0	1	DA	BSSID	SA	-
infrastructure network, to AP	1	0	BSSID	SA	DA	-
infrastructure network, within DS	1	1	RA	TA	DA	SA

- 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

