



Reti locali (LAN)

Classificazione delle reti in base all'estensione

| | AREA | DISTANCE | NETWORK |
|------------------------------|--|---|---|
| PARALLEL COMPUTER | Mainboards System Room | 0.1 m 1 m 10 m | Massive parallel Multi processor Cluster |
| COMPUTER NETWORKS | Building Blocks City State Continent Planet | 100 m 1 Km 10 Km 100 Km 1000 Km 10000 Km | LANs Extended LANs MAN WAN WAN WAN |

LAN: Local Area Networks

Infrastruttura di telecomunicazioni che consente ad apparati **indipendenti** di comunicare in un'area **limitata** attraverso **un canale fisico condiviso** ad **elevata bit rate** con **bassi tassi di errore**

- **INDIPENDENTI**: assenza di architetture master-slaves
- **LIMITATA**: un'area di dimensioni moderate è spesso privata, non soggetta a regulations
- **CANALE FISICO CONDIVISO**: potrebbe essere un unico mezzo fisico condiviso
- **ELEVATA BIT RATE**: uso esclusivo dell'intera banda anche se per brevi intervalli
- **BASSI TASSI DI ERRORE**: a causa delle piccole distanze si dispone di molta potenza

Scelte per le LAN

- Le LAN sono *reti di calcolatori* e devono essere implementate scegliendo *protocolli per tutti gli strati dell'OSI*
- Le **dimensioni limitate** rendono convenienti soluzioni particolari per gli **strati 1 e 2**
 - di questo si occupano gli standard per le LAN
- Occorre scegliere
 - Il mezzo trasmissivo
 - La topologia
 - Un eventuale protocollo di accesso

Mezzo trasmissivo

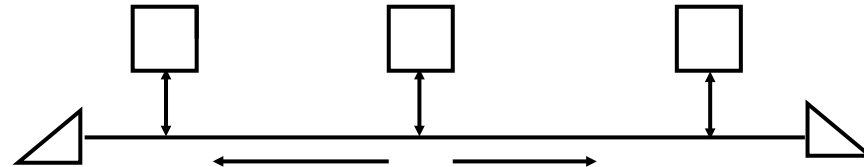
- In generale nelle reti moderne le fibre ottiche stanno progressivamente sostituendo il rame
 - Maggiore banda e distanza
 - Minore costo
 - Interconnessione più complessa e costosa
- Nelle LAN
 - Per le dimensioni limitate il costo del mezzo incide meno rispetto al costo dell'attacco per le stazioni
 - La penetrazione delle fibre ottiche è più lenta
 - Per gli ultimi metri fino all'attacco, potrebbero sopravvivere le coppie intrecciate (twisted pairs)
- Il mezzo radio, per motivi di affidabilità e di costi non è stato usato fino alla fine degli anni '90, ma sta acquistando un'importanza sempre crescente

Topologie

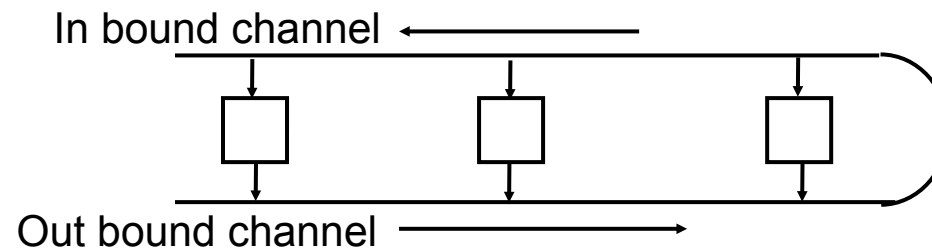
- Topologie tradizionalmente preferita nelle WAN
 - A stella
 - A maglia più o meno completa
 - Architettura gerarchica
- Topologie punto-multipunto
 - Non adatte per le WAN
 - Nelle WAN è importante avere i collegamenti più lunghi possibile
 - Le prese intermedie sottraggono potenza e aggiungono disturbi imponendo collegamenti più corti
 - Sono state preferite nelle prime proposte di LAN
 - Se i terminali sono pochi non servono nodi di commutazione
- Topologie punto-multipunto = mezzo di trasmissione condiviso
 - Richiedono un protocollo di accesso (Medium Access Control o MAC) per regolare l'accesso

Topologie punto-multipunto

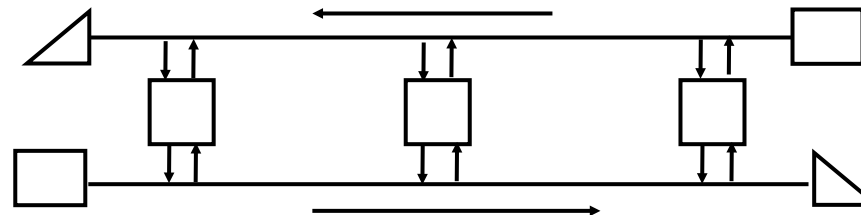
- Bus bidirezionale



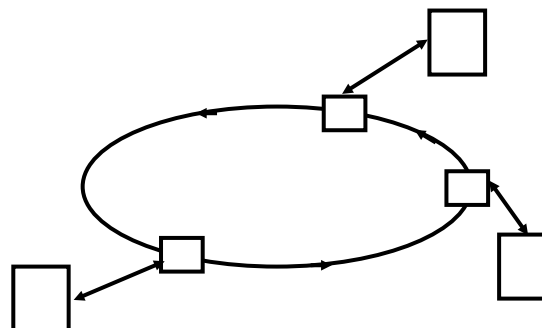
- Bus unidirezionale



- Doppio bus (dual bus)



- Anello



Protocolli di accesso

- Devono rendere possibile l'utilizzazione efficace del mezzo trasmissivo
- E un problema che rientra nella più vasta tematica dell'accesso multiplo o multiplazione
- Accesso multiplo (Multiple Access) a divisione di
 - Spazio
 - Frequenza
 - Tempo
 - Codice
- Nelle LAN si preferisce l'accesso multiplo a divisione di tempo
 - Tutta la banda al medesimo terminale
 - Terminali diversi trasmettono in periodi di tempo diversi

Scelte per Protocolli di Accesso basati sul Tempo

- A **controllo centralizzato** : con un Multiplatore o una Stazione primaria
- A **controllo distribuito**: ogni stazione è responsabile di parte del PA
 - **Assegnazione statica**: per ogni connessione si usa un canale assegnato a priori in modo deterministico
 - **Assegnazione dinamica**: la stazione impegna il mezzo solo quando ne ha bisogno (uso statistico)
 - **Controllati o collision free**: non ammettono collisioni
 - **A contesa** (contention): ammettono collisioni e cercano di porvi rimedio
 - **CAP** (Channel Access Procedure): E' l'insieme delle procedure che la stazione effettua per realizzare l'accesso al canale
 - **CRA** (Collision Resolution Algorithm): E' l'insieme delle procedure che la stazione effettua per rivelare ed eventualmente recuperare situazioni di collisione
 - Necessita di un meccanismo di rivelazione delle collisioni



Protocolli a contesa: prestazioni e funzionalità

Parametri caratterizzanti la LAN

- F : lunghezza massima della trama
 - Tutte le trame sono della dimensione massima
- C : velocità di trasmissione sul mezzo
- d : massima distanza fra due stazioni della LAN
- v : velocità di propagazione del segnale

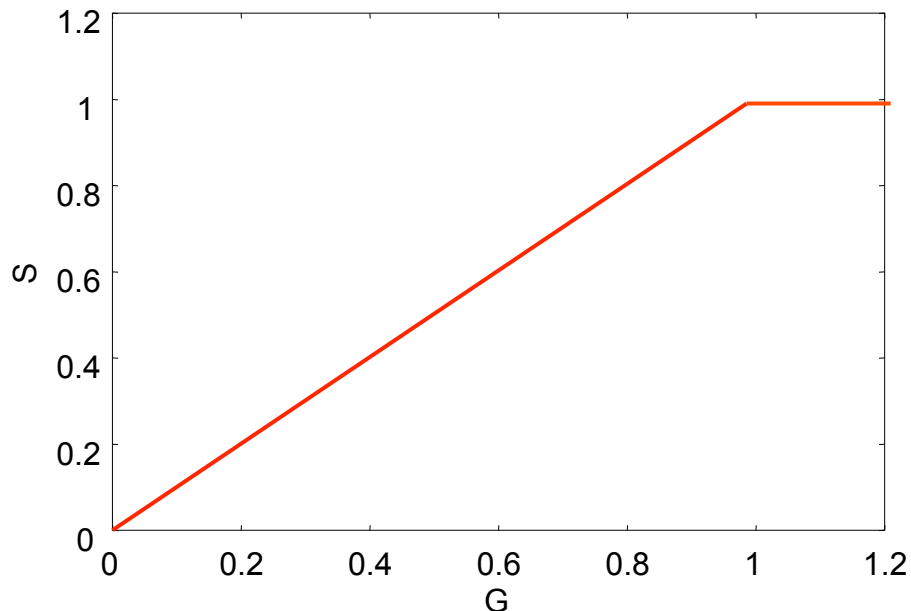
- $T = F/C$: tempo di trasmissione di una trama
- d/v : tempo di propagazione di un singolo bit sulla LAN
- Cd/v : massimo numero di bit che possono essere presenti contemporaneamente sulla LAN

Traffico offerto e smaltito

- Le stazioni accettano una trama per volta
 - Nessuna nuova trama entra nel livello MAC finché la precedente non è stata trasmessa con successo
- A_0 : traffico offerto in termini di nuove trame
- $A_p = 0$: in generale non c'è traffico perduto
 - Lo strato MAC non scarta delle trame
 - Le trame vengono accodate nello strato superiore
- G : traffico offerto al mezzo condiviso,
 - Include le eventuali ritrasmissioni per cui in generale $G \geq A_0$
- $A_s = S$: traffico smaltito dalla LAN
 - In condizioni di equilibrio statistico deve essere $S = A_0$

LAN ideale

- Utilizza una CAP ideale
 - Coordina le stazioni per evitare accessi contemporanei al canale di trasmissione
 - Tutte le trame in arrivo vengono trasmesse con successo, quindi $G = A_0$
- Il tempo di propagazione della trama è nullo
- È possibile trasmettere le trame una di seguito all'altra
 - Il canale di trasmissione della LAN può essere utilizzato al 100%



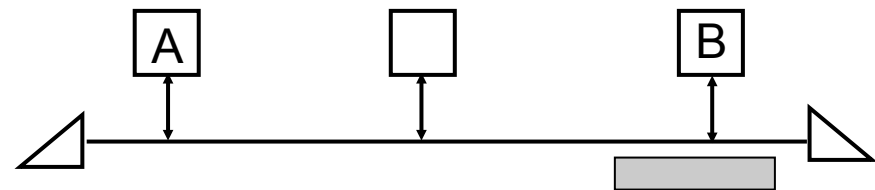
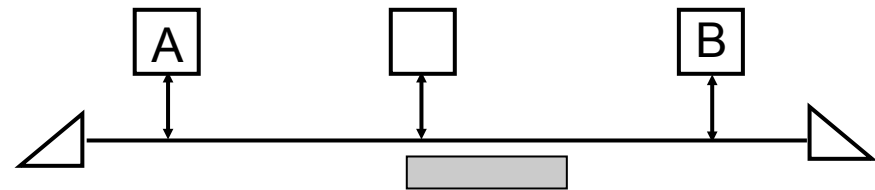
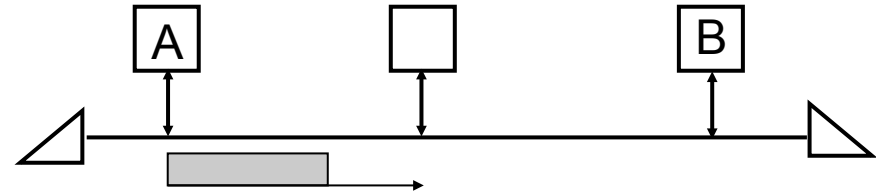
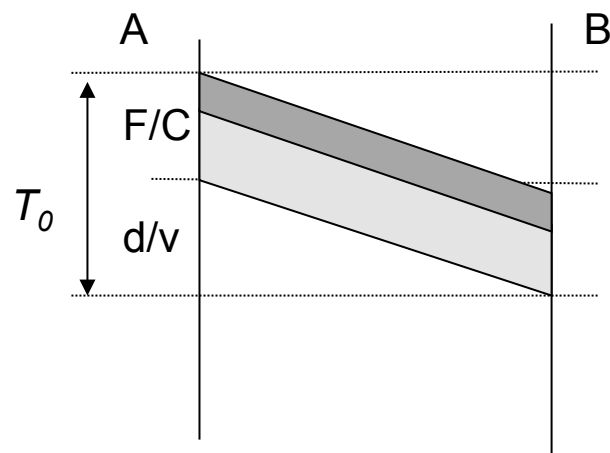
Se $A_0 < 1$ allora $S = G = A_0$

Se $A_0 \geq 1$ allora $S = 1$

La LAN ideale permette di smaltire tutto il traffico offerto, fino alla saturazione del canale

Propagazione reale (topologia bus)

- La trama impiega un tempo non nullo per attraversare la LAN
 - t : A inizia la trasmissione
 - $t + F/C$: A termina la trasmissione
 - $t + d/v$: B riceve il primo bit
 - $t + F/C + d/v$: B riceve l'ultimo bit



Efficienza con MAC ideale

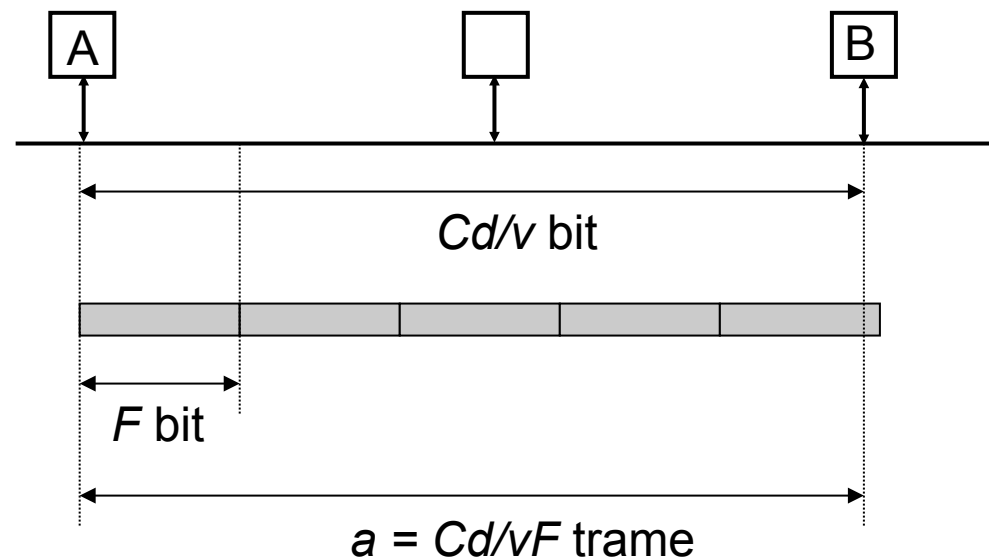
- Una trama tiene impegnata la LAN per T_0
- Il canale di trasmissione non può più essere usato al 100%
- Al massimo viene utilizzato per T secondi ogni T_0
- **Efficienza** del MAC

$$\eta = T/T_0 = (F/C)/(F/C + d/v) = 1/(1+a)$$

- L'efficienza pone un limite superiore al massimo traffico smaltito S

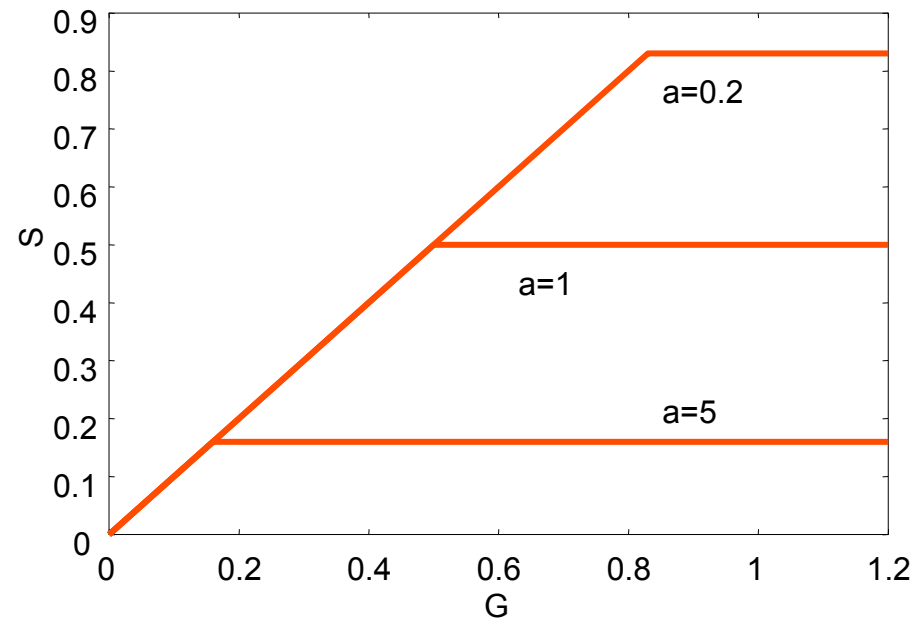
$$a = Cd / vF$$

è interpretabile come la
lunghezza della LAN
misurata in trame MAC



Traffico smaltito dalla LAN

- $G < 1/(1+a)$
 - Tutte le trame in arrivo vengono trasmesse
 - $S = G = A_0$
- $G \geq 1/(1+a)$
 - Il MAC non permette la trasmissione di tutte le trame
 - Parte delle trame viene accodata all'infinito
 - $S = \eta = 1/(1+a)$





- $C=10 \text{ Mbit/s}$ $d=1 \text{ km}$ $v=200000 \text{ km/s}$ $F=100$

- $d/v=5 \cdot 10^{-6}$

- $C d/v = 10 \cdot 10^6 \cdot 5 \cdot 10^{-6} = 50$

- $a = 50 / 100 = 0,5$ $\eta=1/1,5 = 0,67$

- $C=100 \text{ Mbit/s}$

- $C d/v = 500$

- $a=500/100=5$ $\eta=1/6$

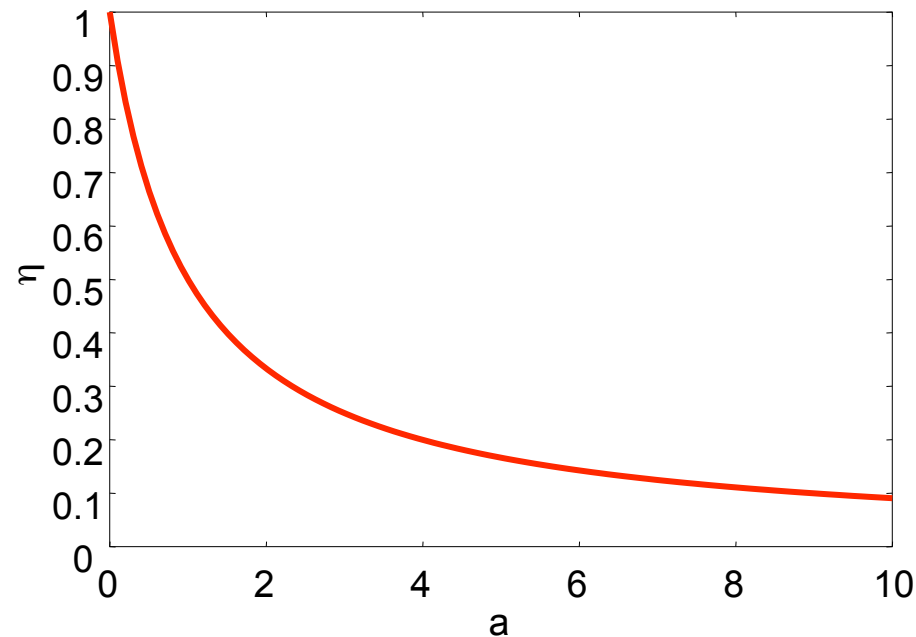
- $C=1 \text{ Gbit/s}$

- $C d/v = 5000$

- $a=5000/100 = 50$ $\eta=1/51$

Quale efficienza per le LAN

- a determina le prestazioni della LAN
- Maggiore è la lunghezza del canale in trame, minore risulta il traffico massimo smaltibile (massimo throughput)
 - I protocolli ad accesso multiplo sono efficienti quando le distanze e le velocità di trasmissione sono abbastanza limitati



Protocollo a contesa: ALOHA

- È nato nel 1970 per collegare tra loro le università delle isole Hawaii.
- Prevede stazioni a terra ed un satellite geostazionario
 - Le stazioni trasmettono tutte sul medesimo canale radio (uplink)
 - Il satellite ritrasmette a terra amplificati i dati su un canale diverso (downlink)
- **CAP**
 - Quando un trasmettitore ha una trama da trasmettere la trasmette senza alcun verifica preventiva
 - La trama viene ritrasmessa dal satellite verso tutte le stazioni
 - La stazione trasmittente riceve la propria trama ed ha quindi conferma della corretta trasmissione
- **CRA**
 - Quando due stazioni trasmettono contemporaneamente i segnali collidono e si interferiscono sull'uplink
 - Il satellite scarta le trame non correttamente ricevute
 - La stazione non riceve la propria trama sul downlink e quindi identifica una collisione
 - Non ritrasmette subito ma fa partire l'algoritmo di **back-off**
 - Sceglie l'istante per la ritrasmissione in modo aleatorio all'interno di un intervallo di lunghezza prefissata T_b (tempo di back-off)

Aloha: prestazioni

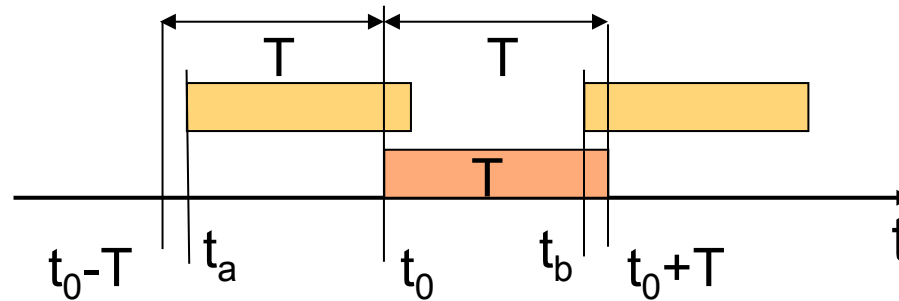
- Assumiamo che i pacchetti generati dalle sorgenti di traffico (applicazioni) determinino gli arrivi di trame alle stazioni secondo un **processo di Poisson** con frequenza media di arrivo λ
 - Tenendo conto delle ritrasmissioni, il numero medio di pacchetti trasmessi in effetti al satellite nell'unità di tempo è $\lambda_r > \lambda$
 - Le collisioni con successive ritrasmissioni generano delle **correlazioni** fra gli arrivi, ma se l'intervallo di back off è abbastanza lungo rispetto a T ($T_b \gg T$), anche il traffico verso il satellite è **approssimativamente di Poisson**

Traffico offerto e smaltito

- Ipotesi:
 - Trame tutte uguali di lunghezza pari a T
- Traffico offerto dalle applicazioni
$$A_0 = \lambda T$$
- Traffico offerto al MAC
$$G = \lambda_r T$$
- A causa delle collisioni $\lambda_r \geq \lambda$
- Il traffico smaltito è pari al traffico offerto che viene trasmesso senza collidere
 - Una trama viene trasmessa senza collidere con probabilità P_0

$$S = G P_0$$

Intervallo di vulnerabilità



- Si definisce **intervallo di vulnerabilità** T_v l'intervallo all'interno del quale una trasmissione può dar luogo a collisione
- Nel caso di ALOHA vale **$T_v = 2 T$**
 - La trama considerata inizia in t_0 e finisce in $t_0 + T$
 - Si ha collisione se
 - il primo bit della trama considerata si sovrapponga all'ultimo bit di una trama precedente
 - Il primo bit di una nuova trama si sovrapponga all'ultimo bit della trama considerata
 - Nessuna trama deve essere trasmessa per un tempo T prima di t_0 e per un tempo T successivo a t_0

Calcolo del Throughput

- La probabilità di non avere una trasmissione in $2T$ (probabilità di non collisione) è

$$P_0 = e^{-2\lambda_r T} = e^{-2G}$$

- Quindi il numero medio di trasmissioni aventi successo (traffico smaltito S) è pari a

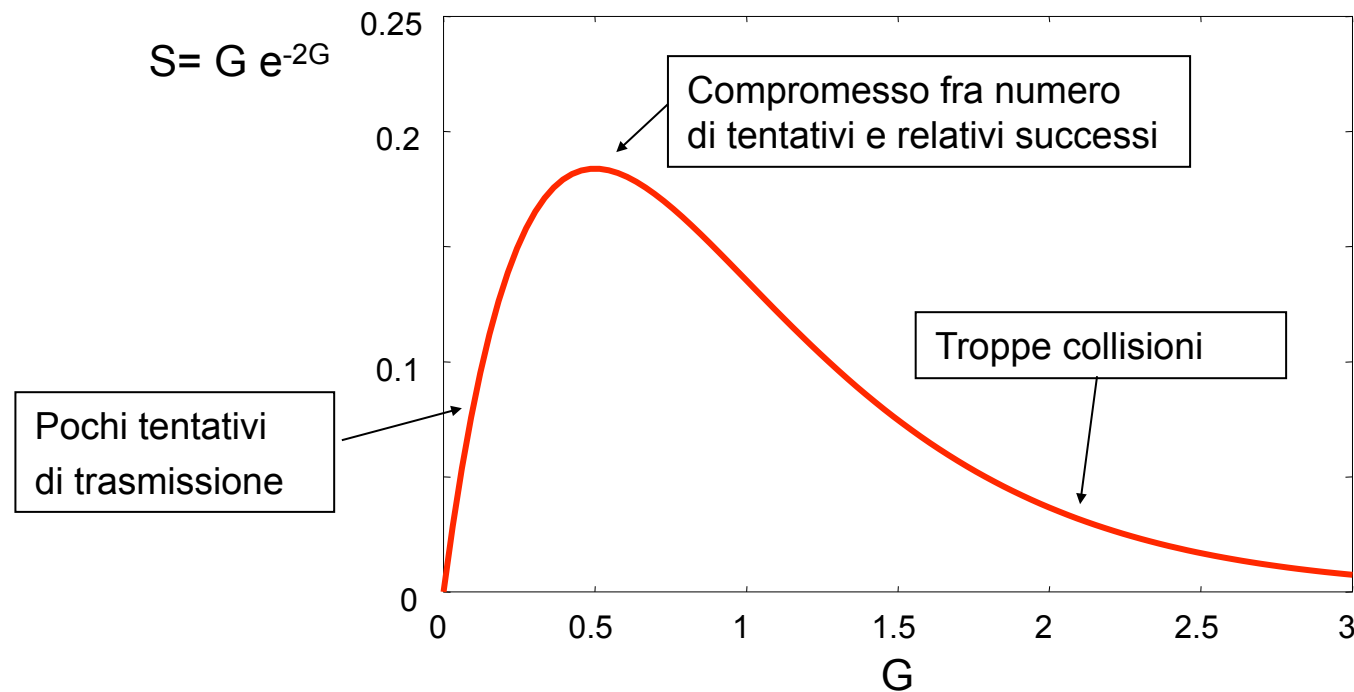
$$S = G e^{-2G}$$

- Valore massimo di S

$$S_{\max} = 1/(2e) \approx 0.18 \text{ per } G_{\max} = 0.5$$

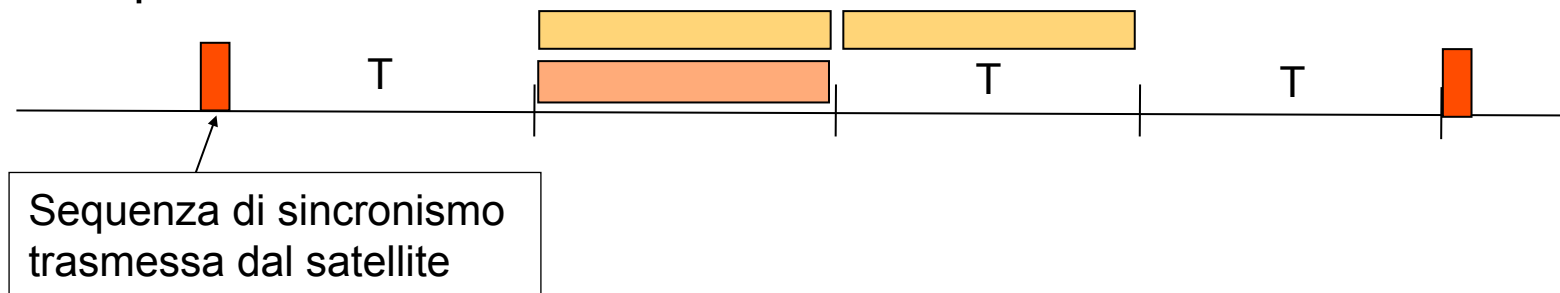
Aloha: throughput

- $S \approx G$ per piccoli valori di G
- $S \rightarrow 0$ per grandi valori di G



Slotted Aloha

- Un possibile miglioramento: **SLOTTED ALOHA**.
 - Il sistema lavora in modo **sincrono**: l'asse dei tempi viene diviso in intervalli (slot) di lunghezza T
 - Le trame vengono trasmesse in corrispondenza di istanti predefiniti

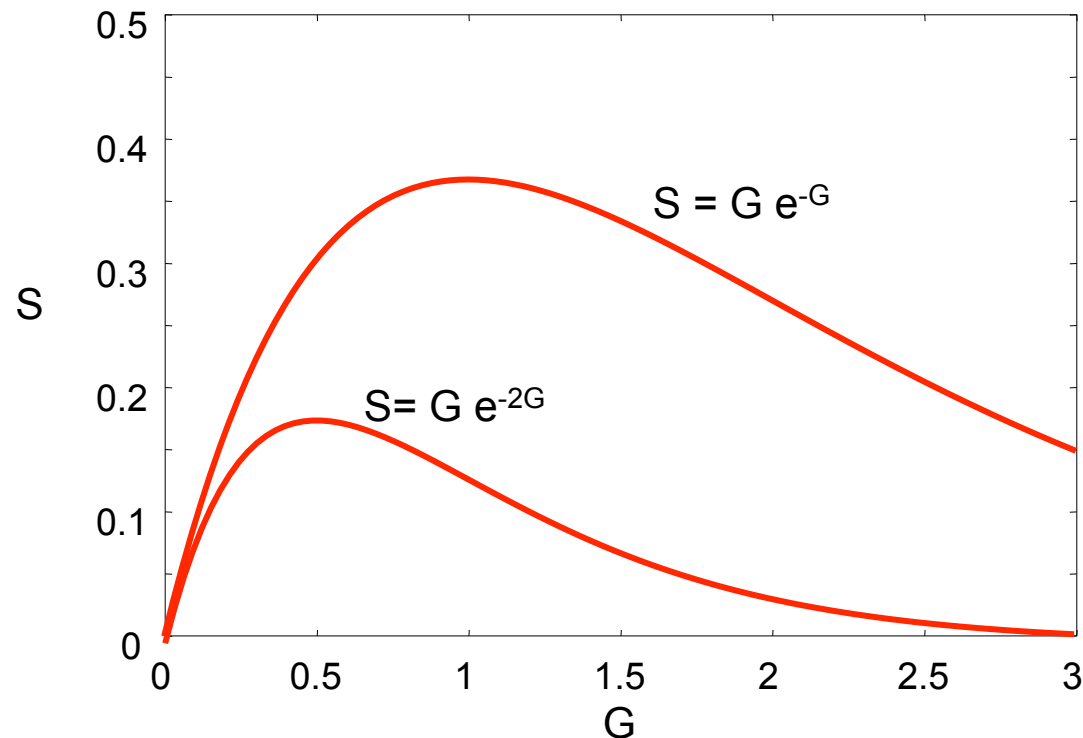


Prima di iniziare le trasmissioni la stazione deve acquisire il sincronismo, inviando trame di tentativo e rivelando come si posizionano rispetto agli slot

Due trame o si sovrappongono completamente o non si sovrappongono per nulla

Slotted Aloha

- L'intervallo di vulnerabilità si riduce a T
 - $P_0 = e^{-G}$
 - $S = G e^{-G}$
 - il massimo di S vale $S_{\max} = 1/e \cong 0.36$ per $G_{\max} = 1$



Algoritmi di back-off

- Aloha classico
 - Sceglie a caso (con probabilità uniforme) il nuovo istante di trasmissione nell'intervallo 0 e T_b
 - Deve essere $T_b \gg T$ per rendere piccola la probabilità di una nuova collisione
- Aloha slotted
 - Si ritrasmette negli istanti di sincronismo, ci sono due alternative:
 - Si prende $T_b = n_b T$ e si sceglie un numero a caso fra 0 ed $n_b - 1$
 - Si ritrasmette nel primo slot utile con probabilità p_b e si passa allo slot successivo con probabilità $(1 - p_b)$; ripetendo l'algoritmo ad ogni slot fino a che non si trasmette
- A parità di valore medio del tempo di ritrasmissione, queste due alternative danno prestazioni simili

Traffico offerto e smaltito

- In condizioni di equilibrio il traffico offerto al sistema deve essere eguale al traffico smaltito

$$A_0 = S$$

- Per effetto delle fluttuazioni statistiche del traffico, su brevi intervalli di tempo risulterà

$$A_0 \neq S$$

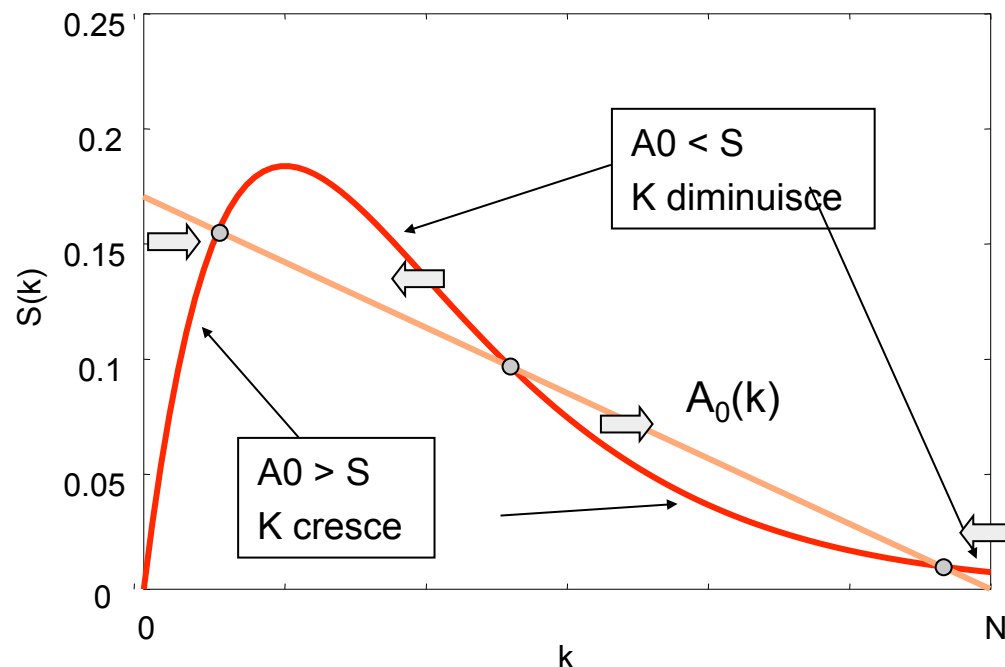
- Se $A_0 < S_{\max}$ la dinamica naturale del sistema tende a portarsi in equilibrio
- Se $A_0 > S_{\max}$ è impossibile raggiungere una situazione di equilibrio
 - I dati si accumulano nello strato superiore al MAC, in quanto una buona parte di essi non riesce mai ad essere trasmessa

Numero di stazioni finito e stabilità

- Il traffico offerto dipende dal numero di stazioni backlogged k
 - Sia λ_i la frequenza media di arrivo delle trame da ciascuna stazione
 - Se la stazione non è backlogged: $\lambda_i = \lambda$
 - Se la stazione è backlogged non invia nuove trame: $\lambda_i = 0$
- Con k stazioni backlogged il traffico offerto vale
$$A_0 = \lambda T(N-k)$$
- Inoltre
 - $G(k)$ è una funzione monotona di k
 - $S(G(k))$ ha una forma simile a quella già evidenziata
- I valori di k che garantiscono condizioni di stabilità si trovano determinando k tale che $A_0(k) = S(k)$

Stabilità

- Se $A_0 > S$ si accumula traffico \Rightarrow si hanno collisioni \Rightarrow le stazioni backlogged aumentano $\Rightarrow A_0$ cala e k cresce
- Se $A_0 < S$ si smaltisce più traffico di quello nuovo in arrivo \Rightarrow si trasmettono trame che hanno colliso in precedenza \Rightarrow le stazioni backlogged calano $\Rightarrow A_0$ cresce e k cala



- 3 punti di stabilità
 - 2 sono stabili
 - 1 instabile
- Un aumento eccessivo di A_0 può portare ad una situazione di troppe collisioni

Controlled Aloha

- Per ovviare al problema dell'instabilità si possono usare varie tecniche
- Una delle più semplici è fare crescere il tempo di back-off
 - Alla prima collisione si pone $T_b = T_0$
 - Se la trama ritrasmessa collide di nuovo si pone $T_b = 2T_0$ e si continua a raddoppiare T_b ad ogni nuova collisione
 - Quando la trasmissione ha successo si ritorna a $T_b = T_0$
 - Nel caso slotted si può dimezzare p_b ad ogni collisione
- Questo algoritmo si dice **back-off esponenziale** e si può dimostrare che elimina l'instabilità
 - Può fare sorgere problemi di fairness: una stazione che ha subito molte collisioni viene tagliata fuori dalle trasmissioni

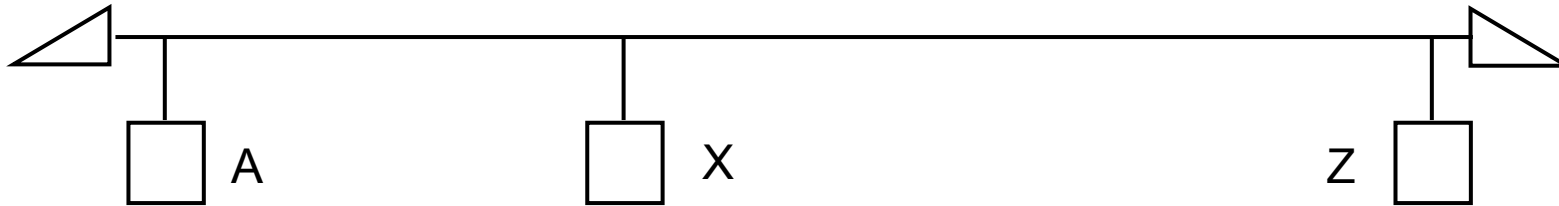
Derivati del protocollo Aloha

- Il protocollo Aloha può essere implementato su qualunque mezzo trasmissivo e qualunque topologia
- Ha una efficienza piuttosto bassa ma è circa quanto di meglio si può fare quando i ritardi di propagazione sono grandi come nel caso del satellite
- Se lo si vuole applicare ad una rete locale conviene sfruttare la conoscenza che ogni stazione può acquisire sull'attività delle altre
- Nasce così il protocollo **CSMA Carrier Sensing Multiple Access**
 - Viene proposto su una topologia a Bus bidirezionale
 - È ancora un protocollo ad accesso casuale a contesa

CSMA: Carrier Sensing Multiple Access

- Carrier sensing
 - Ogni stazione che debba trasmettere **rivela** presenza di segnale sul bus e trasmette solo se è libero
 - Se il bus è occupato si aspetta la fine della trama e poi
 - Si trasmette (caso 1 persistent)
 - Si fa partire l'algoritmo di back off (caso non persistent o 0 persistent)
 - Si trasmette con probabilità p e si fa partire l'algoritmo di back off con probabilità $(1-p)$ (caso p persistent)
- Una volta iniziata la trasmissione, i dati inviati da una stazione **possono collidere** con quelli di un'altra
 - Questo avviene a causa del ritardo di propagazione non nullo
 - Sul bus non c'è un meccanismo immediato di rivelazione delle collisioni: occorre affidarsi a un sistema di Acknowledgement
- L'algoritmo di back-off può essere come quello dell'Aloha con $T_b \gg 2\tau$

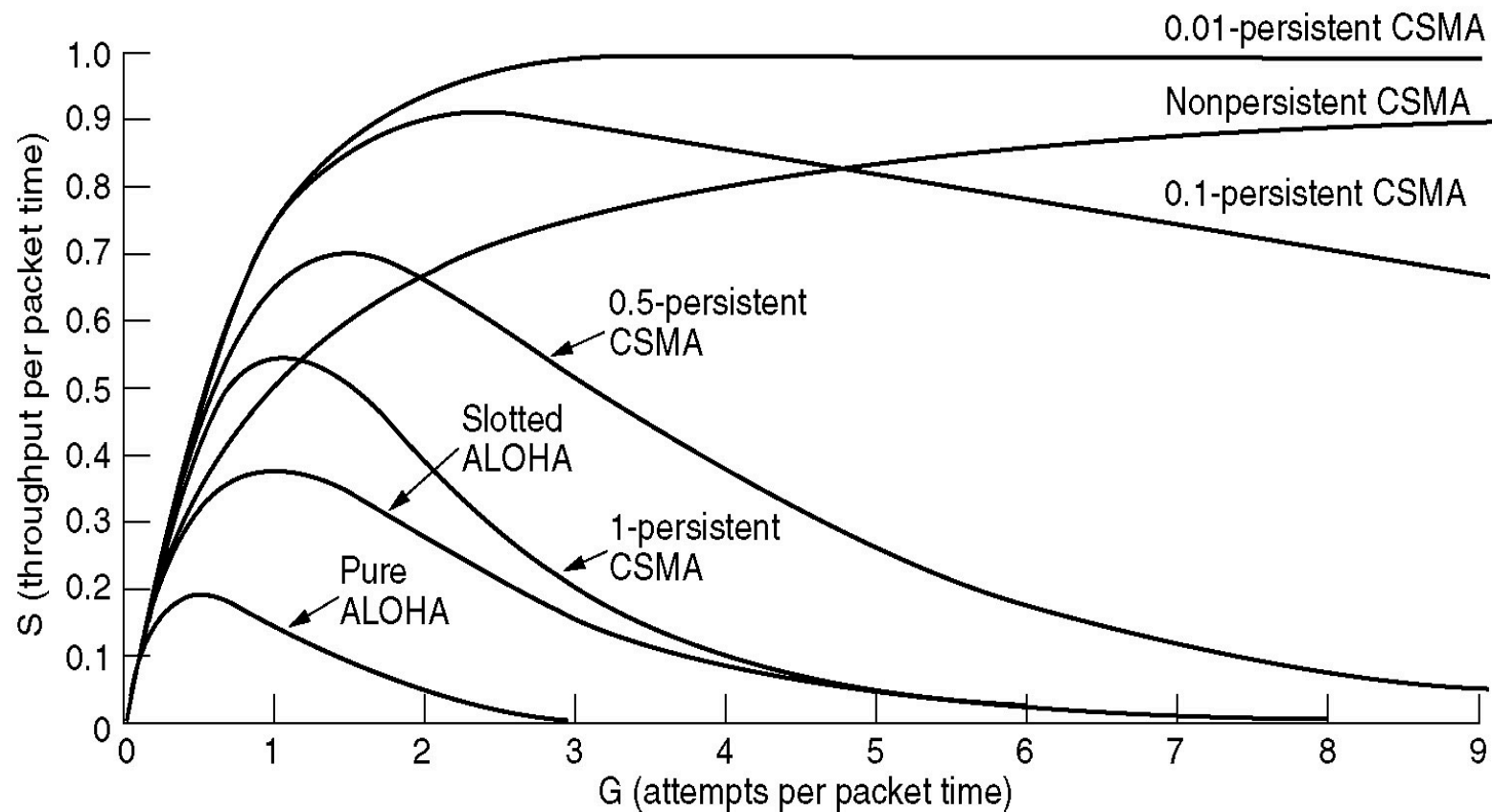
CSMA: intervallo di vulnerabilità



- Chiamiamo A e Z le due stazioni più distanti sul Bus e τ il **tempo di propagazione** fra di loro + il tempo necessario per rivelare il segnale
- A esegue il carrier sensing nell'istante t_A
 - Se Z fa carrier sensing fra t_A e $t_A + \tau$ non rileva attività e può quindi anch'essa iniziare a trasmettere: *si ha collisione*
 - Analogamente se Z ha trasmesso fra t_A e $t_A - \tau$ A non rileva il segnale di Z e trasmette in t_A : *si ha collisione*
- **L'intervallo di vulnerabilità vale 2τ**
- Le prestazioni sono tanto migliori dell'Aloha quanto più $\tau/T < 1$
 - In generale le prestazioni dipendono anche dal valore di p

Persistent e Nonpersistent CSMA

Utilizzazione del canale per Aloha e CSMA



da Tanenbaum

Versione slotted e problemi di stabilità

- Anche per il CSMA esiste la **versione slotted**
- In questo caso la misura più opportuna del **tempo di slot** è τ
- L'intervallo di vulnerabilità vale τ invece che 2τ
- Anche per il CSMA come per tutti i protocolli a contesa ci sono problemi di stabilità
- Si può usare un algoritmo di back-off esponenziale

CSMA/CD: CSMA con Collision Detect

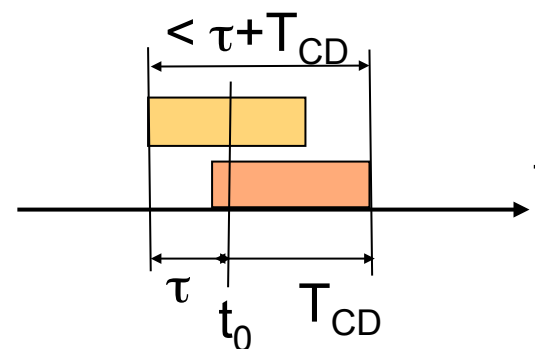
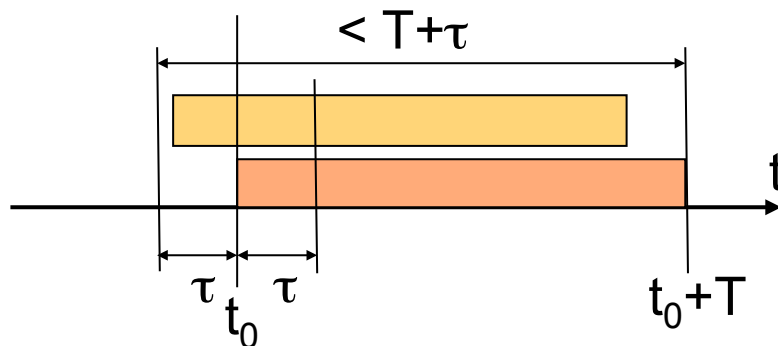
- Un miglioramento del CSMA è stato proposto da **Metcalfe** nel 1976
- **Collision Detection:**
 - Una stazione è in grado di rilevare l'avvenuta collisione *rimanendo in ascolto* sul mezzo mentre trasmette
 - E' un **processo analogico** basato sulla **rilevazione di potenza** sul canale (facilitato anche dalla codifica di Manchester adottata)
- In caso di collisione:
 - si ferma subito la trasmissione
 - si invia una particolare sequenza di bits (**jamming**) per informare tutte le altre stazioni dell'avvenuta collisione

Codifica di Manchester

- Rappresentazione dei bit
 - “0” logico: segnale basso (-0.85 Volt) per mezzo tempo di simbolo e segnale alto (+0.85 Volt) per l’altro mezzo
 - “1” logico: segnale alto per mezzo tempo di simbolo e poi segnale basso
- Vantaggi
 - Una transizione al centro di ogni bit, che può essere rivelata mediante un derivatore, facilita
 - L’acquisizione del sincronismo
 - Il carrier sensing
 - Il collision detection
 - Sono disponibili simboli (alto alto e basso basso) per rappresentare *non dati*
- Svantaggi
 - Per trasmettere a 10 Mbit/s occorre un clock a 20 MHz
- Il protocollo CSMA/CD con codifica di Manchester è stato adottato nella rete Ethernet, standard di mercato per le LAN

Cosa migliora nel CSMA-CD

- Nei casi in cui avviene collisione
 - Nel CSMA le stazioni continuano la trasmissione dell'intera trama
 - Il canale rimane impegnato inutilmente per un intervallo di tempo all'incirca pari a T
 - Nel CSMA/CD
 - Al più il canale rimane impegnato inutilmente al più per la somma di
 - Un intervallo di vulnerabilità (τ)
 - Il tempo necessario a rilevare la collisione più il tempo della sequenza di Jamming (T_{CD})



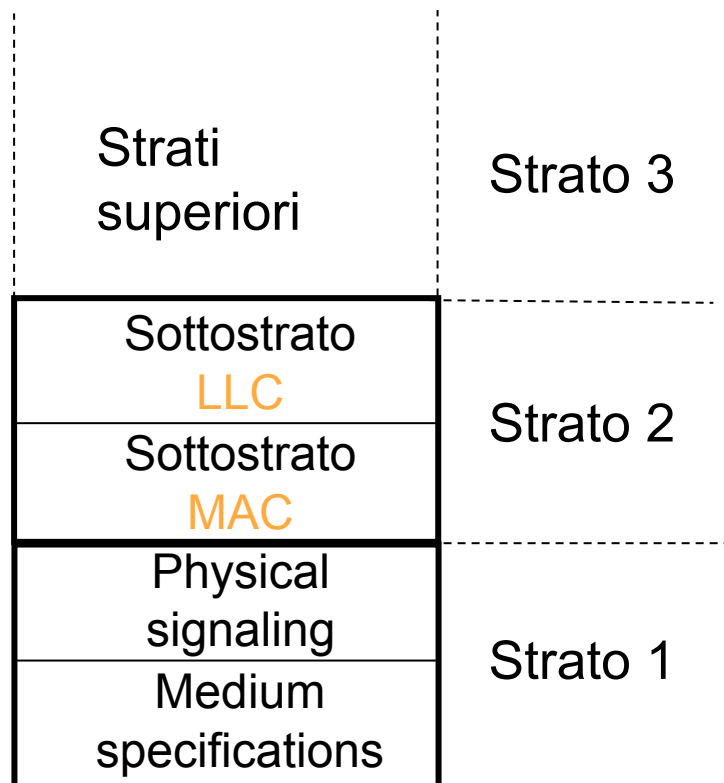


PROGETTO IEEE 802

Progetto IEEE 802

- Molti altri protocolli a contesa e collision free sono stati proposti soprattutto nei tardi anni '70
- Nel 1980 parte il **Progetto IEEE 802** per tentare di definire degli standard per LAN
 - IEEE ha già avuto un grande successo con lo standard **IEEE 488**, per applicazioni ai **banchi di misura** comandati da un calcolatore
 - Propone un' **architettura master-slave**
 - Si rifà ad uno standard di mercato proprietario: lo **HP-IB** (Hewlett Packard Interface Bus)
- Si organizza in commissioni che producono documenti denominati IEEE 802.x
 - diventeranno standard ISO col nome IS 8802/x

Scelta importante di IEEE 802



- Lo strato 2 viene diviso in due sottostrati
 - LLC = Logical Link Control
 - MAC = Medium Access Control
- Lo strato LLC è indipendente dal mezzo fisico, dalla topologia e dal protocollo di accesso
- Anche lo strato 1 viene diviso in due

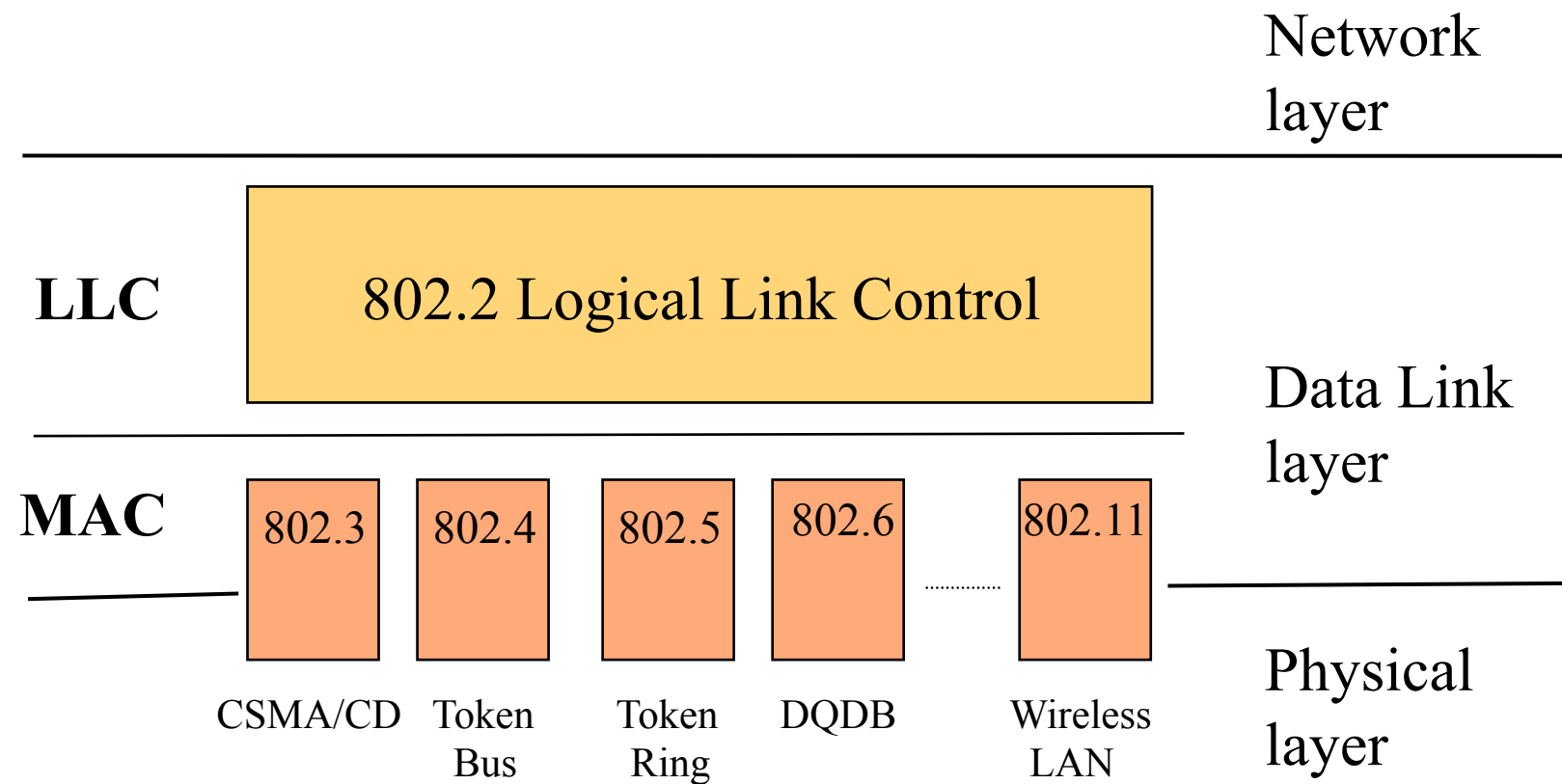
Commissioni e documenti IEEE 802

- **IEEE 802.1** : descrizione generale del progetto, modello di riferimento
 - Non ha mai finito i suoi lavori
 - Contiene anche parte di standard che non trovano facilmente posto in altri documenti
- **IEEE 802.2** : Sottostrato LLC, interfaccia con gli strati superiori
- **IEEE 802.3** : Rete locale basata su CSMA/CD, ispirata alla rete Ethernet
- **IEEE 802.4** : Rete locale basata su Token Passing Bus
- **IEEE 802.5** : Rete locale basata su Token Ring, ispirata alla rete Token Ring di IBM
- **IEEE 802.6** : Reti in Area Metropolitana o MAN (Metropolitan Area Networks)

Commissioni e documenti IEEE 802

- IEEE 802.7 : Studi sulle tecnologie a larga banda
- IEEE 802.8 : Studi sulla tecnologie in fibra ottica
- IEEE 802.9 : ISLAN (Isochronous LAN)
- IEEE 802.10 : LAN/MAN security
- IEEE 802.11 : WLAN (Wireless LAN)
- IEEE 802.12 : Reti locali a 100 Mbit/s basate su Demand Priority (standard AnyLAN di HP)
- IEEE 802.13 : non esiste
- IEEE 802.14 : Cable modem per impianti di TV via cavo
- IEEE 802.15 : Personal Area Networks (Bluetooth)
- IEEE 802.16 : Accesso wireless a banda larga per utenti residenziali
- IEEE 802.17 : Resilient Packet Ring (RPR)

PROGETTO IEEE 802



Logical Link Control LLC: IEEE 802.2

- **LLC** standardizza la parte del protocollo di linea che non dipende né dallo strato fisico né dal protocollo di accesso
- Fornisce una interfaccia **unica** verso gli strati superiori
- Formato di trama, ispirata a HDLC

| | | | |
|-------|-------|---------|------|
| D-SAP | S-SAP | Control | Info |
|-------|-------|---------|------|

- Le trame LLC viaggiano **incapsulate nella trama MAC**
 - Il framing e il controllo di errore vengono forniti dal MAC
- Il campo control viene gestito in modo molto simile ad HDLC
 - Per la modalità **connectionless** si usa una trama U detta **Unnumbered Information** che contiene un campo informativo
- Il campo address porta gli **indirizzi del s.a.p.** del destinatario e del mittente (la stazione viene individuata dal MAC)
 - **D-SAP**: Destination Service Access Point
 - **S-SAP**: Source Service Access Point



Rete Ethernet e IEEE 802.3

Rete Ethernet

- Nasce da sviluppi della Xerox nel 1976, poi si forma in consorzio comprendente
 - Digital Equipment Corporation (DEC)
 - Intel
 - Xerox
- Il consorzio nel 1978 mette a punto lo standard a 10Mbit/s chiamato DIX
- Nel 1983 il DIX diviene con poche modifiche lo standard IEEE 802.3
- È basato sul protocollo di accesso CSMA/CD

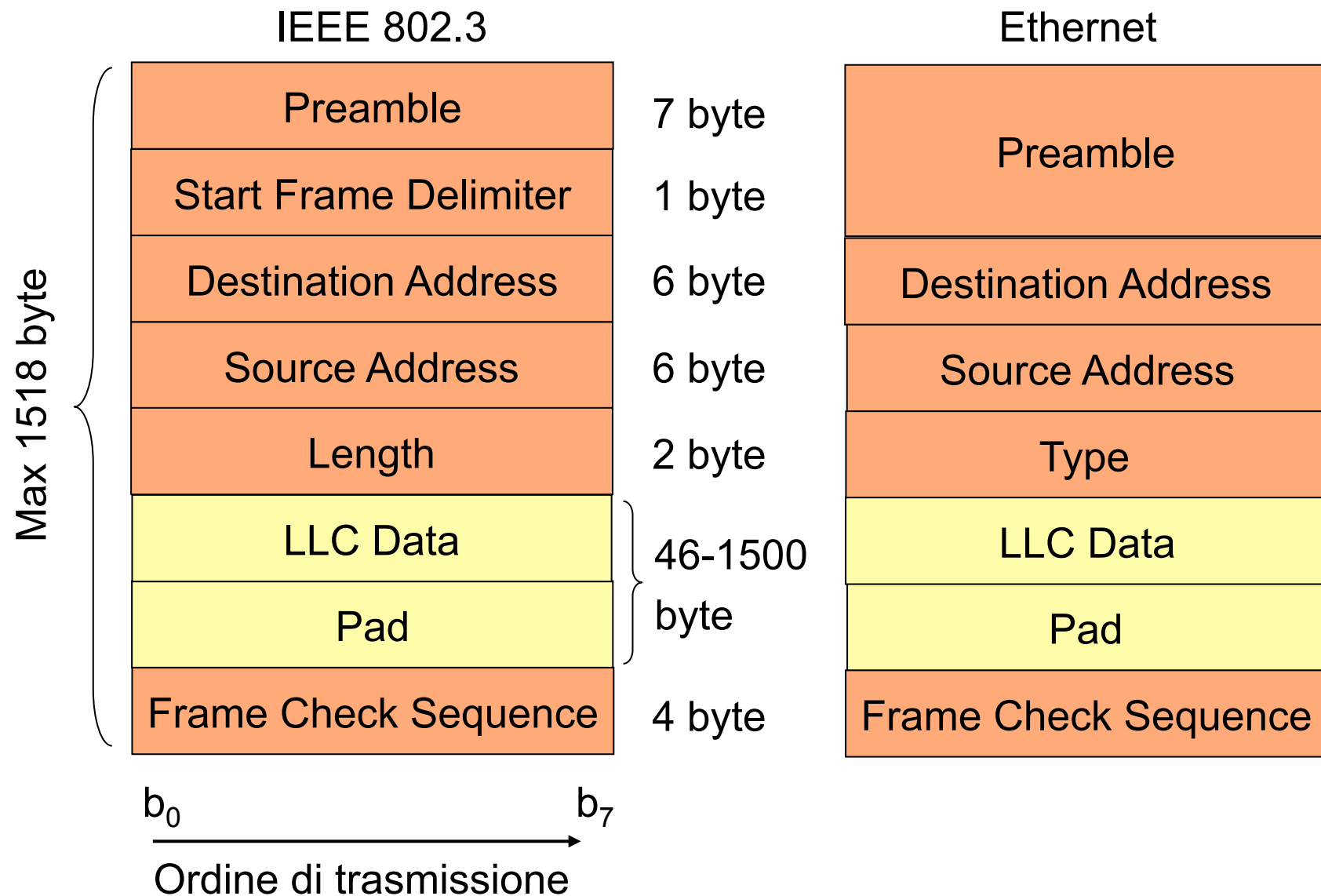
Slot time

- Slot time = tempo necessario per trasmettere
 - 512 bit in reti a 10 e 100 Mbit/s
 - 4096 bit in reti a 1 Gbit/s
- La trama deve avere una dimensione minima uguale allo slot time
- Lo slot time deve essere superiore alla somma:
 - Del tempo di andata e ritorno del segnale
 - Del tempo necessario per rilevare la collisione e lanciare la sequenza di jamming
- Sequenza di jamming = 33 bit
 - La sequenza di jamming deve essere abbastanza lunga da garantire il riconoscimento di una collisione nel circuito di CD
- Fissata la dimensione dello slot time
 - Ogni trama di dimensione minore viene scartata
 - Viene imposto il tempo di propagazione massimo e quindi la conseguentemente la dimensione massima della rete

Back off esponenziale binario

- In caso di collisione la stazione ritenterà la trasmissione
- Algoritmo di back-off:
 - avvenuta una collisione si può ritentare dopo un tempo T detto intervallo di back off, paria a un numero intero r di tempi di slot
 - Dopo n collisioni r è tale che
$$0 \leq r < 2^k - 1 \text{ dove } k = \min(n, 10)$$
cioè deve essere $r \leq 1023$
 - In ogni caso comunque
$$n \leq 16$$

Formato del Frame



Campi del frame

- **Preamble**
 - 7 byte tutti uguali a 10101010; producono, a 10 Mbps, un'onda quadra a 10 Mhz per 5,6 μ s, che consente al ricevitore di sincronizzare il suo clock con quello del trasmettitore.
- **SFD**
 - uguale a 10101011 ha la funzione di flag di inizio frame
- **Lunghezza / Tipo**
 - Per IEEE 802.3 la lunghezza indica quanti byte ci sono nel campo dati (da 0 a 1500)
 - Il tipo di payload è dato da LLC
 - I primi 4 bit sono sempre 0
 - Per Ethernet indica il Tipo di payload contenuto nel campo dati
 - Uno dei primi 4 bit è $\neq 0$
- **Dati**
 - contiene il payload del livello superiore.

Campi del frame

- **Pad** (da to pad = riempire)
 - Se il frame (esclusi preambolo e delimiter) è più corto di 64 byte, con questo campo lo si porta alla lunghezza di 64 byte
- **Frame Checking sequence**
 - Contiene i bit di ridondanza per il codice di controllo dell'errore, di tipo polinomiale di grado 32
- **Indirizzi**
 - Sono composti da 48 bit (6 byte)
 - Sono cablati nella scheda di rete
 - Sono univoci a livello mondiale; i primi 3 byte individuano il costruttore e gli altri 3 numerano progressivamente le schede
 - E' possibile specificare
 - un singolo destinatario (unicast)
`00-60-b0-78-e8-fd`
 - un indirizzo di gruppo (multicast): il primo bit deve essere a 1
 - un invio a tutte le stazioni (broadcast)
`ff-ff-ff-ff-ff-ff`

Delimitazione delle trame

- Assenza di trame = assenza di segnale sul canale
- Preambolo di sincronismo e SFD delimitano l'inizio
- L'assenza di segnale indica il termine di un frame
- Due frame devono essere separati almeno da un Inter-Frame Gap (IFG)
 - 96 tempi di bit
 - 10 Mbps Ethernet 9,6 μ sec
 - 100 Mbps Ethernet 960 nsec
 - 1000 Mbps Ethernet 96 nsec

Collision Domain

- Collision domain = l'insieme delle stazioni connesse alla medesima rete Ethernet che possono collidere in trasmissione
- Il CSMA-CD impone vincoli alla dimensione massima della LAN
 - In funzione della dimensione delle trame
 - In funzione della velocità di trasmissione
- Il mezzo trasmissivo impone dei vincoli sulle dimensioni dei collegamenti
- La dimensione del collision domain dipende dalla scelta fatta per lo strato fisico della LAN



Soluzioni per lo strato fisico dell'Ethernet

Ethernet classica a 10 Mbit/s

- **Proposta iniziale: 10base5**
 - 10: velocità 10 Mbit/s con codifica Manchester (clock a 20 MHz)
 - base: trasmissione in banda base (contrapposto a broad)
 - 5: segmenti fino a 500 metri (con max 100 stazioni)
 - Cavo coassiale a 50 Ω , diametro della cavità 6.15 mm (thick wire)
 - Attacco al cavo con prese a vampiro a cui si collegano apparati attivi detti Transceiver
 - Stazioni collegate mediante cavi transceiver (drop cable) lunghi fino a 40 m
- Cavo thin wire troppo rigido, non si presta al cablaggio di un edificio
 - Occorre distribuire capillarmente prese a muro per raggiungere tutte le stazioni

Ethernet classica a 10 Mbit/s

- **10base2** (thin wire Ethernet)
 - Cavo coassiale sottile a 50 Ω ma con diametro della cavità di 2.95 mm, molto flessibile
 - Segmenti fino a 180 metri con max 30 stazioni
 - Il transceiver è integrato nella scheda a bordo del computer
 - collegamento con connettori BNC e computer in serie sul segmento con connettori a T (daisy chain)
 - Di solito si installa un backbone 10base5 (cablaggio verticale) che interconnette segmenti 10base2 per raggiungere le prese a muro (cablaggio orizzontale)
 - occorrono repeaters

Coppie intrecciate o Twisted Pair

- Agli inizi degli anni '90 si approfondiscono gli studi sulle coppie bifilari in due varianti
 - **Shielded twisted pair STP**
 - Nel cavo ogni coppia è avvolta in un conduttore che fa da schermo
 - Maggiore costo del cavo
 - Lo schermo deve essere messo a massa
 - **Unshielded twisted pair UTP**
 - Meno costose e più semplici da posare
- Vengono studiati modi per migliorare le prestazioni
 - Aumentare il diametro dei conduttori e migliorare la qualità del dielettrico
 - Migliorare la regolarità e infittire il passo di avvolgimento
- Vengono definiti livelli di qualità detti Categorie
 - Standardizzate da Cat. 1 a Cat 7

Twisted Pair



(a)



(b)

da Tanenbaum

(a) Category 3 UTP.

(b) Category 5 UTP.

| Categoria | Velocità (Mbit/s) |
|-----------|-------------------|
| 1 | 2 |
| 2 | 4 |
| 3 | 10 |
| 4 | 16 |
| 5 | 100 |

Ethernet classica a 10 Mbit/s (segue)

- 10baseT

- Usa coppie simmetriche intrecciate senza schermatura UTP (Unshielded Twisted Pairs)
- occorrono UTP di categoria 3 per arrivare a 100 m
- Ogni stazione ha una UTP tutta a sua disposizione collegata alla porta di un Hub con connettore RJ45
 - RJ45 simile a RJ11 con 4 contatti
- Gli Hub fungono da multiport repeater per il cablaggio orizz.
- Il cablaggio verticale può essere fatto con altri multiport repeater (topologia a stella)

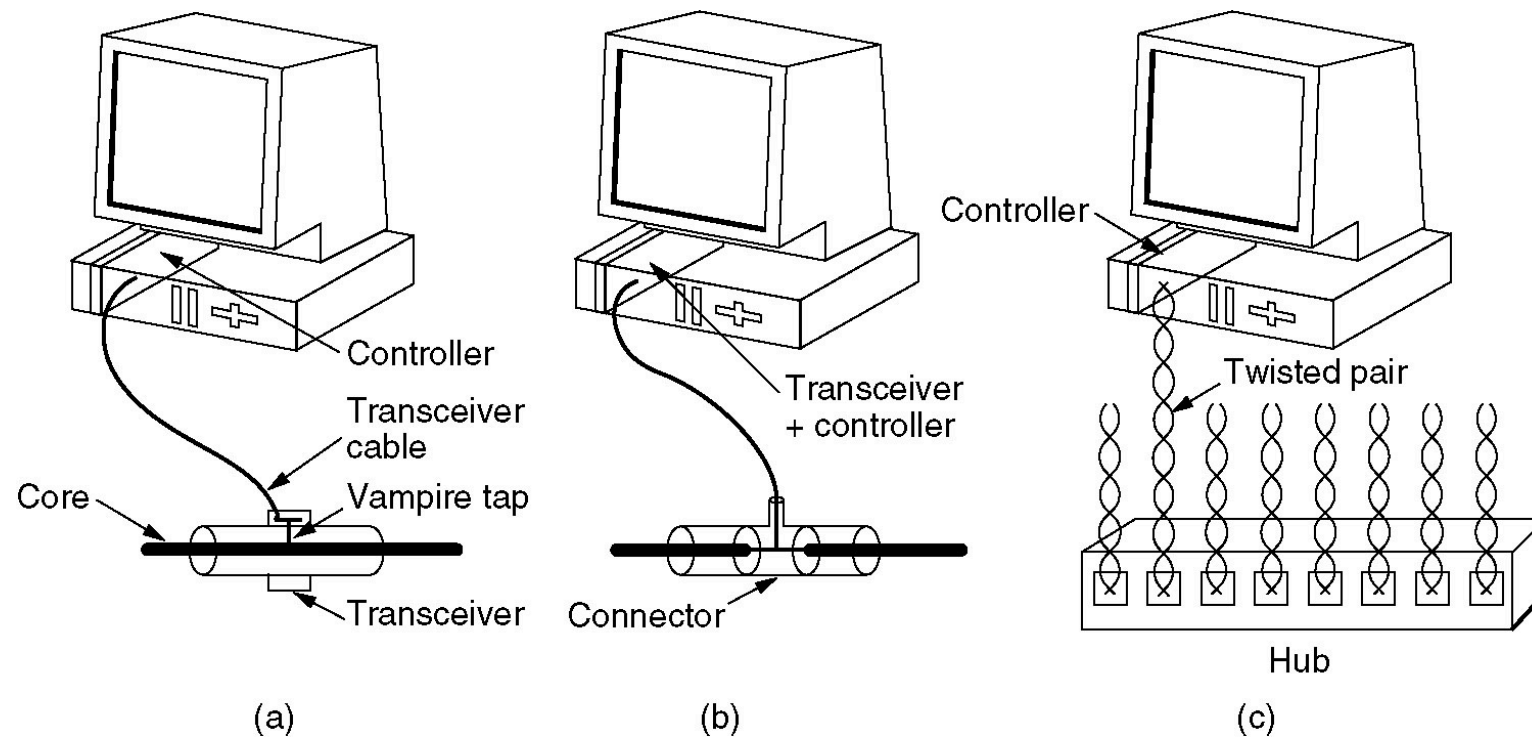
- 10baseF

- Alternativa con cavo in fibra ottica multimodo
- Fino a 2000 m di distanza
- Ancora costosa a causa dei connettori e degli attacchi per le stazioni
- La 10baseF spesso viene usata per il cablaggio verticale

Ethernet Cabling

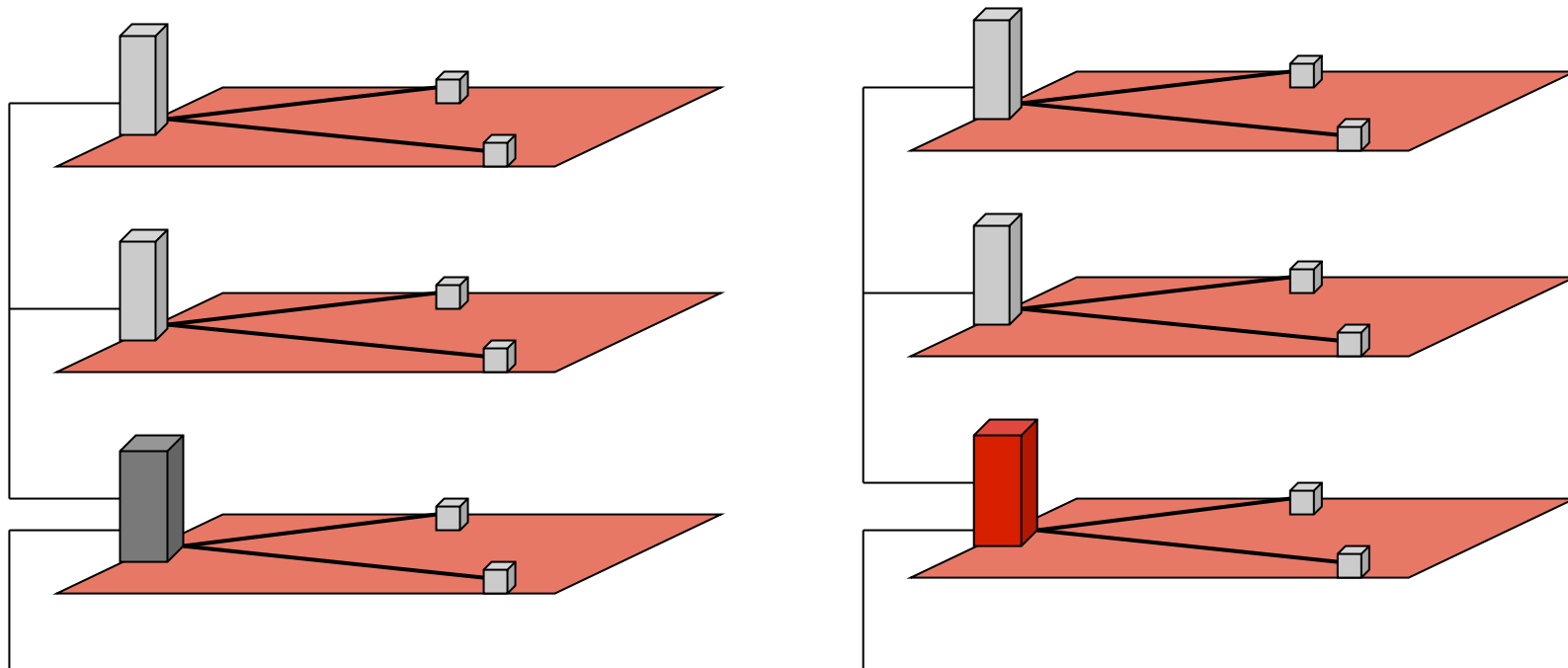
Three kinds of Ethernet cabling.

(a) 10Base5, (b) 10Base2, (c) 10Base-T.



Cablaggio strutturato

- Un unico cablaggio per tutti i servizi di telecomunicazioni degli edifici
 - EIA/TIA 568 (standard di mercato)
 - ISO 11801
 - La soluzione più utilizzata è basata su UTP
 - In un nuovo edificio vengono posati cavetti con diverse coppie (tipicamente 4) che poi finiscono in prese a muro RJ11 o RJ45 per tutti i servizi di telecom.
- Il cablaggio è organizzato in modo gerarchico



Evoluzione dell'Ethernet

- 1992: IEEE riconvocò il comitato 802.3 con l'esigenza di definire LANs più veloci
 - prima proposta: di **mantenere 802.3 tale e quale**, rendendola solo più veloce,
 - Altra proposta: ridefinirla totalmente con nuove caratteristiche (traffico real-time, voce digitale,...)
- Il comitato 802.3 alla fine decise per la prima
- I fautori della seconda formarono un loro comitato **802.12** e la standardizzarono comunque
 - questo standard non ha però avuto successo

IEEE 802.3 u – Fast Ethernet a 100 Mbit/s

- Diametro massimo di un collision domain: 250 m
- 100baseT4
 - Ogni stazione è collegata con 4 UTP di cat. 3
 - Lunghezza fino a 100 m
 - Clock a 25 MHz
 - Codifica 8B/6T: 8 bit (256 comb.) da trasmettere vengono codificati in 6 simboli Ternari (729 comb.)
 - Restano diverse combinazioni *non dati*
 - Su ognuna delle UTP la velocità è 33.333.. Mbit/s
 - Un UTP sempre in direzione Hub-stazione, un UTP sempre stazione-Hub, gli altri 2 vanno a rinforzare una direzione alternativamente portandola a 100 Mbit/s

IEEE 802.3 u – Fast Ethernet (segue)

- **100baseTX**
 - 2 coppie UTP di cat. 5, fino a 100m
 - Clock a 125 MHz
 - Codifica 4B/5B (come in FDDI): 4 bit vengono mappati in 5 bit
 - Velocità netta 100 Mbit/s full duplex
 - Restano combinazioni libere per non dati
- **100base FX**
 - Cavo in fibra ottica multimodo
 - Fino a 2000 m

IEEE 802.3 z - Gigabit Ethernet

- Standard per definire una rete Ethernet a 1 Gbit/s; i collision domain dovrebbero diventare di 25 m; per portarli a 200 m si usa:
 - Carrier extension
 - Frame bursting
- 1000baseSX e 1000baseLX
 - Due alternative in fibra ottica, la prima multimodo, la seconda mono o multi modo
 - Codifica 8B/10B
 - Generatori a Laser
 - Distanze 550 m o 5000 m (solo con LX monomodo)

IEEE 802.3 z - Gigabit Ethernet (segue)

- 1000baseCX
 - Usa 2 coppie intrecciate e schermate STP (nel cavetto ogni coppia è schermata e tutto l'insieme delle coppie è di nuovo schermato)
 - Soluzione costosa e meno performante delle OF
- 1000baseT
 - 4 coppie UTP di cat. 5
 - Clock a 125 MHz
 - Codifica: 2 bit sino codificati su 1 simbolo a 5 livelli
 - È disponibile 1 livello come non dato
 - Velocità netta 1Gbit/s half duplex

Multigigabit Ethernet

- Ora si parla di 10Gigabit Ethernet (allo studio dal 2002 come IEEE 802.3 ae)
 - Applicabile solo su fibra ottica e non su rame
 - Diversi tipi di fibre e modalità di trasmissione
 - Distanze fino a diversi Km
- La maggioranza dei computer sul mercato non può sfruttare la velocità superiori al Gigabit
 - Vengono usate per il backbone
 - Backbone anche su estensioni di diversi Km: sono una moderna alternativa per le MAN
- Lo standard IEEE802.17 (RPR) è una possibile proposta alternativa per i backbone MAN

Carrier Ethernet

- Requisiti tecnologici
 - Diversi per trasporto e accesso
- Ethernet nasce per le LAN ossia per l'accesso
- La penetrazione nello strato di trasporto richiede l'introduzione di nuove funzionalità
 - Segnalazione e gestione
 - Indirizzamento
- Sono in fase di definizione una serie di nuovi standard per introdurre queste funzioni
 - Indirizzamento gerarchico multilivello
 - Recupero dei guasti



Protocolli controllati: prestazioni e funzionalità

Token Ring

- Token Ring sviluppato dai laboratori IBM nel 1976
- E' un protocollo controllato in cui non si possono verificare collisioni
- Richiede una topologia ad anello (ring)
- **Token** = diritto alla trasmissione
 - si può realizzare mediante una trama che gira continuamente sulla linea in cui un bit (**token bit**) indica se è libero o occupato
- L'accesso al mezzo funziona come segue
 - accede al mezzo condiviso chi è in possesso del token
 - la stazione che vuole trasmettere attende che passi un token libero, lo occupa e vi appende le informazioni in coda.

Definizioni

- **T : tempo di trasmissione**
 - Tempo necessario per la trasmissione di una trama di lunghezza massima
- **T_{acc} : Tempo di accesso**
 - Tempo che una stazione deve attendere per vedere il token libero e quindi essere trasmessa
- **T_{lat} : Tempo di latenza**
 - Tempo che impiega un bit a fare un giro completo dell'anello
 - dipende dalla lunghezza dell'anello e dal ritardo introdotto dalle stazioni
- **THT : Tempo di detenzione del token (Token Holding Time)**
 - Tempo trascorso fra l'arrivo e la partenza del token da una stazione
- **TRT: Token Rotation Time**
 - Tempo che impiega il token a compiere un giro completo dell'anello

Rimozione delle trame

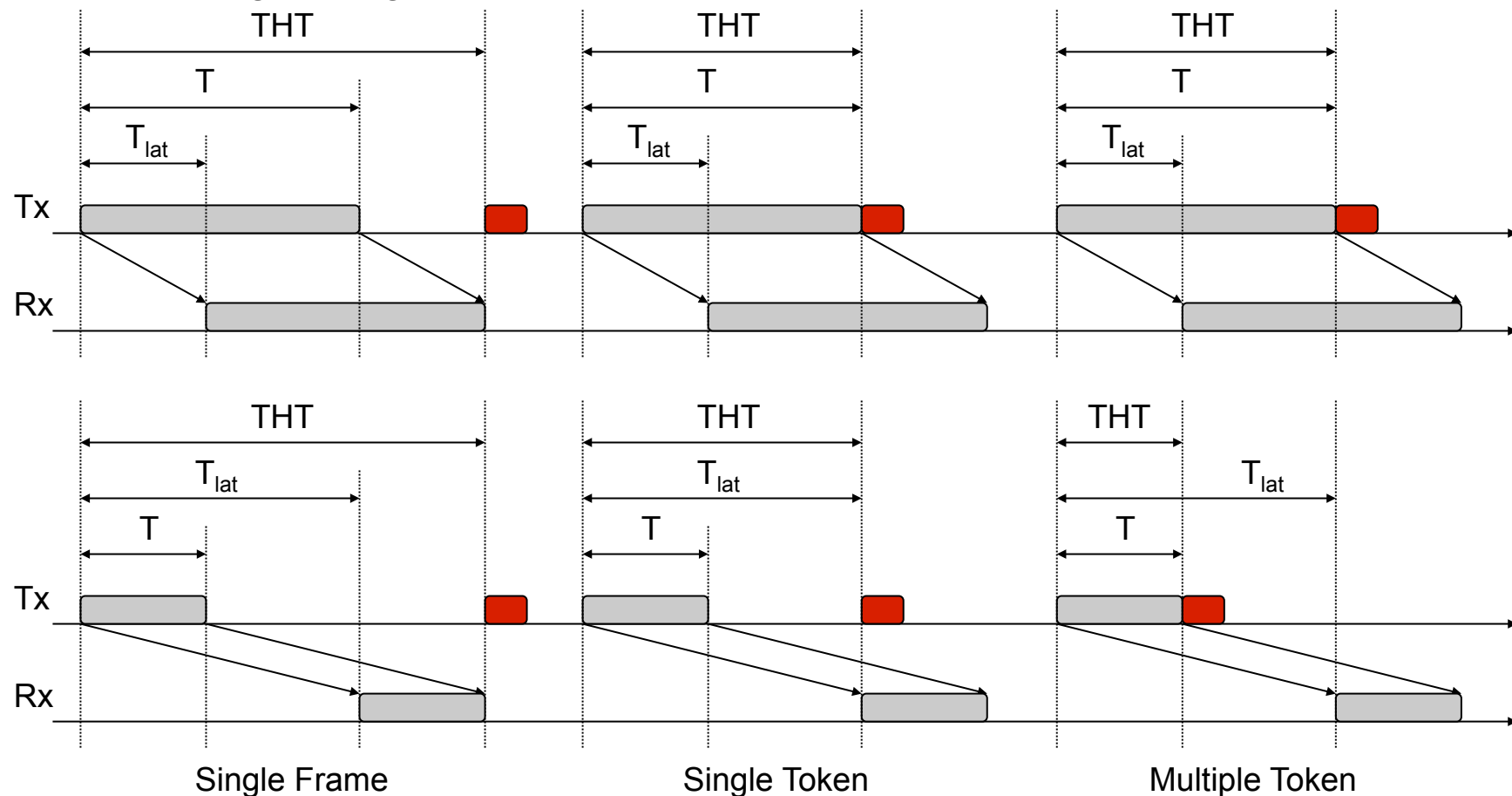
- La trama deve essere rimossa dall'anello una volta ricevuta.
- Rimozione con **modalità parzialmente diffusiva**
 - la trama viene rimossa dalla **stazione ricevente** che libera anche il token
 - prima di ritrasmettere occorre *leggere* almeno l'indirizzo del destinatario
- Rimozione con **modalità diffusiva**
 - la trama viene rimossa dalla **stazione trasmittente** che libera anche il token
 - la stazione ricevente può appendere un Ack alla trama
 - Ogni stazione può ritrasmettere le trame immediatamente con un ritardo di un solo bit

Rimozione delle trame (segue)

- Con la tecnica parzialmente diffusiva il token si libera prima però si hanno i seguenti svantaggi:
 - cambiamento dell'ordine di trasmissione e maggiore aleatorietà del tempo di accesso
 - mancanza di una verifica di corretta trasmissione
 - aumento del tempo di latenza
- Nella modalità diffusiva, la rigenerazione del token si può avere con tre modalità
 - **Single frame**: il token viene rigenerato quando la stazione ha ricevuto l'intera trama trasmessa
 - **Single token**: il token viene rigenerato quando la stazione ha ricevuto il token della trama trasmessa
 - **Multiple token**: il token viene rigenerato appena la stazione ha finito di trasmettere la trama (ha senso solo se il tempo di latenza è maggiore del tempo di trama)

Rigenerazione del token

- THT dipende da
 - Dimensione massima della trama (T)
 - Strategia di rigenerazione del token

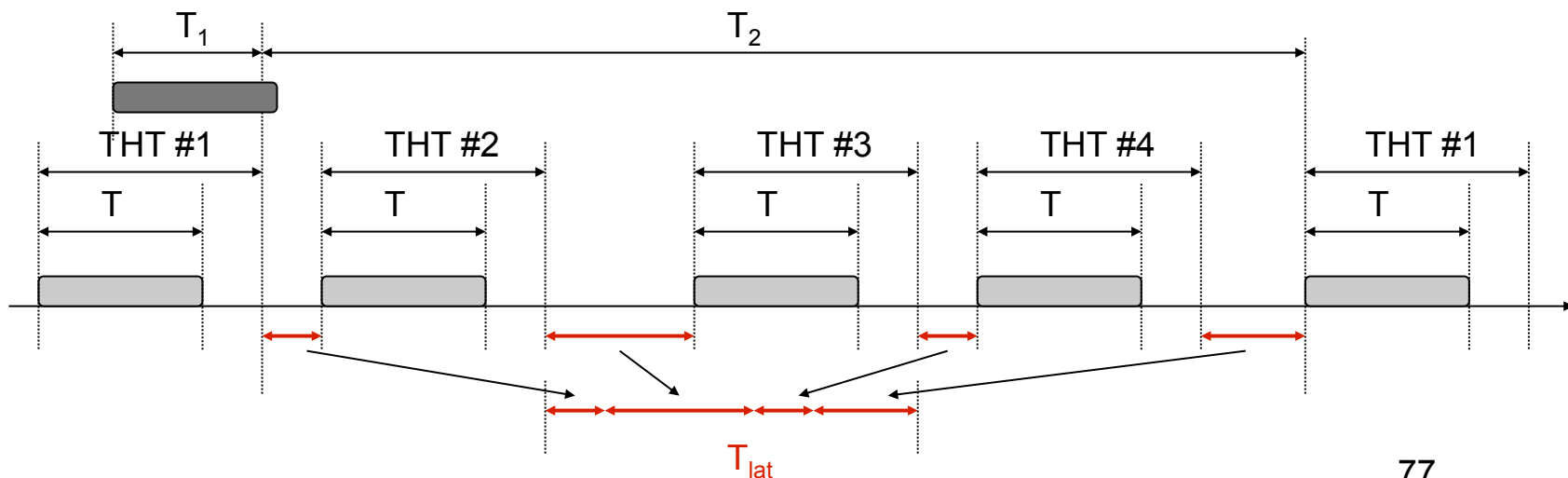


Tempo di accesso

- n stazioni, trame tutte di lunghezza massima
- Una trama arriva alla stazione 1 durante il suo THT
 - Deve attendere T_1 affinché la stazione 1 lasci il token
$$T_1 \leq \text{THT} \text{ e } E[T_1] = \text{THT}/2$$
 - Deve attendere T_2 affinché il token ritorni alla stazione 1
$$T_2 \leq (n-1) \text{ THT} + T_{\text{lat}}$$
- Al peggio il token può essere trattenuto per un THT dalle altre n-1 stazioni
- Il token impiega un T_{lat} a percorrere l'anello

$$T_{\text{acc}} = T_1 + T_2 \leq n \text{ THT} + T_{\text{lat}} = \text{TRT}$$

$$E[T_{\text{acc}}] = \text{THT}/2 + (n-1)/2 \text{ THT} + T_{\text{lat}} = n \text{ THT}/2 + T_{\text{lat}}$$



Monitor

- In caso di malfunzionamenti di stazioni possono verificarsi situazioni di emergenza che richiedono l'intervento di un supervisore (monitor)
- La funzione di monitor può essere svolta da qualunque stazione
- Un tipico problema è una stazione trasmittente che non rimuove la trama e questa circola indefinitamente nell'anello
 - Per rimuoverla il Monitor dispone di un bit M nel campo token, che è sempre 0 quando un nuovo token viene generato e viene marcato a 1 dal monitor ogni volta che questo riceve una trama: se il monitor riceve una trama con $M=1$ la rimuove
- Altri possibili malfunzionamenti
 - Token perduto: non circola più nulla nell'anello
 - Token duplicato

Sincronizzazione e ritrasmissione bit per bit

- Il sincronismo viene ricavato dal segnale ricevuto e usato per il segnale trasmesso (sincronismo asservito)
- Occorre almeno una stazione nell'anello (ad esempio il Monitor) che genera il sincronismo e lo ripristina con un buffer elastico
- Per rendere minimo il tempo di latenza il ogni stazione ritrasmette ogni singolo bit appena lo ha ricevuto
- Un inconveniente è che le trame devono essere ritrasmesse prima del controllo di correttezza e potrebbero contenere errori

Token passing o Token bus

- Usa il concetto di token in una topologia a bus
- Le stazioni formano un anello logico in cui ognuna ha un predecessore ed un successore
- La stazione che possiede il token può usarlo per un THT
- Il passaggio del token avviene inviando al successore una trama apposita (give token)
- L'anello logico si forma e si modifica dinamicamente
 - La stazione che vuole uscire dall'anello attende di avere il token e poi lo comunica al predecessore e al successore
 - Per l'ingresso nell'anello occorre che una stazione prima di passare il token faccia un polling invitando chi vuole ad entrare
 - Se più stazioni vogliono entrare si apre una fase a contesa

Protocolli a contesa o collision free?

- Vantaggi dei protocolli a contesa
 - Maggior semplicità
 - Maggiore efficienza a basso traffico
- Vantaggi dei protocolli collision free
 - Tempo di consegna di una trama superiormente limitato in modo deterministico
 - Assenza di problemi di stabilità
 - Miglior sfruttamento della capacità del canale ad alto traffico
- I protocolli collision free sono stati ritenuti migliori per applicazioni con problemi di real time
 - In queste applicazioni il token bus è stato preferito rispetto al token ring
 - Se si capita un malfunzionamento e contemporaneamente il monitor ha un guasto, il token ring si blocca per un tempo imprevedibile
- Comunque il protocollo divenuto standard di mercato è l'Ethernet e gli altri stanno sparendo

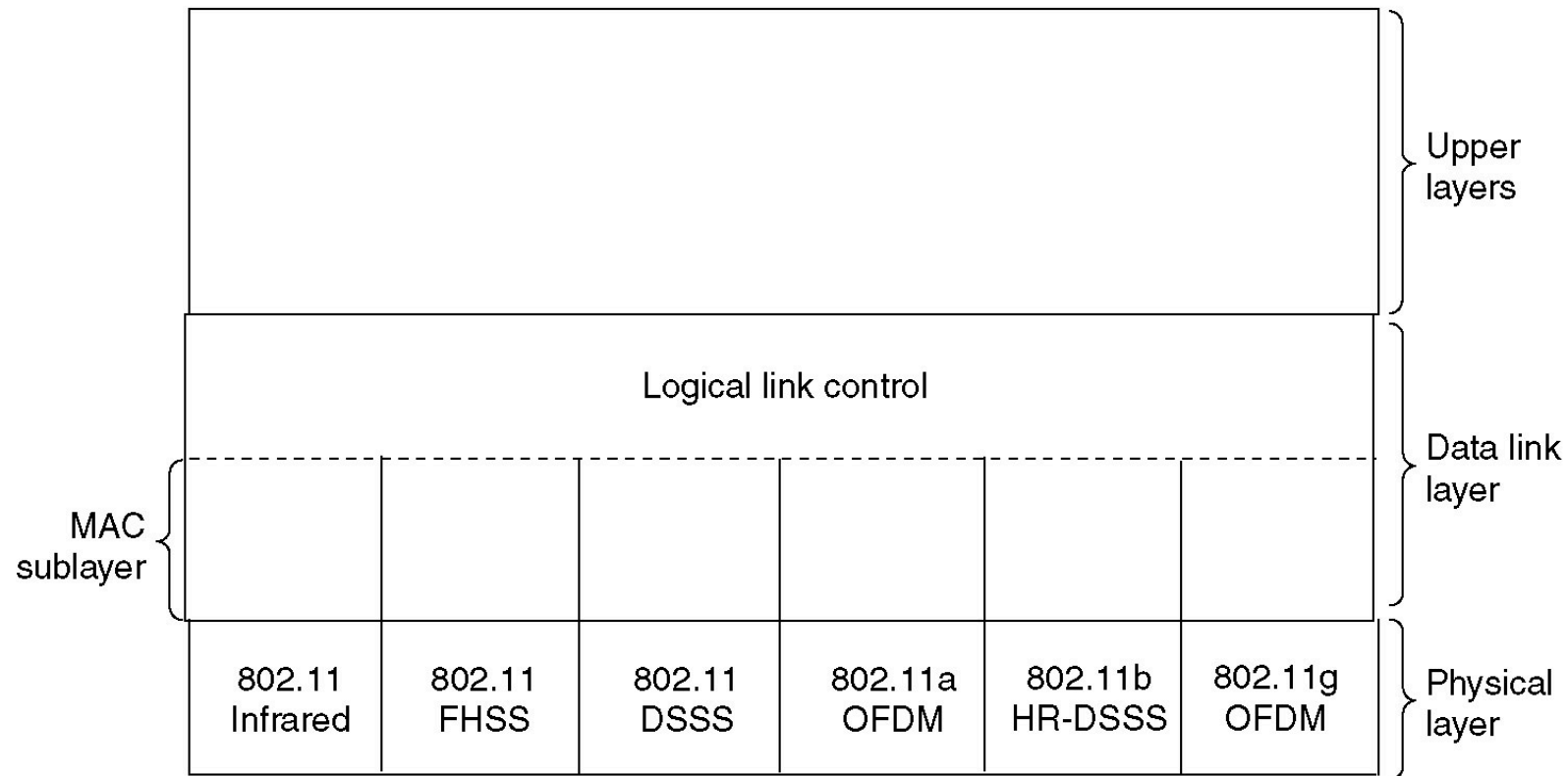


WIRELESS LAN



Lo standard IEEE 802.11

- Il mezzo radio è stato ignorato nei primi standard 802
- A partire dal 1997 compare un nuovo standard per fornire l'accesso a reti locali via radio



Lo strato fisico 802.11

- Si occupa della trasmissione fisica delle trame secondo le specifiche stabilite
- Interagisce con lo strato MAC per segnalare l'attività del canale (necessario per il protocollo di accesso)
- La prima versione (1997) prevedeva tre tecniche di trasmissione a **1Mb/s** e **2Mb/s**
 - infrarossi (scarsamente usata)
 - FHSS
 - DSSS
- Utilizza la banda **ISM** (Industrial, Scientific, Medical) a **2.4 GHz** (83.5 Mhz da 2.40 a 2.4835 Ghz)
 - disponibile per applicazioni industriali, scientifiche e mediche senza necessità di chiedere licenze

Uso della banda ISM

- Proprio perché l'utilizzo è libero, occorre una regolamentazione per evitare abusi e per ridurre le interferenze
 - limitazioni sulla potenza massima trasmessa
 - utilizzo di tecniche Spread Spectrum
 - specifiche di utilizzo
 - FHSS: 79 canali da 1 Mhz ciascuno
tempo di permanenza su un canale ≤ 400 ms (dwell time)
su 30 secondi occorre utilizzare almeno 75 canali diversi
 - DSSS: processing gain ≥ 10 dB
- In Italia, il D.M. 28 Maggio 2003 stabilisce
 - obbligo di richiesta di autorizzazione al Ministero per offrire servizi Wi-Fi nella banda ISM su suolo pubblico
 - obbligo di identificazione degli utenti di tali servizi
 - nessun obbligo su suolo privato

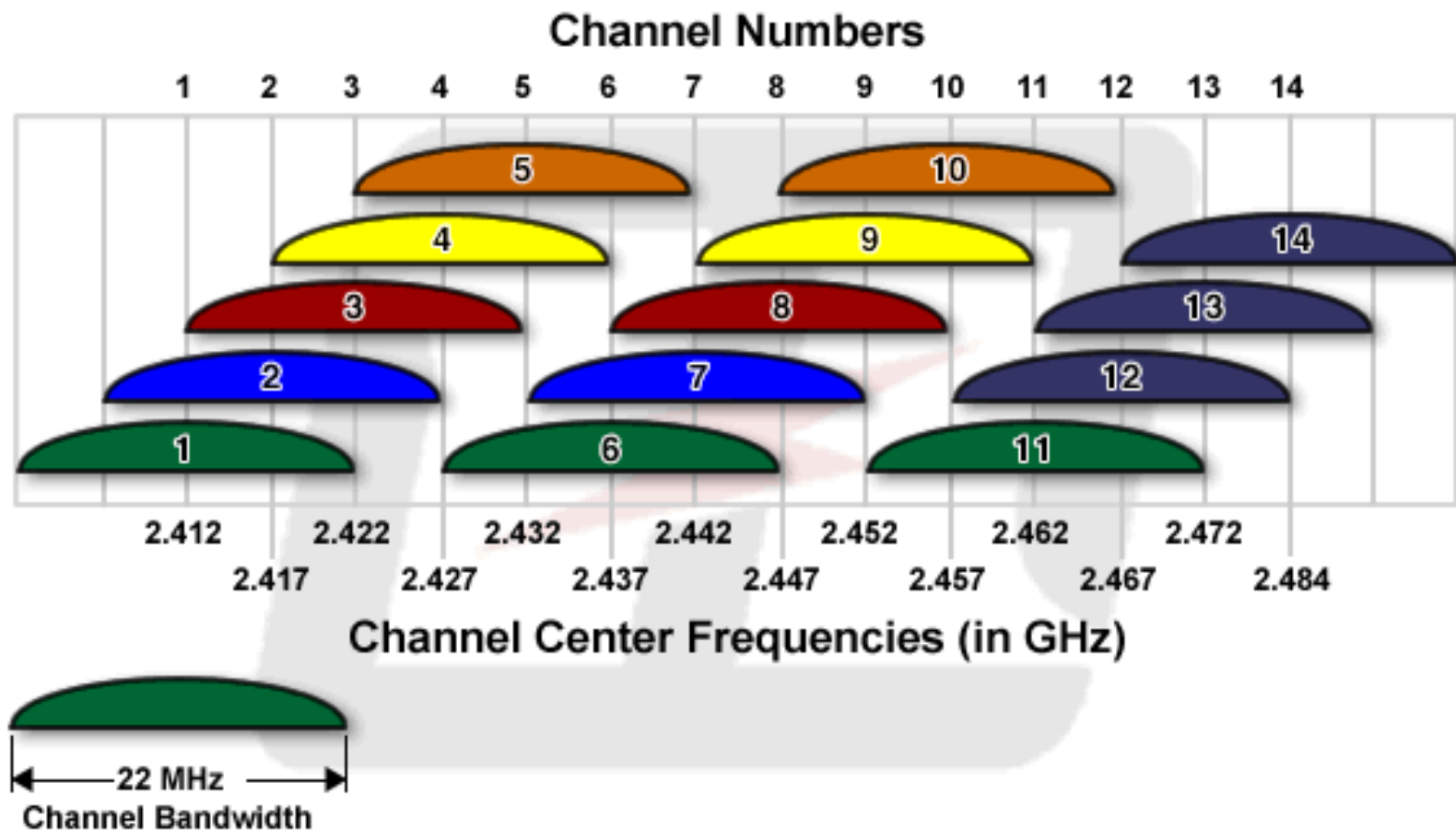
Lo strato fisico 802.11a

- Emesso nel 1999, implementa il Wi-Fi a banda larga
- Utilizza la banda **ISM a 5 GHz**
 - 5.15÷5.25 + 5.25÷5.35 + 5.725÷5.825
 - meno utilizzata di quella a 2.4 GHz
 - maggiore larghezza di banda disponibile (300 MHz)
 - solo limiti sulla potenza massima trasmessa
- Fa uso di OFDM
 - 52 sottoportanti (48 per i dati, 4 per la sincronizzazione)
 - 312.5 kHz di banda per sottoportante
- 12 canali da 20 MHz ciascuno
- Bit rate: **6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mb/s**
 - ottenute con codifiche diverse e modulazioni BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM
 - scelte in base alla distanza da coprire

Lo strato fisico 802.11b

- Emesso nel 1999, implementa il Wi-Fi a banda larga
- Utilizza la banda **ISM** a **2.4 GHz**
- Fa uso di **High-Rate DSSS (HR-DSSS)**
- 14 canali (13 in Europa) da 5 MHz ciascuno
 - il segnale spread spectrum occupa 22 MHz
- Bit rate: **1, 2, 5.5, 11 Mb/s**
 - 1 e 2 Mb/s ottenuti con sequenza PN di Barker a 11 chip e modulazioni DBPSK e DQPSK (compatibile con 802.11)
 - 5.5 e 11 Mb/s ottenuti con una complessa codifica spread spectrum a 11 Mchip/s (Complementary Code Keying – CCK) e modulazione DQPSK
- Riesce ad adattare la bit rate alle condizioni del canale
 - **Dynamic Rate Shifting**

Canalizzazione 802.11b

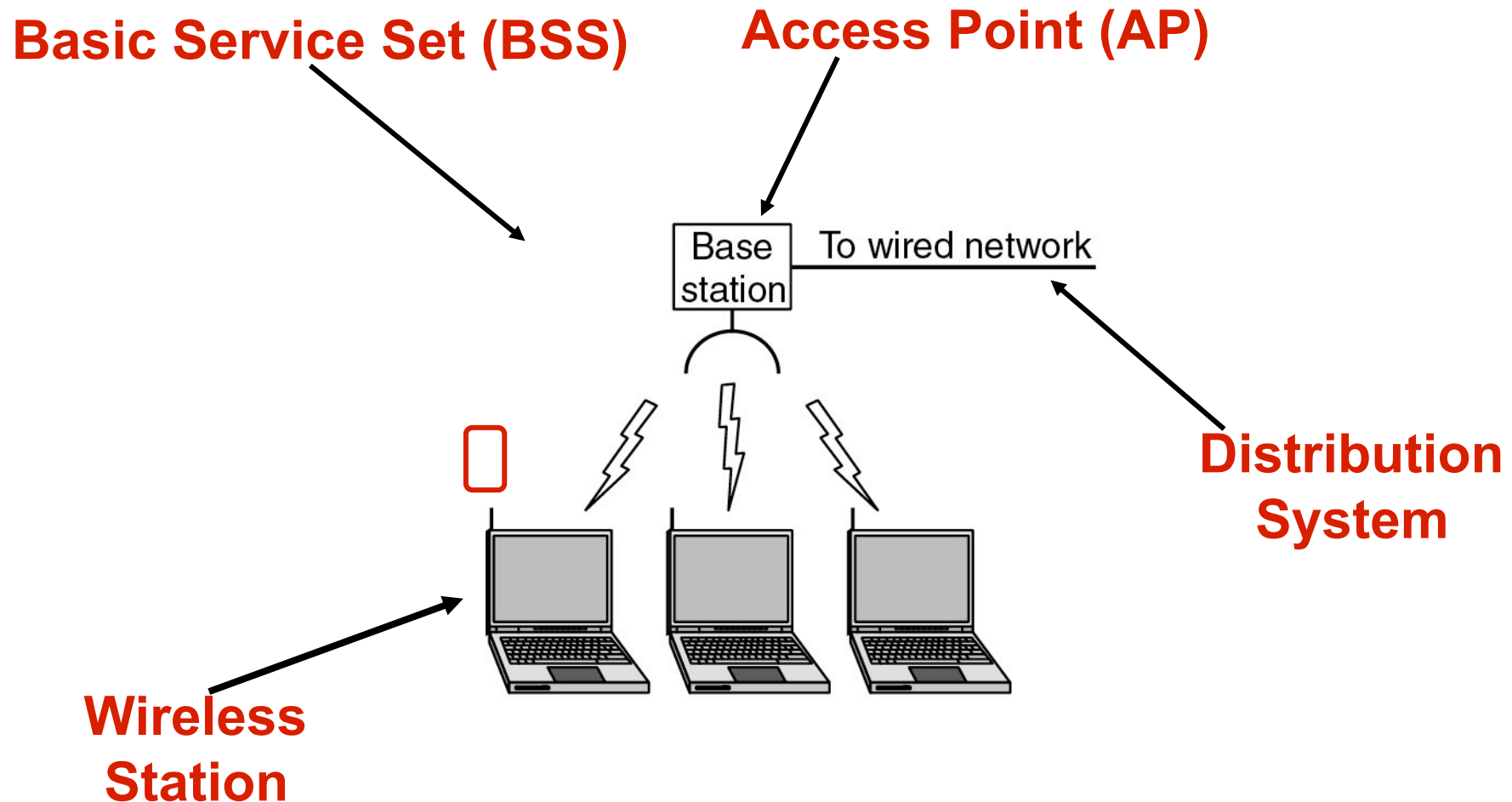


IEEE 802.11 RF Channelization Scheme

Lo strato fisico 802.11g

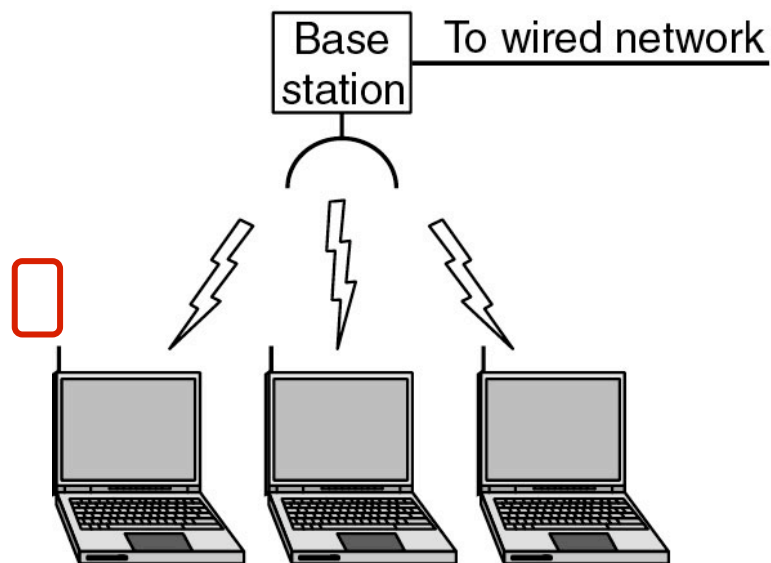
- Emesso nel 2003
- Come 802.11b, utilizza la banda **ISM** a **2.4 GHz**
- Come 802.11a, fa uso di OFDM, ma può usare anche HR-DSSS
- Bit rate
 - HR-DSSS: **1, 2, 5.5, 11 Mb/s**
 - OFDM: **6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mb/s**

Architettura di rete 802.11



Architettura di rete 802.11

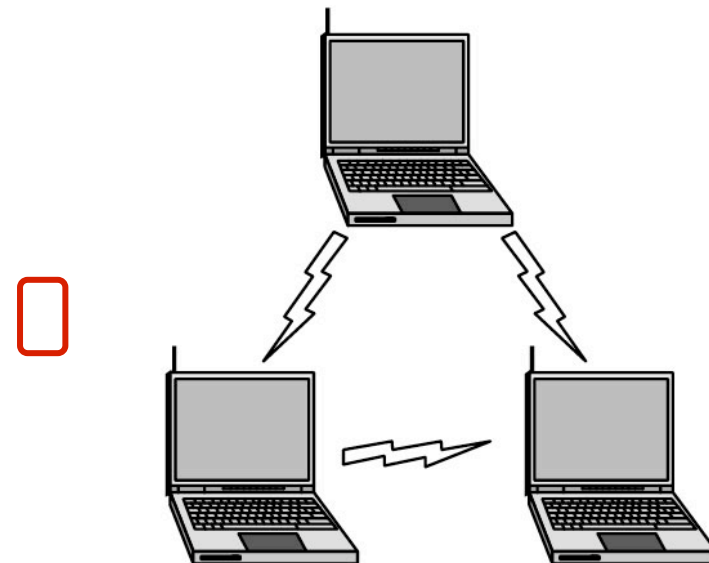
Modalità Infrastrutturata (Infrastructure BSS)



Le stazioni comunicano attraverso l'AP (anche se non si vedono direttamente)

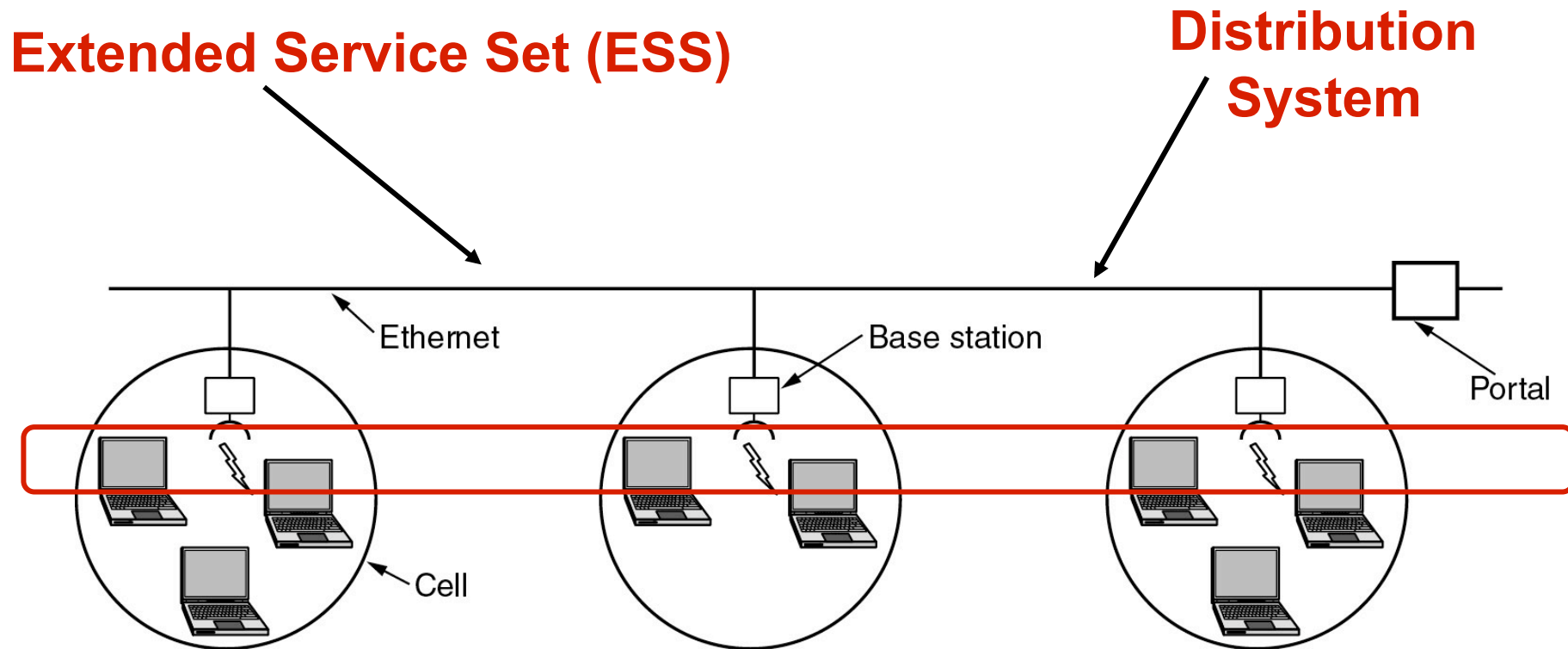
Da A.S. Tanenbaum, "Reti di Calcolatori"

Modalità Ad-Hoc (Independent BSS)



Le stazioni comunicano in modalità peer-to-peer e solo se si vedono direttamente

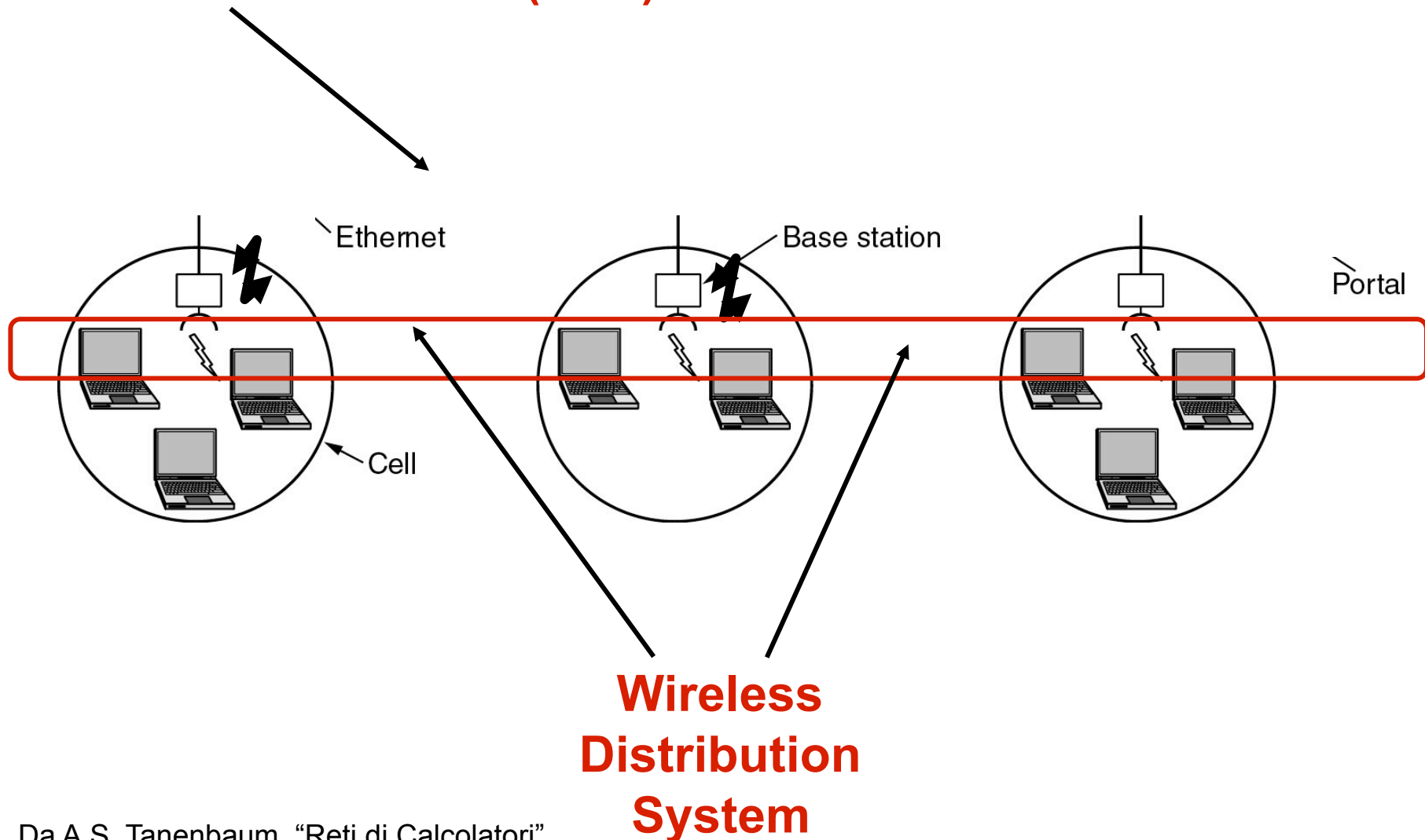
Architettura di rete 802.11



Occorre gestire l'associazione delle stazioni agli AP
Permette la mobilità delle stazioni trasparente agli strati superiori
Gli AP sono configurati come bridge tra WLAN e LAN, così l'intero ESS è visto come un'unica LAN (unico dominio di broadcast)

Architettura di rete 802.11

Extended Service Set (ESS)



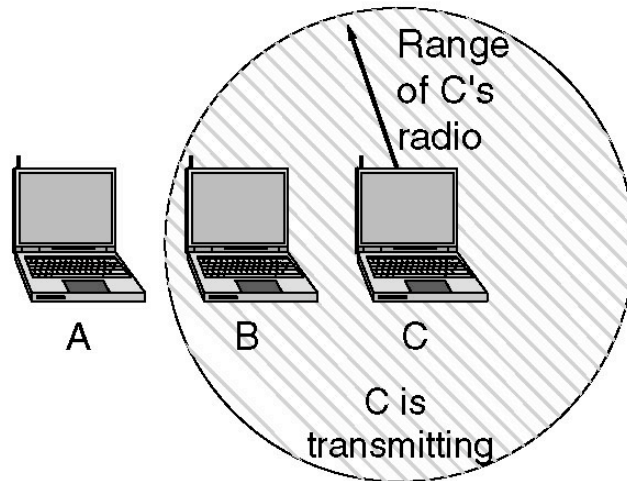
Da A.S. Tanenbaum, "Reti di Calcolatori"

Problemi di accesso multiplo al canale

- A differenza delle LAN cablate, in cui tutti ricevono quello che viene trasmesso sul mezzo condiviso, nelle WLAN ci sono problemi specifici

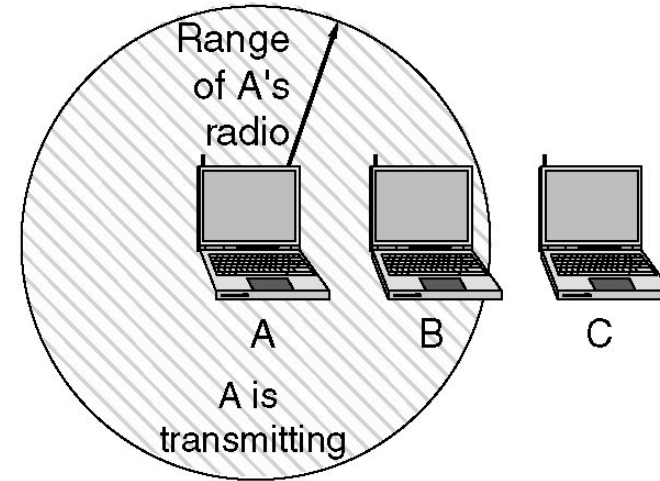
stazione nascosta

A wants to send to B
but cannot hear that
B is busy



stazione esposta

B wants to send to C
but mistakenly thinks
the transmission will fail



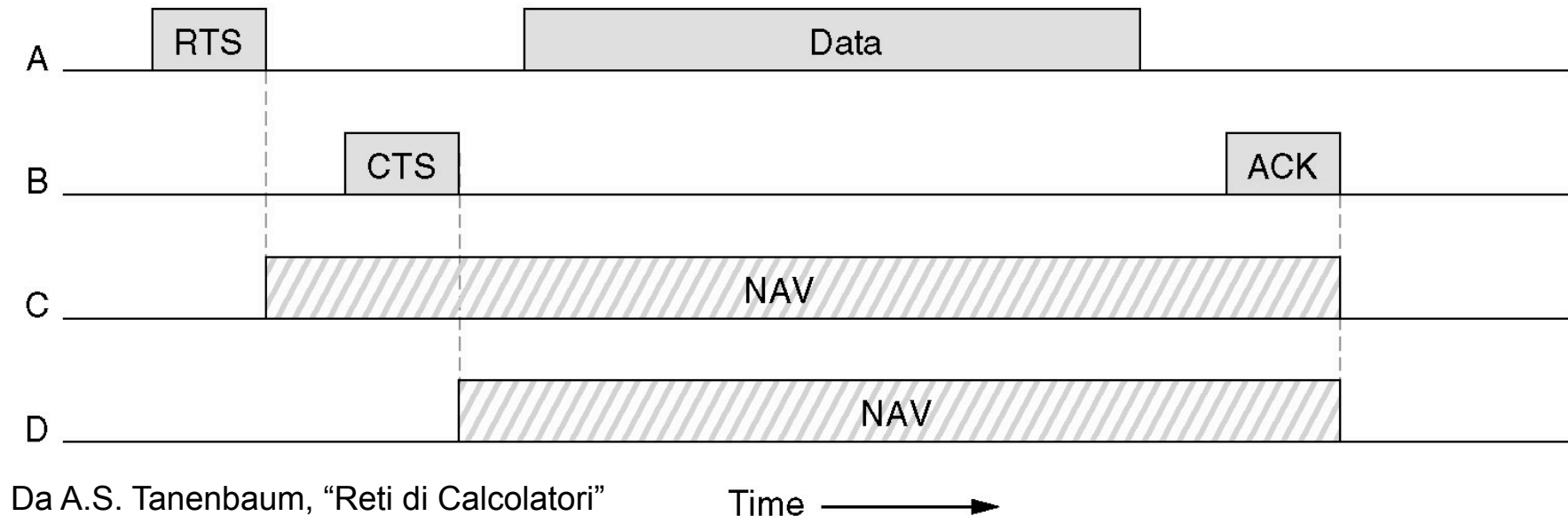
Problemi di accesso multiplo al canale

- Il problema della stazione nascosta rende maggiormente problematico l'uso del **carrier sensing**, rispetto alle reti cablate
- La natura half-duplex delle interfacce WLAN impedisce l'uso di **collision detect**
- Il protocollo di accesso multiplo CSMA/CD usato da 802.3 non è utilizzabile nelle WLAN
- Si usa il **Carrier Sensing Multiple Access** con **Collision Avoidance (CSMA/CA)** in due modalità
 - **Distributed Coordination Function (DCF)**
 - l'accesso al canale è gestito in modo distribuito
 - **Point Coordination Function (PCF)**
 - l'accesso al canale è gestito dall'AP

Protocollo MAC 802.11 – DCF

- Prima di inviare una trama, il mittente invia al destinatario un **Request To Send (RTS)**
 - le altre stazioni che lo ricevono sanno che il canale sta per essere occupato e quanto a lungo lo sarà (la durata del frame è contenuta nel RTS)
- Se il destinatario è in grado di ricevere, risponde con un **Clear To Send (CTS)**
 - a questo punto anche le stazioni che vedono il destinatario ma non il mittente sanno che il canale sarà occupato e conoscono la durata del frame
- L'unico ad accorgersi se una trama è errata è il ricevitore
 - invia un **ACK** al mittente per ogni trama ricevuta correttamente
 - se scade un time-out prima della ricezione dell'ACK, il mittente ritrasmette il frame (preceduto da un nuovo RTS)

Protocollo MAC 802.11 – DCF

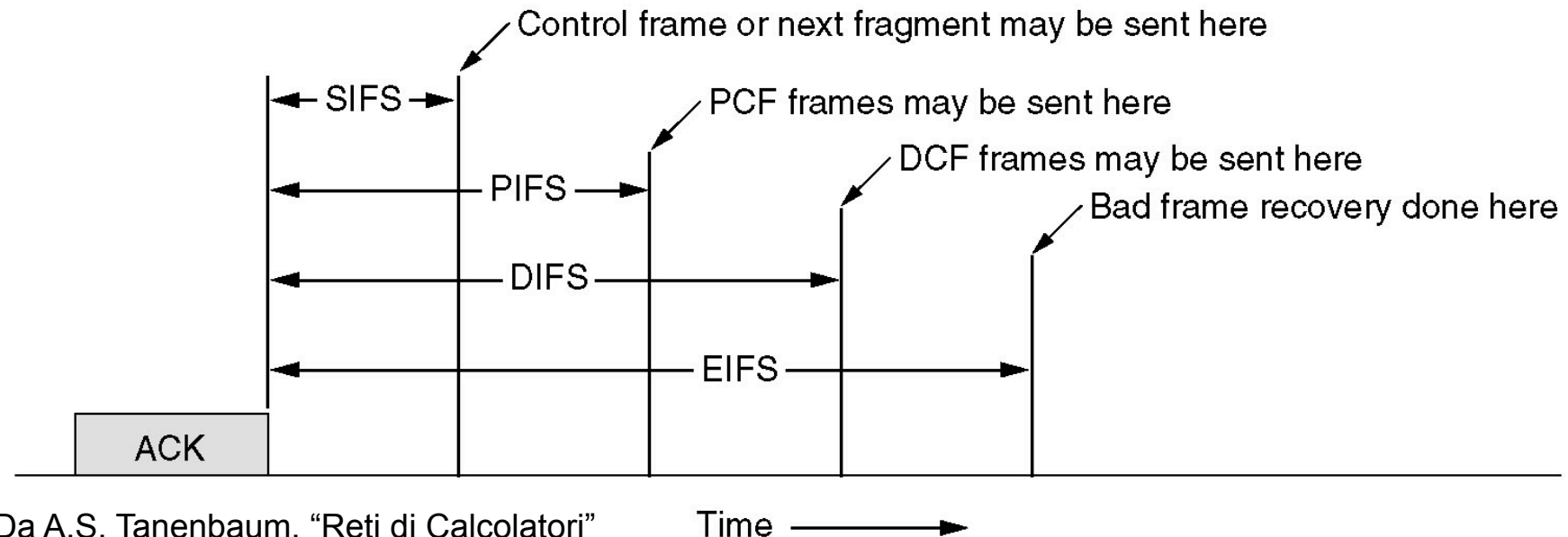


- Le stazioni C e D si accorgono (in tempi diversi) che il canale non è disponibile ed effettuano un carrier sensing virtuale
 - il Network Allocation Vector (NAV) mantiene il canale virtuale occupato
- In caso di collisione tra due RTS, si applica un meccanismo di backoff esponenziale binario
 - si aspetta un tempo casuale entro un intervallo crescente come 2^n

Protocollo MAC 802.11 – PCF

- Nel caso di rete infrastrutturata, l'AP gestisce l'utilizzo del canale a polling, attribuendolo a turno alle stazioni che hanno bisogno di trasmettere
- L'AP trasmette periodicamente un segnale di **beacon** che permette
 - la sincronizzazione delle stazioni
 - la rilevazione della presenza dell'AP
 - la possibilità di entrare nel processo di polling
- Quando una stazione viene attivata, essa scandisce i canali disponibili e cerca i beacon di eventuali AP con cui associarsi
 - tra le altre cose, il beacon mostra il **SSID** (se impostato) che identifica l'AP

Protocollo MAC 802.11 – PCF



Da A.S. Tanenbaum, "Reti di Calcolatori"

- dopo SIFS (Short InterFrame Spacing) ci si aspetta che qualcuno trasmetta un ACK, un CTS o un frammento di trama successivo
- altrimenti, dopo PIFS (PCF InterFrame Spacing) ci si aspetta che intervenga l'AP (beacon, polling, ...)
- altrimenti, dopo DIFS (DCF InterFrame Spacing) le altre stazioni possono provare ad accedere (con un RTS)
- altrimenti, dopo EIFS (Extended InterFrame Spacing) chi ha ricevuto un frame inatteso può segnalarlo

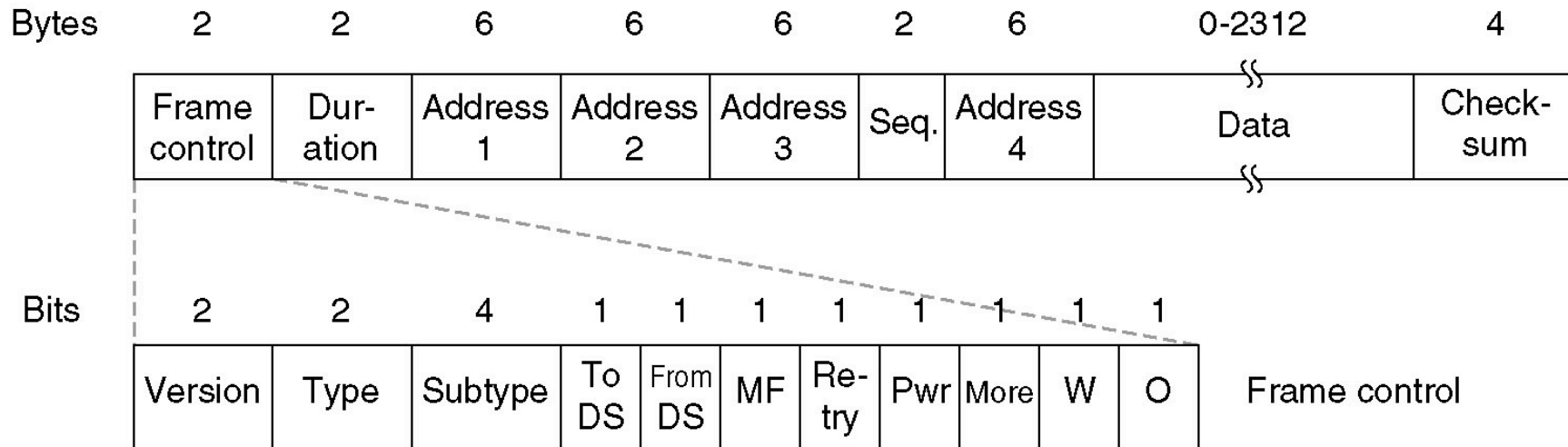
Trama MAC 802.11



Da A.S. Tanenbaum, "Reti di Calcolatori"

- Type = data, control, management
- Subtype = RTS, CTS, ACK, ...
- To DS, From DS = diretto a o proveniente dal sistema di distribuzione
- MF = More Fragments
- Retry = è una ritrasmissione
- Pwr = gestione dell'alimentazione delle stazioni (sleep, wake-up)
- More = altri frame a seguire
- W = dati cifrati con WEP
- O = mantenere l'ordine di sequenza dei frame

Trama MAC 802.11

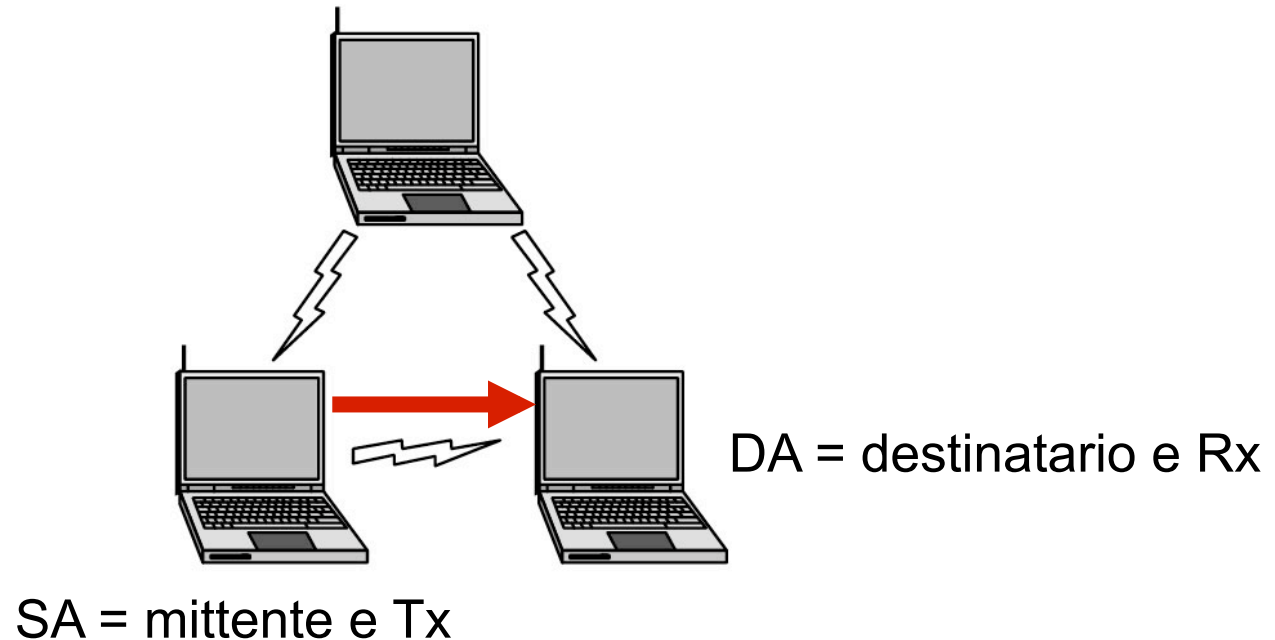


Da A.S. Tanenbaum, "Reti di Calcolatori"

- Duration = durata del frame e del relativo ACK
- Address 1...4 = indirizzi MAC (48 bit) di mittente, destinatario, Tx e RX radio (usati secondo le situazioni specifiche)
- Sequence = numerazione delle trame in sequenza
- Checksum = codice di controllo d'errore

Indirizzamento 802.11

IBSS (Ad-Hoc)



Address 1 = DA

Address 2 = SA

Address 3 = BSSID (casuale generato da una delle stazioni nell'IBSS)

Address 4 = N/A

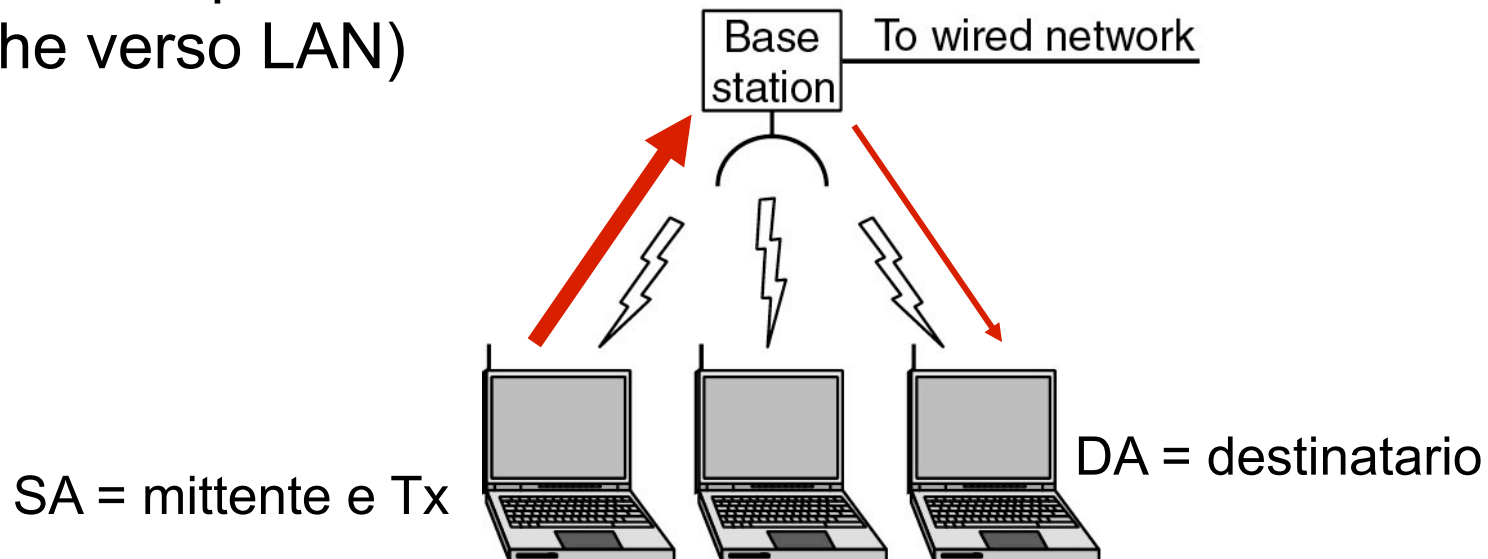
To DS = 0

From DS = 0

Indirizzamento 802.11

BSS/ESS Uplink
(anche verso LAN)

BSSID = Rx



Address 1 = BSSID (MAC address dell'AP)

Address 2 = SA

Address 3 = DA

Address 4 = N/A

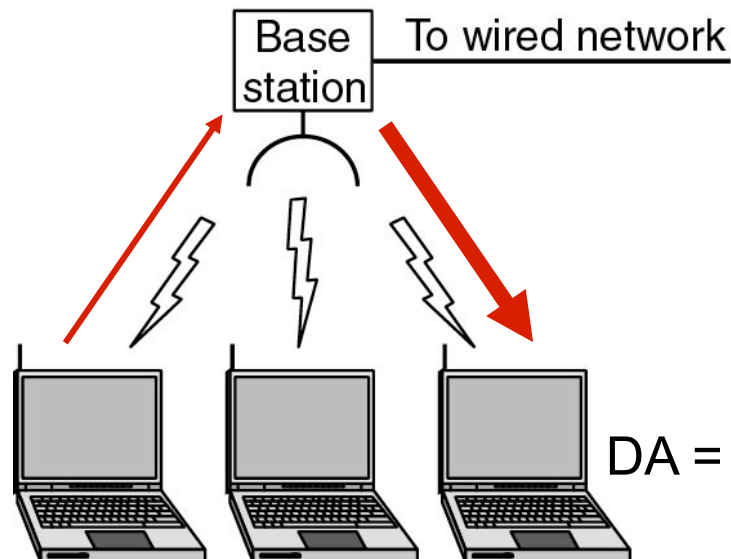
To DS = 1

From DS = 0

Indirizzamento 802.11

BSS/ESS Downlink
(anche da LAN)

BSSID = Tx



SA = mittente

DA = destinatario e Rx

Address 1 = DA

Address 2 = BSSID (MAC address dell'AP)

Address 3 = SA

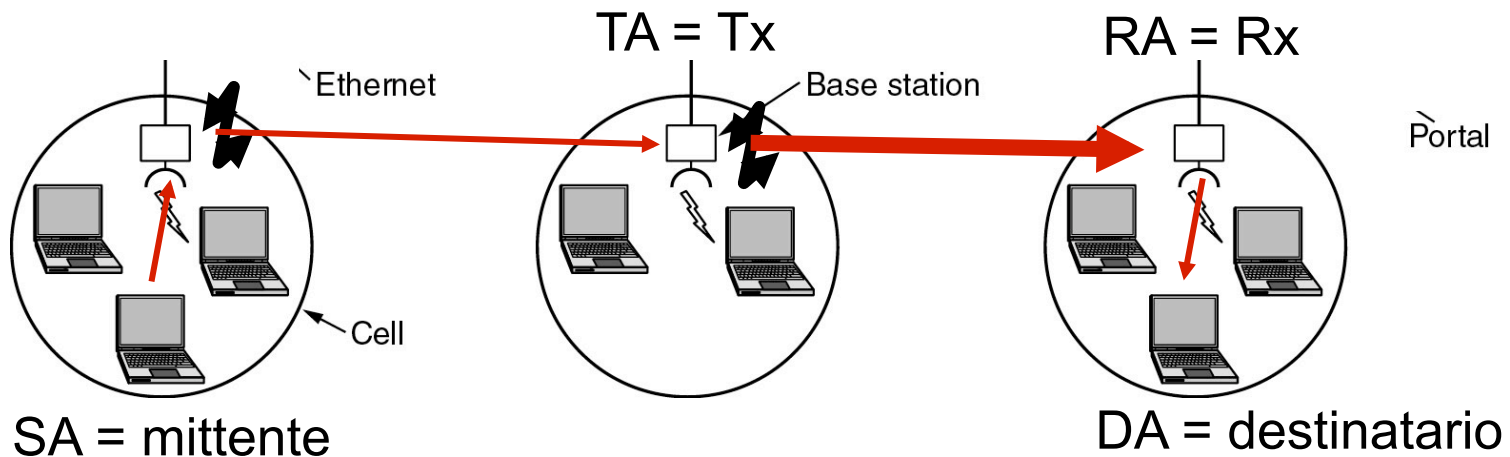
Address 4 = N/A

To DS = 0

From DS = 1

Indirizzamento 802.11

ESS con Wireless Distribution System



Address 1 = RA

Address 2 = TA

Address 3 = DA

Address 4 = SA

To DS = 1

From DS = 1

IEEE 802.16

- Detto anche **Wireless Man** o **Wireless local loop** è nato per fornire accesso a larga banda via radio ad utenti home. Concorrenti
 - Doppino di utente: ADSL, HDSL, VDSL
 - Fibra ottica
 - Coassiale per CA-TV
 - Satelliti: GEO e LEO
 - Rete cellulare: UMTS
 - (Cavi dell'energia)
- Serve uno standard **diverso da 802.11** perché ci sono molte differenze
 - Ambiente **outdoor** e non indoor
 - **Non** necessaria **mobilità**
 - **Distanze** relativamente **lunghe** → necessità di accurato trattamento dell'errore

IEEE 802.16 (segue)

- Protocollo di accesso a **controllo centralizzato**
- Tre alternative di modulazione a seconda della distanza della casa dell'utente, basate su tecniche **QAM** (Quadrature Amplitude Modulation)
 - **64 QAM** a **150 Mbit/s**
 - **16 QAM** a **100 Mbit/s**
 - **QPSK** (Quadrature Phase Shift Keying) a **50 Mbit/s**
- Si definiscono e garantiscono diverse **Qualità di Servizio**

IEEE 802.15 Bluetooth

- La rete Bluetooth un prodotto sviluppato da Ericsson, IBM, Intel, Nokia e Toshiba
- Si propone di offrire Applicazioni agli utenti per cui definisce fino allo strato 7 dell'OSI
- IEEE 802.15 standardizza solo fino al MAC
- Reti a cortissimo raggio, PAN Personal Area Network (10 m, piconet) a bassissima potenza e costo
- Opera nella gamma 2.4 GHz con tecniche di modulazione tipo FSK (frequency Shift Keying)



Interconnessione di LAN

Alternative di interconnessione di LAN

- A volte può essere conveniente suddividere una LAN in più spezzoni o interconnettere LAN o reti di tipo diverso
- Servono apparati di interconnessione che a seconda della funzionalità prendono il nome di
 - Repeaters
 - Bridge
 - Routers
 - Gateways

REPEATER

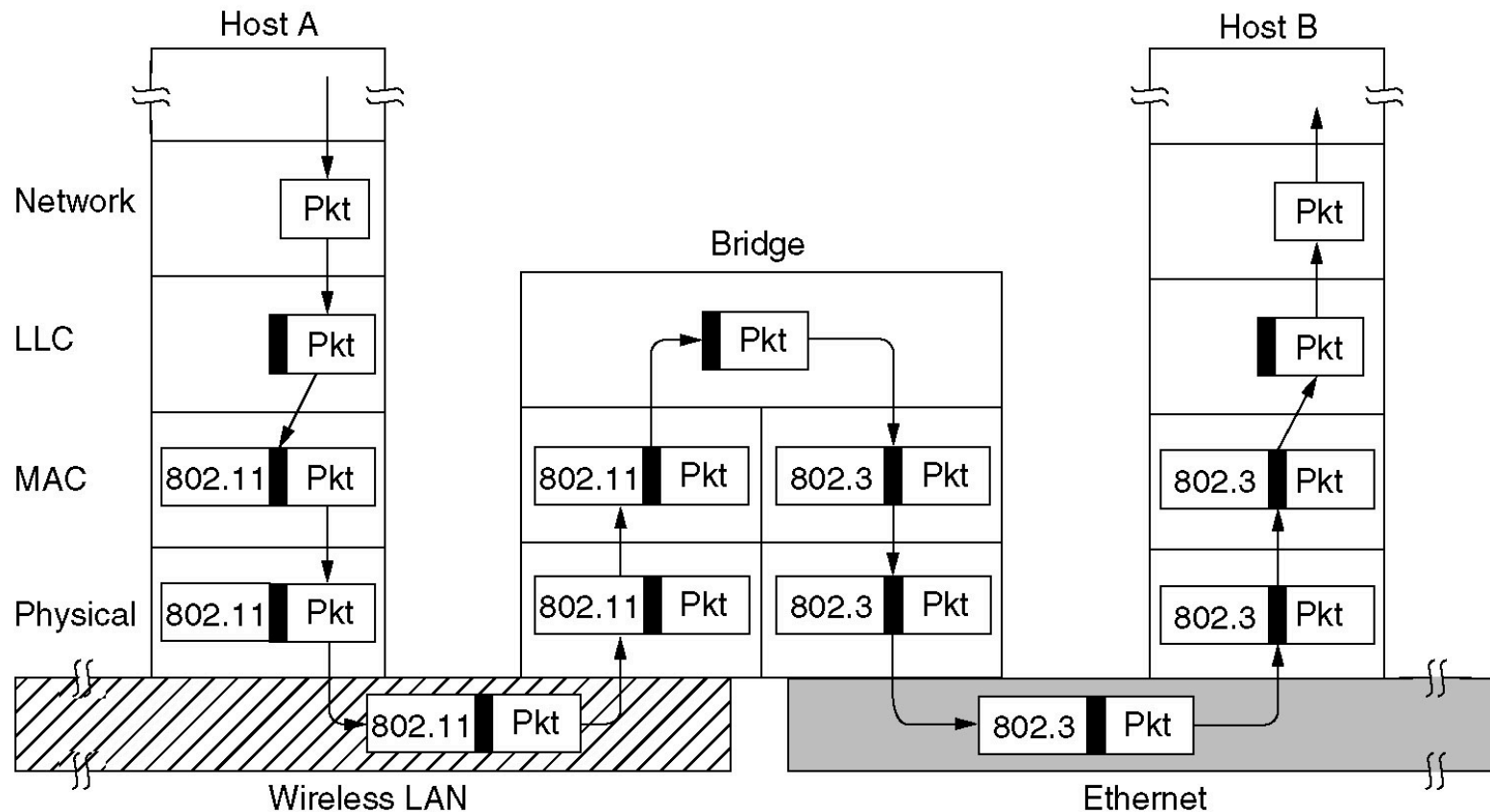
- Apparato attivo che collega 2 o più mezzi di trasmissione
- Opera a livello dello **strato1** dell'OSI
- Estende il mezzo di trasmissione: ripete i segnali verso tutte le porte di uscita
 - Amplifica il segnale
 - Rigenera i bit entranti e li sincronizza
- Permette di generalizzare la topologia creando dei **backbone**
 - Nella rete Ethernet si richiede comunque una topologia **strettamente ad albero**
 - Il backbone deve sopportare il **traffico aggregato** e il diametro complessivo non deve superare i 2500 metri
- Può essere multiporta: in questo caso fa le veci di un bus **collassato** in un punto (collapsed backbone)

BRIDGE

- Opera a livello dello strato 2 dell'OSI
- Può interconnettere reti di tipo diverso (Ethernet con Token ring, ...) eseguendo i protocolli di accesso e le conversioni di trama
- Nel caso di due reti CSMA/CD separa i **domini di collisione**
 - Un dominio di collisione è una parte di LAN CSMA/CD dove se 2 o più stazioni provano a trasmettere contemporaneamente, i loro pacchetti collideranno
 - Il vincolo dei m. 2500 si applica al collision domain
- **Filtering bridge**
 - Invia la trama solo sulla porta di uscita dove si trova il destinatario: esegue una funzione di **routing** a livello di trama
 - **Separa il traffico** dei diversi domini di collisione
 - Richiede funzioni di **memorizzazione** delle trame
 - Consente operazioni **full-duplex** (solo con UTP o FO)

Bridges from 802.x to 802.y

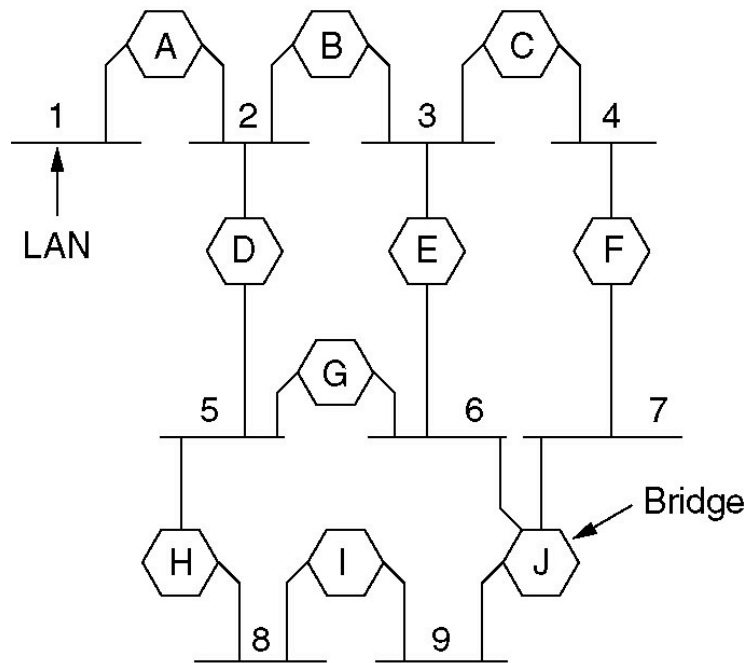
Operation of a LAN bridge from 802.11 to 802.3.



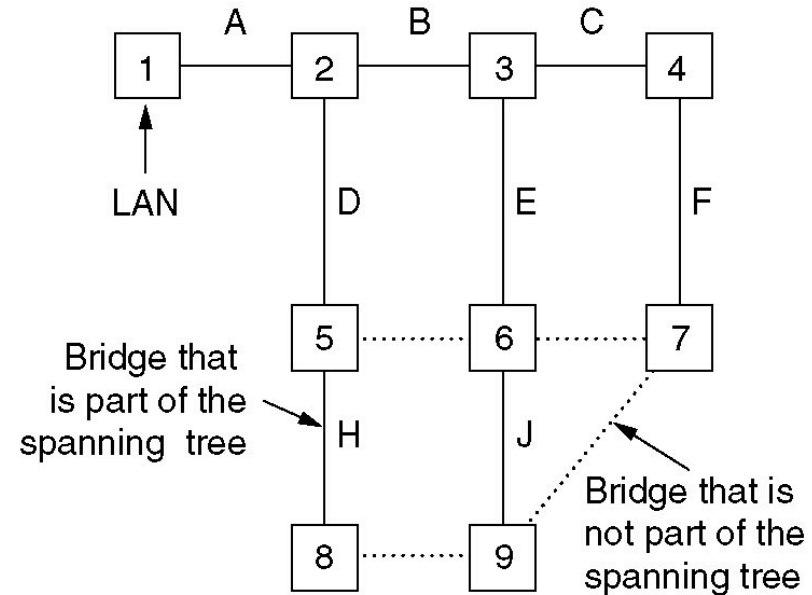
Routing nei Filtering Bridge

- Il Filtering bridge deve sapere dove si trova il destinatario calcolando le **tabelle di routing**; due tipi principali:
 - **Source routing bridge**: tabelle nelle workstations che devono specificare l'intero percorso da seguire all'atto della trasmissione
 - Richiede molto lavoro di configurazione
 - **Transparent bridge**: tabelle di routing costruite dai bridge stessi (nessuna configurazione)
 - Packet forwarding
 - Learning process, **backward learning**
 - **Spanning Tree algorithm**: per la rimozione dei cicli se la topologia non è ad albero
 - Algoritmo distribuito pubblicato in **802.1D**

Spanning Tree Bridges



(a)



(b)

- (a) Interconnected LANs.
- (b) A spanning tree covering the LANs. The dotted lines are not part of the spanning tree.

SWITCH

- Si basa su un back-plane ad alta velocità ed è in grado di trasferire contemporaneamente trame da più porte di ingresso a più porte di uscita
 - Opera una funzione di commutazione
- E' un bridge multiporta con talvolta caratteristiche dei routers
 - Divide le reti in più piccoli collision domains (Ethernet) o anelli (Token Ring) al fine di fornire ad ogni stazione di lavoro più banda
- Usato anche per connettere reti tradizionali (Ethernet a 10Mbit/s) a reti ad alta velocità come Fast Ethernet, FDDI, Gigabit Ethernet,...

ROUTER, GATEWAY

- Il router opera nello strato 3 dell'OSI (strato di Rete)
 - Ha diverse porte su ognuna delle quali sono presenti entità di strato 2 (data link) fra loro indipendenti
 - Può eseguire conversioni di protocolli di accesso e di protocolli di rete
 - Esegue funzioni di routing anche sofisticate **sfruttando le eventuali vie alternative**
- Il gateway coinvolge strati dell'OSI superiori a quello di Rete
 - **Transport gateway**: opera a livello di Transport
 - **Application gateway**: coinvolge tutti e 7 gli strati dell'OSI, operando a livello di applicazione