

Capitolo 5

Livello di collegamento

Una nota sull'uso di queste diapositive ppt:

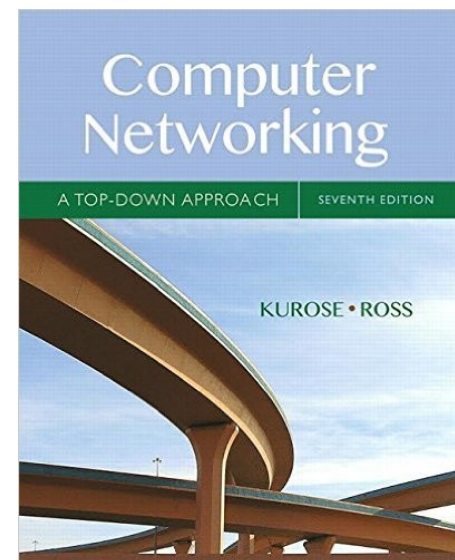
Stiamo rendendo queste diapositive disponibili gratuitamente a tutti (docenti, studenti, lettori). Sono in formato PowerPoint, quindi puoi vedere le animazioni; e può aggiungere, modificare ed eliminare le diapositive (inclusa questa) e il contenuto delle diapositive in base alle proprie esigenze.

Ovviamente rappresentano molto lavoro da parte nostra. In cambio dell'uso, chiediamo solo quanto segue:

- *Se usi queste diapositive (ad esempio, in una classe) e menzioni la loro fonte (dopotutto, vorremmo che le persone usassero il nostro libro!)*
- *Se pubblichi diapositive su un sito www, tieni presente che sono adattate da (o forse identiche a) le nostre diapositive e prendi nota del nostro copyright su questo materiale.*

Grazie e buon divertimento! JFK/KWR

© Tutto il copyright del materiale 1996-2012
JF Kurose e KW Ross, Tutti i diritti riservati



Computer Rete: A

Dall'alto al basso

Approccio

7th edizione

**Jim Kurose, Keith
Ross**

Addison Wesley
aprile 2016

Capitolo 5: Livello di collegamento

i nostri obiettivi:

- *comprendere i principi alla base dei servizi a livello di collegamento:*
 - *rilevamento degli errori, correzione*
 - *condivisione di un canale di trasmissione: accesso multiplo*
 - *indirizzamento del livello di collegamento*
 - *reti locali: Ethernet, VLAN*



Livello di collegamento, LAN: cenni

5.1 introduzione, Servizi

5.2 rilevamento degli errori, correzione

5.3 accesso multiplo protocolli

5.4 LAN

indirizzamento, ARP

Ethernet

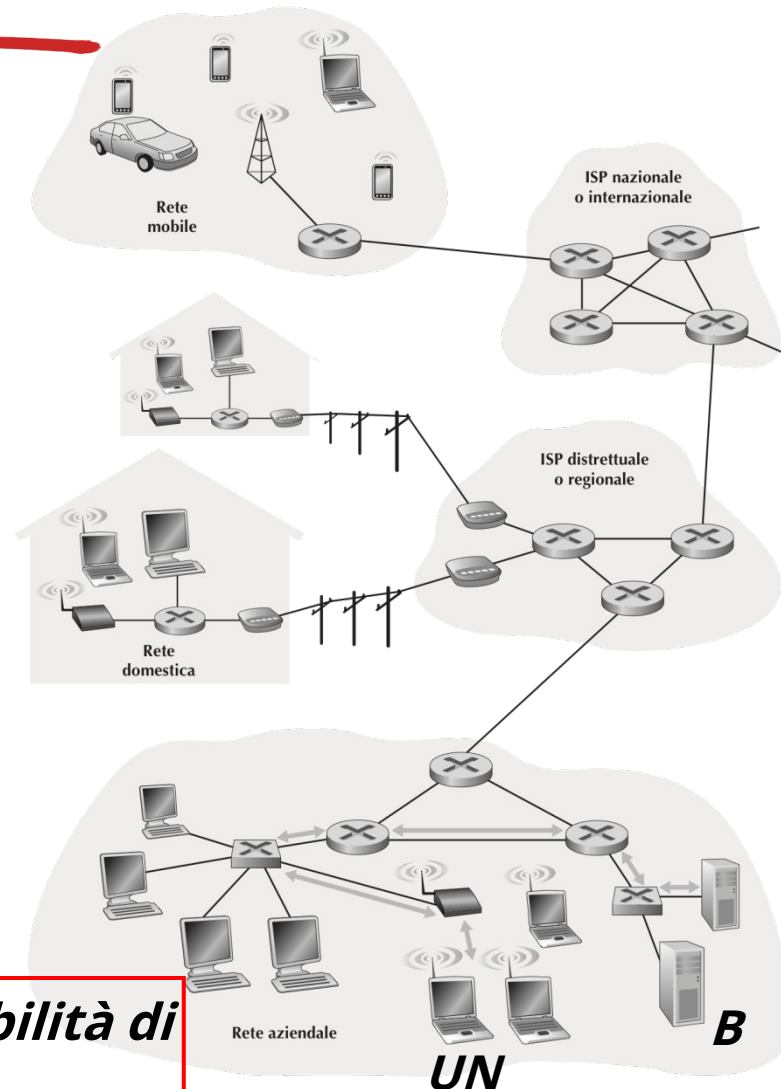
interruttori

VLAN

introduzione

terminologia:

- ***host e router:*****nodi**
- ***canali di comunicazione che collegano adiacenti nodi lungo percorso di comunicazione:*****link**
 - *collegamenti cablati*
 - *collegamenti senza fili*
 - **LAN**
- ***pacchetto di livello 2:*****telaio**,
incapsula il datagramma



***livello di collegamento dati** ha la responsabilità di trasferire il datagramma da un nodo a fisicamente adiacente nodo su un collegamento*

Livello di collegamento: contesto

- ***datagramma trasferito***

tramite collegamento diverso

protocolli su collegamenti diversi:

- *ad esempio, Ethernet sul primo collegamento, frame relay sull'intermedio*

collegamenti, 802.11 sull'ultimo collegamento

- ***ogni protocollo di collegamento fornisce diversi Servizi***

- *ad esempio, può o non può fornire rdt tramite link*

trasporto analogia:

- ***viaggio da Princeton a Losanna***

- *limousine: da Princeton a JFK*
- *aereo: JFK a Ginevra*
- *treno: da Ginevra a Losanna*

- ***turista = datagramma***

- ***segmento di trasporto = legame di comunicazione***

- ***modalità di trasporto = protocollo del livello di collegamento***

- ***agente di viaggio = algoritmo di instradamento***

Servizi a livello di collegamento

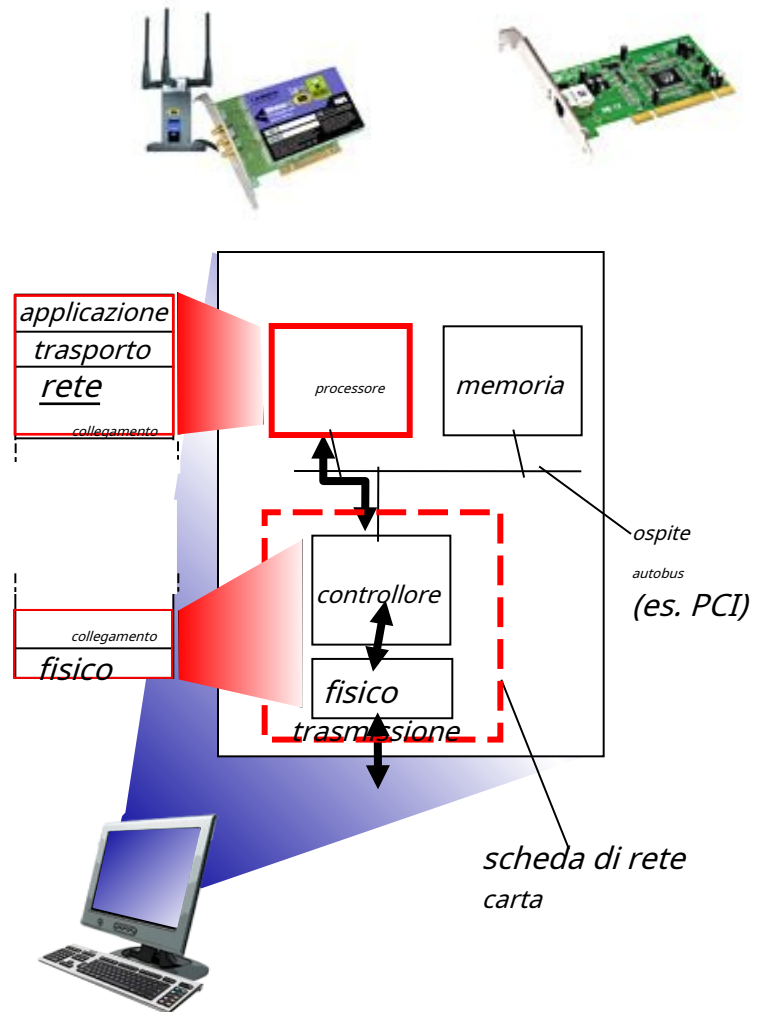
- *inquadratura, collegamento di accesso:*
 - *incapsula il datagramma nel frame, aggiungendo header, trailer*
 - *accesso al canale se mezzo condiviso*
 - *"MAC" utilizzati nelle intestazioni dei frame per identificare l'origine, la destinazione*
 - *diverso dall'indirizzo IP!*
- *consegna affidabile tra nodi adiacenti*
 - *usato raramente su collegamenti a basso errore di bit (fibra, qualche doppino intrecciato)*
 - *collegamenti wireless: alti tassi di errore*

Servizi a livello di collegamento (altro)

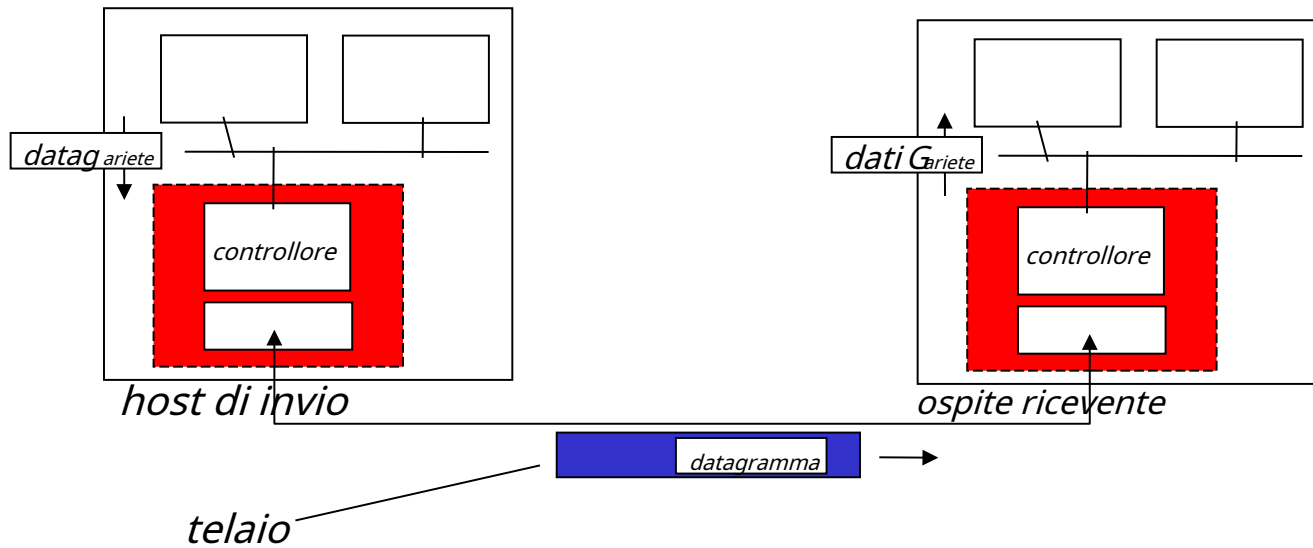
- ***controllo del flusso:***
 - *stimolazione tra nodi di invio e ricezione adiacenti*
- ***rilevamento errori:***
 - *errori causati da attenuazione del segnale, rumore.*
 - *il ricevitore rileva la presenza di errori:*
 - *segnala al mittente la ritrasmissione o elimina il frame*
- ***Correzione dell'errore:***
 - *il ricevitore identifica **e corregge** errori di bit senza ricorrere alla ritrasmissione*
- ***half duplex e full duplex***
 - *con half duplex, i nodi ad entrambe le estremità del collegamento possono trasmettere, ma non contemporaneamente*

Dove è implementato il livello di collegamento?

- ***in ogni ospite***
- ***livello di collegamento implementato in "adattatore" (aka **scheda di rete** NIC) o su un chip***
 - ***scheda ethernet, scheda 802.11; Chipset Ethernet***
 - ***implementa il collegamento, strato fisico***
- ***si collega ai bus di sistema dell'host***
- ***combinazione di hardware software, firmware***



Adattatori comunicanti



- **lato di invio:**
 - **incapsula datagramma nel frame**
 - **aggiunge bit di controllo degli errori, rdt, flusso controllo, ecc.**
- **lato ricevente**
 - **cerca errori, rdt, controllo di flusso, ecc**
 - **estrae il datagramma, passa in alto strato alla ricezione lato**

Livello di collegamento, LAN: cenni

***5.1 introduzione,
Servizi***

***5.2 rilevamento degli errori,
correzione***

***5.3 accesso multiplo
protocolli***

5.4 LAN

- indirizzamento, ARP

- Ethernet

- interruttori

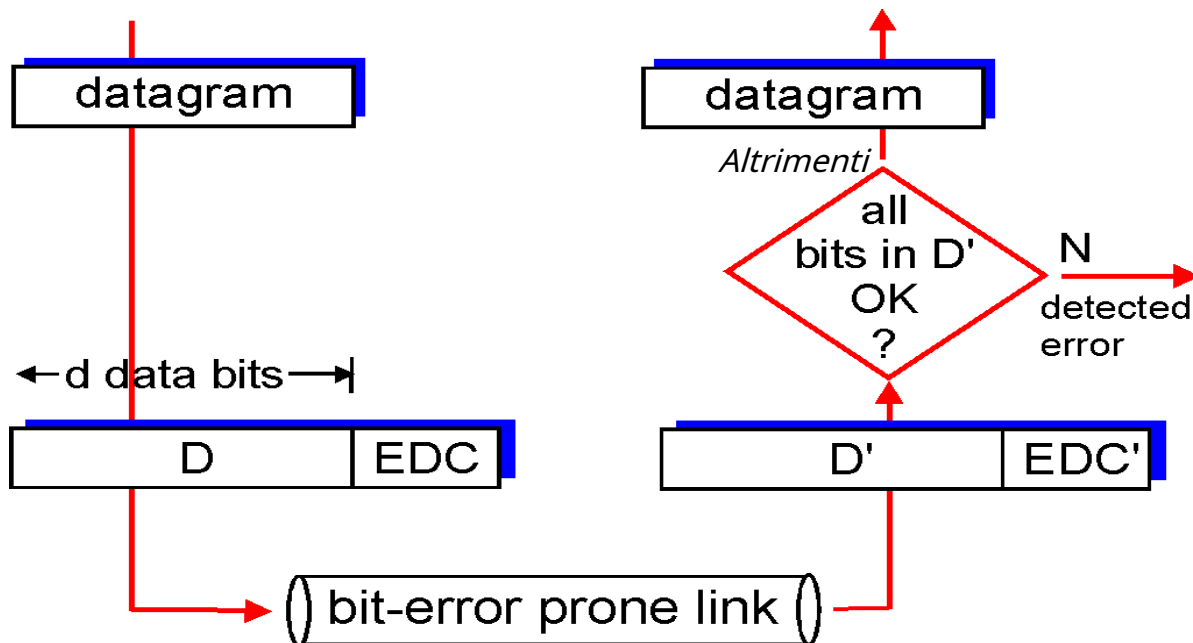
- VLAN

N

EDC= Bit di rilevamento e correzione degli errori (ridondanza)

D = Dati protetti dal controllo degli errori, possono includere campi di intestazione

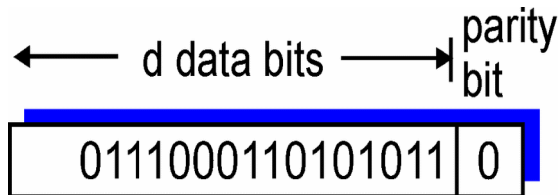
- *Rilevamento errori non affidabile al 100%!*
 - *il protocollo può perdere alcuni errori, ma raramente*
 - *un campo EDC più ampio produce una migliore rilevazione e correzione*



Controllo di parità

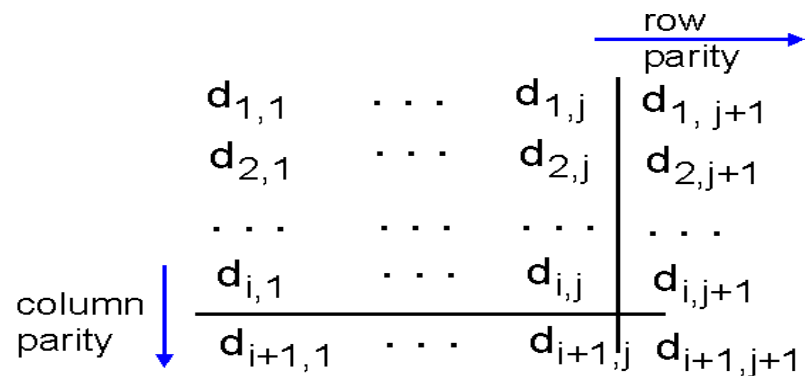
parità a bit singolo:

- rilevare errori a bit singolo



parità di bit bidimensionale:

- rilevare e correggere errori a bit singolo



1	0	1	0	1	1
1	1	1	1	0	0
0	1	1	1	0	1
0	0	1	0	1	0

no errors

1	0	1	0	1	1
1	1	1	1	0	0
0	1	1	1	0	1
0	0	1	0	1	0

parity error

*correctable
single bit error*

Somma di controllo Internet(revisione)

obiettivo: rilevare "errori" (ad esempio, bit capovolti) in pacchetto trasmesso (nota: utilizzato solo a livello di trasporto)

mittente:

- segmento di trattamento contenuto come **sequenza di 16 bit interi**
- **somma di controllo: addizione (complemento di 1 somma) del segmento Contenuti**
- **mittente mette valore di checksum in Campo checksum UDP**

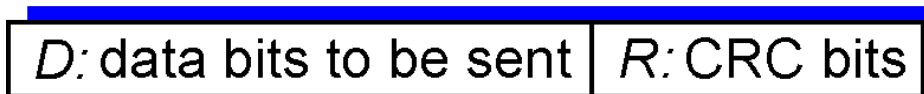
ricevitore:

- **calcolare il checksum del segmento ricevuto**
- **controlla se il checksum calcolato è uguale valore del campo checksum:**
 - **NO - errore rilevato**
 - **SÌ - nessun errore rilevato. Ma forse errori ciò nonostante?**

Controllo di ridondanza ciclico

- *codifica di rilevamento degli errori più potente*
- *ampiamente utilizzato nella pratica (Ethernet, WiFi 802.11)*
- *visualizzare bit di dati, **D**, come numero binario*
- *scegli $r+1$ bit pattern (generatore), **G***
- *obiettivo: scegliere r bit CRC, **R**, tale che*
 - *$\langle D, R \rangle$ esattamente divisibile per G (modulo 2)*
 - *il ricevitore conosce G , divide $\langle D, R \rangle$ per G . Se resto diverso da zero: errore rilevato!*

← d bits → ← r bits →



bit
pattern

$$D * 2^r \text{ XOR } R$$

mathematical
formula

Esempio CRC

Volere:

$$D.2^R \text{ XOR } R = nG$$

equivalentemente:

$$D.2^R = nG \text{ XOR } R$$

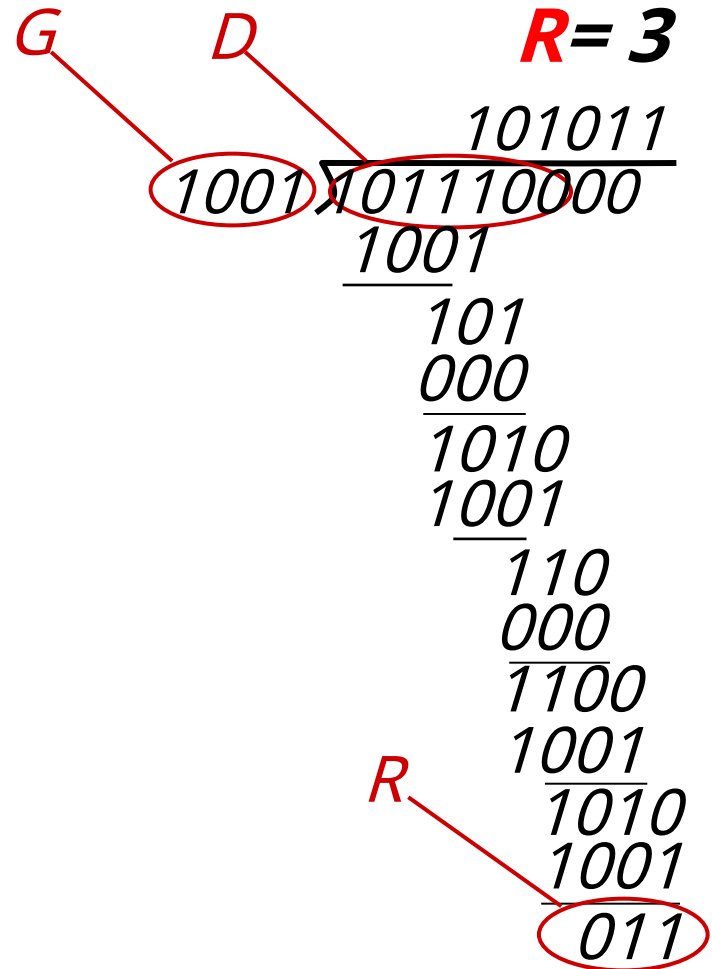
equivalentemente:

**se dividiamo $D.2^R$
di G , vuoi
resto R a**

soddisfare:

$$R = \text{resto} \left[\frac{D.2^R}{G} \right]$$

ABA	XOR B
00	0
01	1
10	1
11	0



Proprietà CRC

- *Sono stati definiti generatori standard di 8, 12, 16 e 32 bit*
- *Ad esempio, il CRC₃₂ per diversi protocolli di collegamento dati è:*
$$G_{CRC-32} = 100000100110000010001110110110111$$
- *CRC può rilevare:*
 - *burst di errore inferiore a $r+1$ bit*
 - *tutti i numeri dispari di errori di bit*

Livello di collegamento, LAN: cenni

***5.1 introduzione,
Servizi***

***5.2 rilevamento degli errori,
correzione***

***5.3 accesso multiplo
protocolli***

5.4 LAN

indirizzamento, ARP

Ethernet

interruttori

VLAN

Collegamenti di accesso multipli, protocolli

due tipi di “link”:

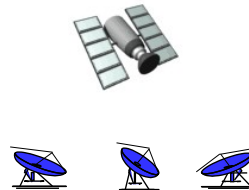
- **punto a punto**
 - PPP per l'accesso dial-up
 - collegamento punto-punto tra switch Ethernet, host
- **trasmissione (cavo o mezzo condiviso)**
 - Ethernet vecchio stile
 - LAN senza fili 802.11



*filo condiviso (ad es.
Ethernet cablata)*



*RF condivisa
(ad es. Wi-Fi 802.11)*



*RF condivisa
(satellitare)*



*umani a
cocktail party
(aria condivisa, acustica)*

Protocolli di accesso multipli


- *singolo canale di trasmissione condiviso*
- *due o più trasmissioni simultanee da parte dei nodi: interferenza*
 - **collisione** *se il nodo riceve due o più segnali contemporaneamente*

protocollo di accesso multiplo

- *algoritmo distribuito che determina come i nodi condividono il canale, cioè determina quando il nodo può trasmettere*
- *la comunicazione sulla condivisione del canale deve utilizzare il canale stesso!*
 - *nessun canale fuori banda per il coordinamento*


Protocollo di accesso multiplo ideale

dato: canale di trasmissione di velocità R bps
desiderata:

- 1. quando un nodo vuole trasmettere, può trasmettere alla velocità R .***
- 2. quando M nodi vogliono trasmettere, ognuno può trasmettere a velocità media R/M***
- 3. completamente decentralizzato:*** 
 - nessun nodo speciale per coordinare le trasmissioni***
 - nessuna sincronizzazione di orologi, slot***
- 4. semplice***

Protocolli MAC: tassonomia

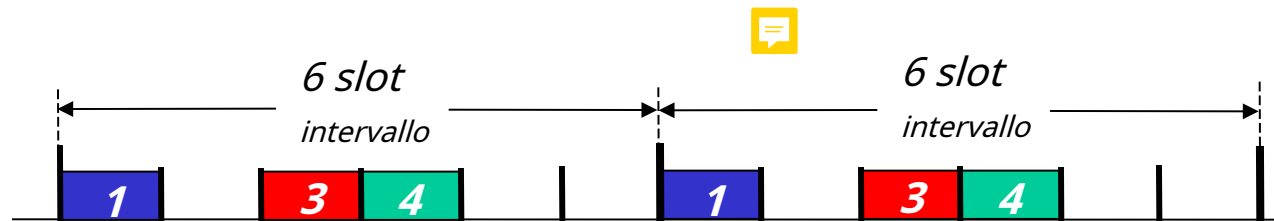
tre grandi classi:

- ***partizionamento dei canali***
 - *dividere il canale in “pezzi” più piccoli (fasce orarie, frequenza, codice)*
 - *allocare pezzo al nodo per uso esclusivo*
- ***accesso casuale*** 
 - *canale non diviso, consentire collisioni*
 - *“recuperare” dalle collisioni*
- ***“cambiare direzione”***
 - *i nodi si alternano, ma i nodi con più nodi da inviare possono richiedere turni più lunghi*

Protocolli di partizionamento dei canali: TDMA

TDMA: accesso multiplo a divisione di tempo

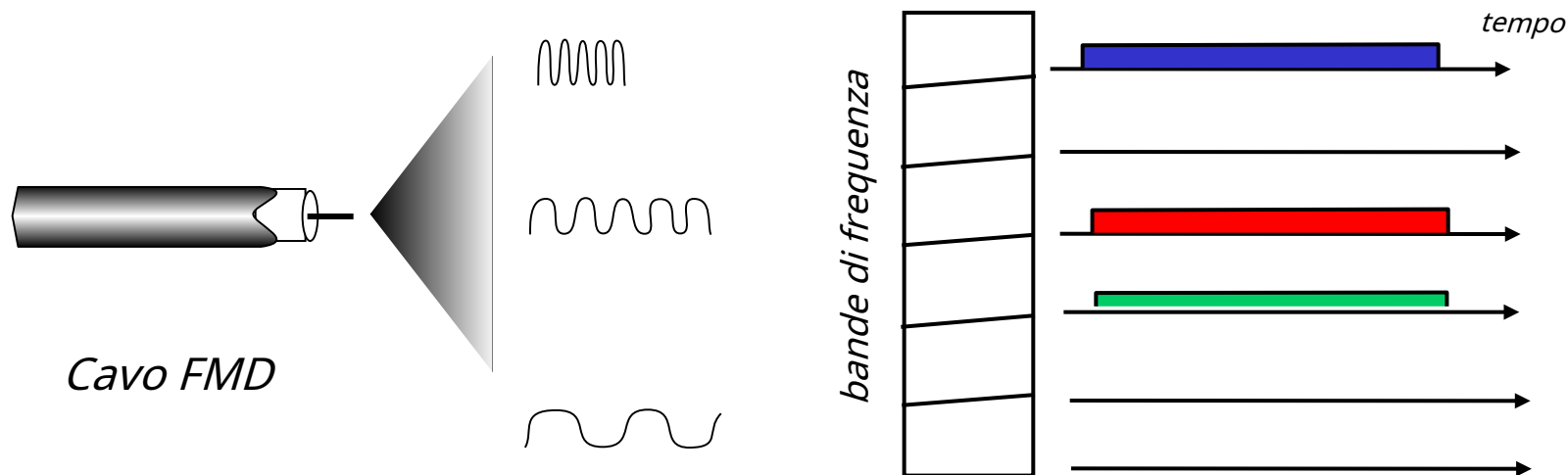
- ***accesso al canale in "giri"***
- ***ogni stazione ottiene uno slot di lunghezza fissa (lunghezza = pkt trans time) in ogni round***
- ***gli slot inutilizzati diventano inattivi***



Protocolli di partizionamento dei canali: FDMA

FDMA: accesso multiplo a divisione di frequenza

- ***spettro del canale suddiviso in bande di frequenza***
- ***a ciascuna stazione è assegnata una banda di frequenza fissa***
- ***il tempo di trasmissione inutilizzato nelle bande di frequenza diventa inattivo***



Protocolli di accesso casuale

- *quando il nodo ha un pacchetto da inviare*
 - *trasmettere alla massima velocità dati del canale R.*
 - *nessun coordinamento a priori tra i nodi*
- *due o più nodi trasmettenti → "collisione",*
- ***protocollo MAC ad accesso casuale** specifica:*
 - *come rilevare le collisioni*
 - *come recuperare dalle collisioni (ad esempio, tramite ritrasmissioni ritardate)*
- ***esempi di protocolli MAC ad accesso casuale:***
 - *ALOHA scanalato*
 - *CSMA, CSMA/CD, CSMA/CA*

ALOHA scanalato

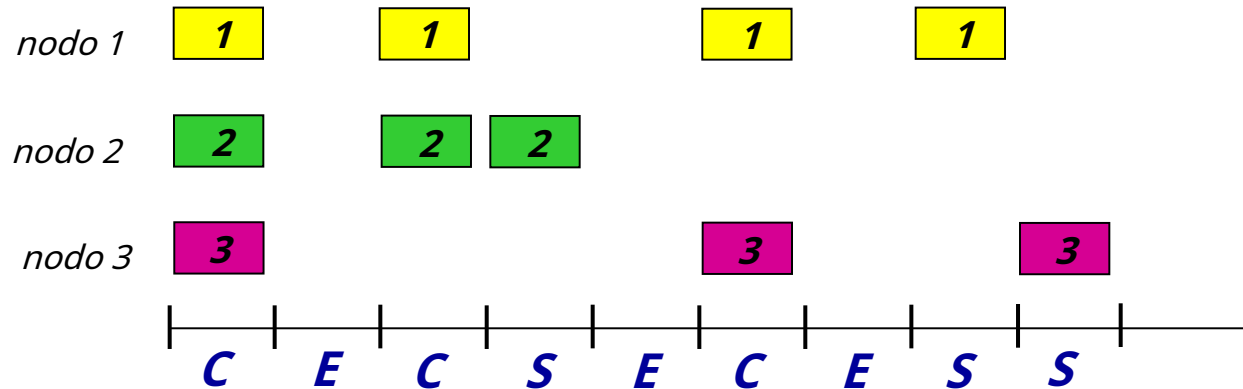
ipotesi:

- *tutte le cornici della stessa dimensione*
- *tempo diviso in slot di uguali dimensioni (tempo per trasmettere 1 frame)*
- *i nodi iniziano a trasmettere solo slot inizio*
- *i nodi sono sincronizzato*
- *se 2 o più nodi trasmettono nello slot, tutti i nodi rilevano la collisione*

funzionamento:

- *quando il nodo ottiene un nuovo frame, trasmette nello slot successivo*
 - *se non c'è collisione: il nodo può inviare un nuovo frame nello slot successivo*
 - *in caso di collisione: il nodo ritrasmette il frame in ogni slot successivo con prob. p fino al successo*

ALOHA scanalato



Professionisti:

- *singolo nodo attivo può trasmettere continuamente a piena velocità del canale*
- *altamente decentralizzato: solo slot nei nodi devono essere sincronizzati*
- *semplice*

Contro:

- *collisioni, spreco di slot*
- *slot inattivi*
- *i nodi possono essere in grado di rilevare la collisione in meno tempo per trasmettere il pacchetto*
- *sincronizzazione dell'orologio*

Scanalato ALOHA: efficienza

efficienza: lunga corsa
frazione di successo
slot
(molti nodi, tutti con
molti frame da inviare)

- supponiamo: N nodi con molti frame da inviare, ognuno trasmette in slot con probabilità p
- prob quel dato nodo ha successo in uno slot = $p(1-p)^{N-1}$
- prob che qualsiasi nodo ha successo = $Np(1-p)^{N-1}$

- max efficienza: trova p^* che massimizza $Np(1-p)^{N-1}$
- per molti nodi, prendi il limite di $Np^*(1-p^*)^{N-1}$ mentre N tende all'infinito, dà:

**efficienza massima = $1/e$
= .37**

**al massimo:
canale
usato per utile
trasmissioni
37%
di tempo!**



CSMA (carrier sense multiple access)

CSM: ascolta prima di trasmettere:

***se il canale è stato rilevato inattivo: trasmettere intero
telaio***

- ***se il canale è stato rilevato occupato,
rinviare la trasmissione***
- ***analogia umana: non interrompere gli
altri!***

n.s

disposizione spaziale dei nodi



- ***possono ancora verificarsi collisioni: propagazione ritardo significa due i nodi potrebbero non sentirsi l'un l'altro trasmissione***
- ***collisione: intero trasmissione a pacchetto tempo sprecato***
 - ***distanza e ritardo di propagazione svolgere un ruolo in in determinazione della collisione probabilità***

time
↓

t_0

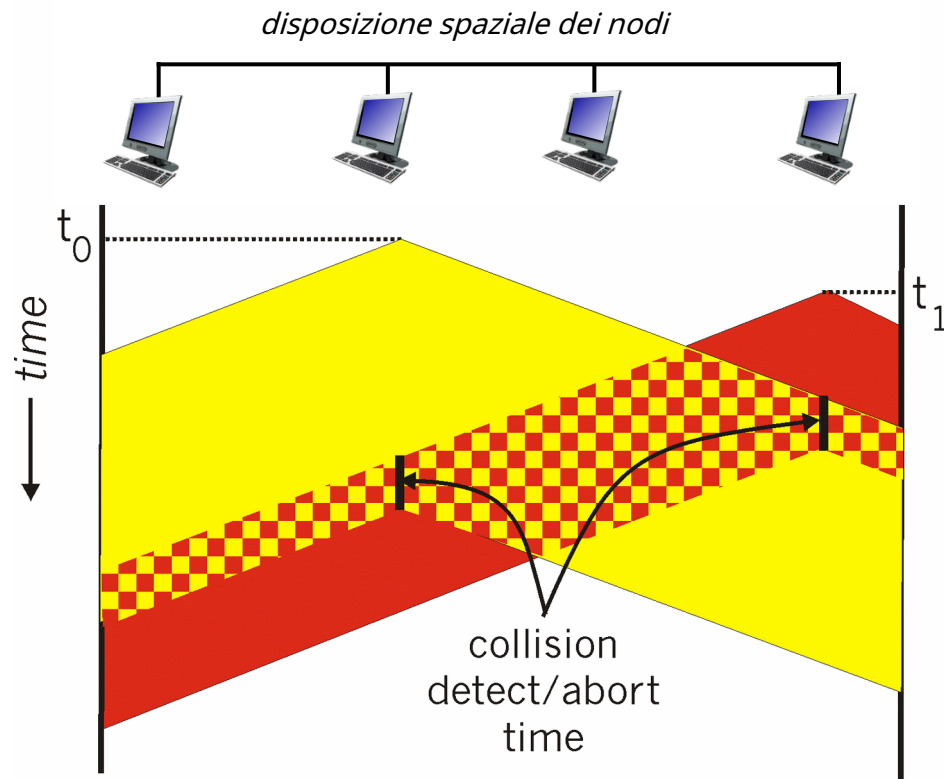
t_1

CSMA/CD (rilevamento collisione)

CSMA/CD: rilevamento della portante, differimento come in CSM

- **collisioni rilevate in breve tempo**
- **le trasmissioni in collisione sono state interrotte, riducendo lo spreco di canale**
- **rilevamento delle collisioni:**
 - **facile nelle LAN cablate: misura l'intensità del segnale, confronta i segnali trasmessi e ricevuti**
 - **difficile nelle LAN wireless: potenza del segnale ricevuto sovrapposta dalla potenza della trasmissione locale**
- **analogia umana: il conversatore educato**

CSMA/CD (rilevamento collisione)



Ethernet CSMA/CD

algoritmo

- 1. NIC riceve il datagramma dal livello di rete, crea cornice**
- 2. Se il NIC rileva il canale inattivo, avvia il frame trasmissione. Se NIC percepisce il canale occupato, attende fino a quando il canale è inattivo, quindi trasmette.**
- 3. Se la NIC trasmette l'intero frame senza rilevare un'altra trasmissione, NIC è fatto con cornice!**
- 4. Se il NIC rileva un'altra trasmissione mentre trasmissione, interrompe e invia il segnale di inceppamento**
- 5. Dopo l'interruzione, entra NIC **binario backoff (esponenziale)**:**
 - **dopo l'ennesima collisione, NIC sceglie K a caso tra $\{0, 1, 2, \dots, 2^M - 1\}$. Il NIC attende $K \cdot 512$ bit volte, torna al passaggio 2**
 - **intervallo di backoff più lungo con più collisioni**

Efficienza CSMA/CD

- $T_{\text{puntello}} = \text{max prop delay tra 2 nodi in LAN}$
- $T_{\text{trans}} = \text{tempo per trasmettere frame di dimensioni massime}$

$$\text{efficienza} = \frac{1}{1 + 5 T_{\text{puntello}} / T_{\text{trans}}}$$

- ***l'efficienza va a 1***
 - ***come t_{puntello} va a 0***
 - ***come t_{trans} va all'infinito***
- ***prestazioni migliori rispetto ad ALOHA: e semplice, economico, decentralizzato!***

Protocolli “a turno”.

protocolli MAC di partizionamento dei canali:

- *condividere il canale in modo efficiente ed equo a carico elevato*
- *inefficiente a basso carico: ritardo nell'accesso al canale, larghezza di banda $1/N$ allocata anche se solo 1 nodo attivo!*

protocolli MAC ad accesso casuale

- *efficiente a basso carico: il singolo nodo può utilizzare completamente il canale*
- *carico elevato: collisione sopra la testa*

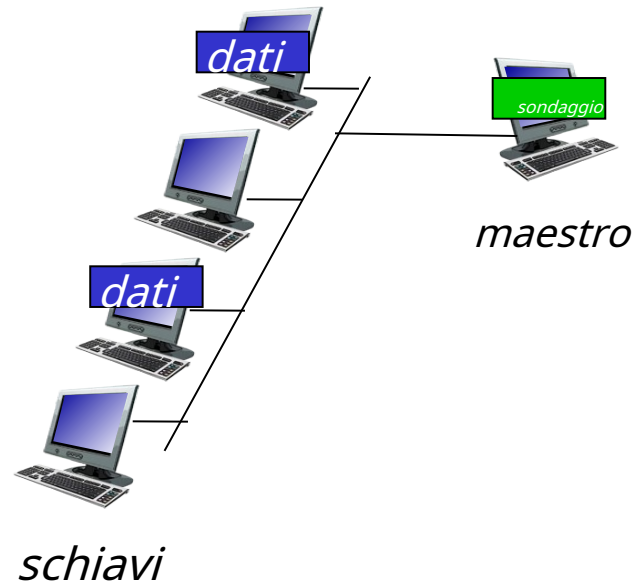
protocolli “a turno”.

cerca il meglio di entrambi i mondi!

Protocolli "a turno".

sondaggi:

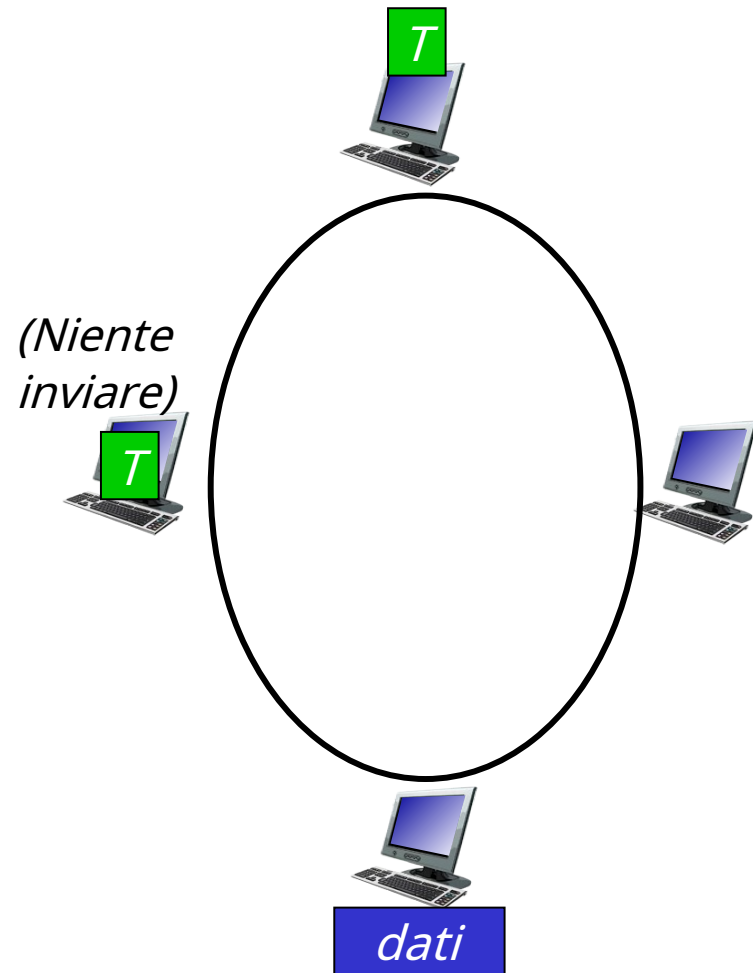
- *nodo principale
"invita" lo schiavo
nodi da trasmettere
a sua volta*
- *tipicamente usato con lo
schiavo "stupido".
dispositivi*
- *preoccupazioni:*
 - *polling
sopraelevato*
 - *latenza*
 - *singolo punto di
errore (master)*



Protocolli "a turno".

passaggio di gettoni:

- **controllo***gettone*
passato da uno
nodo al successivo
sequenzialmente.
- **messaggio simbolico**
- **preoccupazioni:**
 - **gettone in alto**
 - **latenza**
 - **singolo punto di errore (token)**



Sintesi dei protocolli MAC

- *partizionamento dei canali*, per tempo, frequenza o codice
 - *Divisione di tempo, divisione di frequenza*
- *accesso casuale* (dinamico),
 - *ALOHA, CSMA, CSMA/CD*
 - *rilevamento della portante: facile in alcune tecnologie (filo), difficile in altre (wireless)*
 - *CSMA/CD utilizzato in Ethernet*
 - *CSMA/CA utilizzato in 802.11*
- *cambiare direzione*
 - *polling dal sito centrale, passaggio di token*
 - *bluetooth, token ring*