



Reti di Calcolatori

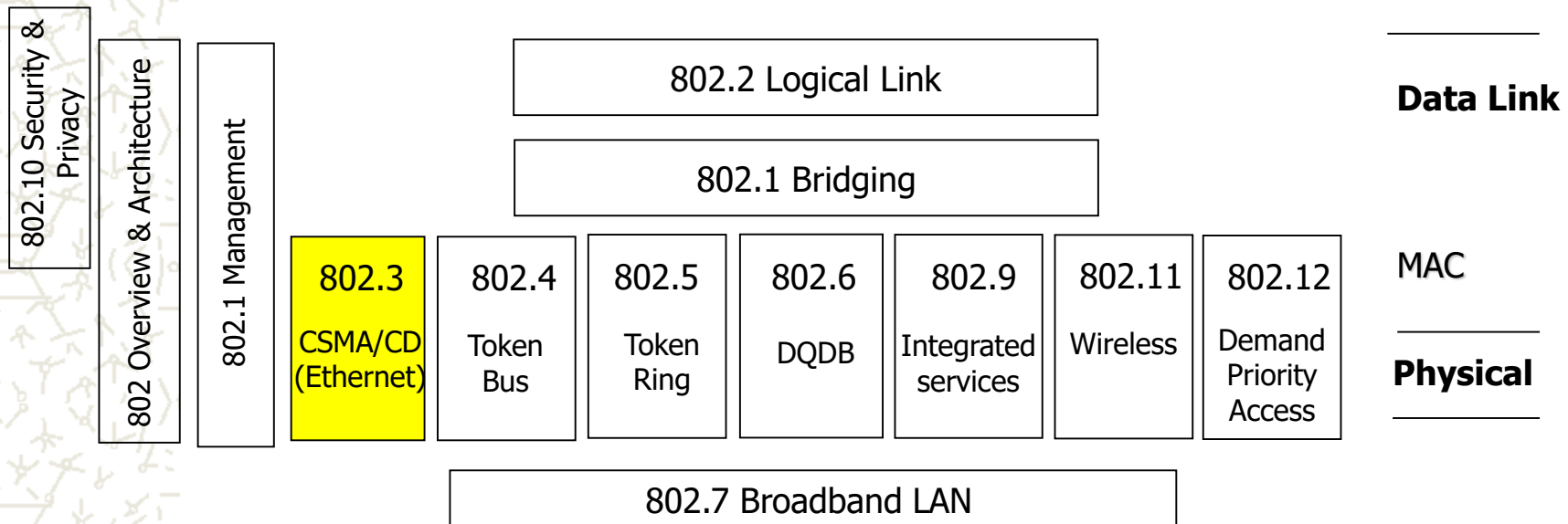
La Rete Ethernet



Standard IEEE 802

Il progetto IEEE 802 definisce un insieme di standard per le LAN e le MAN, relativamente ai livelli data link e fisico.

- Standard LAN che includono CSMA/CD, token ring
- I vari standard hanno differenze al livello fisico e MAC ma compatibilità al livello data link
- <http://standards.ieee.org/getieee802/>



Il progetto IEEE 802

Quando le prime LAN cominciarono a diffondersi (ARC, Ethernet, Token Ring, ecc.), l'IEEE decise di costituire sei comitati per studiare il problema della standardizzazione delle LAN e delle MAN, complessivamente raccolti nel progetto IEEE 802.

Tali comitati sono:

- 802.1 Overview, Architecture, Bridging and Management;
- 802.2 Logical Link Control;
- 802.3 CSMA/CD (*Carrier Sense, Multiple Access with Collision Detection*);
- 802.4 Token Bus;
- 802.5 Token Ring;

Il progetto IEEE 802

A tali comitati in seguito se ne sono aggiunti altri tra cui:

- 802.3u 100BaseT;
- 802.3z 1000baseX
- 802.3ae 10GbaseX
- 802.7 Broadband technical advisory group;
- 802.8 Fiber-optic technical advisory group;
- 802.9 Integrated data and voice networks;
- 802.10 Network security;
- 802.11 Wireless LAN networking;
- 802.16 WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access);

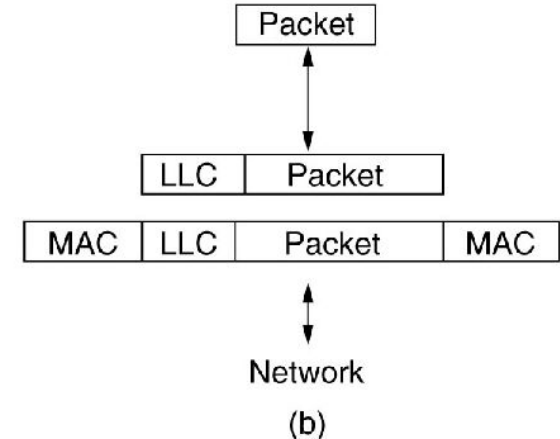
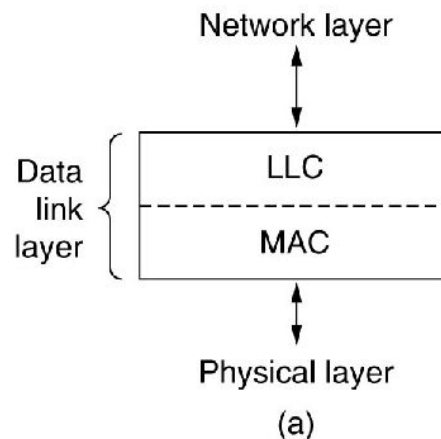
Il lavoro di tali comitati procede in armonia con il modello di riferimento OSI, e la relazione esistente tra il progetto OSI, il progetto IEEE 802 e lo standard EIA/TIA

MAC ed LLC

IEEE 802 introduce l'idea che le LAN e le MAN devono fornire un'interfaccia unificata verso il livello rete, pur utilizzando tecnologie trasmissive differenziate.

Per ottenere tale risultato, IEEE 802 suddivide il livello Data Link in due sottolivelli: **LLC (Logical Link Control)** e **MAC (Media Access Control)**

- Il LLC è l'interfaccia unificata verso il livello rete, comune a tutte le LAN
- Il MAC è peculiare di ciascuna LAN, così come il livello fisico
- Lo strato di rete passa i suoi dati al LLC, che aggiunge un suo header con le informazioni di numerazione del frame, riscontro etc.
- Il LLC passa al MAC il campo dati che il MAC gestisce con le sue specifiche
- In ricezione il MAC recapita il frame al LLC che rimuove l'header e passa i dati allo strato di rete



MAC: Condivisione Mezzo trasmissivo

Il MAC nelle reti broadcast gestisce la condivisione del canale

Condividere un unico canale trasmissivo per tutti i sistemi, implica:

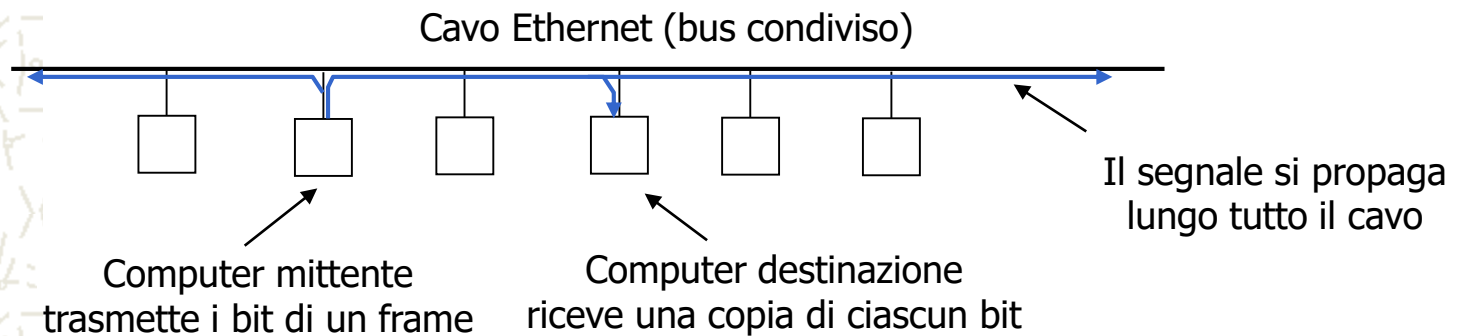
- **in trasmissione**, verificare che il canale sia libero prima di trasmettere e risolvere eventuali conflitti di più sistemi che lo vogliano utilizzare contemporaneamente
 - Garanzia di indipendenza fra le stazioni
 - algoritmi di MAC distribuiti su vari sistemi senza necessità di un sistema master.
- **in ricezione**, determinare a quali sistemi è effettivamente destinato il messaggio e quale sistema lo ha generato
 - implica la presenza di indirizzi a livello MAC che supportino:
 - comunicazioni punto-punto (unicast), se l'indirizzo di destinazione indica un singolo sistema;
 - comunicazioni punto-gruppo (multicast), se l'indirizzo di destinazione indica più sistemi;
 - comunicazioni broadcast, se l'indirizzo di destinazione indica tutti i sistemi.

Indirizzi MAC

- L'Indirizzo MAC è anche noto come indirizzo LAN o fisico o Ethernet
- Univoco nel mondo: ha una struttura orizzontale e non varia a seconda del luogo in cui la persona si trasferisce.
- Indirizzo a 48 bit (per la maggior parte delle LAN)
 - Rappresentato tipicamente in esadecimale in due modi:
 - Sestetto separato da «:»: OC:00:1B:F1:18:01
 - Terzina puntata: 0c00.1bf1.1801
- Assegnazione gerarchica dello spazio di indirizzamento ai produttori di NIC
- Dalla sua univocità dipende il funzionamento di meccanismi MAC

IEEE 802.3 e Ethernet

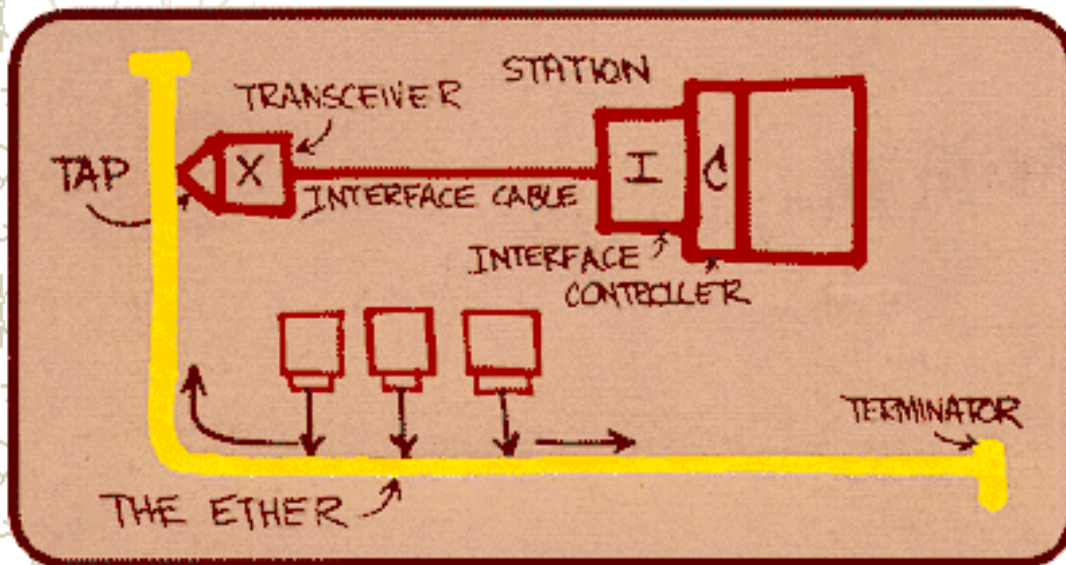
- Standard per una LAN CSMA/CD 1-persistente (fino a 100Mbps)
- Ethernet è un prodotto che implementa (più o meno) IEEE 802.3



Ethernet

Detiene una posizione dominante nel mercato delle LAN cablate.

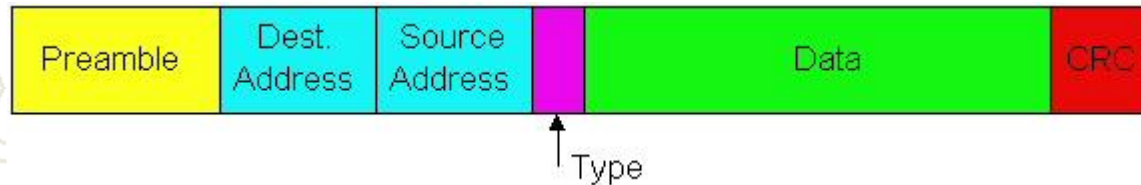
- È stata la prima LAN ad alta velocità con vasta diffusione.
- Più semplice e meno costosa di token ring, FDDI e ATM.
- Sempre al passo dei tempi con il tasso trasmissivo.



Il progetto originale di Bob Metcalfe che portò allo standard Ethernet.

Struttura dei pacchetti Ethernet

L'adattatore trasmittente incapsula i datagrammi IP in un **pacchetto Ethernet**.

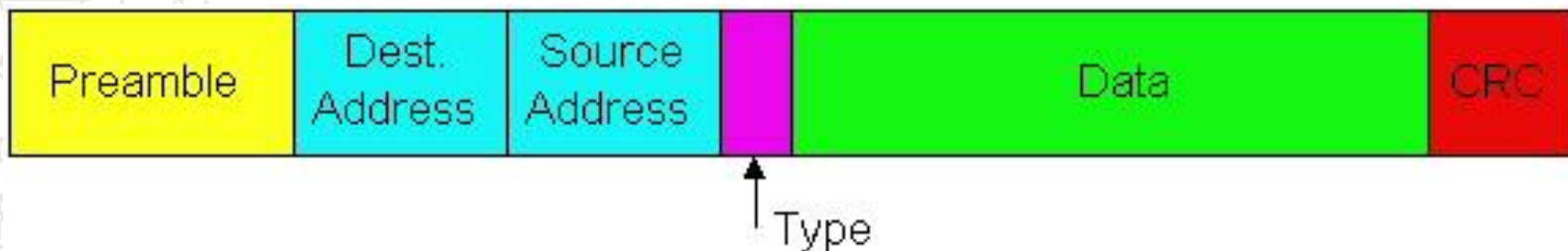


Preambolo:

- I pacchetti Ethernet iniziano con un campo di otto byte: sette hanno i bit 10101010 e l'ultimo è 10101011.
- Servono per “attivare” gli adattatori dei riceventi e sincronizzare i loro orologi con quello del trasmittente.

Struttura dei pacchetti Ethernet

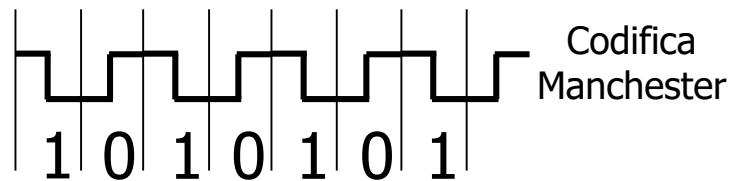
- **Indirizzo di destinazione:** 6 byte
 - Quando un adattatore riceve un pacchetto contenente l'indirizzo di destinazione o con l'indirizzo broadcast (es.: un pacchetto ARP), trasferisce il contenuto del campo dati del pacchetto al livello di rete.
 - I pacchetti con altri indirizzi MAC vengono ignorati.
- **Campo tipo:** consente a Ethernet di supportare vari protocolli di rete (in gergo questa è la funzione di “multiplexare” i protocolli).
- **Controllo CRC:** consente all'adattatore ricevente di rilevare la presenza di un errore nei bit del pacchetto.



Formato del frame IEEE 802.3

Preambolo (7 byte)

Vengono trasmessi 7 byte 10101010
Produce un'onda quadra a 10MHz per $5.6 \mu s$
(56 bit x $0.1 \mu s/\text{bit}$)
Permette la sincronizzazione del clock del mittente e del ricevente

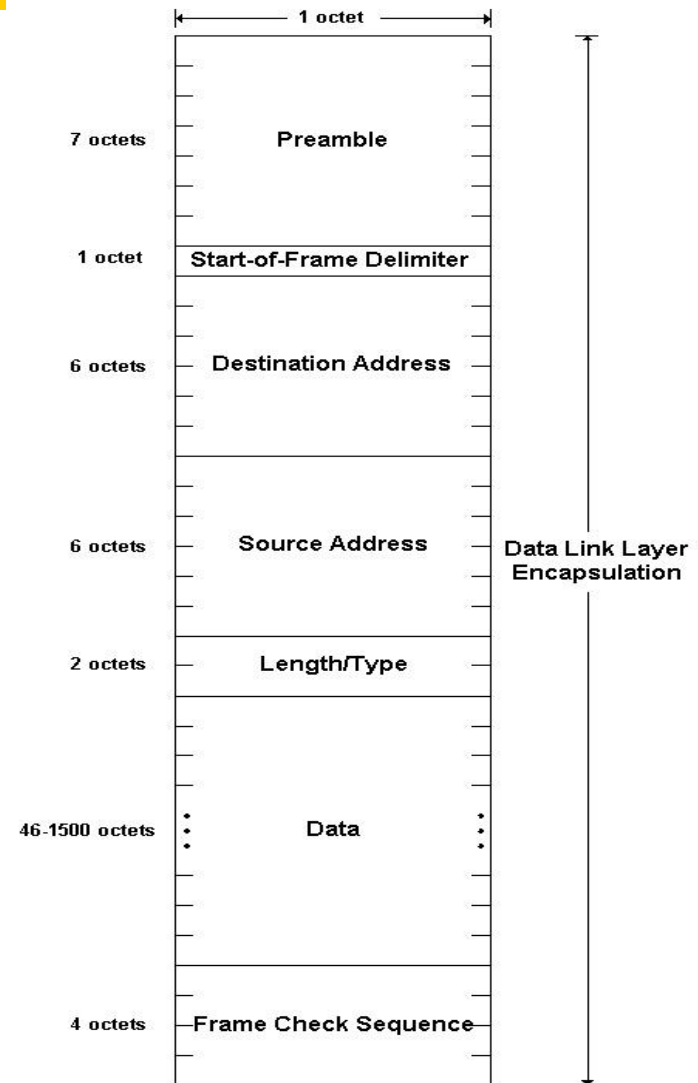


Start of frame (1 byte)

Vale 10101011
Indica l'inizio del pacchetto

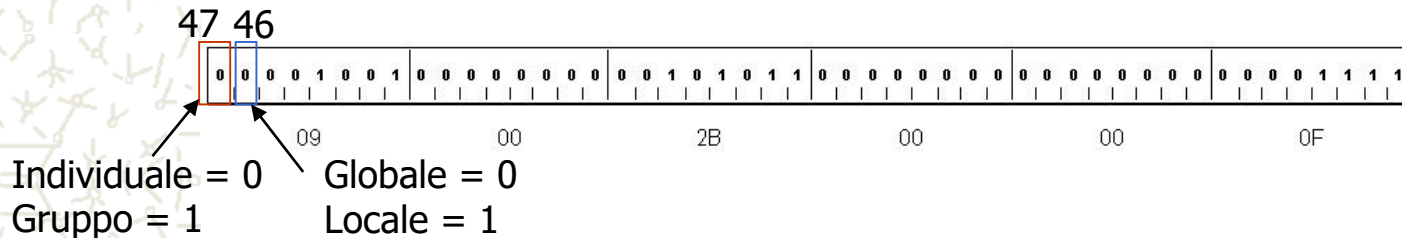
Indirizzi

Seguono due campi di indirizzo relativi alla destinazione ed alla sorgente del frame costituiti da 2 blocchi da 6 byte



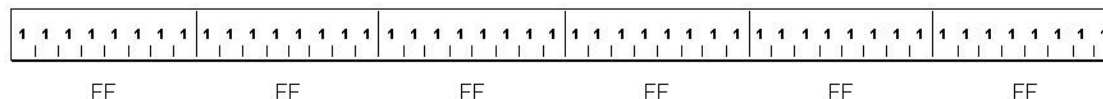
Indirizzamento Ethernet

- Gli indirizzi sono rappresentati su 6 byte (48 bit)
- Il frame contiene l'indirizzo del mittente e del destinatario



Il bit IG definisce se il frame è indirizzato ad una singola stazione (unicast**) o a un gruppo di stazioni (**multicast**)**

Un indirizzo composto da tutti 1 è riservato per il **broadcast (il frame è ricevuto da tutte le stazioni)**



Indirizzi Ethernet

Il bit 46 distingue gli indirizzi locali da quelli globali

Gli indirizzi globali sono assegnati dalla IEEE per assicurare l'unicità degli indirizzi

- Tutte le stazioni vedono il frame e lo accettano se l'indirizzo destinazione è compatibile con quello a loro assegnato
- Se la trasmissione è unicast solo la stazione con l'indirizzo specificato nel campo destinazione del frame accetta il pacchetto. Le altre stazioni lo scartano
- Il riconoscimento dell'indirizzo è a livello hardware
- Se l'interfaccia è configurata in **modo promiscuo**, accetta tutti i pacchetti (snoop di rete)

Campo di tipo

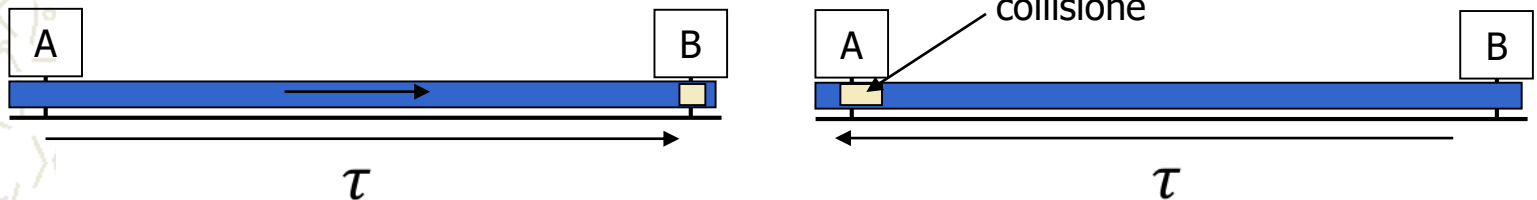
- Segue un campo di **2 byte** che serve ad indicare al ricevente cosa deve fare del frame ricevuto
 - generalmente il livello 2 viene utilizzato da **più protocolli** dello strato di rete simultaneamente
 - il campo type indica al ricevente **a quale processo** deve essere recapitato il frame

Campo dati e riempimento

- Il **campo dati** trasporta le **informazioni** del protocollo di livello 3 ed ha dimensione **variabile**, con un **limite superiore**
- La sua dimensione massima è di **1500 byte**, e fa sì che la lunghezza massima del frame Ethernet sia 1518 byte (preambolo escluso)
 - il valore massimo è determinato dal fatto che il transceiver deve **ospitare** l'intero frame **in RAM**, ed al momento della definizione dello standard la RAM era più costosa di oggi
- Lo standard prevede che un frame Ethernet non possa essere **inferiore a 64 byte**
- In caso di necessità il campo dati è seguito da un campo di **riempimento** costituito da tutti 0 per fare in modo che la somma **dati+riempimento** sia di almeno **46 byte**
 - è compito dei livelli superiori forzare il campo dati ad essere almeno di 46 byte, od introdurre un **indicatore di lunghezza** per discriminare i dati dal riempimento

Lunghezza del frame

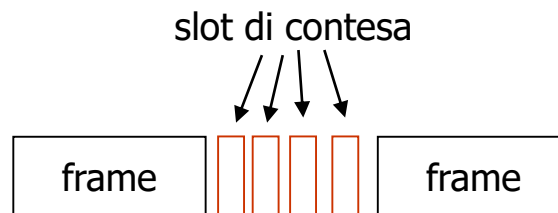
- Un frame valido deve essere lungo almeno 64 byte
- Se si tolgono i 6+6 riservati agli indirizzi, i 2 per il campo length e i 4 del checksum, il campo dati deve avere almeno 46 byte (eventuale padding)
- La lunghezza minima di un pacchetto deve garantire che la trasmissione non termini prima che il primo bit abbia raggiunto l'estremità più lontana e sia tornata indietro una eventuale collisione (per rilevare la collisione)



Per una LAN a 10 Mbps di 2.5 Km con 4 ripetitori un pacchetto deve durare almeno $51.2 \mu s$ (64 byte)

Exponential Back-off

- Calcolo del tempo di attesa dopo una collisione
- Lo slot di contesa è pari a 2τ (512 bit - 51.2 μ s per 10Mbps)



Prima collisione: aspetta 0 o 1 slot

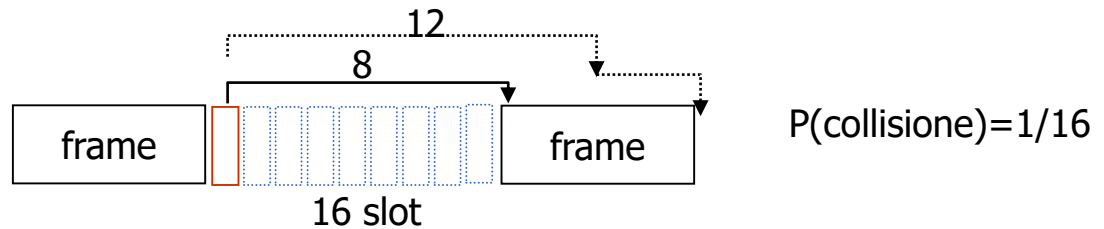
Seconda collisione: aspetta 0,1,2 o 3 slot

Collisione n: aspetta r slot con r scelto in modo casuale nell'intervallo $0 \leq r \leq 2^k - 1$
dove $k = \min(n, 10)$

Collisione 16: si notifica l'errore di trasmissione

Exponential Back-off [continua]

- L'algoritmo adatta l'attesa al numero di stazioni che vogliono trasmettere
- Un intervallo di slot di attesa alto diminuisce la probabilità che due stazioni collidano di nuovo ma introduce un ritardo medio elevato



Un intervallo di slot di attesa basso rende improbabile la risoluzione della collisione quando molte stazioni collidono

2 slot
100 stazioni

99 su slot 0 e 1 su slot 1 $\rightarrow P(\text{non collisione}) = (0.5)^{99}$

Prestazioni di Ethernet

- Come gli altri protocolli CSMA anche Ethernet presenta le seguenti caratteristiche
 - in condizioni di **basso carico** i tempi di ritardo sono **contenuti** e l'efficienza assomiglia al **CSMA 1-persistente** con la miglioria legata al fatto che c'è rilevazione della collisione
 - in condizioni di **carico elevato** crescono le collisioni, ma l'algoritmo di backoff esponenziale fa sì che le stazioni mutino il loro comportamento rendendo il protocollo simile ad un **CSMA p-persistente** con p sempre più piccolo
 - quindi al crescere del carico l'andamento dell'efficienza tende ad **appiattirsi** su una percentuale di valore non nullo
 - c'è una forte **dipendenza** dalla **dimensione media dei frame** trasmessi; più piccolo è il frame, più pesa l'overhead del periodo di contesa rispetto al periodo di trasmissione riuscita

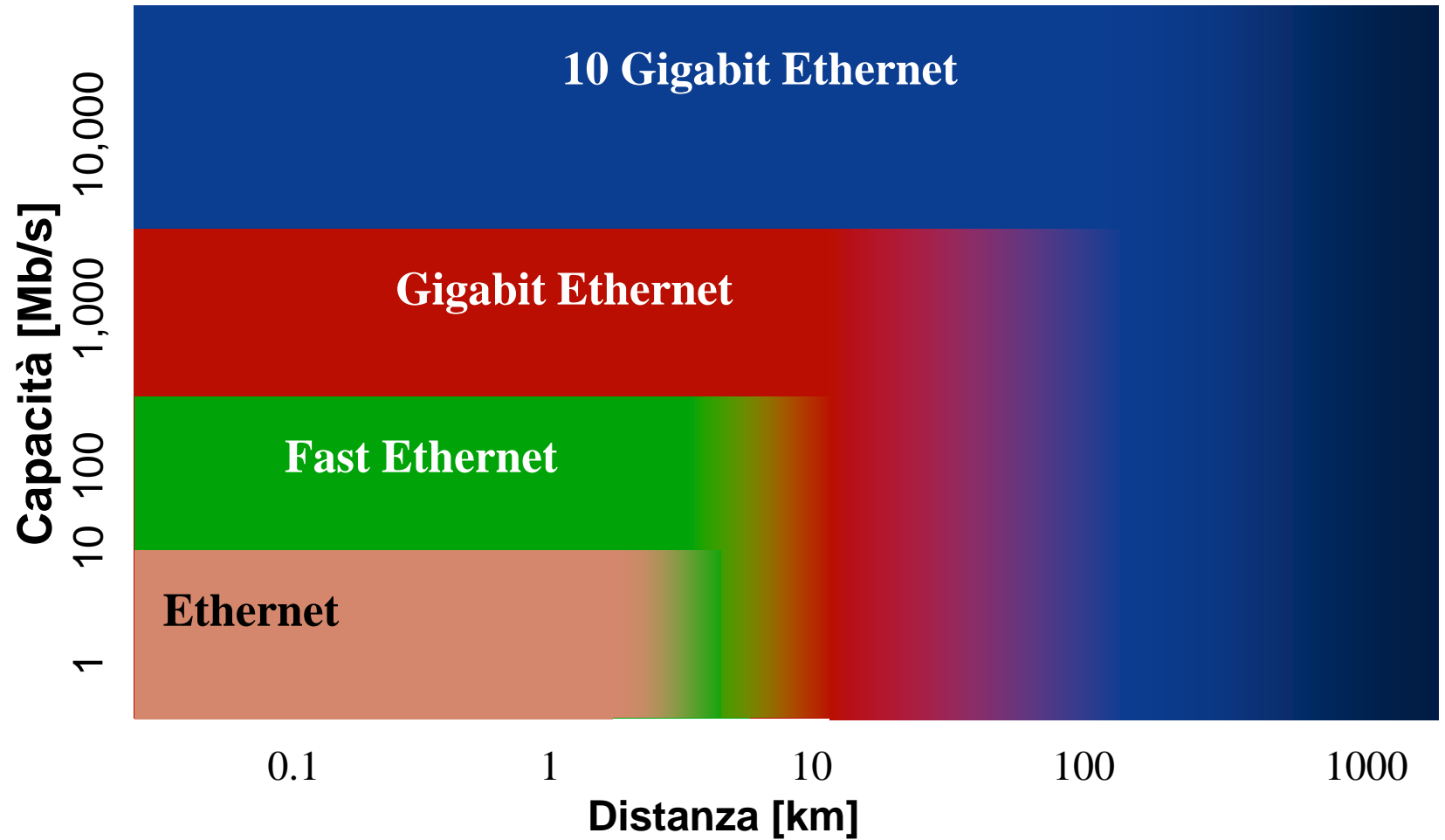
Tecnologie Ethernet

- L'insieme di protocolli Ethernet domina tuttora saldamente il mercato delle LAN
- La velocità di trasmissione originariamente era 10 Mbit/s su cavo coassiale
- Ethernet è evoluta su diversi mezzi trasmissivi (coassiale, doppino, fibra) fino a 10 Gbit/s (Gigabit Ethernet), passando da trasmissioni nel dominio elettrico a trasmissioni su fibra
- Ethernet, alle diverse velocità e per i diversi mezzi trasmissivi, è sempre stata standardizzata per permettere schede di interfaccia a basso costo, pensate per essere utilizzate in un PC

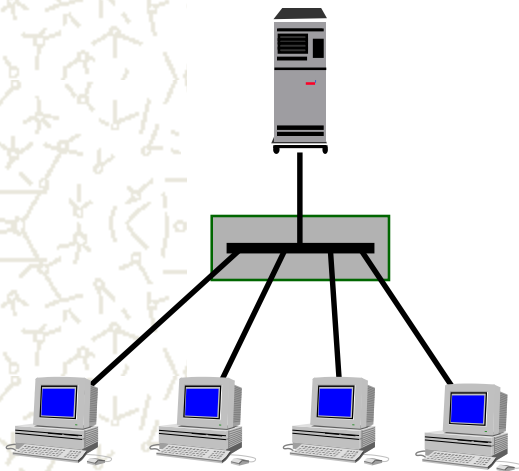
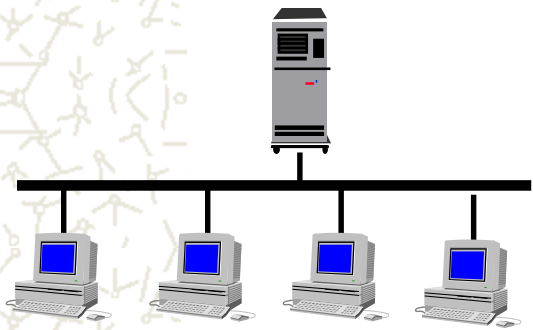
Codifica

- Sul mezzo condiviso la condizione di “**assenza di trasmissione**” è necessariamente identificata da **assenza di segnale**
- Non sono quindi possibili codifiche che utilizzino il segnale a **0 volt** per identificare un bit
- La necessità di trasferire l'informazione di clock assieme al segnale ha portato alla invenzione della codifica **Manchester** già vista
- Lo standard Ethernet utilizza la codifica Manchester con segnali a +0.85 V e -0.85 V (altri protocolli, come token ring, fanno uso della codifica **Manchester differenziale**)

Evoluzione di Ethernet

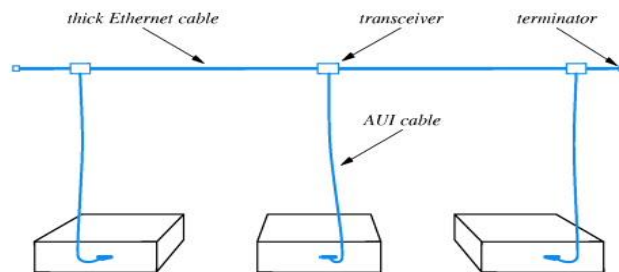
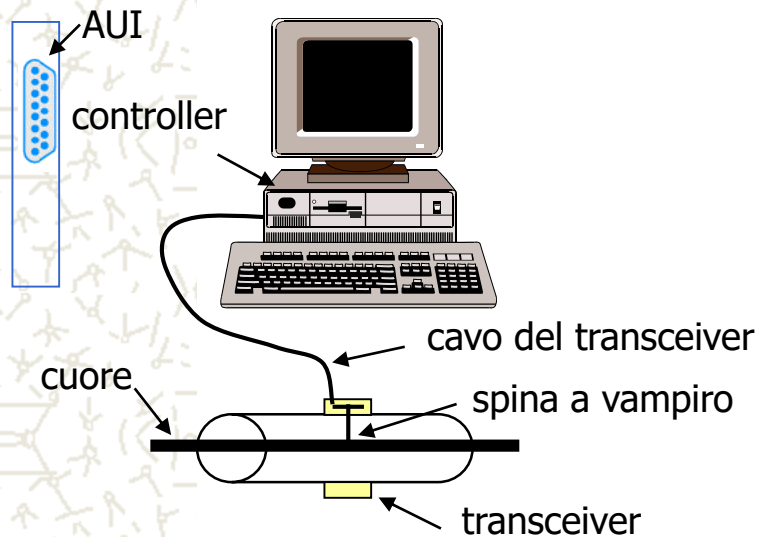


Ethernet a 10, 100, 1000, ... Mb/s

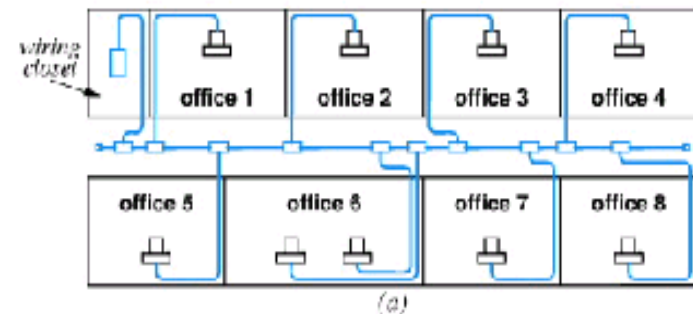


- Banda confrontabile con la velocità interna dei terminali
- Cavo coassiale condiviso
- Distanza limitata (~ 1 km) da attenuazione e ritardi di propagazione
- Bassi costi dovuti a semplicità ed economia di scala
- Hub o switch: banda e cavi condivisi o dedicati ai terminali

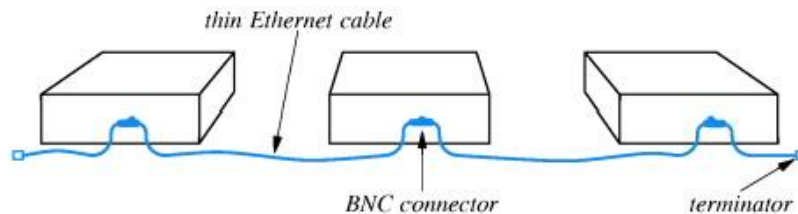
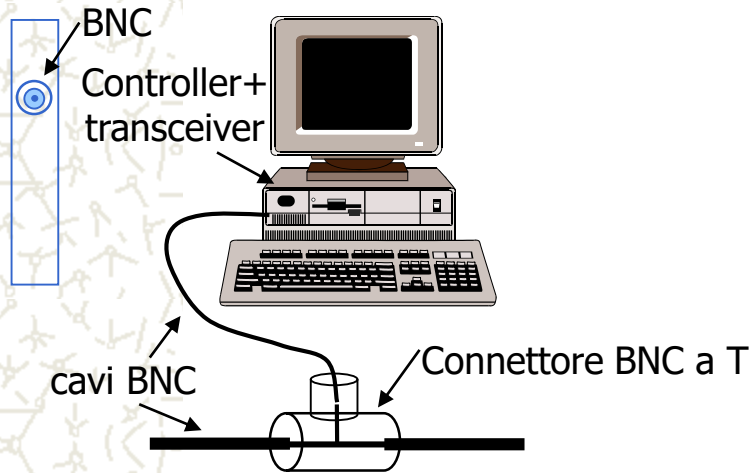
10Base5



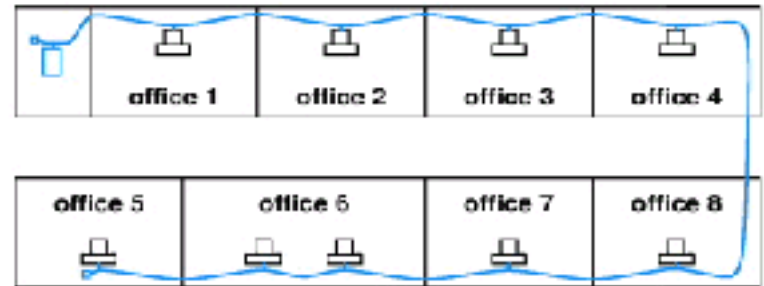
- Thick Ethernet
- Cavo giallo con tacche ogni 2.5 m a indicare i punti di aggancio delle spine
- Il transceiver è un circuito elettronico che rileva la portante e le collisioni
- Il cavo del transceiver ha 5 doppini schermati (dati in ingresso, dati in uscita, controllo in e out, alimentazione)



10Base2



- Thin Ethernet
- Il cavo è flessibile
- Il transceiver è in genere sul controller

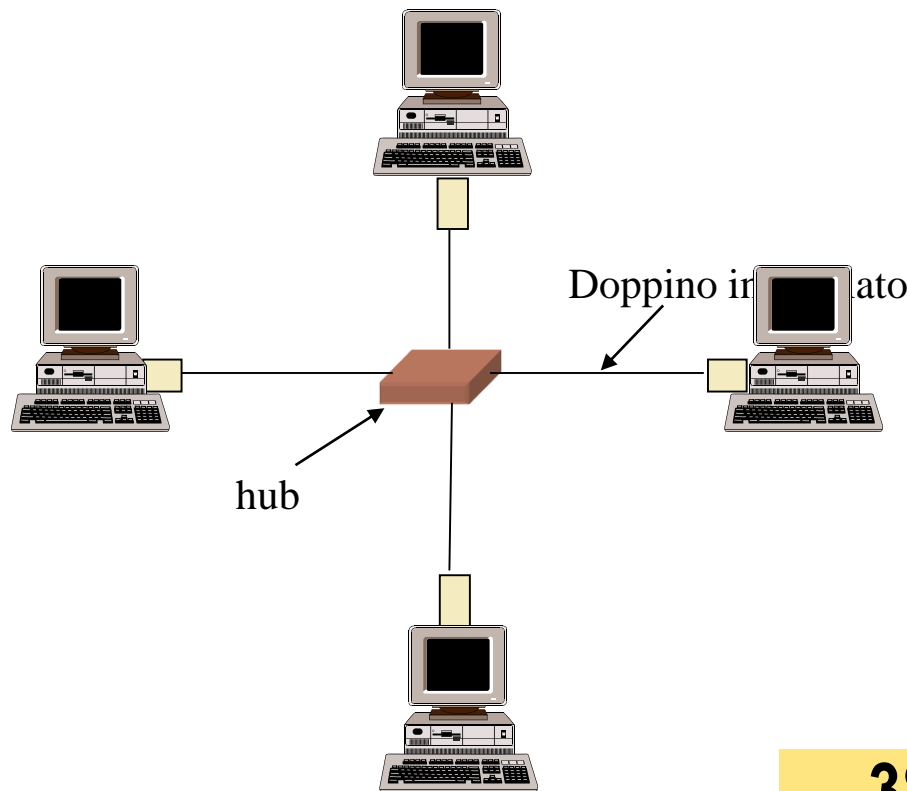


AUI Transceiver

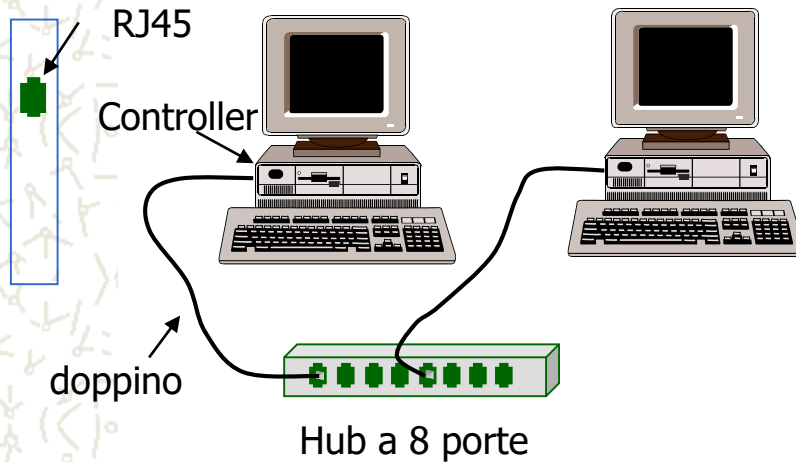


Tecnologie 10BaseT e 100BaseT

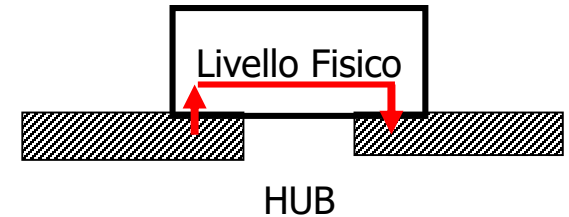
- Attualmente, molti adattatori Ethernet sono a 10/100 Mbps; possono quindi utilizzare sia 10BaseT sia 100BaseT
- La lettera **T** è l'iniziale di **Twisted Pair** (doppino intrecciato).
- Ogni nodo ha una diretta connessione con l'hub (topologia a stella); la massima distanza tra un adattatore e il centro stella è di 100m.



10BaseT

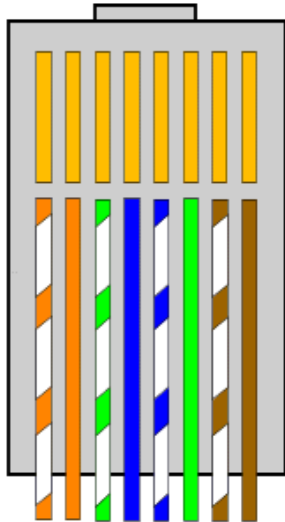


- Topologia a stella
- Semplicità di manutenzione
- Distanza massima dall'hub: 100m
- Tutte le stazioni collegate ad un hub sono nello stesso **dominio di collisione**
- Gli hub sono solo ripetitori del segnale (lavorano al livello fisico)

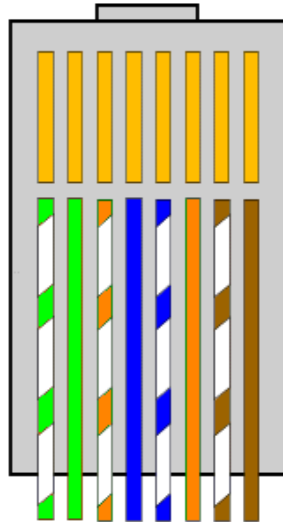


Connettore RJ-45 [Doppino]

A



B



Pin	Signal	Description
1	RxD (+)	Receive Data (+)
2	RxD (-)	Receive Data (-)
3	TxD (+)	Trasmit Data (+)
4	NC	
5	NC	
6	TxD (-)	Transmit Data (-)
7	NC	
8	NC	

Fast Ethernet (100BaseT)

- Riduce il tempo di bit a 100ns a 10ns
- Tutti i sistemi Fast Ethernet usano Hub
- Richiede una banda di 200 MBd (100 Mbps codifica Manchester)

100Base-T4

- Utilizza una velocità di 25 MHz su 4 doppini cat 3
 - ↙ Un doppino trasmette verso l'hub
 - ↘ Un doppino riceve dall'hub
 - ↔ Due doppini sono orientabili a seconda del verso della trasmissione
- Non utilizza codifica Manchester
- Si utilizzano 3 livelli 0,1,2
- Si trasmette un "trit" su 3 doppini (27 simboli = 4 bit + ridondanza)
- Si ha un canale nell'altro verso a 33.3 Mbps

Fast Ethernet :100Base-TX e 100Base-FX

100Base-TX

- Utilizza una velocità di 125 MHz su 2 doppini cat 5 (full-duplex)
 - Un doppino trasmette verso l'hub
 - Un doppino riceve dall'hub
- m Utilizza una codifica 4B5B (4 bit in 5 periodi di clock)
- m 100 Mbps bidirezionali

100Base-FX

- m Utilizza due cavi di fibra multimodale (full-duplex)
 - Un cavo trasmette verso l'hub
 - Un cavo riceve dall'hub
- m 100 Mbps bidirezionali

Gigabit Ethernet

- Uso formato di trama 802.3
- Uso protocollo MAC CSMA-CD (trasmissione punto punto con switch)
- Operazioni half duplex e full duplex
- Backward compatibility con mezzi fisici già installati (fibre mono e multimodali, doppino)
- Aumenta di un fattore 10 dimensione minima di pacchetto con padding di simboli speciali

Codifiche in Gigabit Ethernet

- Su fibra si utilizza una codifica nota come **8B/10B**: una sequenza di 8 bit e' codificata utilizzando 10 bit:
 - 1024 codeword per 8 bit: c'e' margine per scegliere opportunamente le codeword in modo che
 - **non** ci siano mai piu' di **4 bit uguali consecutivi**
 - **non** ci siano mai piu' di **sei 0 o sei 1**
 - spesso una sequenza ha **piu' codeword associate**, e viene scelta la migliore in funzione delle precedenti inviate per mantenere **alternanza** tra 0 ed 1 ed **annullare** la componente **continua** che passa nell'elettronica di conversione ottico/elettrico
- Su rame si utilizzano **tutte le quattro coppie** del cavo UTP in modalita' **duplex** con un simbolo a 5 livelli
 - ogni ciclo di clock trasmette 5 simboli per coppia: 2 bit piu' un bit usato per segnali di controllo su ciascuna coppia
 - **8 bit per ciclo a 125 MHz** danno il throughput di 1 Gbps
 - la modalita' di trasmissione duplex si realizza con una **elettronica** complessa finalizzata al trattamento del segnale per **separare** l'ingresso dall'uscita

Gigabit Ethernet

- IEEE 802.3z specifica tre tipi di interfacce fisiche:
 - 1000Base LX: fibra multimodale o monomodale
 - 1000Base SX: fibra multimodale
 - 1000Base CX: cavo di rame schermato
 - 1000Base T: cavo STP o UTP (doppino in rame con 4 coppie schermato o non)
- Prevede le seguenti opzioni:

SX: short-wavelength
(850 nm)

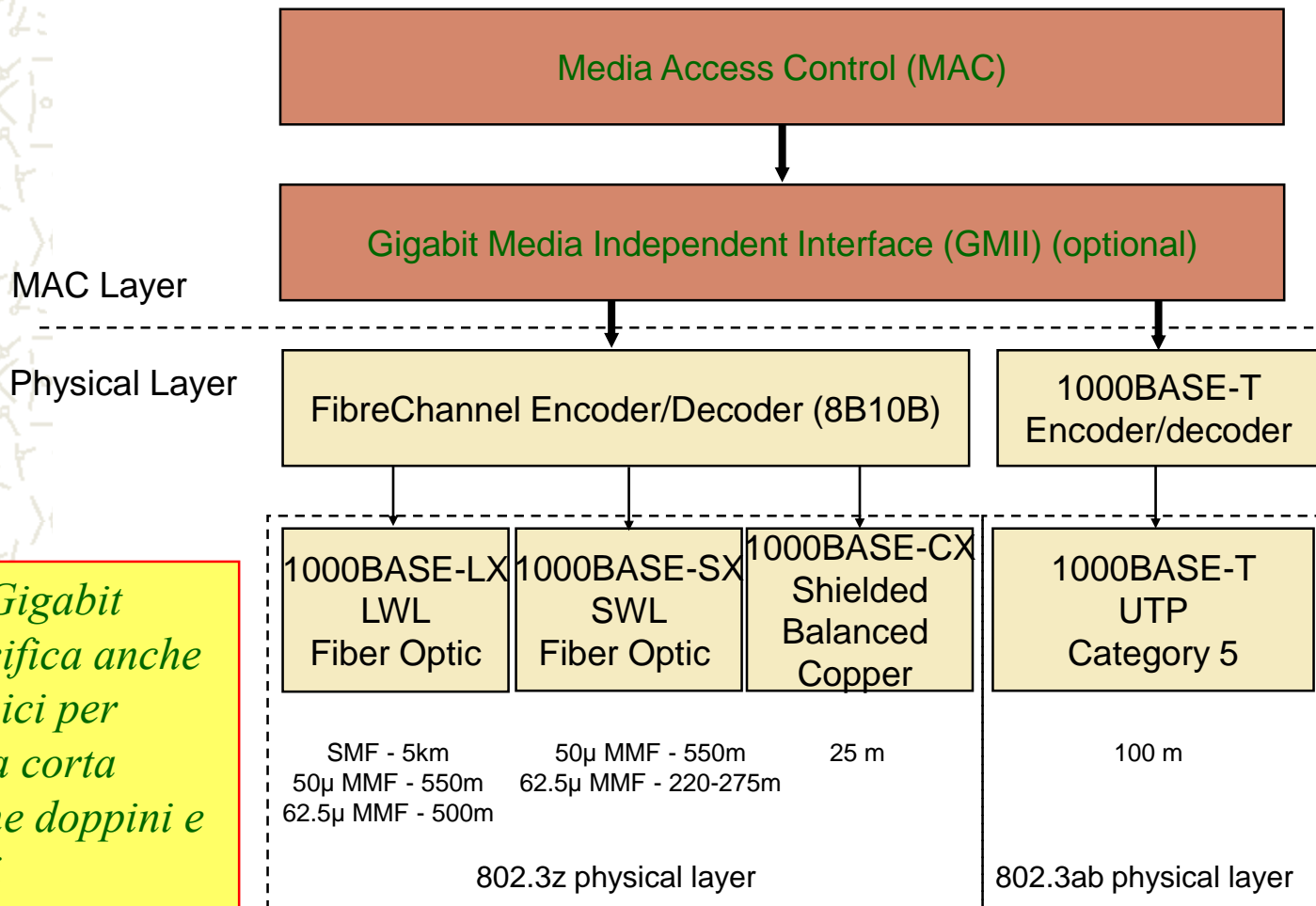
LX: long-wavelength
(1300 nm)

standard	tipo di fibra	diametro (μm)	BW modale (MHz/km)	distanza minima (m)
1000BASESX (850 nm)	MM	62.5	160	2 to 220
	MM	62.5	200	2 to 275
	MM	50	400	2 to 500
	MM	50	500	2 to 550
1000BASELX (1300 nm)	MM	62.5	500	2 to 550
	MM	50	400	2 to 550
	MM	50	500	2 to 550
	SM	9	NA	2 to 10000

Controllo di flusso

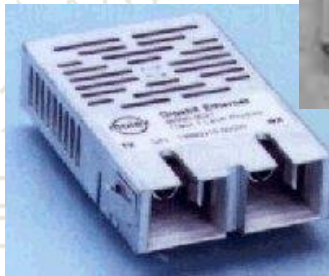
- Poichè lo standard ammette la connessione di una stazione GE con una FE o Ethernet, è stato introdotto un meccanismo per il **controllo di flusso** a livello MAC
- Lo switch comunica all'interfaccia GE della stazione di **sospendere** le trasmissioni di frame utilizzando un frame Ethernet normale, con tipo 0x8808 (seguito da parametri nel campo dati, indicanti tra l'altro **per quanto tempo** sospendere la trasmissione)
- Un meccanismo analogo esiste nelle specifiche di **Fast Ethernet**

Livelli Gigabit Ethernet



Lo standard Gigabit Ethernet specifica anche altri livelli fisici per trasmissioni a corta distanza, come doppini e cavi coassiali

Tipici 1 Gigabit Optical XCVRs



Pin in Hole

SFF



1x9



GBIC



Pluggable

SFP



10 Gigabit Ethernet

- Un comitato IEEE 802.3 è attivo nella standardizzazione di 10 Gbit/s Ethernet
- Solo la modalità full duplex, senza CSMA-CD
- Soluzioni proposte:
 - Seriale, con framing Ethernet, su distanze da LAN fino a 40 Km
 - 650 m su fibra multimodo (MMF)
 - 300 m su MMF installata
 - 2 km su fibra monomodo (SMF)
 - 10 km su SMF
 - 40 km su SMF
 - Seriale, su SONET, per distanze maggiori di 40 Km
- Per maggiori informazioni:
 - www.10gea.org
 - www.ieee802-org

Obiettivi IEEE P802.3ae

- Mantenere il formato di trama di 802.3 Ethernet
- Mantenere le dimensioni min/max del frame 802.3
- Funzionamento solo Full duplex
- Supportare solo cavi in fibra ottica
- 10.0 Gbps all'interfaccia MAC-PHY
- Capacità in ambiente LAN PHY di 10 Gbps
- Capacità in ambiente WAN PHY di ~9.29 Gbps (compatibile con SONET)

Ethernet [Cablaggio]

Ecco una tassonomia dei principali standards con le loro limitazioni in distanza

Nome	Cavo	Max segmento	Nodi/segmento
10Base5	coassiale grosso	500m	100
10Base2	coassiale sottile	200m	30
10Base-T	doppino	100m	1024
10Base-FL	fibra ottica	2000m	1024

10 Mbps

Nome	Cavo	Max segmento
10GBASE-SR	fibra ottica multimode	300m
10GBASE-LX4	fibra ottica multimode	300m
10GBASE-LR	fibra ottica singlemode	10Km
10GBASE-ER	fibra ottica singlemode	40Km

10000 Mbps (10 Giga Ethernet)

Nome	Cavo	Max segmento
100Base-T4	4 doppini cat 3	100m
100Base-TX	doppino cat 5	100m
100Base-FX	fibra ottica	2000m

100 Mbps (fast Ethernet)

Nome	Cavo	Max segmento
1000Base-T	4 doppini cat 5e	100m
1000Base-SX	fibra ottica multimode	220m
1000Base-LX	fibra ottica multimode	500m
1000Base-LX	fibra ottica singlemode	10Km

1000 Mbps (Giga Ethernet)