



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



Reti per l'automazione

Automazione I

25/11/2014

Alessandro De Luca

Il sistema di comunicazione

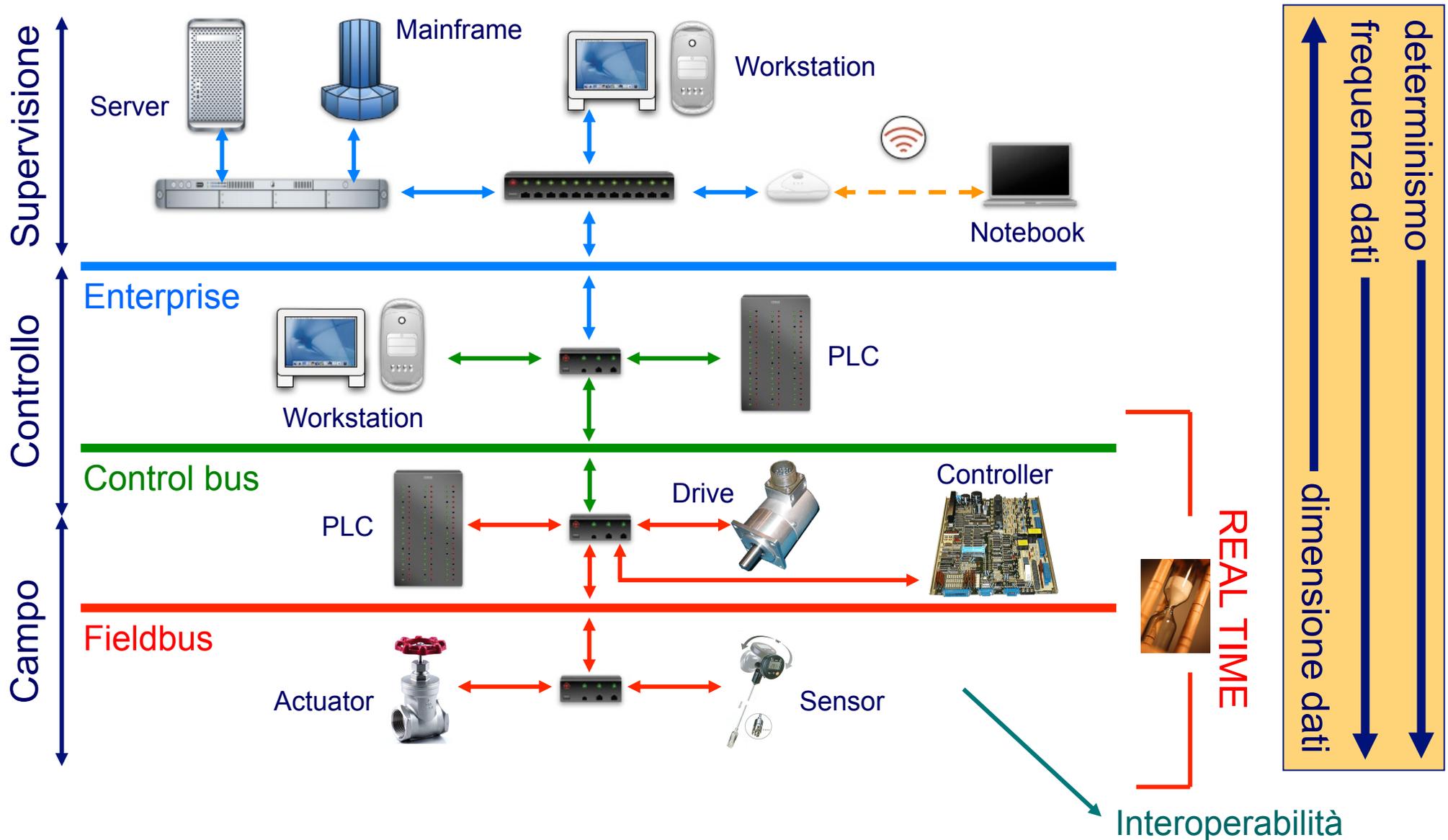
Ad ogni livello della piramide dell'automazione

- si acquisiscono informazioni
- si elaborano strategie
- si attuano azioni correttive

Importanza fondamentale del sistema di comunicazione

- l'intero sistema deve essere interconnesso per garantire il flusso di informazioni
 - comunicazione orizzontale
 - comunicazione verticale: gerarchia di RETI
 - caratteristiche diverse ai vari livelli
 - tipologia dei dati
 - vincoli di comunicazione

Reti di comunicazione



Rete Enterprise

- ❑ rete per le informazioni gestionali
- ❑ client (workstation, notebook, mainframe) e server sono standard
- ❑ non è real-time
- ❑ la sicurezza dell'informazione è importante, ma non la “robustezza” rispetto a disturbi ambientali (in genere, minimi)
- ❑ standard Ethernet
 - ➔ Ethernet è una tecnologia “connection-less”: non viene garantita la ricezione dei dati
 - ➔ è il protocollo TCP/IP che garantisce la ri-trasmissione dei dati nel caso di mancanza del segnale di acknowledgement relativo al singolo pacchetto

Rete di Controllo e Rete di Campo

- ❑ rete per le informazioni di cella, macchina e campo
- ❑ il client non è standard (PLC, controllori embedded, dispositivi di campo) perché è importante poter avere flessibilità
- ❑ dati piccoli, non strutturati, ma trasmessi con frequenza elevata
- ❑ vincoli Real Time
 - ➔ Ethernet non va bene
 - ➔ necessità di soluzioni ad hoc
- ❑ necessità di determinismo
 - ➔ **ritardo di trasmissione**: introduce un ritardo negli anelli di controllo che portano ad un degrado delle prestazioni
- ❑ l'ambiente industriale "ostile" necessita robustezza
- ❑ impatto sia sulle caratteristiche HW (topologia) che su quelle SW (protocolli e servizi) delle reti

Topologia

- **broadcast**: unico canale di comunicazione condiviso da tutte le macchine della rete
 - ➔ i pacchetti sono inviati dal trasmettitore sul canale e ricevuti da tutti gli altri host (con allocazione statica o dinamica del canale)
 - ➔ ciascun pacchetto contiene l'indirizzo del destinatario: ogni macchina controlla l'indirizzo e decide se il pacchetto è indirizzato a lei o può essere scartato
 - ➔ si possono indirizzare i pacchetti anche a tutte le macchine contemporaneamente (broadcasting) o solo a un sottoinsieme (multicasting)
- **punto-punto (peer-to-peer)**: connessioni dedicate tra coppie di dispositivi
 - ➔ è necessario definire il cammino per trasmettere tra due macchine non fisicamente connesse

Classificazione delle reti

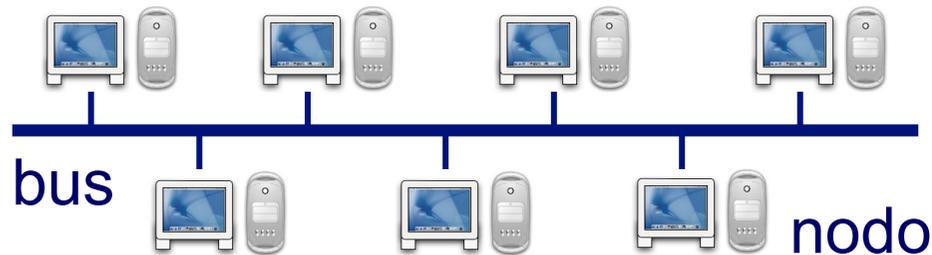
Reti broadcast (tipicamente LAN)

□ reti a bus

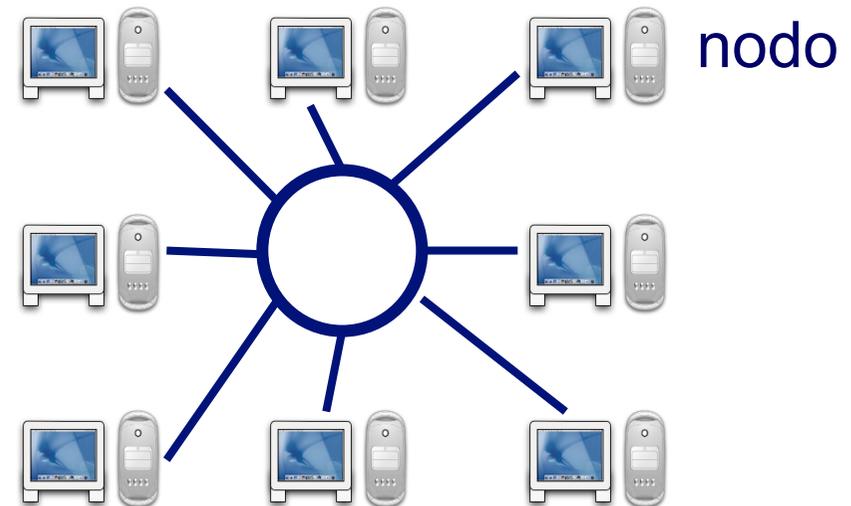
- ➔ in ogni istante un solo nodo dovrebbe trasmettere (master)
- ➔ necessario quindi arbitraggio, centralizzato o distribuito (più comune)

□ reti ad anello

- ➔ i pacchetti circolano in serie sull'anello (ciascun bit in un tempo tipicamente inferiore al tempo di trasmissione dell'intero pacchetto)
- ➔ necessario arbitraggio per accessi simultanei all'anello



rete a bus (IEEE 802.3 = ethernet)



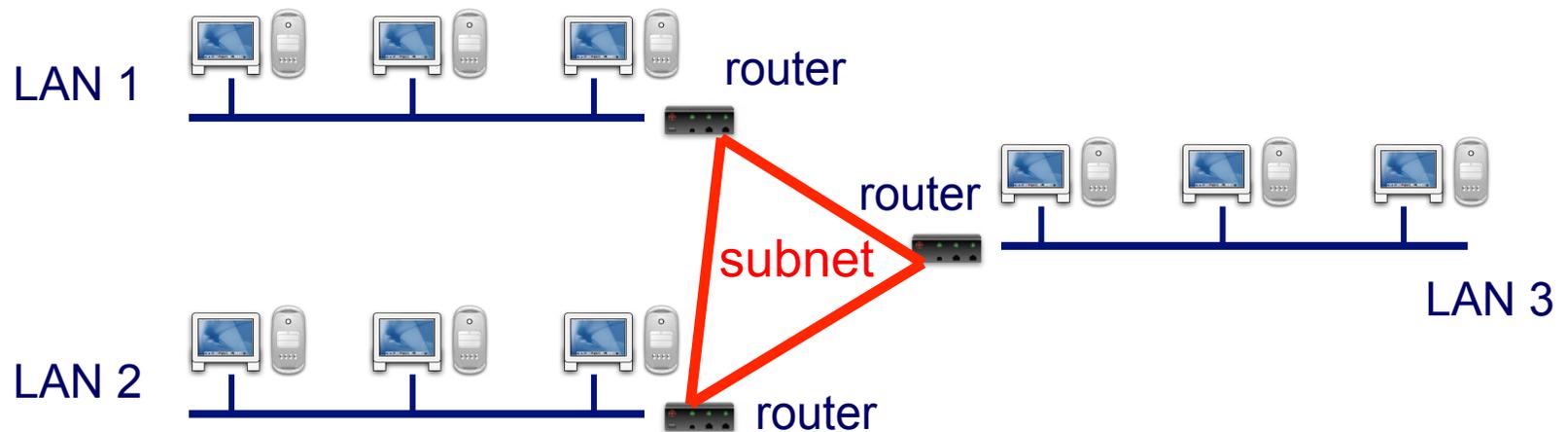
rete ad anello

(nodi con cablaggio locale per potersi disconnettere)

Classificazione delle reti

Reti peer-to-peer

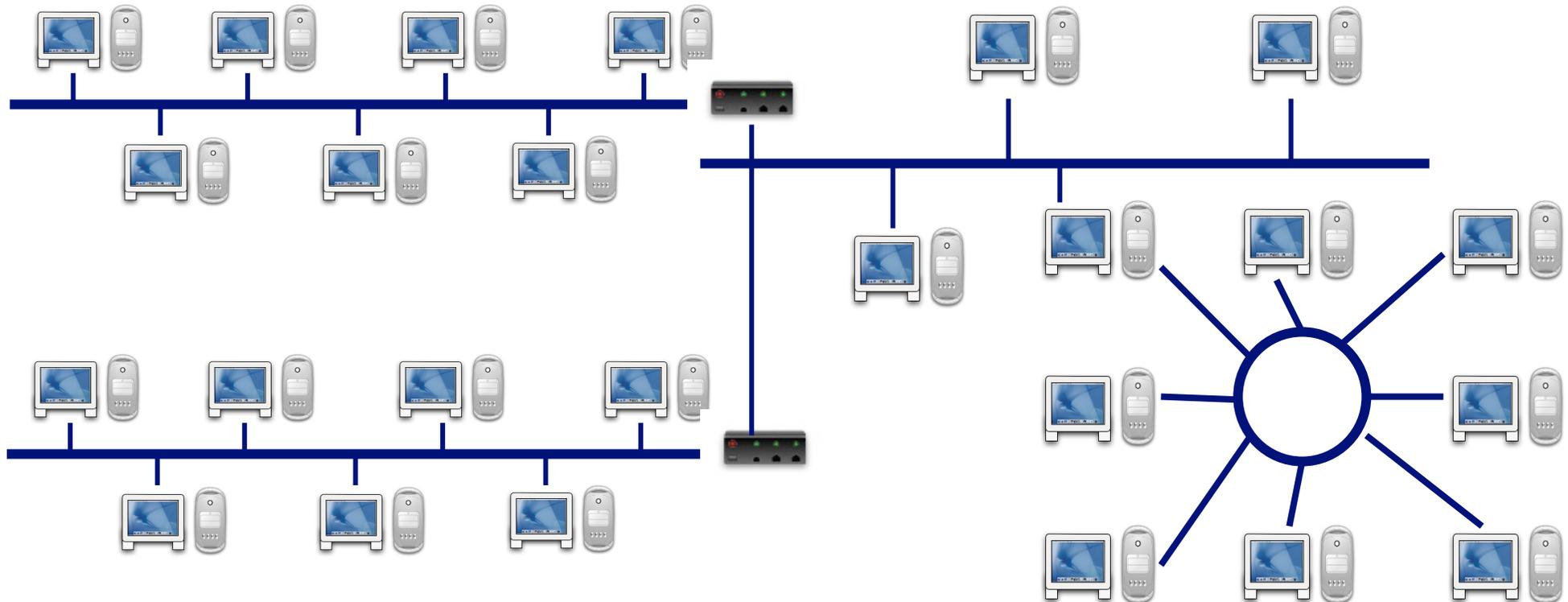
- per reti di dimensioni maggiori, normalmente più reti locali (di tipo LAN) vengono connesse tramite una sottorete (subnet) di tipo punto-punto
 - ➔ ogni nodo della sottorete funge da router per la propria rete locale
 - ➔ pacchetti in ingresso sono memorizzati e poi inviati verso la destinazione finale
 - ➔ la problematica maggiore è quella della definizione del cammino che ogni pacchetto deve seguire per ottimizzare le prestazioni della rete (routing)
 - ➔ se più pacchetti relativi allo stesso messaggio seguono cammini diversi, è necessario gestire anche la sequenza con cui essi vengono ricevuti



Classificazione delle reti

Reti ibride

- ❑ reti broadcast, anche diverse tra di loro, connesse tramite una rete ancora broadcast
 - ➔ è la situazione più frequente in applicazioni di controllo complesse



Classificazione delle reti

Estensione geografica

distanza media tra due nodi	estensione geografica
1 m	metro quadro
10 m	stanza
100 m	edificio
1 km	distretto
10 km	città
100 km	nazione
1,000 km	continente
10,000 km	pianeta

Personal Area Network (PAN)
ad es., bluetooth

Local Area Network (LAN)

Metropolitan Area Network
ad es., reti telefoniche o cable-TV **(MAN)**

Wide Area Network (WAN)

Internet

Estensione geografica

❑ Local Area Network (LAN)

- ➔ reti private di dimensioni ridotte, normalmente all'interno di una istituzione e di dimensioni da pochi metri fino a pochi chilometri
- ➔ normalmente reti broadcast, con tempi e ritardi di trasmissione noti e limitati

❑ Wide Area Network (WAN)

- ➔ reti che coprono una area geografica estesa
- ➔ la connessione su larga scala è realizzata tramite sottoreti (subnet/provider)
- ➔ linee di trasmissione e router per la commutazione

❑ altri tipi di reti

- ➔ reti metropolitane, che coprono le dimensioni tipiche di una città
- ➔ internet di dimensione mondiale

❑ la dimensione di una rete ne limita le caratteristiche realizzative:
reti estese non possono essere di tipo broadcast

❑ le reti di interesse per i sistemi di controllo sono normalmente LAN

Protocollo di accesso al mezzo per reti **broadcast**

❑ **allocazione statica del canale**

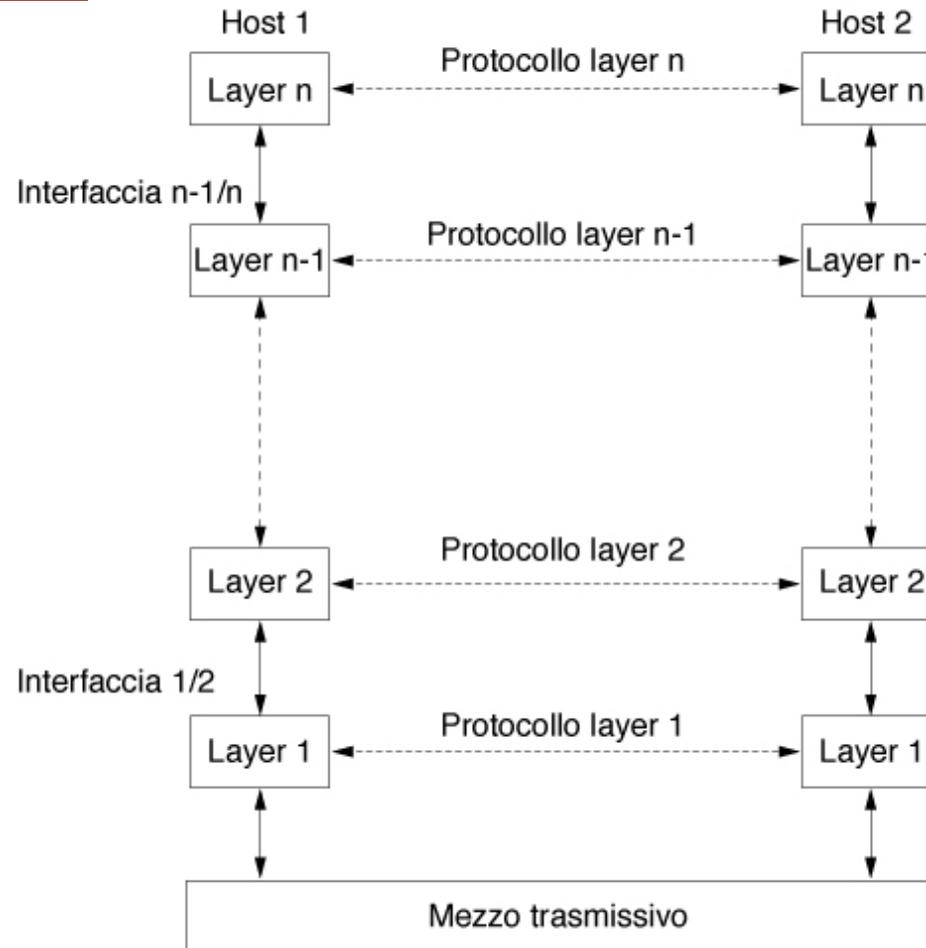
- ➔ il tempo viene suddiviso in quanti, ed ogni nodo può eseguire il broadcast solamente in corrispondenza del quanto assegnato al nodo stesso
- ➔ se un nodo non ha nulla da trasmettere il quanto rimane inutilizzato: l'allocazione statica in questo caso non utilizza tutta la banda disponibile

❑ **allocazione dinamica del canale**

- ➔ controllo centralizzato: un master determina il prossimo nodo che trasmette
- ➔ controllo decentralizzato: ogni nodo decide autonomamente se iniziare a trasmettere
- ➔ sistemi **a collisione**: è possibile che più nodi trasmettano in modo contemporaneo (le collisioni devono essere rilevate e risolte)

Organizzata a stack

- ❑ ad ogni livello corrisponde una funzionalità: **layer**
- ❑ il layer n di un host parla solo con il layer n di un altro host mediante una serie di regole dette protocollo

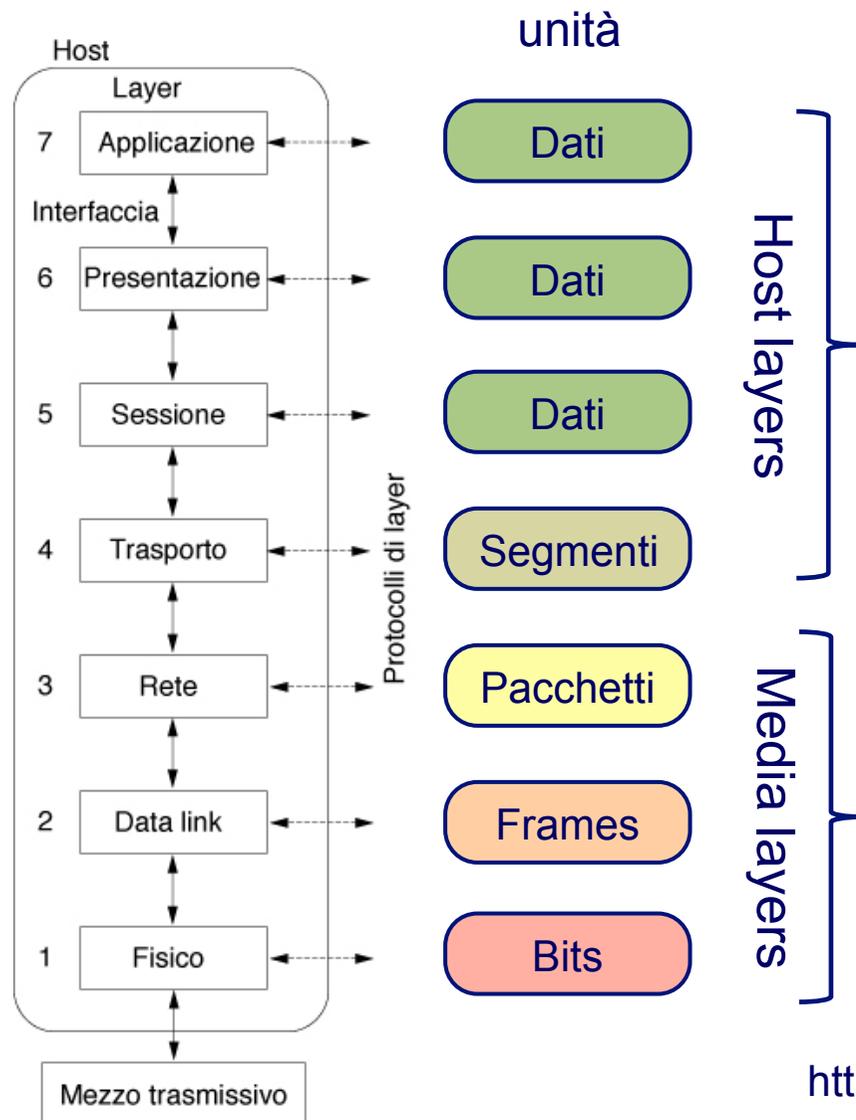


Architettura ISO-OSI

International Organization for Standardization (ISO) - Open Systems Interconnection



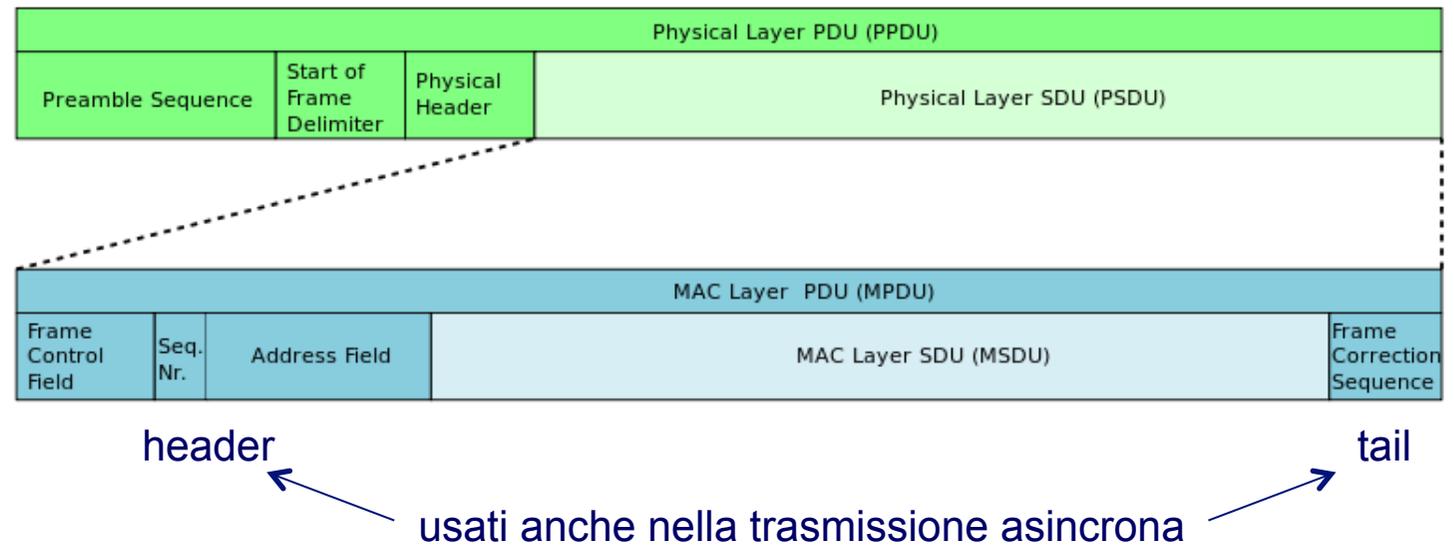
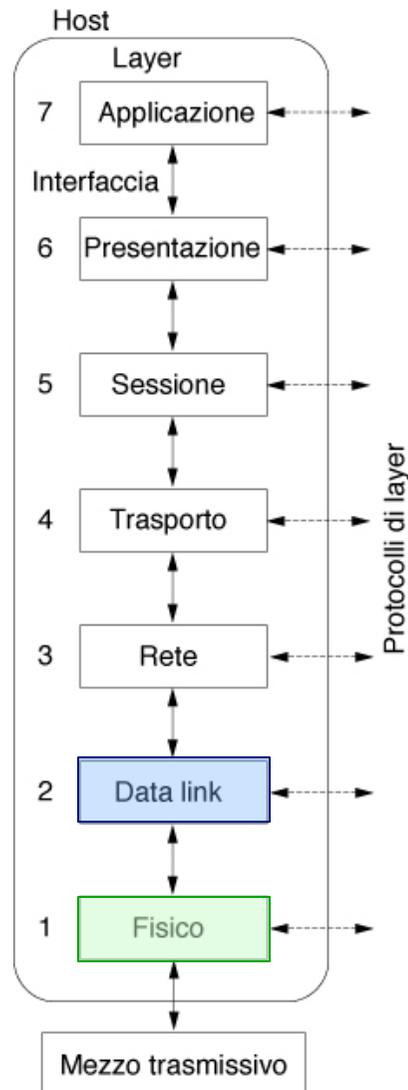
- ❑ dal 1983
- ❑ stack con 7 layer



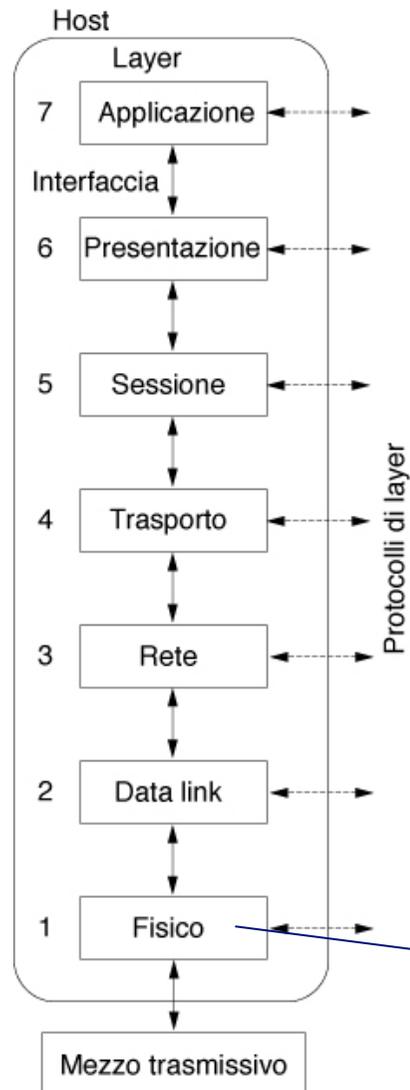
http://it.wikipedia.org/wiki/Open_Systems_Interconnection

Architettura ISO-OSI

- ogni livello comunica con il livello corrispondente dei nodi di transito o destinatari usando il *Service Access Point (SAP)* del livello sottostante
- messaggi del livello n sono “incapsulati” nei messaggi di livello inferiore $n-1$ (fino a quello fisico)
- Service Data Units (SDU) (contenuto del messaggio) dentro Protocol Data Units (PDU)



Architettura ISO-OSI



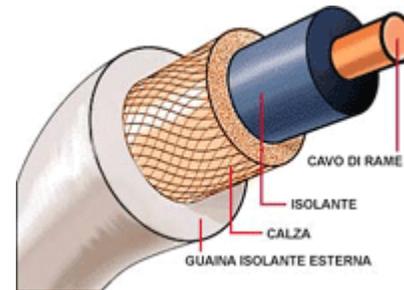
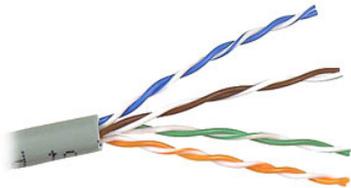
- definisce la relazione tra il dispositivo ed il mezzo di trasmissione (doppino di rame o fibra ottica)
 - layout dei pins, livelli di tensione, impedenza di linea, specifiche su cavi e connettori, codifica e temporizzazione dei segnali e loro modulazione e/o conversione A/D, ripetitori e adattatori di rete o di bus, ...
 - trasmissione sincrona (clock che determina anche la velocità di trasmissione) o asincrona (con bit di start e stop)
 - direzionalità: simplex (mono-), duplex (bi-), half-duplex (mono- , ma alternata)
- usato dal layer fisico di Ethernet (RJ45) e di altre LAN (token ring, IEEE 802.11) o PAN (Bluetooth)

physical layer: trasmette fisicamente i bit sul canale; si fissano le convenzioni fisiche ed elettriche

Livello fisico della rete

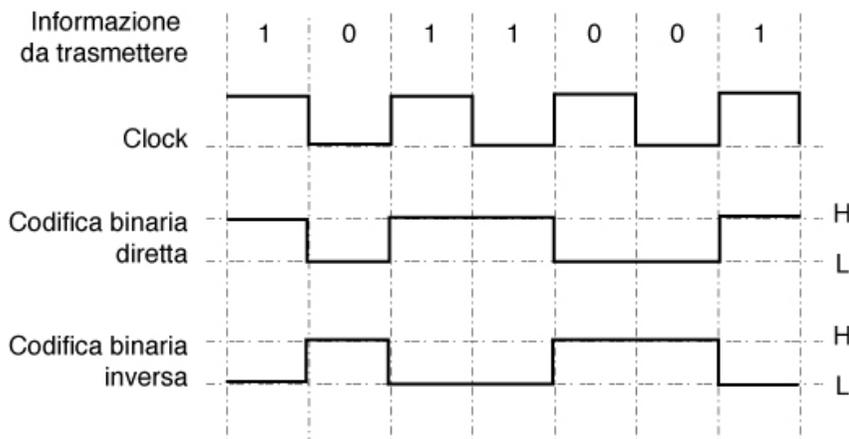
Mezzi fisici per la trasmissione dei segnali

- ❑ **doppino telefonico: coppia di cavi di rame 'twisted'**
 - ➔ cavo 10 Base-T, 100 Base-T, ...
 - ➔ throughput (quantità di dati trasmessi in un lasso di tempo): Kbps
- ❑ **cavo coassiale: conduttore in rame circondato da materiale isolante**
 - ➔ buona banda e reiezione ai disturbi
 - ➔ throughput: Mbps
- ❑ **fibra ottica: l'informazione è tradotta in impulsi luminosi**
 - ➔ larghezza di banda decisamente superiore
 - ➔ throughput: Tbps
- ❑ **wireless**

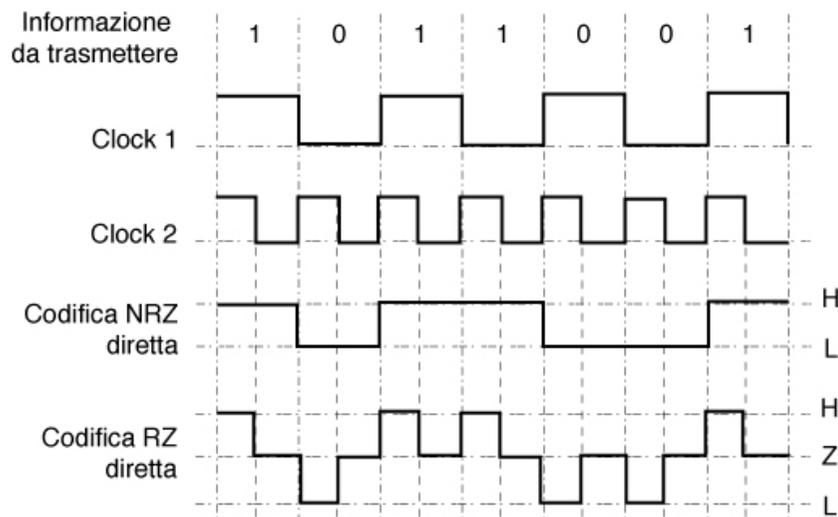


Livello fisico della rete

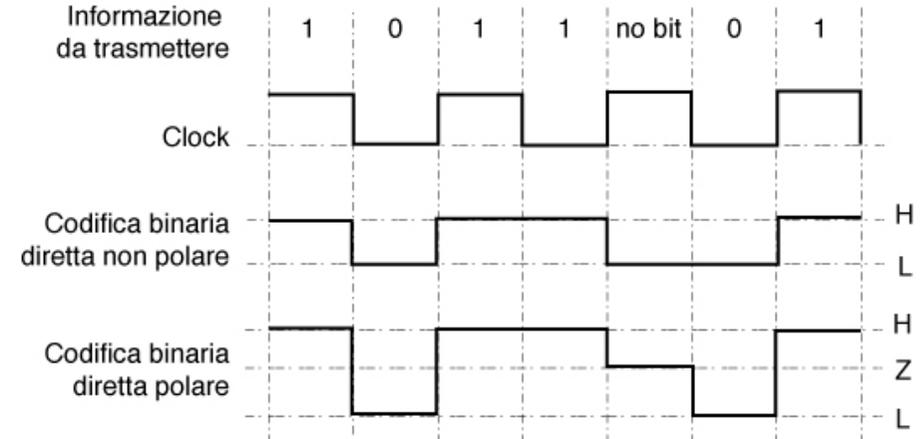
codifica dell'informazione logica dei bit (diversi spettri di frequenza, a media nulla o meno)



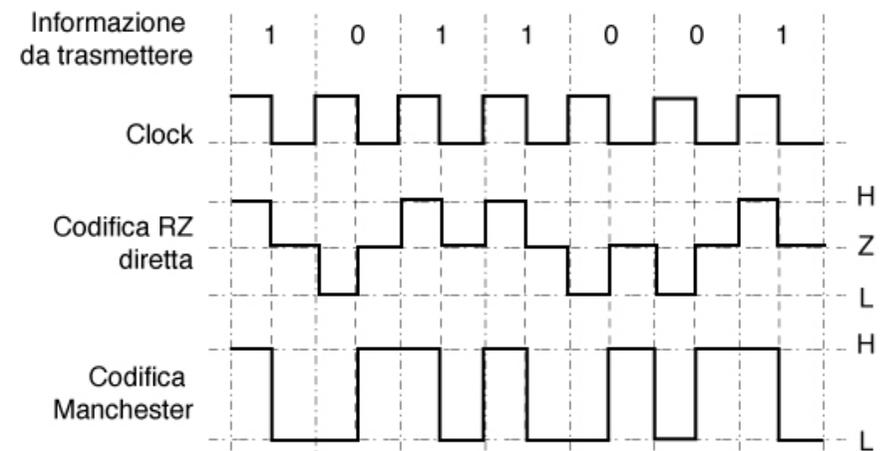
sono le codifiche più semplici; entrambe **“non polari”**:
l'assenza di trasmissione è assegnata a uno dei due livelli



codifica **RZ**: seconda metà del bit (Clock 2) sempre al livello Z;
ri-sincronizzazione facilitata, ma si usa doppia banda di frequenza



“polare”: il livello Z è associato alla non trasmissione; le codifiche **NRZ** (No Return to Zero) necessitano di una sola tensione di alimentazione (circuito TTL con +5V) ma hanno problemi in caso di perdita di sincronismo



codifica **Manchester** (2 livelli): seconda metà indica transizione (a Z);
per lunghe sequenze di bit identici, problemi di sincronizzazione
⇒ codice Manchester differenziale

Livello fisico della rete

Standard di connessione elettrica/meccanica tra host e linea di trasmissione

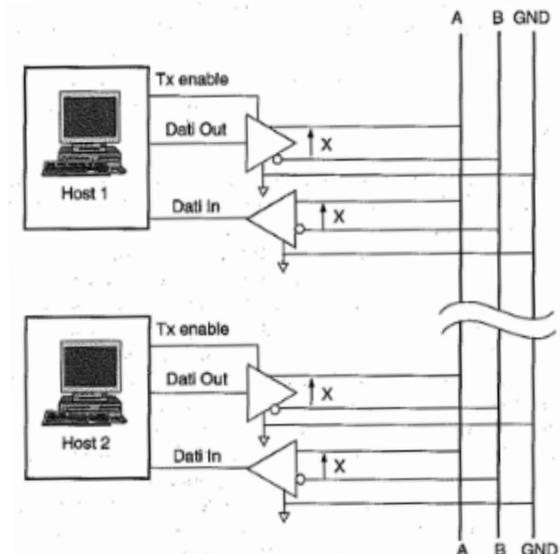
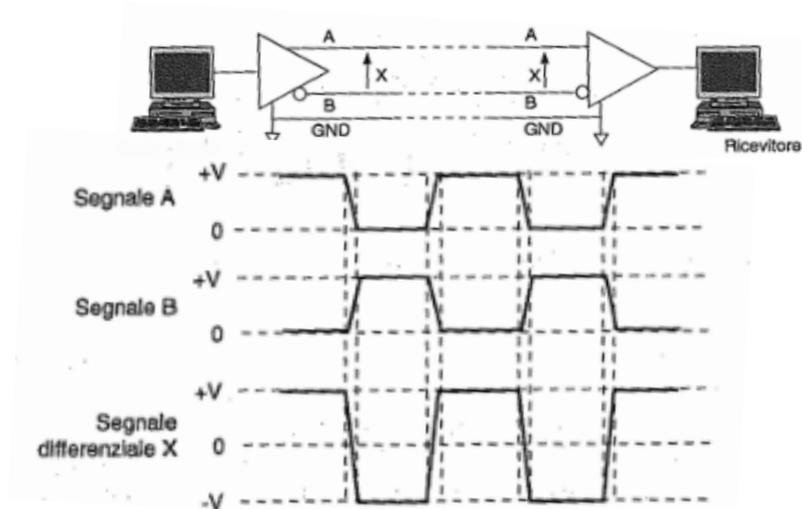
□ IEEE RS232 (seriale, tra i più consolidati)

□ IEEE RS422

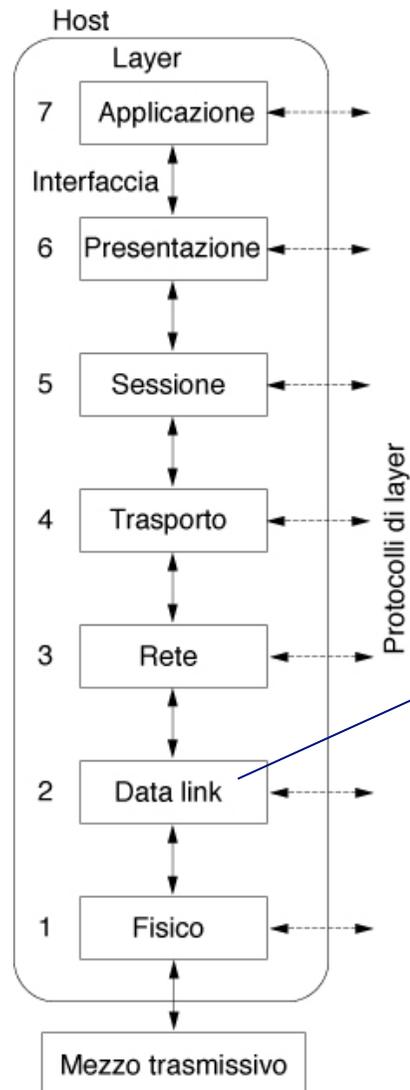
- ➔ ampiamente in uso in ambito industriale
- ➔ segnale negato $B=-A$ e poi differenziale $X=A-B$
 - range del segnale raddoppiato: più immune ai disturbi
- ➔ 10Mbps, fino a 1200 metri di distanza
- ➔ intrinsecamente simplex
 - (due coppie di cavi + massa per avere full duplex)
- ➔ **1 solo** trasmettitore e fino a 10 ricevitori
- ➔ oppure, più comune è l'uso punto-punto

□ IEEE RS485

- ➔ ampiamente in uso in ambito industriale
- ➔ stessa logica differenziale del RS422
- ➔ **più** trasmettitori e ricevitori (fino a 32)
- ➔ ma solo **1 attivo** per volta (con TX enable)
 - gli altri hanno il circuito di ingresso al canale in uno stato "ad alta impedenza" = come se fossero scollegati
 - occorre gestire i conflitti di accesso



Architettura ISO-OSI



- stabilisce un collegamento “affidabile” tra due nodi direttamente connessi a livello fisico
 - rileva e se possibile corregge errori avvenuti nella comunicazione tra layer fisici
- esempio: PPP (Point-to-Point Protocol) di TCP/IP

data link layer: nel trasmettitore divide il dato in frames, nel ricevitore spedisce gli ACK di ricezione dei frames; effettua il controllo del flusso (velocità di trasmissione); in reti broadcast **gestisce l'accesso al mezzo (MAC)**

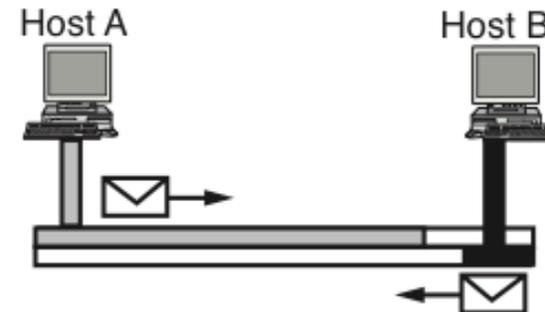
Gestione dinamica accessi (MAC)

Sistema a collisione: Carrier Sense Multiple Access Collision Detection (**CSMA-CD**)

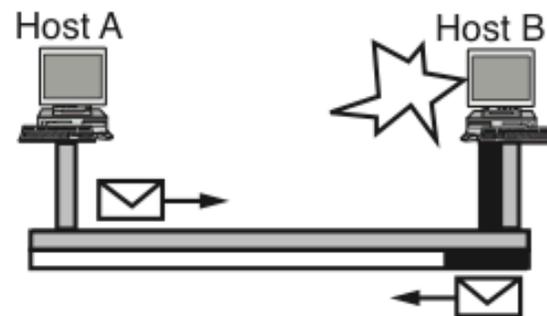
- ogni nodo è sempre in ascolto del canale
- il nodo che trasmette confronta il dato sul canale con quello trasmesso (corrotto o meno)
- rilevata la collisione il nodo attende un tempo casuale e poi ritrasmette



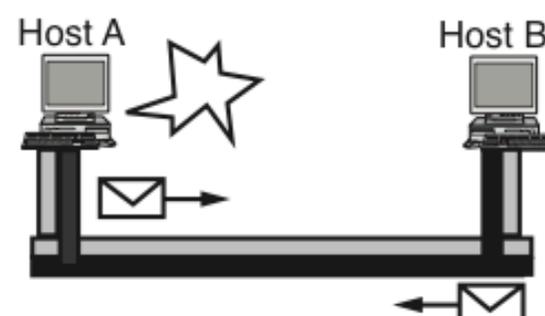
1) $t=0$: A inizia a trasmettere dato che il canale è libero



2) $t=\tau-\varepsilon$: B inizia a trasmettere e i due messaggi collidono



3) $t=\tau$: B rileva la collisione ricevendo la versione corrotta del suo messaggio

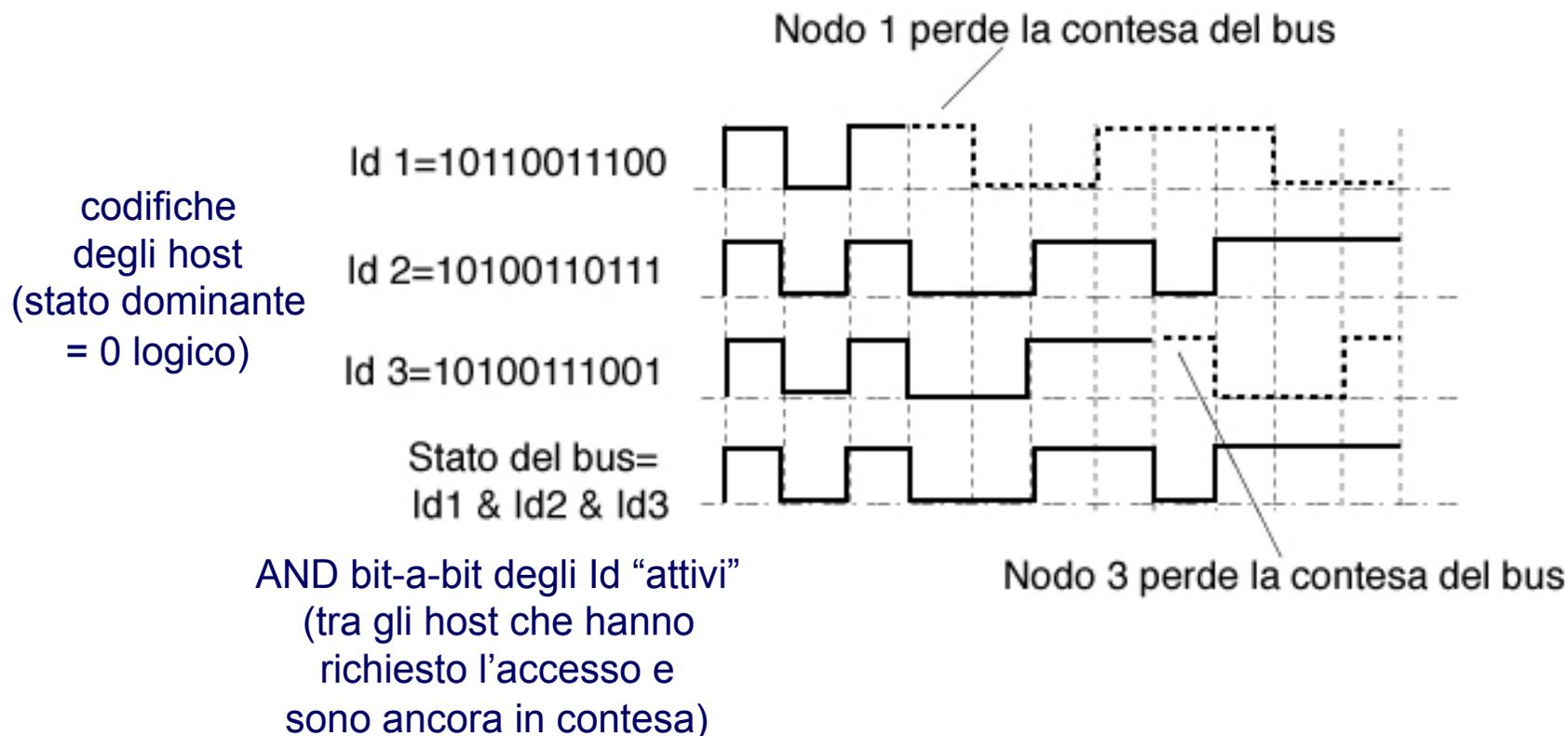


4) $t=2\tau$: A rileva la collisione ricevendo la versione corrotta del suo messaggio

Gestione dinamica access (MAC)

Sistema a collisione: Carrier Sense Multiple Access Collision Resolution (**CSMA-CR**)

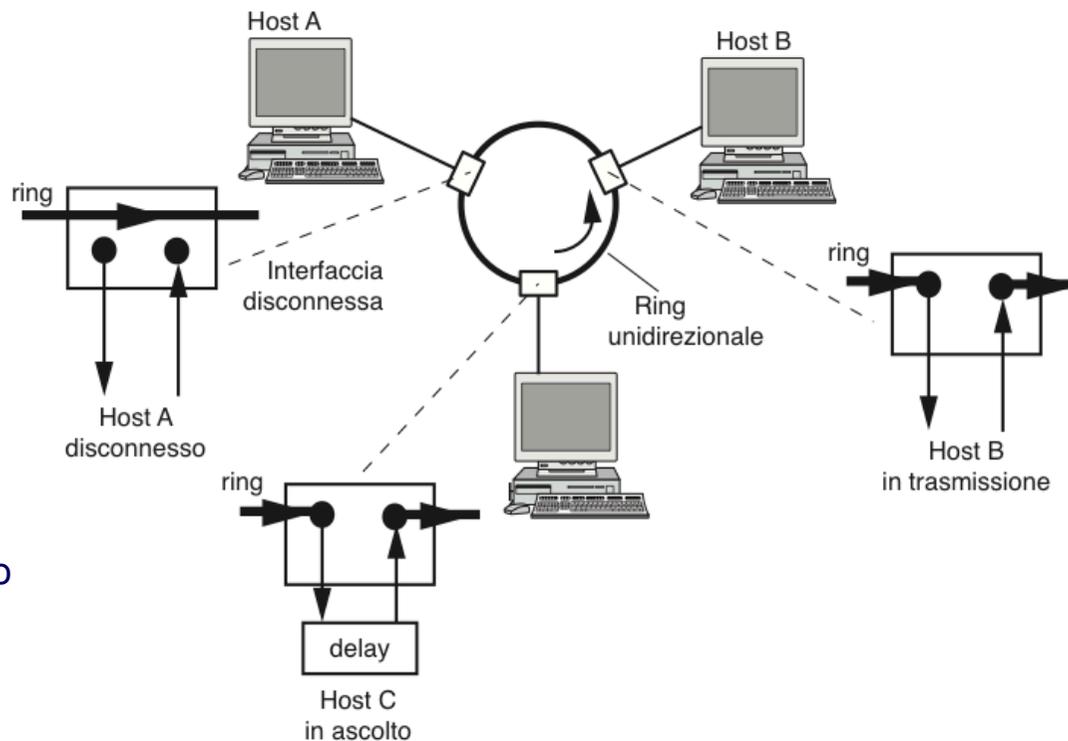
- come sopra
- ... ma esiste uno stato fisico dominante del canale
- l'host (nodo) che ha trasmesso l'informazione corrispondente allo stato dominante vince la collisione e continua a trasmettere (ad es.: stato zero in un AND)
- occorre garantire che un solo host sopravviva...



Gestione dinamica accessi (MAC)

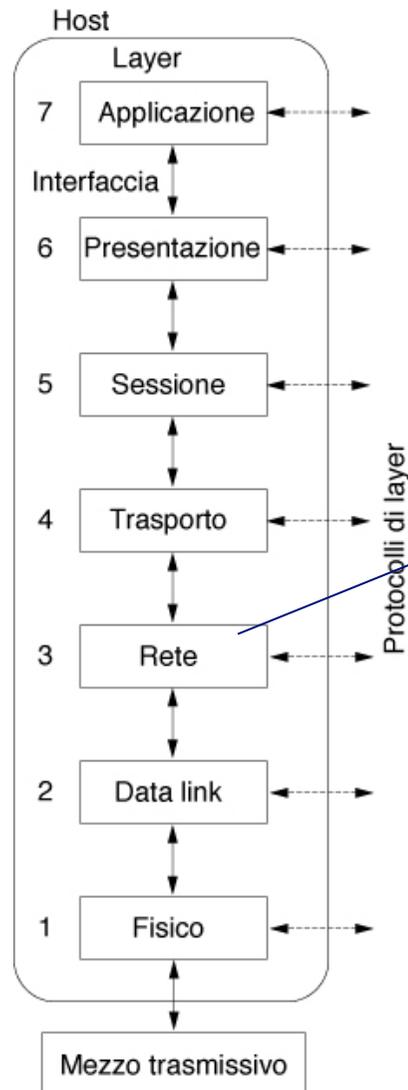
Sistema ad assenza di collisioni: **Token Bus/Ring** (IEEE 802.4/5)

- il token circola continuamente (\Rightarrow stesso tempo deterministico tra due successive interrogazioni del canale da parte di ogni host)
- un nodo trasmette quando è in possesso dell'abilitazione data dal token "originale": lo modifica e rispedisce in circolo assieme al frame del dato (e con un host destinatario)
- la presenza del token "modificato" non permette la trasmissione agli altri nodi
- il ritorno del token modificato al nodo trasmettente indica l'avvenuto successo della trasmissione: il token originale viene rimesso in circolo e altri nodi potranno quindi trasmettere



IBM Token ring ha avuto un grosso successo commerciale

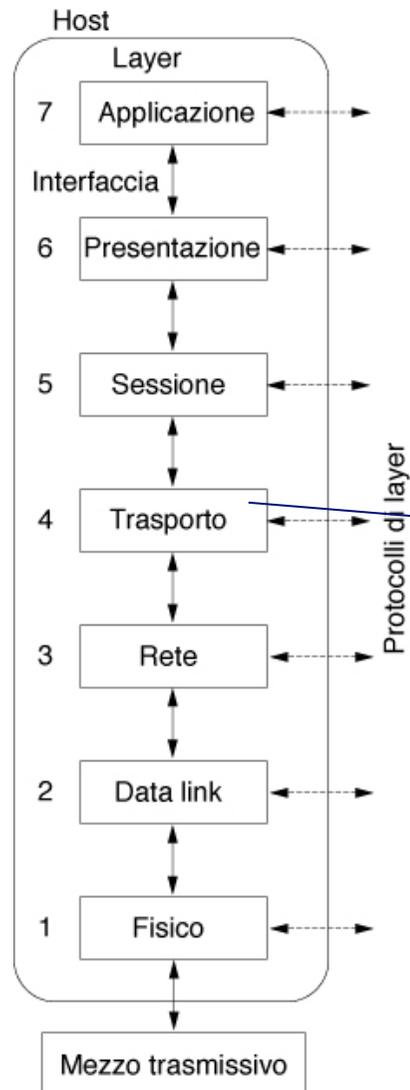
Architettura ISO-OSI



- stabilisce funzioni e procedure per trasferire sequenze di dati di *lunghezza variabile* (pacchetti) tra nodi della *stessa rete*
 - ogni nodo della rete ha un indirizzo unico
- include algoritmi e tabelle di routing, di gestione di gruppi multicast, di assegnazione di indirizzi ai nodi della rete, ..

network layer: indirizzamento nelle subnet; decisione del percorso (**routing**) da host a host

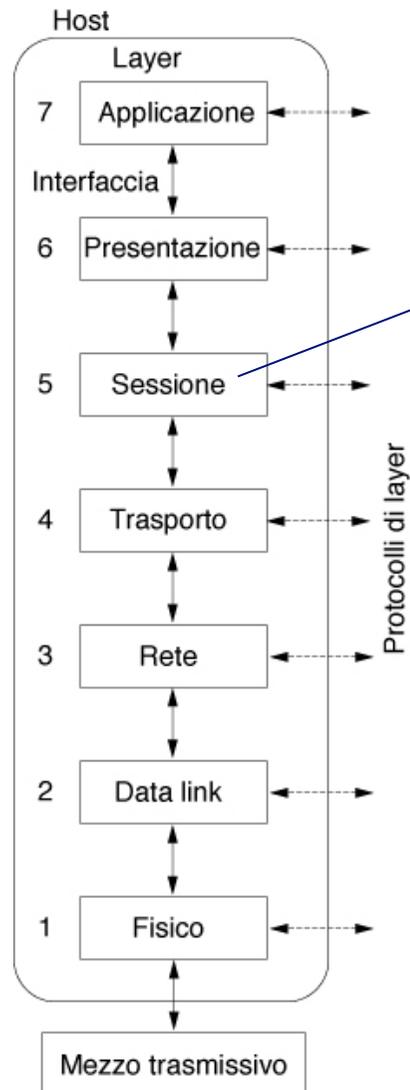
Architettura ISO-OSI



- invio “affidabile” di segmenti/pacchetti (messaggi) di dati tra nodi (iniziale e finale/i, con indirizzi) della rete
- il controllo di consistenza può essere realizzato con diversi livelli di completezza
 - fino al livello error-free (reinvio dopo timeout)
- esempio: TCP nel protocollo Internet standard

transport layer: divisione/ricostruzione di segmenti di dati in/da pacchetti; controllo di consistenza (vs. errori)

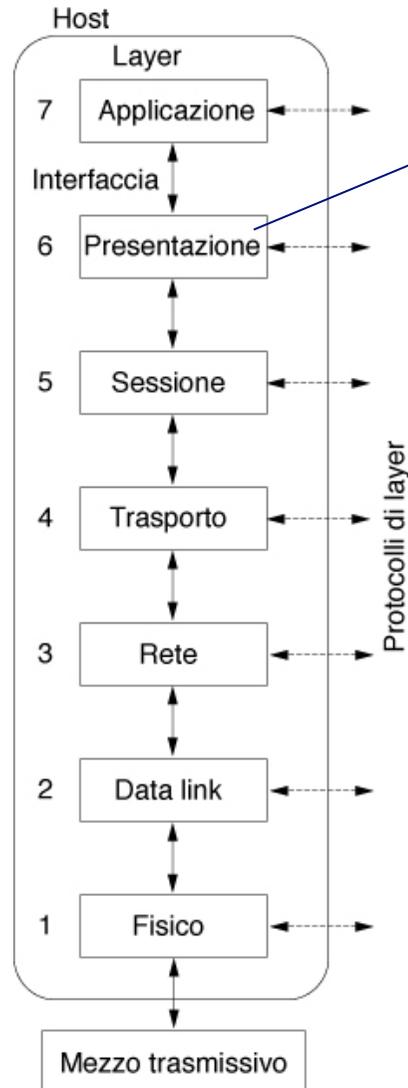
Architettura ISO-OSI



session layer: gestione delle connessioni tra host;
controllo dei conflitti

- regola i dialoghi tra i dispositivi e/o computer
- inizia, gestisce e termina le connessioni (sessioni) tra applicazioni locali e remote
 - opera in modo full-duplex, half-duplex, o simplex
 - inserisce checkpoint (riavvio dopo malfunzionamenti), gestisce token, ...

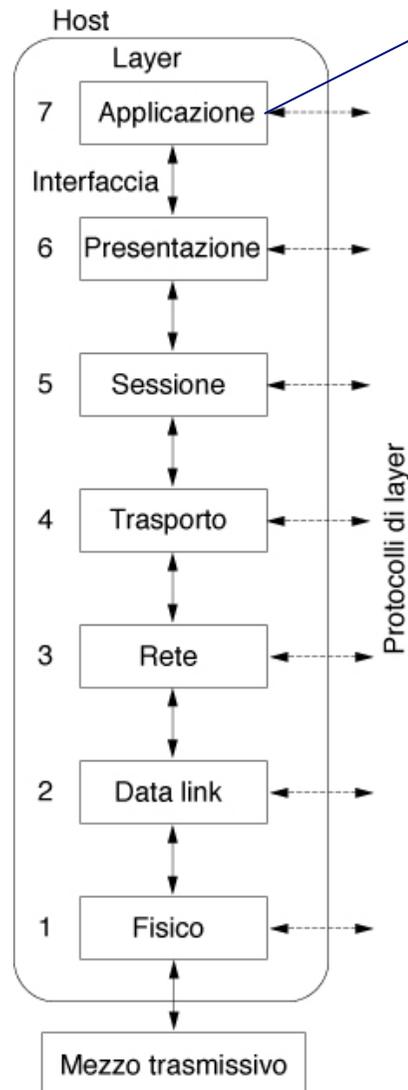
Architettura ISO-OSI



presentation layer: codifica e conversione dei dati, inserimento dei bit di controllo, verifica della correttezza

- fornisce il “contesto” tra entità dell’application layer
 - mappatura tra sintassi e semantiche differenti usate dallo strato superiore
 - a volte chiamato anche “syntax layer”
- permette l’indipendenza dalla rappresentazione dei dati, traducendo tra diversi formati applicativi e di rete
 - in/da codice ASCII, in/da XML, ...
 - crittografia, compressione, ...

Architettura ISO-OSI



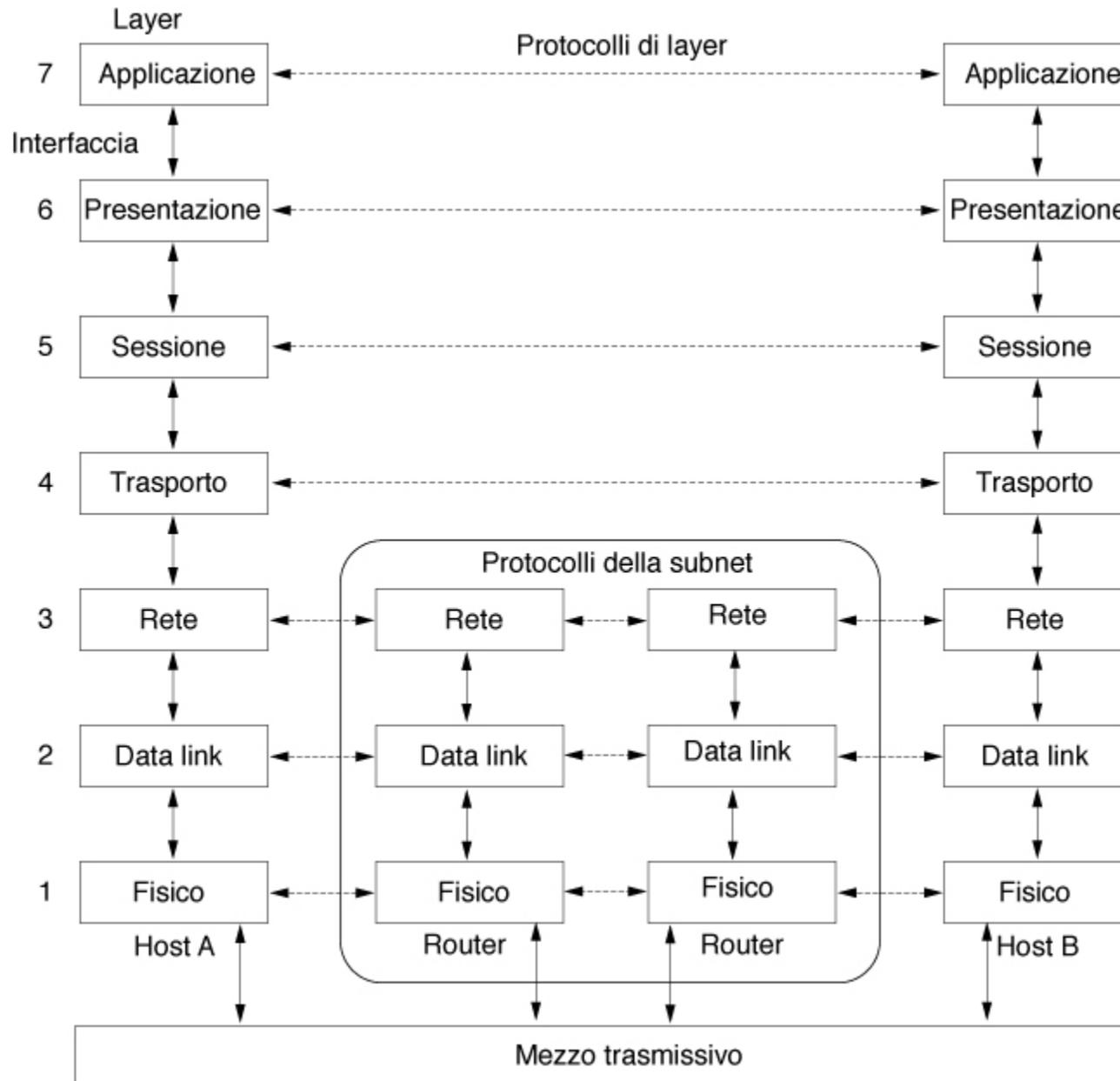
application layer: protocolli necessari all'utilizzatore finale (HTTP, POP, FTP, SMTP ...)

- verifica l'identità tra gli host che comunicano, determina la disponibilità delle risorse necessarie e sincronizza la comunicazione

N.B: protocolli e layer del modello TCP/IP di Internet sono deliberatamente meno rigidi del modello OSI

- application layer (resto del 5, 6-7)
- transport layer (4, parte del 5)
- internet layer (resto del 3)
- link layer (1-2, parte 3)

Architettura ISO-OSI



utilizzo finale del dato

codifica e preparazione dato

gestione connessioni

**divisione/ricostruzione
dati complessi**

funzioni di routing

accesso al mezzo

gestione del supporto fisico

**connessione di due host
e due router in rete WAN**

Comunicazione real-time: specifiche

Comunicazione tra task real-time

❑ messaggi periodici

- ➔ generati o utilizzati da task periodici
- ➔ es: letture sensori, comandi di controllo agli attuatori

❑ messaggi aperiodici

- ➔ generati o utilizzati da task aperiodici
- ➔ es: comandi operatore

❑ messaggi sporadici

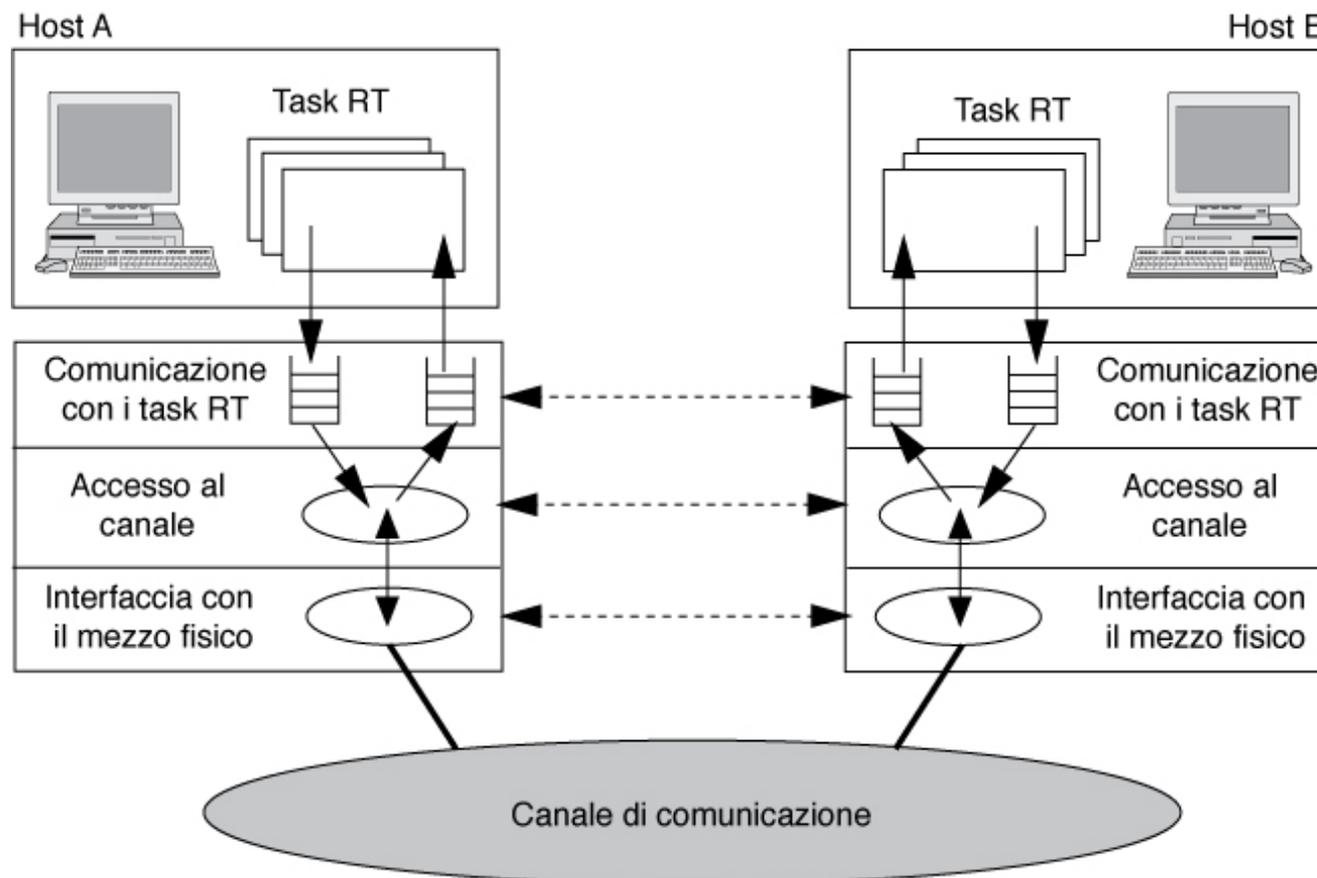
- ➔ generati da task aperiodici con vincoli hard real-time
- ➔ es: allarmi

Comunicazione real-time: specifiche

Comunicazione tra task real-time

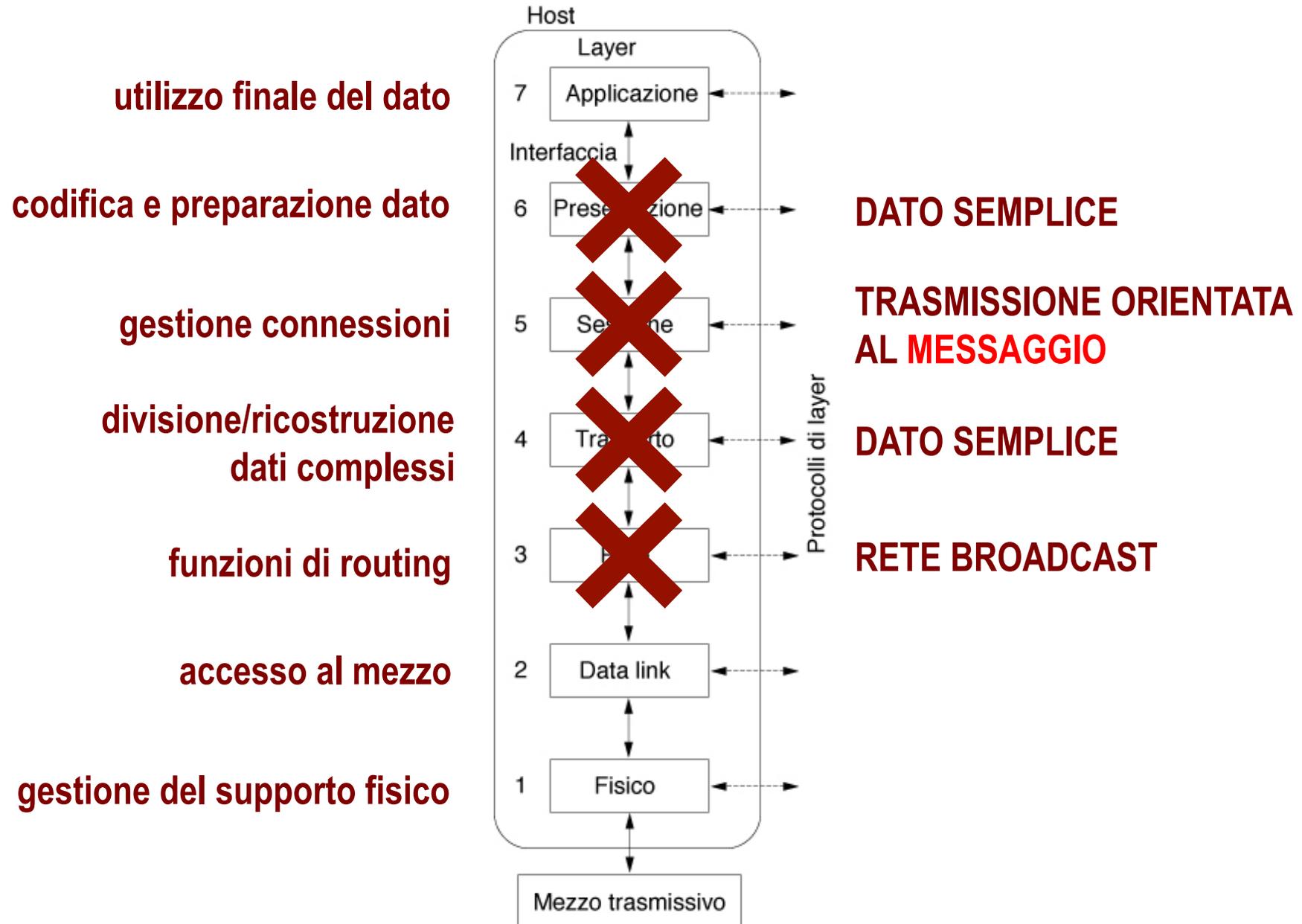
- ❑ missed packet: pacchetti non arrivati in tempo
- ❑ lost packet: pacchetti persi (ad es., per evitare overflow dei buffer si scartano pacchetti verso task non ready)
- ❑ delay: ritardo di comunicazione, tipicamente aleatorio \Rightarrow jitter

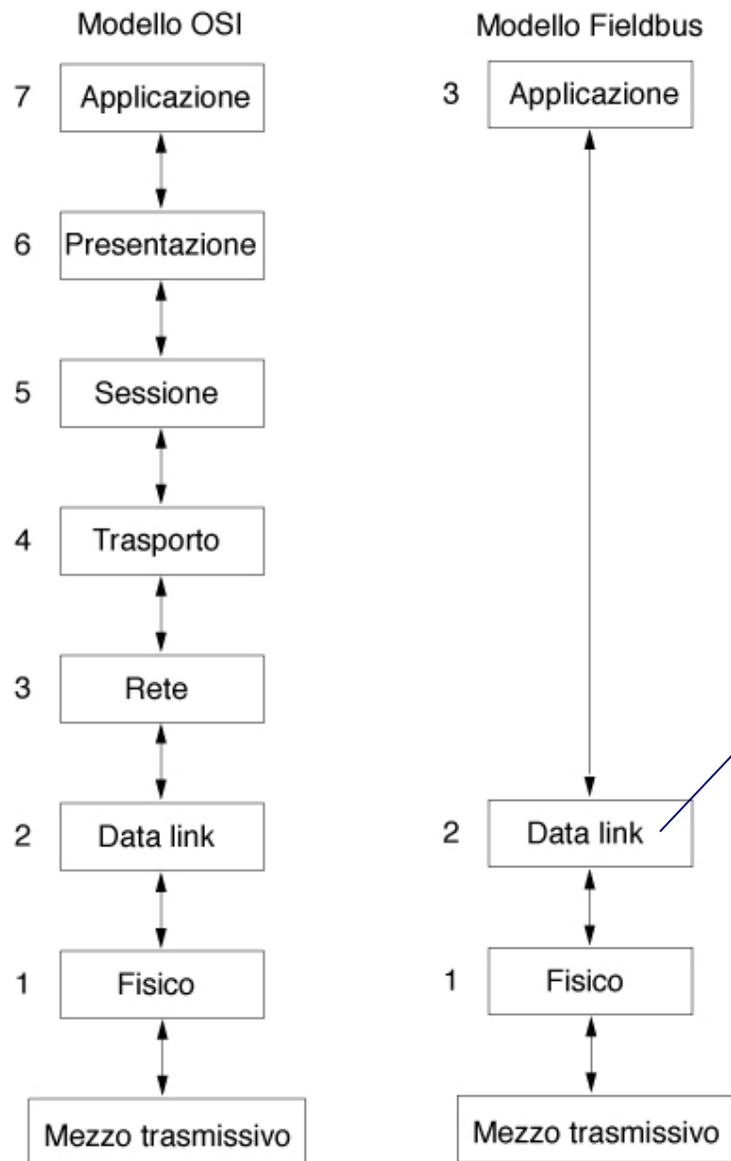
qui: uso di
**algoritmi di
scheduling
in real time**



- ❑ la struttura con 7 livelli del modello OSI è tipicamente troppo onerosa per applicazioni con bus di campo
 - ➔ overhead eccessivo, anche considerando che le dimensioni dei singoli messaggi è tipicamente piccola
 - ➔ molti servizi dei livelli intermedi non sono necessari
 - ➔ grande attenzione ai metodi di accesso al mezzo trasmissivo (MAC) che impattano sulle caratteristiche temporali dei messaggi scambiati

Riduzione dell'architettura ISO-OSI

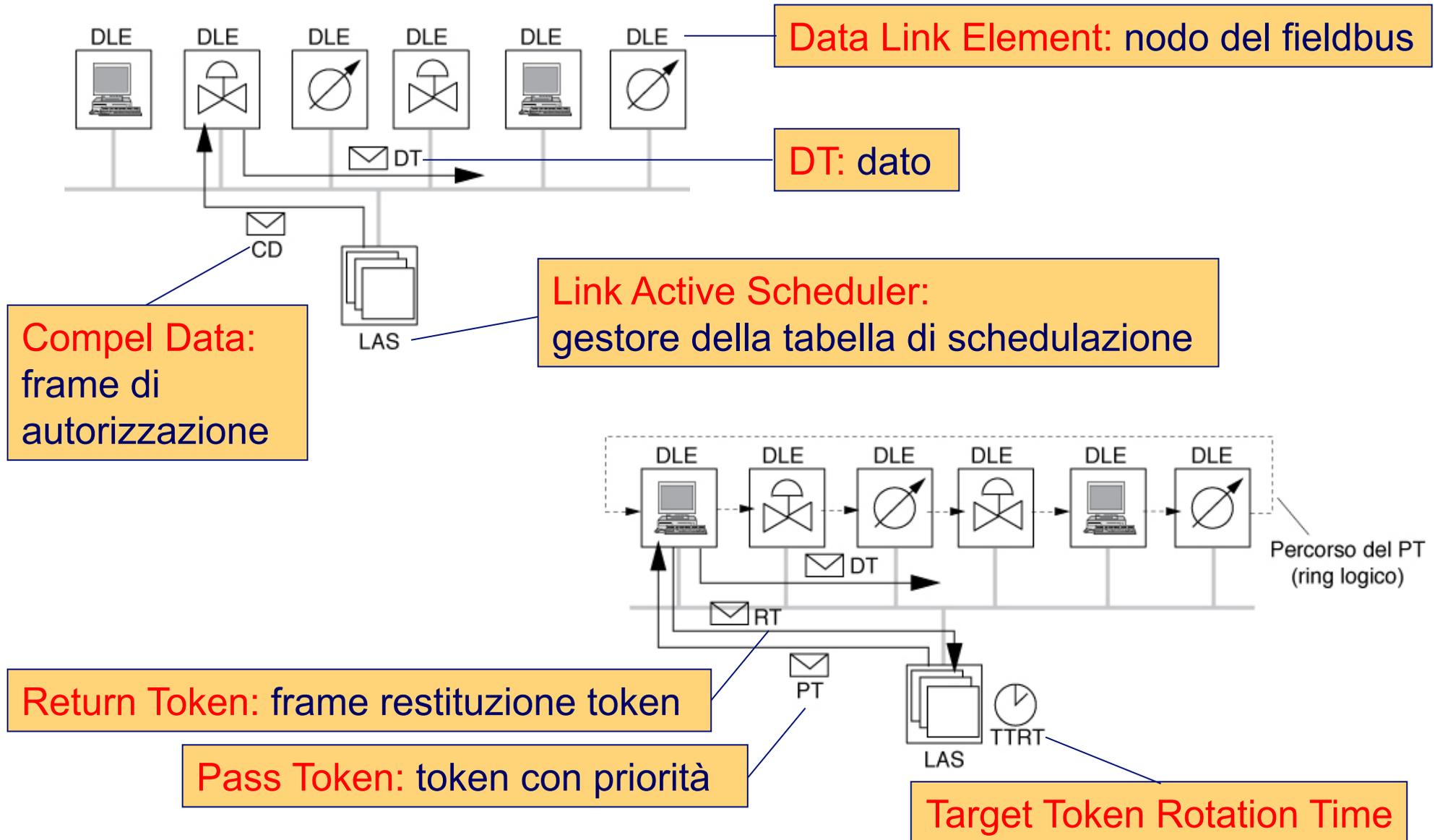




data link layer:

- il punto critico è la gestione dell'accesso al mezzo (MAC) con vincoli real-time
- tipicamente si usa un protocollo
 - a pre-schedulazione per i task periodici
 - a token per i task aperiodici
- gestione effettuata dal Link Active Scheduler

Fieldbus



Bus di Campo: norme IEC

- ❑ IEC 62026 (07/2000): controller/device interface
 - ➔ Smart distributed systems, AS-I, DeviceNet
- ❑ IEC 61158 (04/2003): fieldbus standard for use in industrial control systems
 - ➔ regolamento del livello fisico
 - ➔ regolamento del livello dati
 - ➔ regolamento del livello applicazione
- ❑ IEC 61784 (05/2003): definizione delle communication profile family
 - ➔ Foundation fieldbus (1994)
 - ➔ Controlnet (1997)
 - ➔ Profibus (1996)
 - ➔ P-net (1990)
 - ➔ WorldFIP (1993)
 - ➔ Interbus (1998)
 - ➔ Swiftnet (2000)
- ❑ CanOpen, ModBus ecc: bus di campo diffusi ma non ancora normati

