



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



Reti per l'automazione

Automazione

Alessandro De Luca

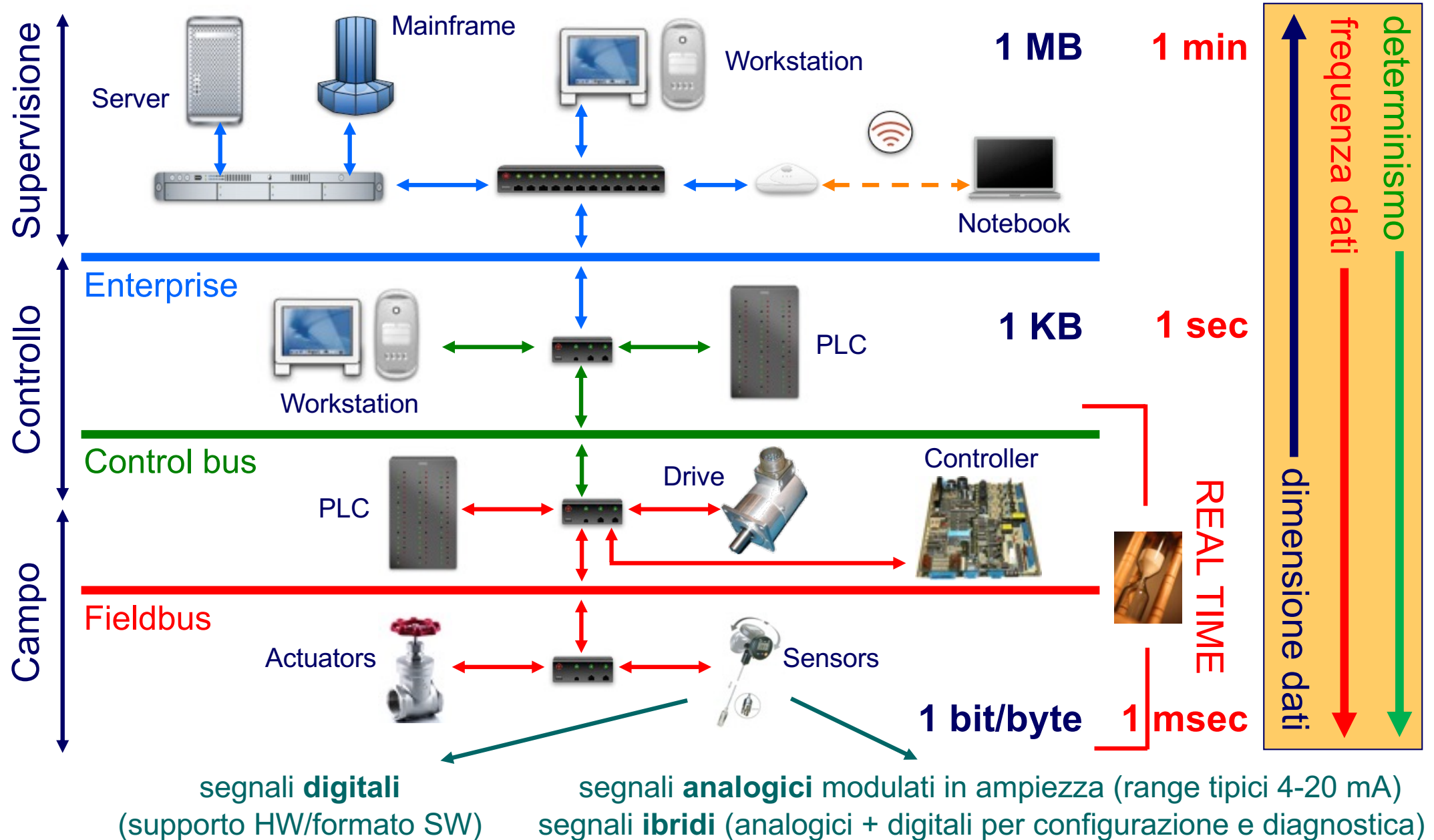
Ad ogni livello della piramide CIM dell'automazione

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

Importanza fondamentale del sistema di comunicazione

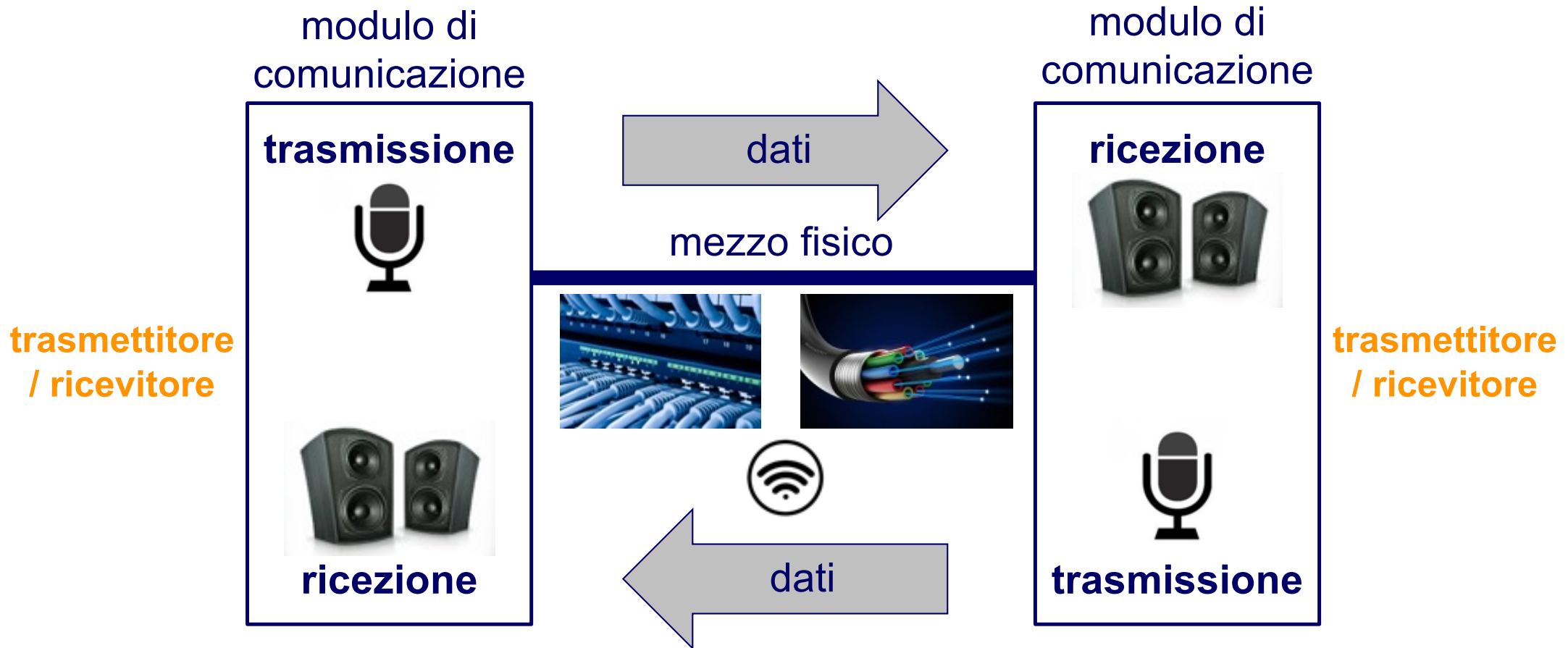
- ❑ l'intero sistema deve essere interconnesso per garantire il flusso di informazioni
 - ➔ comunicazione orizzontale
 - ➔ comunicazione verticale: gerarchia di RETI
 - ➔ caratteristiche diverse ai vari livelli
 - tipologia dei dati
 - vincoli di comunicazione
 - standardizzazione: esistono ad es. almeno 8 tipi diversi di protocolli per la comunicazione digitale **a livello di campo** (secondo lo standard IEC 61158)

Reti di comunicazione



Reti industriali di comunicazione

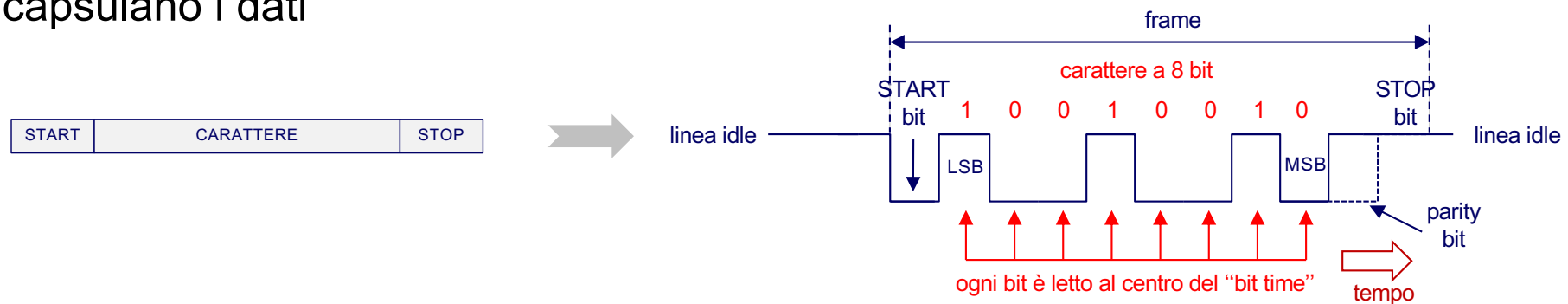
Elementi base



- i dati includono informazioni fisiche (tensioni elettriche, luce, suono, immagini, ...) in formato **analogico** o **digitale**, definiti secondo **protocolli** e con **direzione/destinazione**
- **interoperabilità** (comunicazione intellegibile) e **interscambiabilità** (cambio di dispositivi)

Tipi di trasmissione

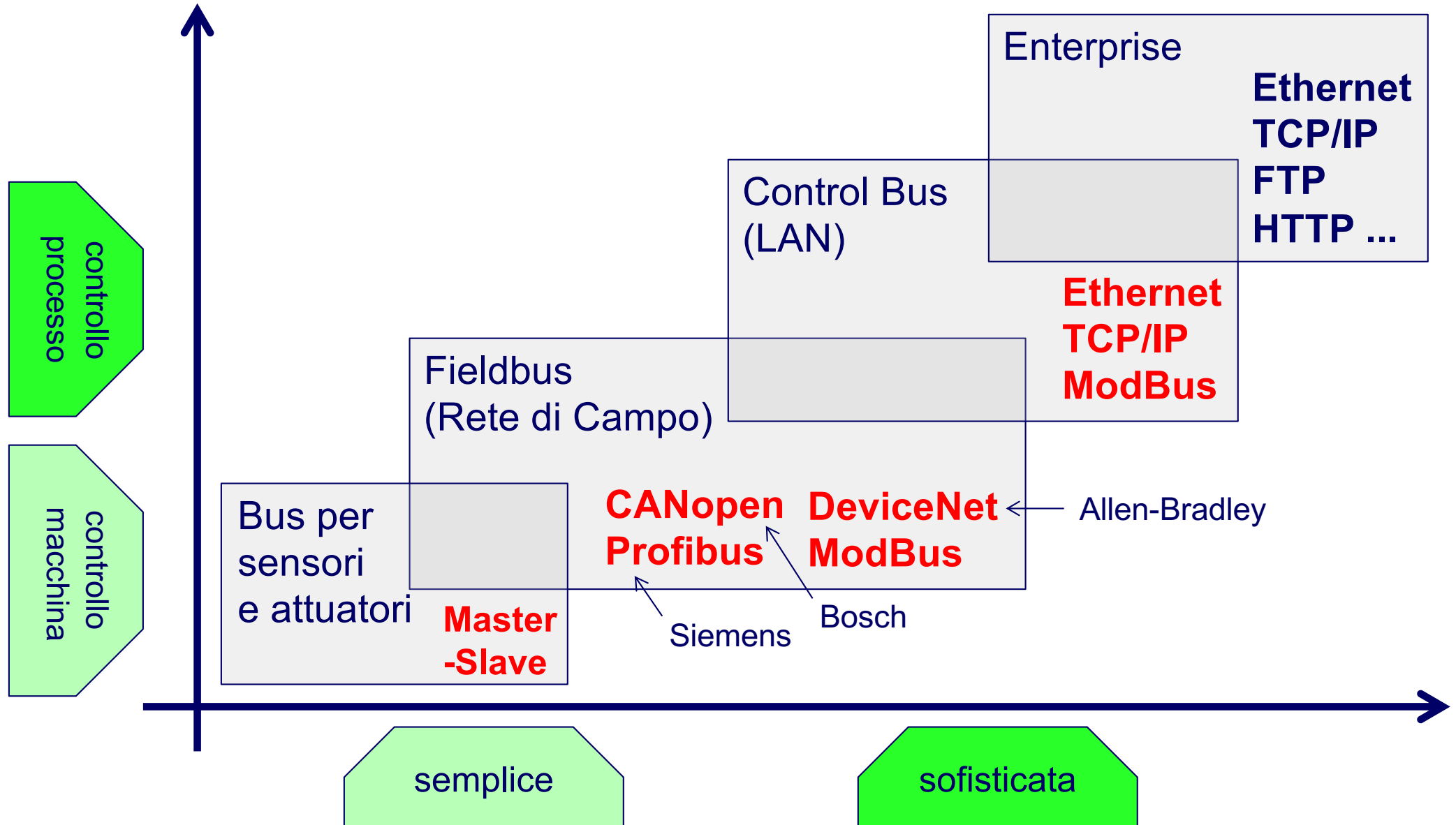
- **simplex**: trasmissione unidirezionale
- **half duplex**: bidirezionale alternata (con semaforo)
- **full duplex**: bidirezionale simultanea
- **seriale**: il mezzo fisico ha tipicamente tre gruppi di cavi (invio, ricezione, massa); i bits di un byte (carattere = 7 o 8 bit in codice ASCII) sono trasmessi uno dopo l'altro
- **parallela**: i bit di un byte sono trasmessi in parallelo su più canali, usata su distanze ridotte (interferenze tra canali vicini riducono rapidamente la qualità)
- **seriale sincrona**: i dati sono trasmessi continuamente, con un segnale di sincronizzazione trasmesso con i dati
- **seriale asincrona**: i dati possono essere trasmessi in modo irregolare, sebbene sempre a frequenza costante (tra bit), con bit di sincronizzazione (START, STOP) che incapsulano i dati



per motivi di costo e affidabilità, le reti industriali di comunicazione usano di solito una trasmissione digitale, half duplex, seriale asincrona

Reti industriali di comunicazione

Tipi di reti e protocolli/bus industriali



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 “connectionless”: non è garantita ricezione dei dati
 - ➔ è il protocollo TCP/IP che garantisce la ritrasmissione dei dati nel caso di mancanza del segnale di acknowledgement relativo al singolo pacchetto

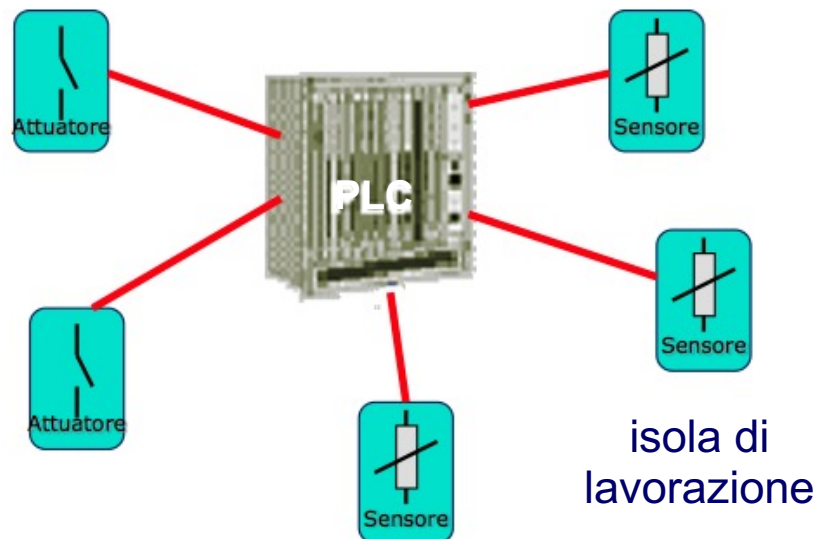
Rete di Controllo e Rete di Campo

- ❑ reti di trasporto/gestione di 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 standard non è appropriato
 - ➔ necessità di soluzioni ad hoc
- ❑ necessità di determinismo
 - ➔ **ritardo di trasmissione**: introduce un ritardo negli anelli di controllo che porta a un degrado delle prestazioni
- ❑ l'ambiente industriale "ostile" richiede robustezza
- ❑ impatto sia sulle caratteristiche HW (topologia, supporto fisico) che su quelle SW (protocolli e servizi) delle reti

Confronto tra soluzioni a livello di campo

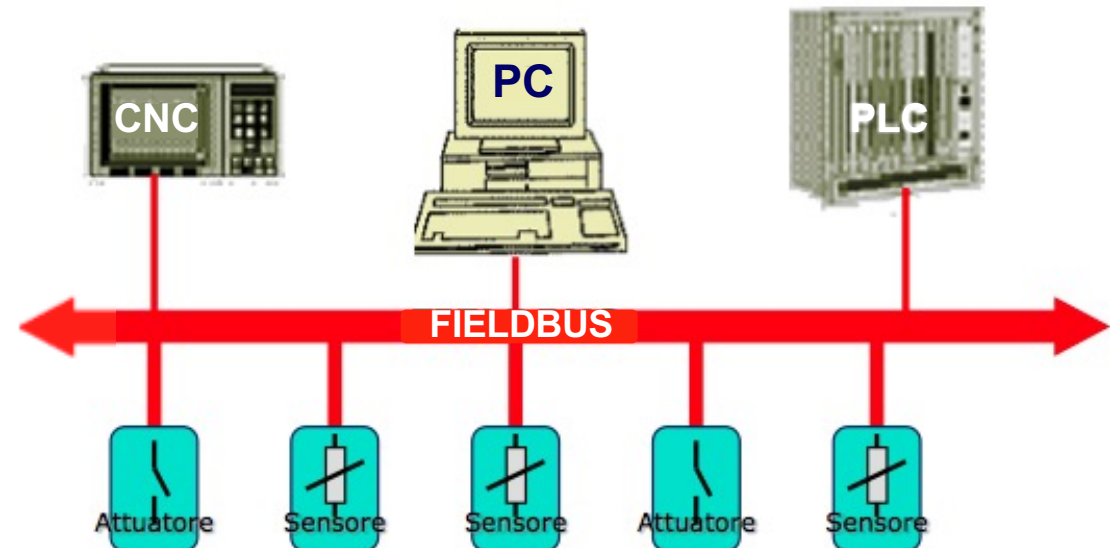
architettura **tradizionale**

- ❑ centralizzata, collegamenti punto-punto
- ❑ vantaggi
 - ➔ sistema affidabile e collaudato
 - ➔ disponibilità di tutte le tipologie di strumentazione sul mercato
- ❑ svantaggi
 - ➔ elevato numero di collegamenti
 - ➔ cablaggio costoso
 - ➔ lavoro di stesura e protezione dei fili critico



architettura a bus di campo (**fieldbus**)

- ❑ trasmissione digitale su bus
- ❑ vantaggi
 - ➔ risparmio in installazione (e riduzione errori)
 - ➔ facilità di aggiunta o rimozione dispositivi
 - ➔ tolleranza ai guasti
 - ➔ condivisione risorse
- ❑ svantaggi
 - ➔ necessità di protocolli di accesso standard
 - ➔ difficoltà di applicazione in aree pericolose



Tipologia

- ❑ **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)
 - ➔ ogni 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 a tutte le macchine contemporaneamente (broadcasting) o anche 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
 - ➔ oppure, per la semplice connessione tra due soli dispositivi (ad es., attraverso una porta seriale RS232)

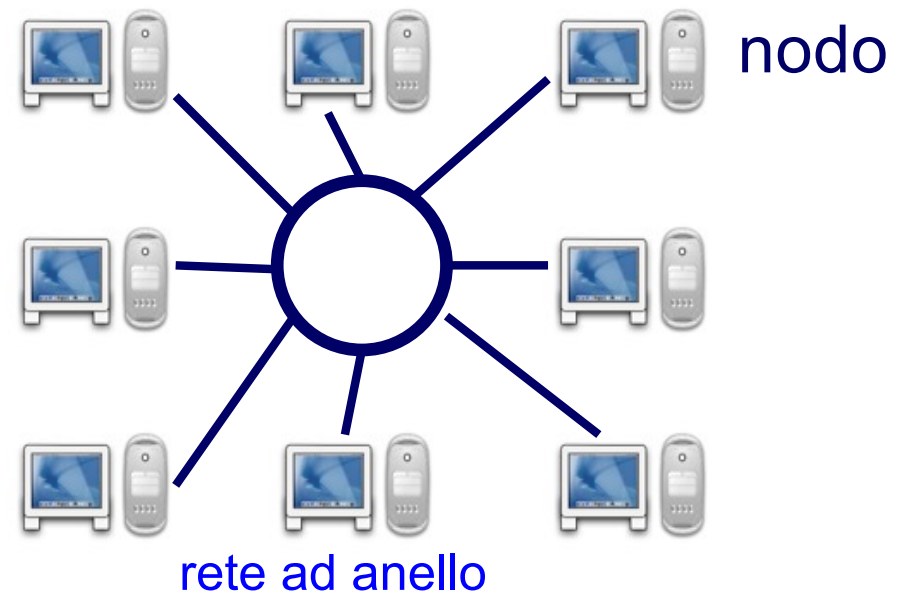
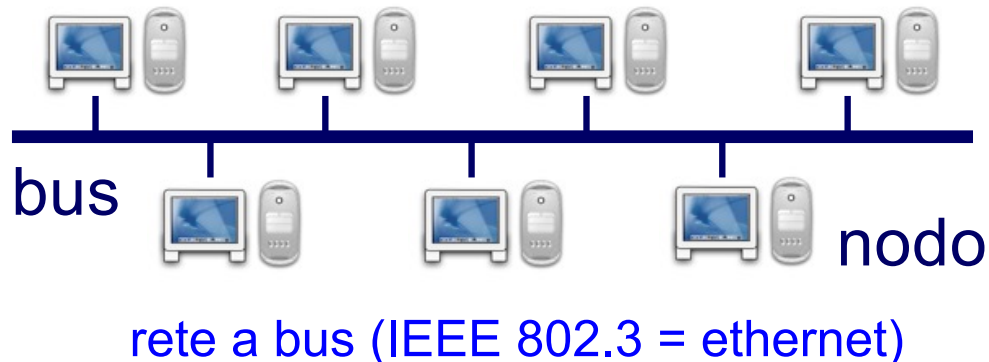
Reti broadcast (tipicamente LAN)

□ reti a bus

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

□ reti ad anello

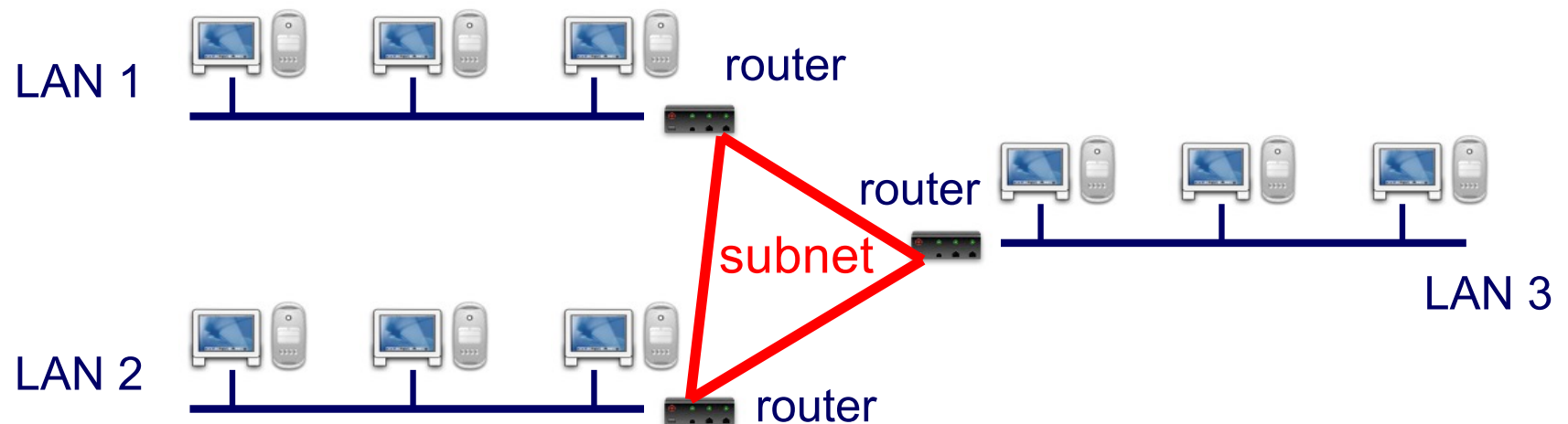
- ➔ i pacchetti circolano in serie sull'anello (ciascun bit in un tempo tipicamente inferiore al tempo di trasmissione dell'intero pacchetto)
- ➔ necessario **arbitraggio** per accessi simultanei all'anello



(nodi con cablaggio locale per potersi disconnettere)

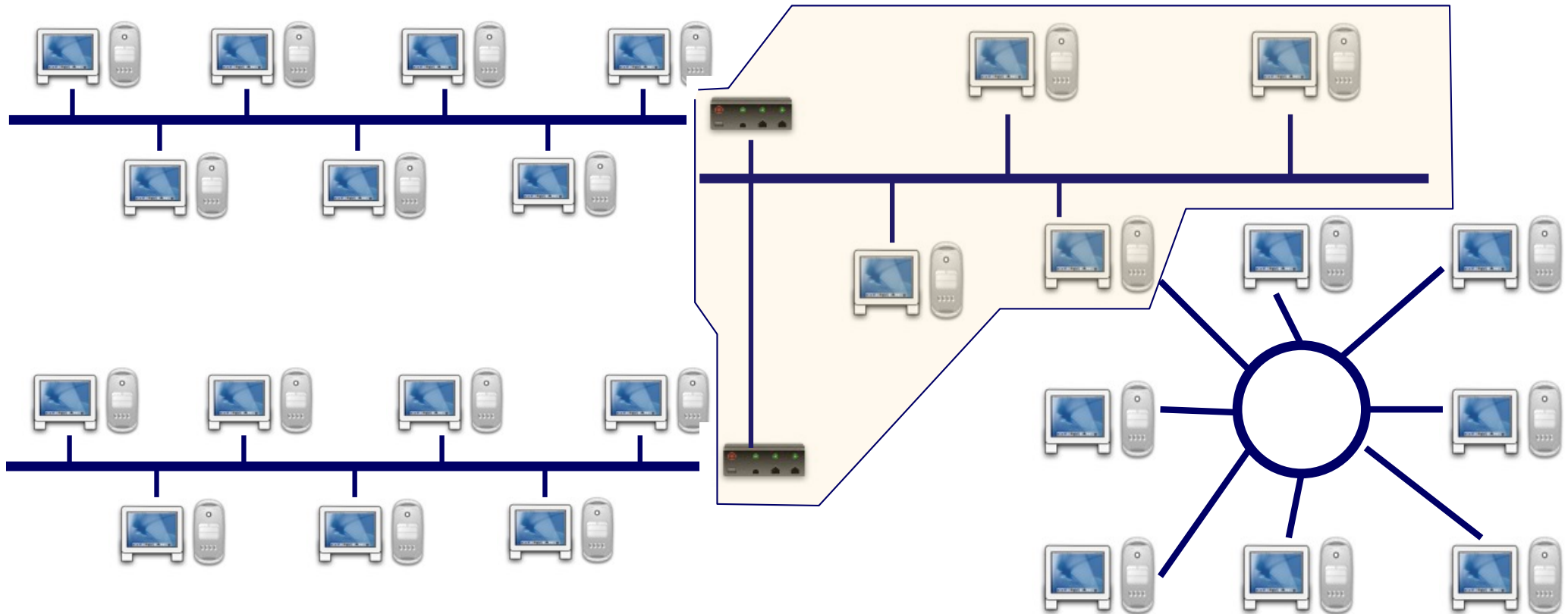
Reti peer-to-peer

- ❑ 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



Reti ibride

- ❑ reti broadcast, anche diverse tra di loro, connesse tramite una rete ancora broadcast (a stella, ad albero, grids...)
 - ➔ è la situazione più frequente in applicazioni di controllo complesse



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 (MAN)

ad es., reti telefoniche o cable-TV

Wide Area Network (WAN)

Internet (WWW)

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 (dimensione mondiale...)

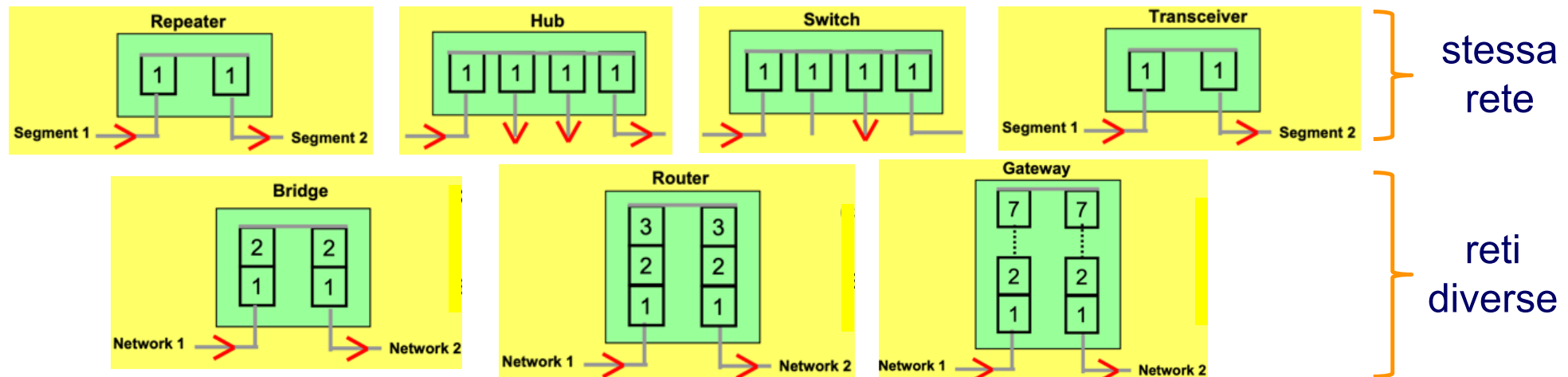
❑ la dimensione di una rete limita le sue caratteristiche realizzative: reti estese **non** possono essere di tipo broadcast

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

Dispositivi di interconnessione

Per il collegamento tra tratti di rete o tra reti

- **repeater (ripetitore)**: amplifica e ricostituisce il segnale originale su segmenti analoghi della stessa rete [repeater RS485]
- **hub (concentratore)**: estende una rete a stella, amplifica e ricostituisce lo stesso segnale su **tutte** le porte, non riduce le collisioni [Ethernet hub]
- **switch (interruttore)**: come un hub, ma su una **singola** porta per volta, può ridurre le collisioni [Ethernet switch]
- **transceiver (ricetrasmittitore)**: connette a una stessa rete segmenti di diversa tipologia [RS232/RS485 transceiver]
- **bridge (ponte)**: connette due reti che usano lo stesso protocollo ma che hanno layer differenti al livello inferiore [Modbus RS485 / Ethernet TCP-IP bridge]
- **router (instradatore)**: connette due reti dello stesso tipo [Ethernet TCP-IP router]
- **gateway (portale)**: connette due reti di tipo diverso [Ethernet / Modbus gateway]



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

❑ **allocazione statica del canale**

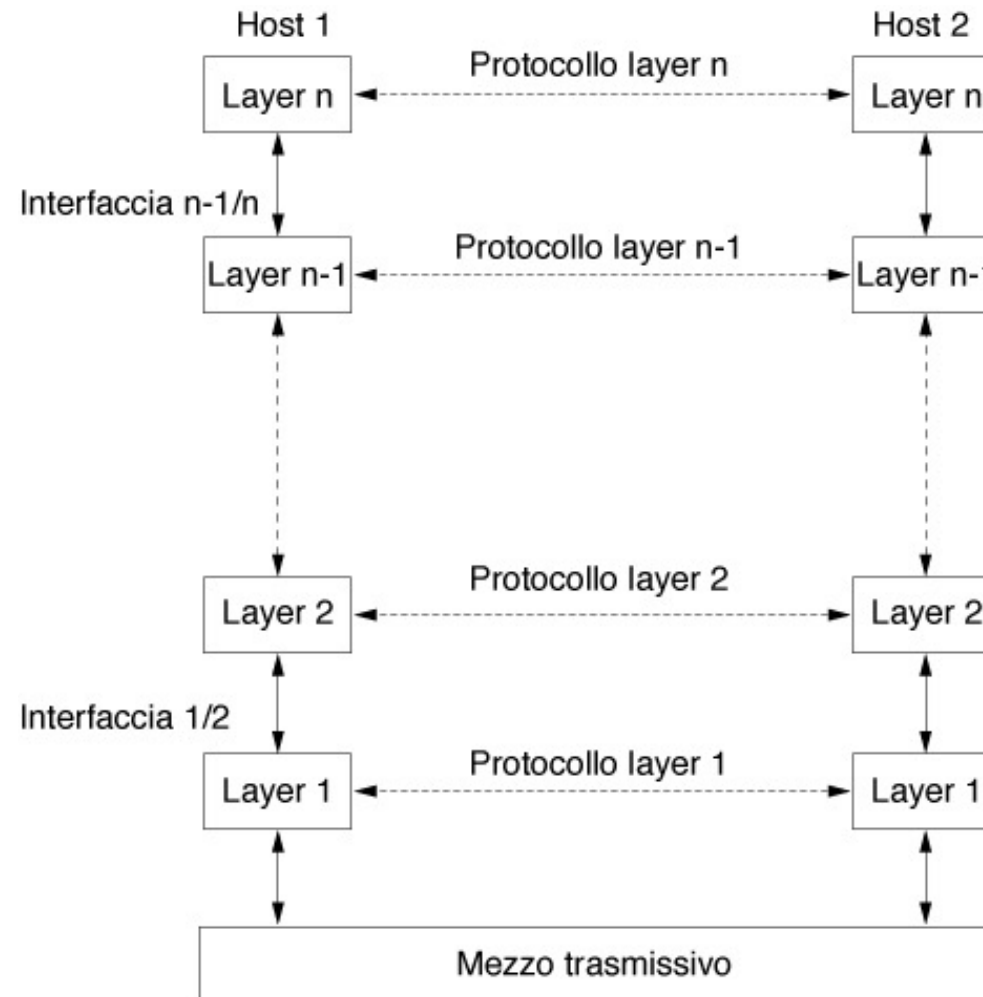
- ➔ il tempo viene suddiviso in “quanti” (time units), ed ogni nodo può eseguire il broadcast solamente in corrispondenza del quanto assegnato al nodo stesso
- ➔ se un nodo non ha nulla da trasmettere il suo quanto rimane inutilizzato: l’allocazione statica in questo caso non utilizza tutta la banda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

❑ **allocazione dinamica del canale**

- ➔ controllo centralizzato: un **master** determina il prossimo dispositivo (**slave**) a cui chiedere se ha da trasmettere (strategie di **polling**) e dà quindi l’accesso
- ➔ controllo decentralizzato: ogni nodo decide autonomamente se iniziare a trasmettere
- ➔ sistemi **a collisione**: è possibile che più nodi trasmettano sul canale in modo contemporaneo; a livello hardware (“carrier sense”), le collisioni possono essere solo rilevate (“detection”) o anche eventualmente risolte (“resolution”)

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 protocolli

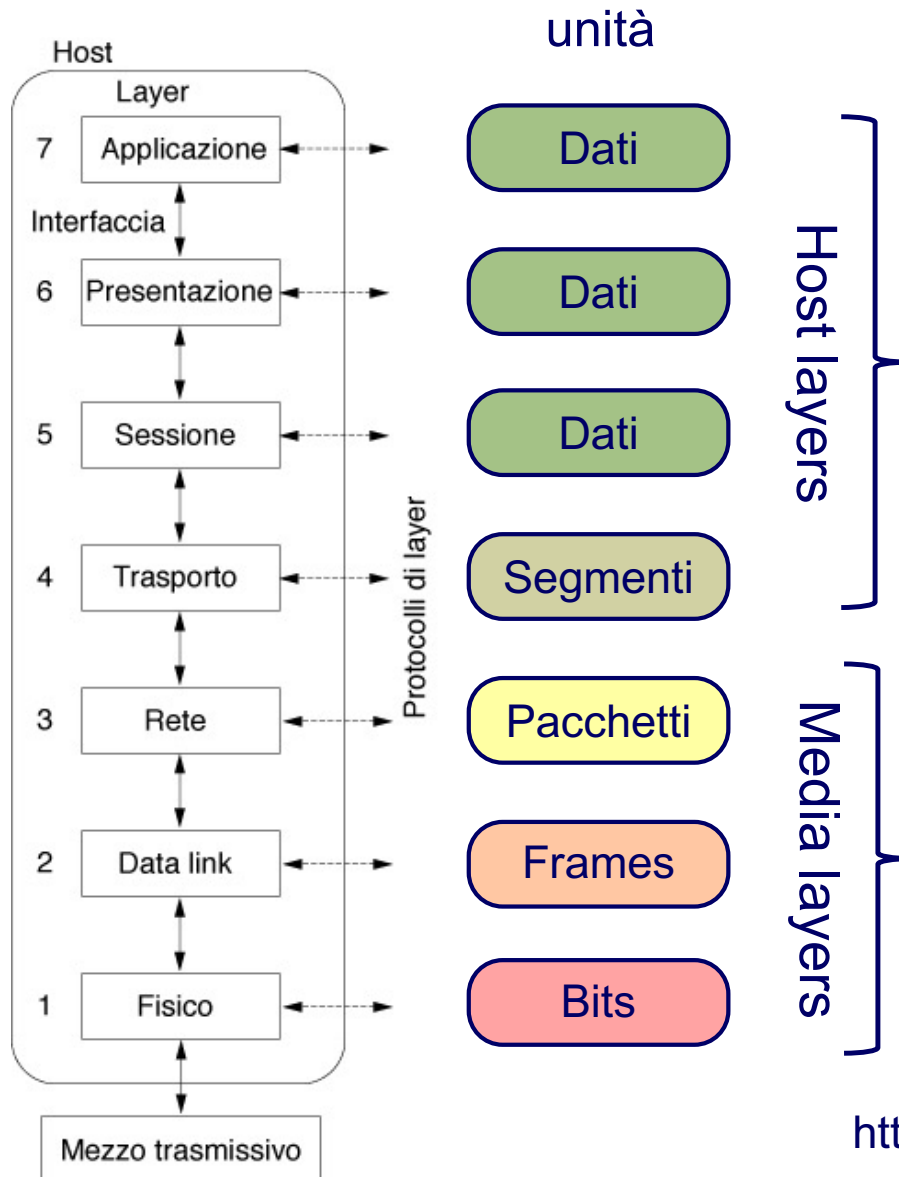


Architettura ISO-OSI

International Organization for Standardization (ISO) - Open Systems Interconnection



- ❑ dal 1983
- ❑ stack con 7 layer

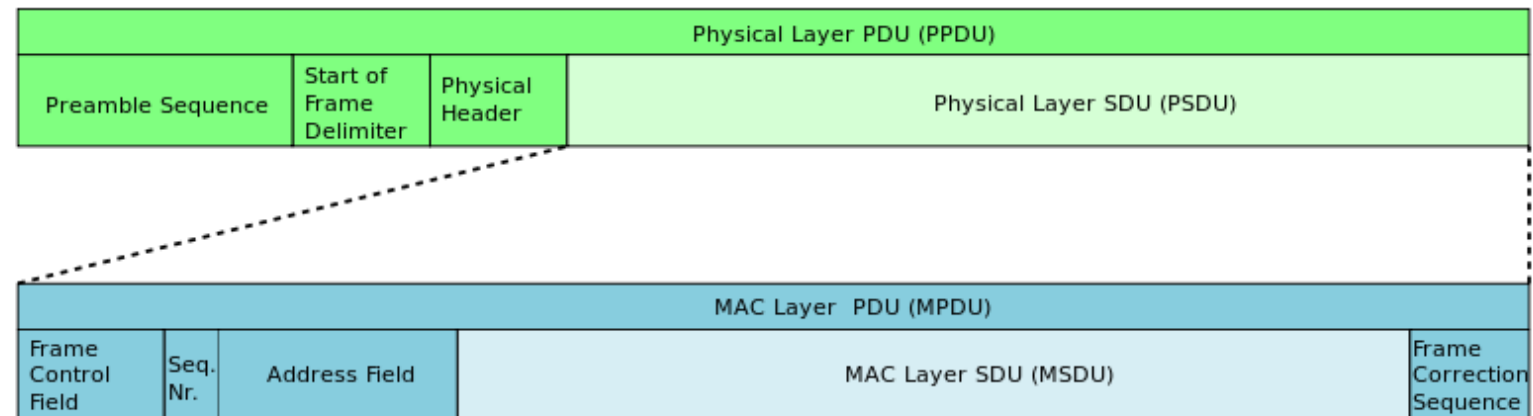
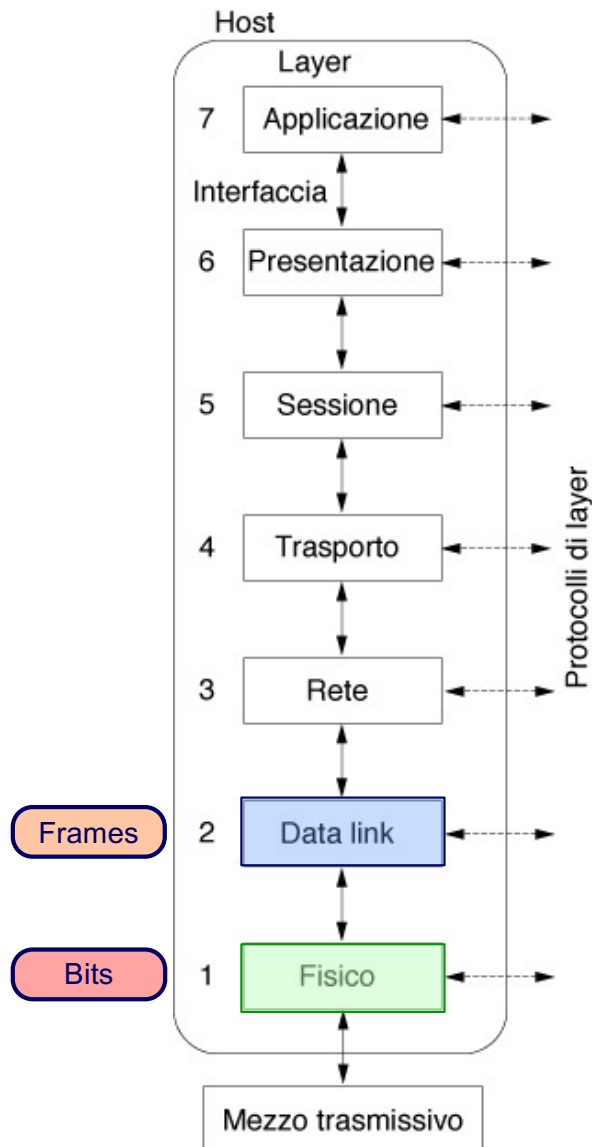


Media Access Control (MAC) al livello Data Link

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

Architettura ISO-OSI

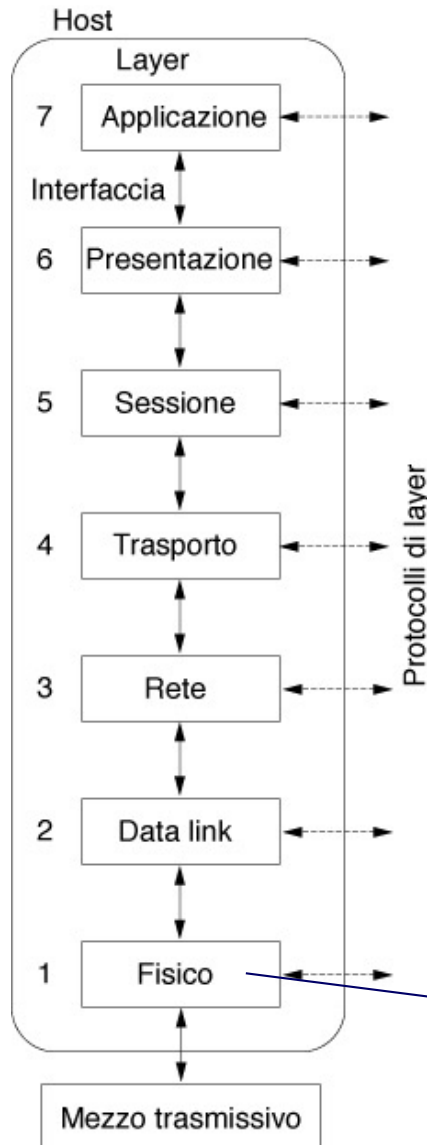
- ogni livello comunica con il livello corrispondente dei nodi di transito o destinatari usando il *Service Access Point* (SAP) del livello sottostante
- messaggi del livello n sono “incapsulati” nei messaggi di livello inferiore $n-1$ (fino a quello fisico)
- *Service Data Units* (SDU) (contenuto del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



header

tail

usati anche nella trasmissione asincrona



- 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)
- protocolli usati 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

Mezzi fisici per la trasmissione dei segnali

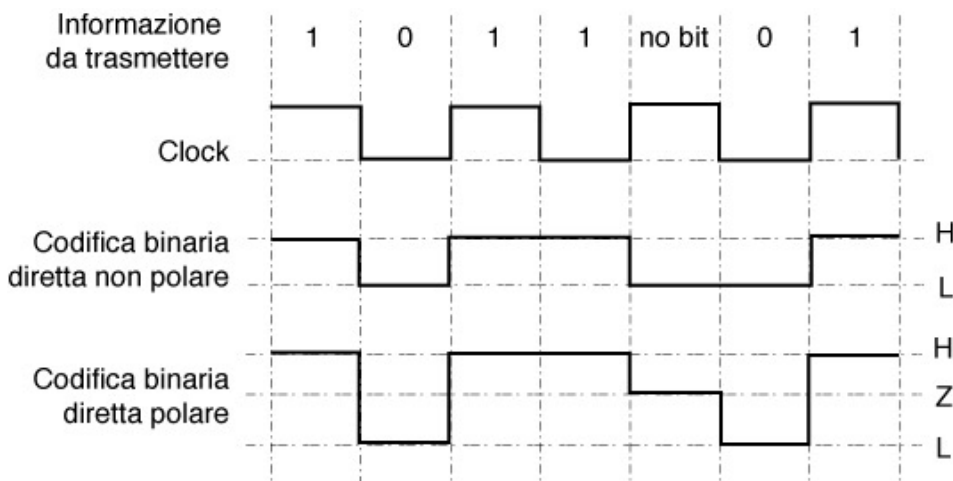
- ❑ **doppino telefonico: coppia di cavi di rame 'twisted'**
 - ➔ cavo 10 Base-T, 100 Base-T, ...
 - ➔ throughput (quantità di dati trasmessi in un lasso di tempo): Kbps
- ❑ **cavo coassiale: conduttore in rame circondato da materiale isolante**
 - ➔ buona banda e reiezione ai disturbi
 - ➔ throughput: Mbps
- ❑ **fibra ottica: l'informazione è tradotta in impulsi luminosi**
 - ➔ larghezza di banda decisamente superiore; estensione: segmenti di 2 Km
 - ➔ throughput: Tbps
- ❑ **wireless**



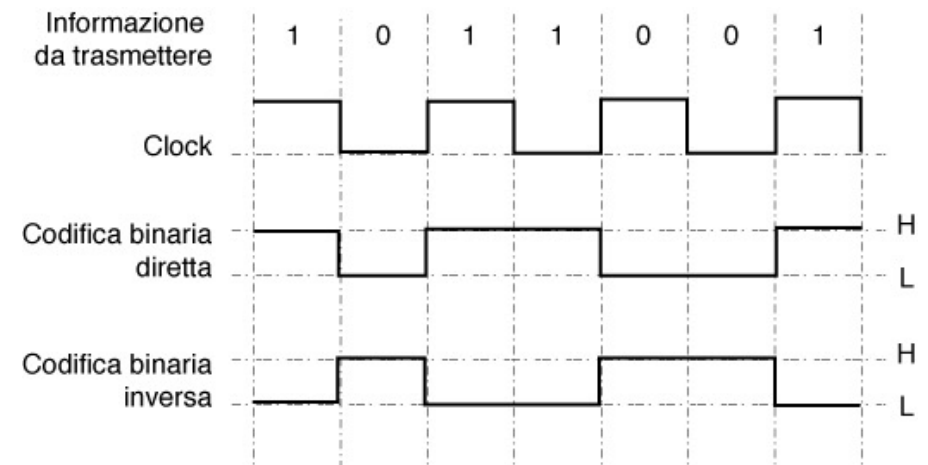
codifica dell'informazione logica dei bit (diversi spettri di frequenza, a media nulla o meno)

caratteristiche ideali di una codifica

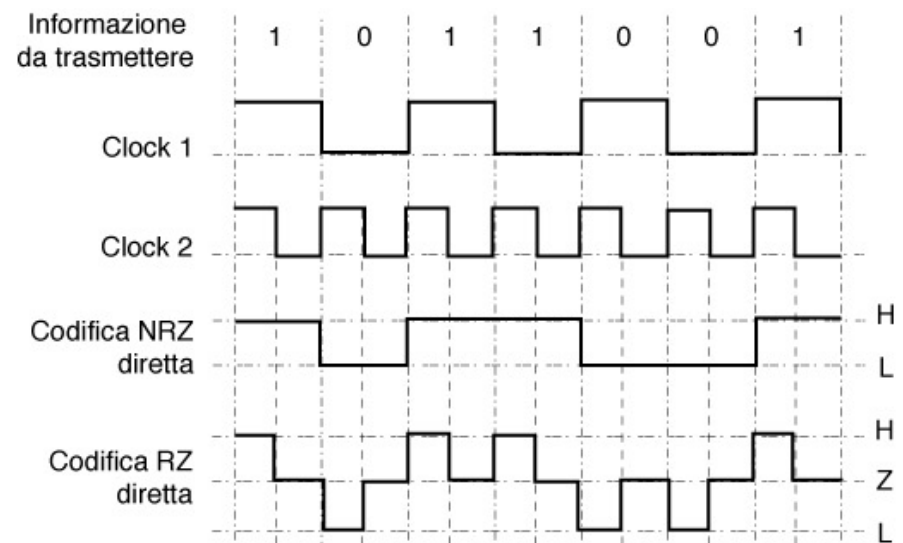
- assenza di accoppiamento in continua
- mantenimento sincronizzazione sorgente/destinazione
- bassa probabilità di errore (a causa di rumore/interferenze)
- minima banda utilizzata, a parità di informazione trasmessa
- capacità di rilevazione di errori



“**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

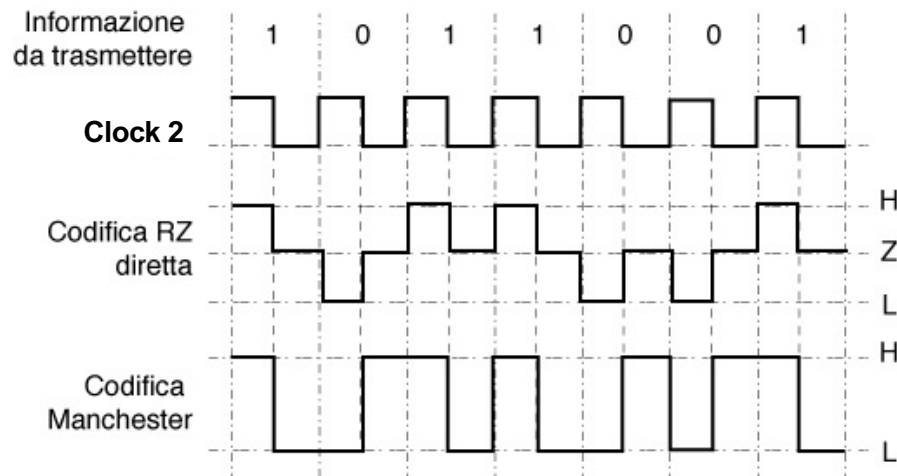


sono le codifiche più semplici; entrambe “**non polari**”: l'assenza di trasmissione è assegnata a uno dei due livelli

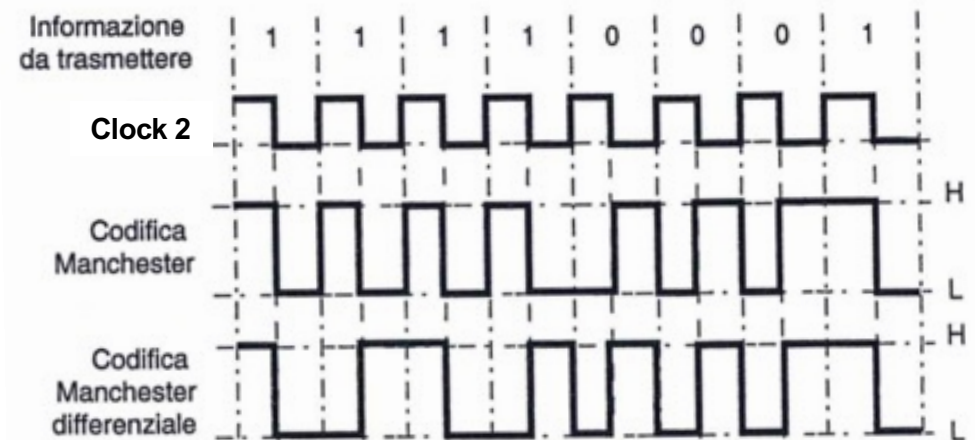


codifica **RZ**: seconda metà del bit (Clock 2) sempre al livello Z; ri-sincronizzazione facilitata, ma si usa banda doppia in frequenza

codifica dell'informazione logica dei bit (continua)



codifica **Manchester** (2 livelli): prima metà contiene l'informazione, seconda metà indica transizione verso il livello Z (RTZ);
bit **1** = successione HL; bit **0** = successione LH
(per lunghe sequenze di bit identici, problemi di sincronizzazione)



codifica **Manchester differenziale** (2 livelli):
opera un **confronto** con il segnale nel semiperiodo precedente (c'è **sempre** una transizione al centro del "bit time");
codifica bit **1** = **assenza** di una transizione di livello a inizio periodo
codifica bit **0** = **presenza** di una transizione di livello a inizio periodo



l'assenza di transizione al centro del "bit time" indica una violazione della codifica: viene usata per **delimitare un frame** di trasmissione

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

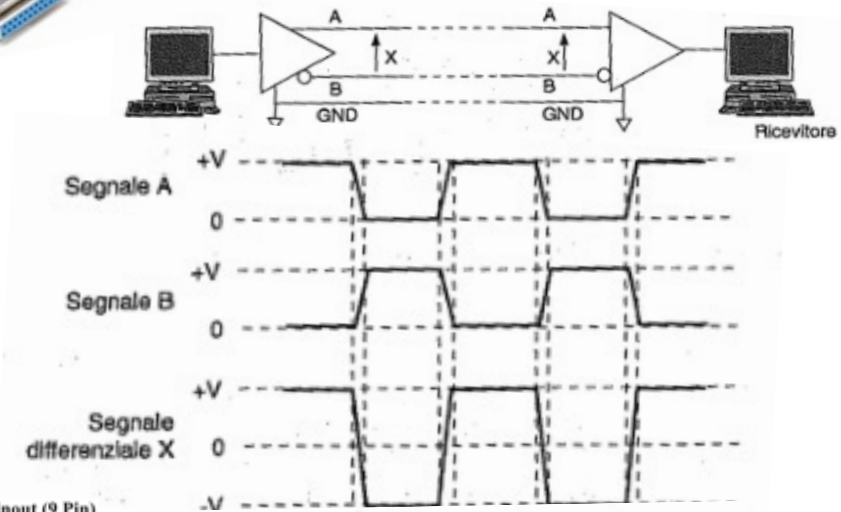
❑ IEEE RS232 (tra i più consolidati, punto-punto)

- ➔ connettore a 25 pin, < 20Kbps, <15 metri di distanza



❑ IEEE RS422

- ➔ ampiamente in uso in ambito industriale (vs. interferenze)
- ➔ 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 (RS422A)
- ➔ **1 solo** trasmettitore e fino a 10 ricevitori
- ➔ oppure, più comune è l'uso punto-punto

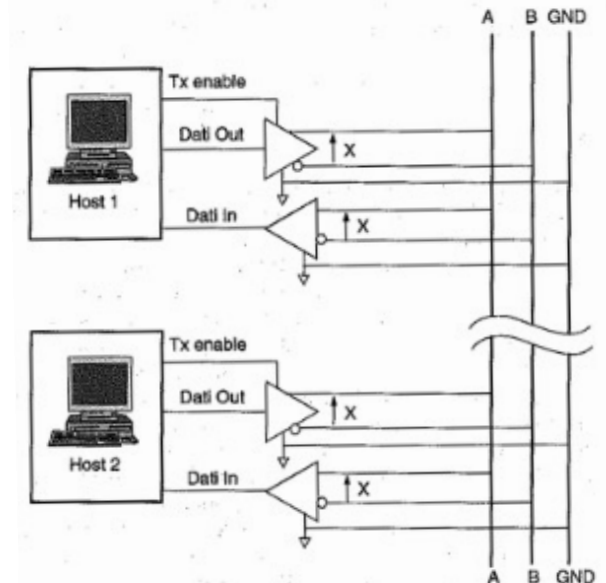


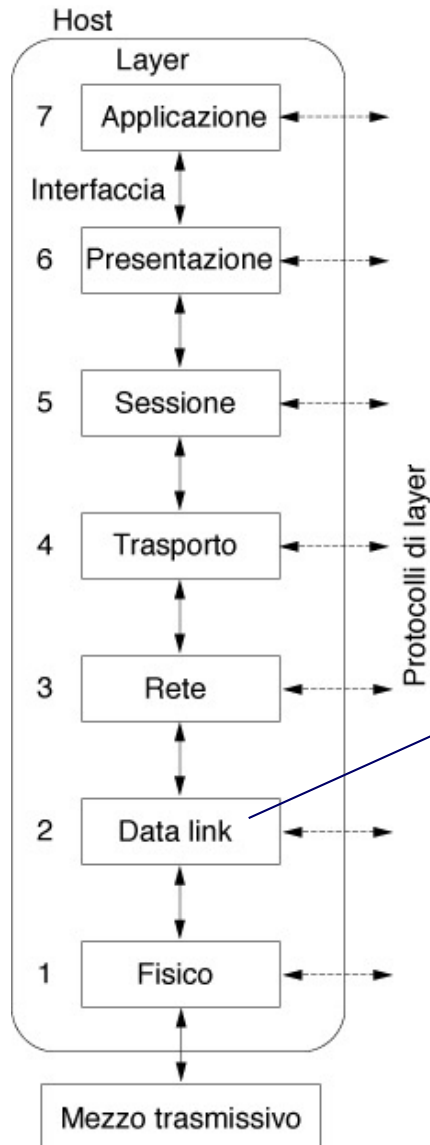
| | |
|-------|------|
| Pin 1 | TXD- |
| Pin 2 | TXD+ |
| Pin 3 | RTS- |
| Pin 4 | RTS+ |
| Pin 5 | GND |
| Pin 6 | RXD- |
| Pin 7 | RXD+ |
| Pin 8 | CTS |
| Pin 9 | CTS+ |

RS422/485 Pinout (9 Pin)

❑ IEEE RS485

- ➔ ampiamente in uso in ambito industriale
- ➔ logica differenziale come RS422, ma half-duplex (2 soli cavi)
- ➔ **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



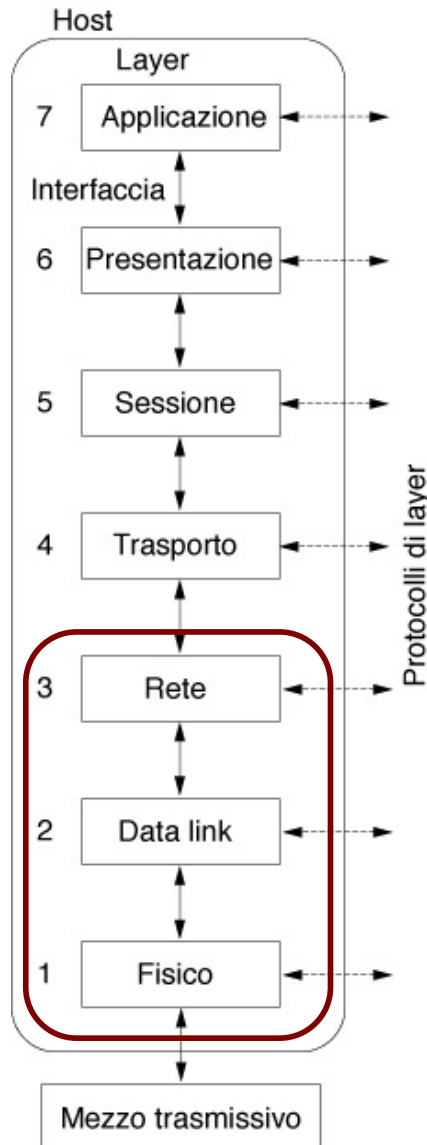


- stabilisce un collegamento “affidabile” tra due nodi connessi direttamente a livello fisico
 - rileva e, se possibile, corregge errori avvenuti nella comunicazione tra layer fisici
- esempio: PPP (Point-to-Point Protocol) di TCP/IP

data link layer: nel trasmettitore divide i dati 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)**

Esempio di operazione ai livelli 1-3

Procedura eseguita da un router **ai livelli 2 (data link)**
e 3 (rete) per lo smistamento di un pacchetto

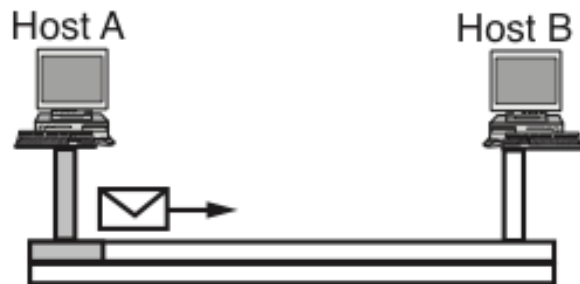


- ❑ il SW di livello 3 (rete) del trasmettitore consegna il pacchetto al SW/HW del livello 2, che lo incapsula nel messaggio e lo consegna (sequenze di bit!) al livello fisico della linea prescelta in uscita
- ❑ il SW/HW del livello 2 (data link), in un chip della scheda di rete, opera controlli sul framing (composizione, ordine nella sequenza) e previene/verifica errori di trasmissione
 - *nel trasmettitore*: spezza il flusso di bit provenienti dal livello 3 in una serie di frame, a cui aggiunge un campo di controllo (checksum), e consegna i frame al livello 1
 - *nel ricevitore*: riceve sequenze di bit dal livello 1, ricostruisce uno dopo l'altro i frame ricevuti e li controlla; se corretti, li passa al livello 3
 - è importante la delimitazione dei frame (codifiche di livello 1)
- ❑ se in ricezione il controllo è positivo, il SW/HW di livello 2 genera un interrupt alla CPU per richiedere l'intervento del SW del livello 3, che decide su quale linea in uscita dal router destinatario instradare l'intero pacchetto (o gruppi di frames)

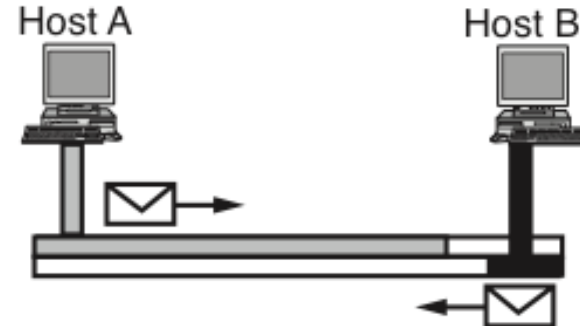
Gestione dinamica accessi (MAC)

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

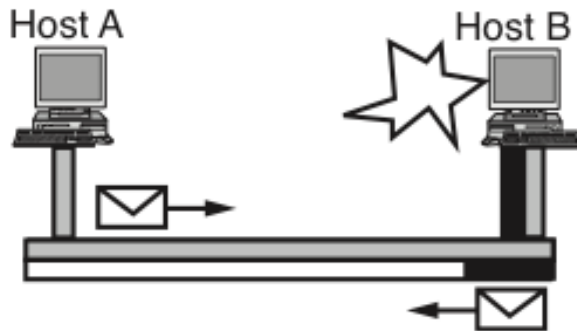
- ogni nodo è sempre in ascolto del canale
- il nodo che trasmette confronta il dato sul canale con quello trasmesso (corrotto o meno)
- rilevata una collisione, il nodo attende un tempo casuale e poi ritrasmette



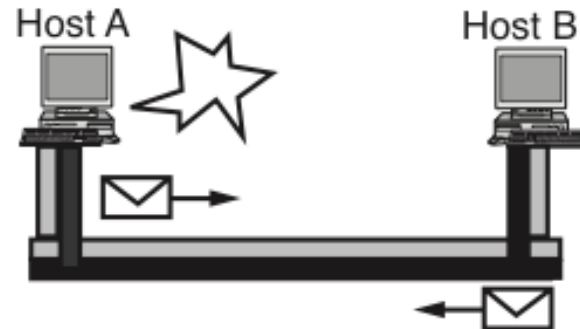
1) $t=0$: A inizia a trasmettere dato che il canale è libero



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



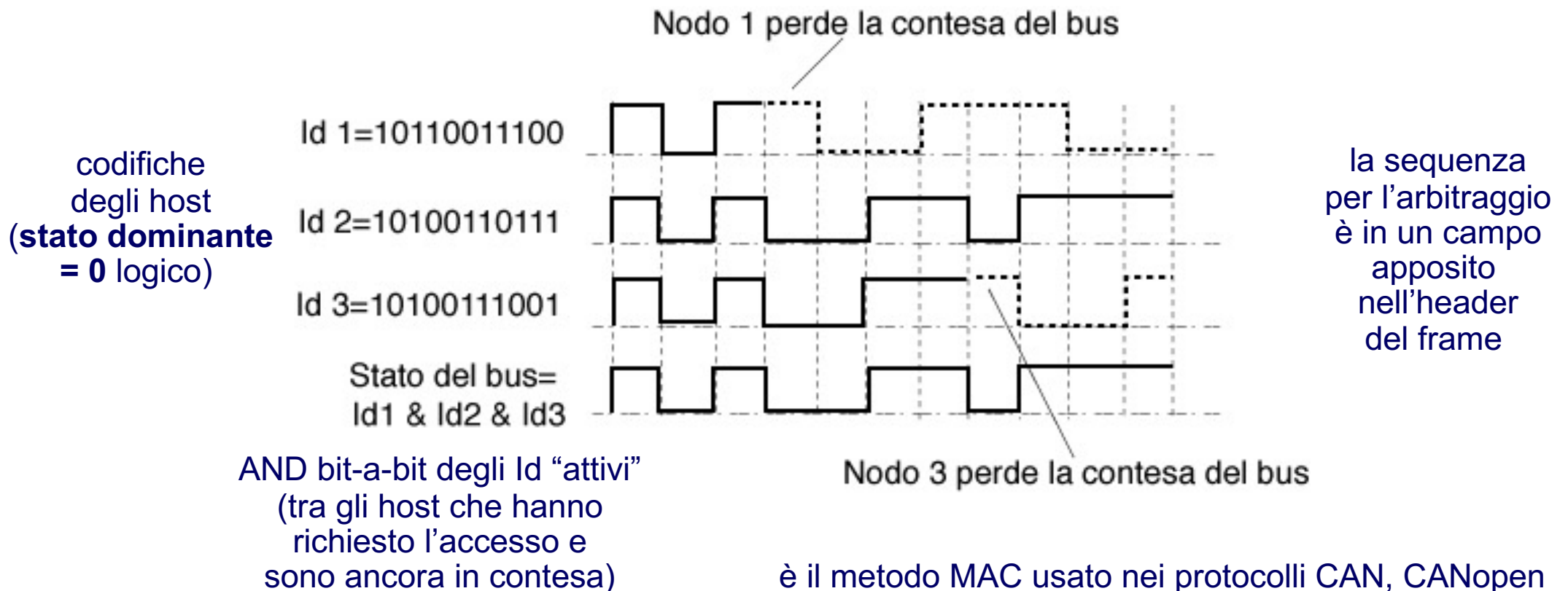
4) $t=2\tau$: A rileva la collisione ricevendo la versione corrotta del suo messaggio

tempo massimo
(caso peggiore)
di rilevamento
collisione

Gestione dinamica accessi (MAC)

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

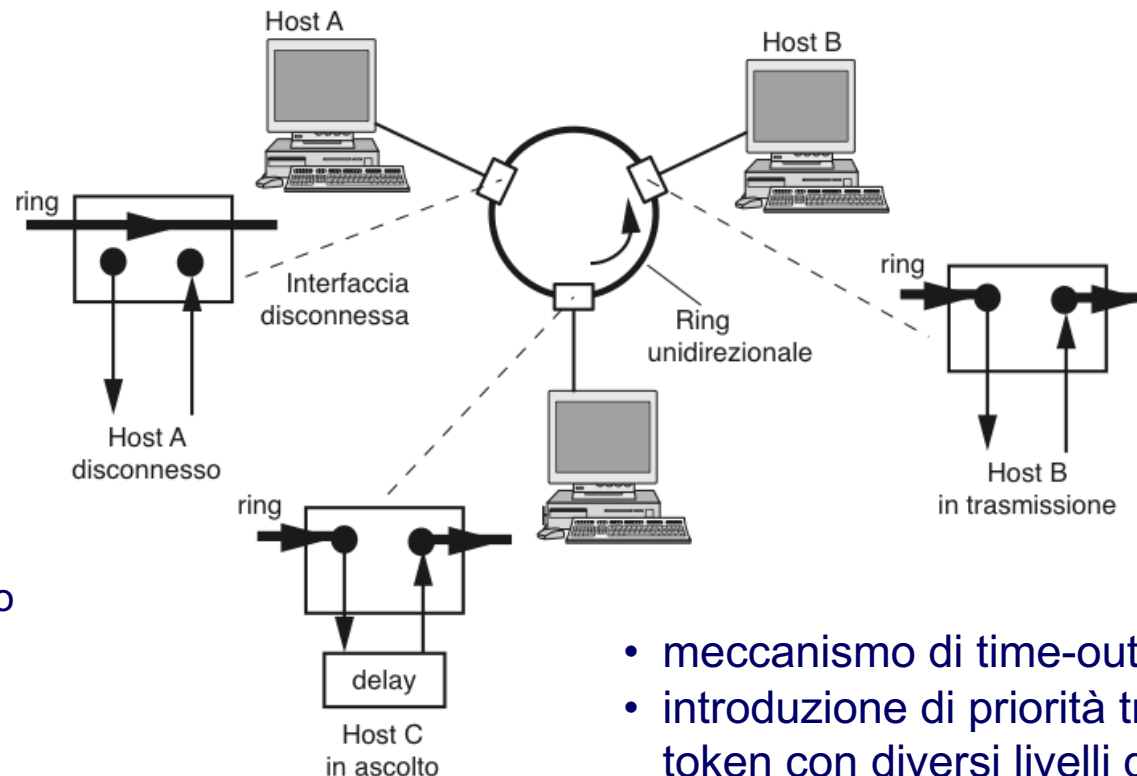
- come prima, ogni nodo è sempre in ascolto del canale
- ... esiste uno stato fisico dominante del canale, che permette l'**arbitraggio a livello di bit**
- l'host (nodo) che ha trasmesso l'informazione corrispondente allo stato dominante vince la collisione e continua a trasmettere (ad es.: stato zero 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)

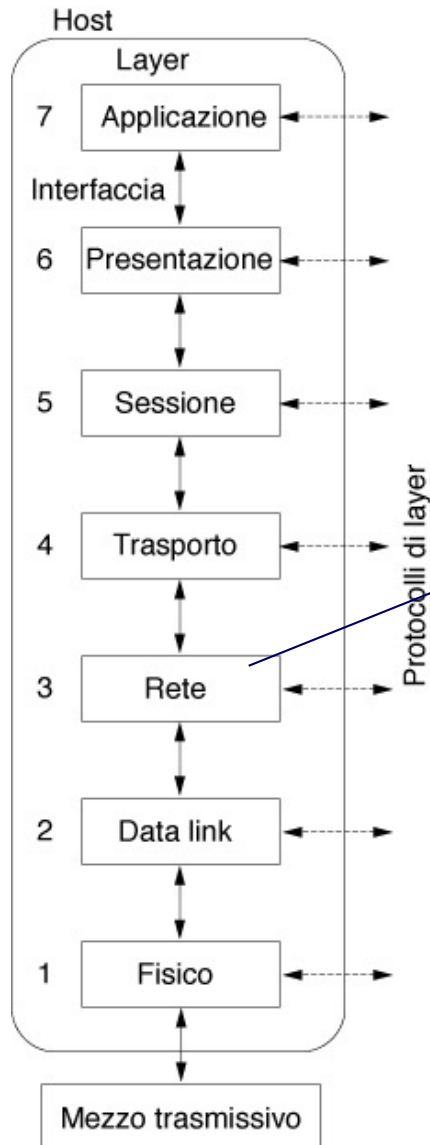
- il token circola continuamente (\Rightarrow stesso tempo deterministico tra due successive interrogazioni del canale da parte di ogni host)
- un nodo trasmette quando è in possesso dell'abilitazione data dal token "originale": lo modifica e rispedisce in circolo assieme al frame del dato (e con un 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

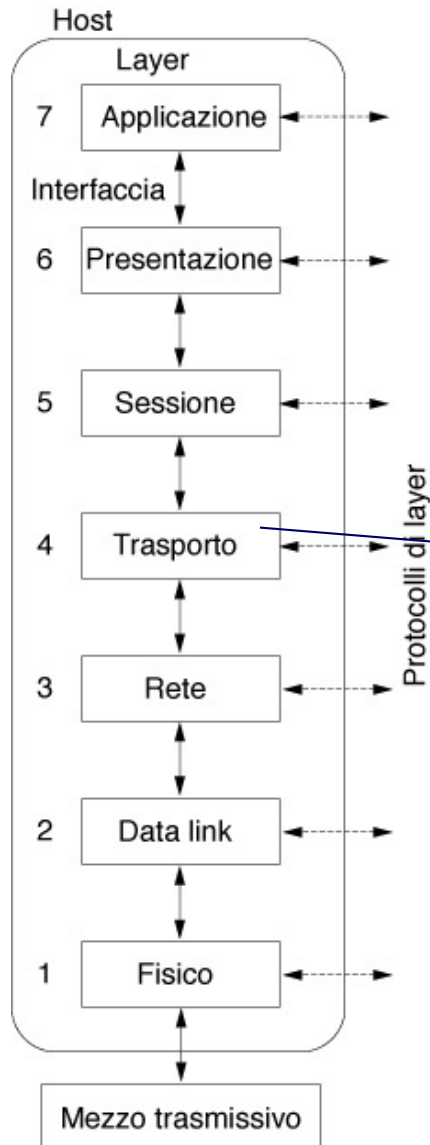
- meccanismo di time-out e restituzione del token
- introduzione di priorità tra messaggi, utilizzando token con diversi livelli di priorità

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
 - protocollo IP
- ❑ include algoritmi e tabelle di routing, di gestione di gruppi multicast, di assegnazione di indirizzi ai nodi della rete, ..

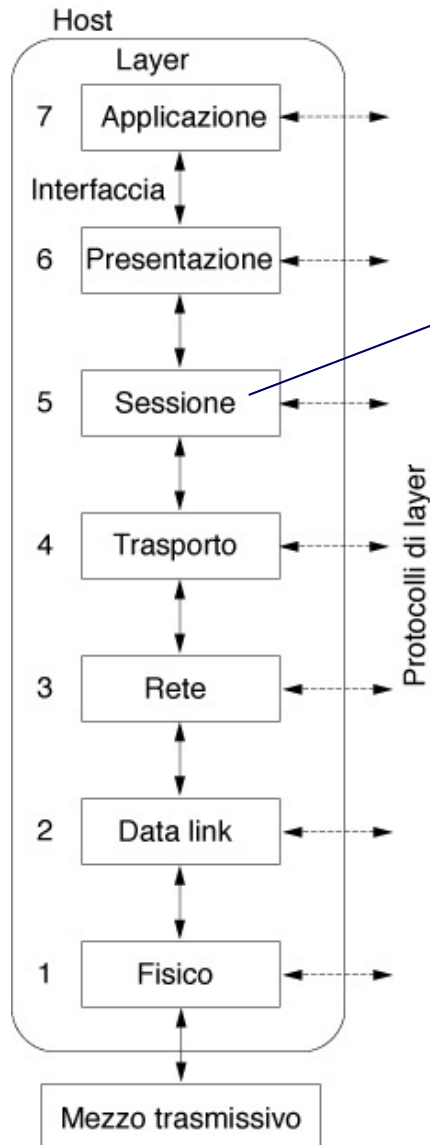
network layer: indirizzamento nelle subnet;
decisione del percorso (**routing**) da host a host



- ❑ invio/ricezione “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

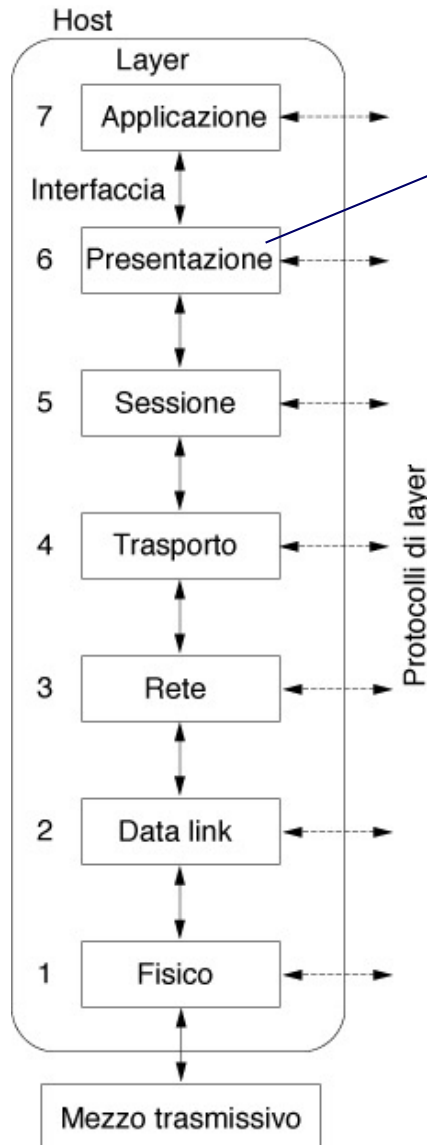
transport layer: divisione/ricostruzione di segmenti di dati in/da pacchetti; controllo di consistenza (vs. errori)

Architettura ISO-OSI



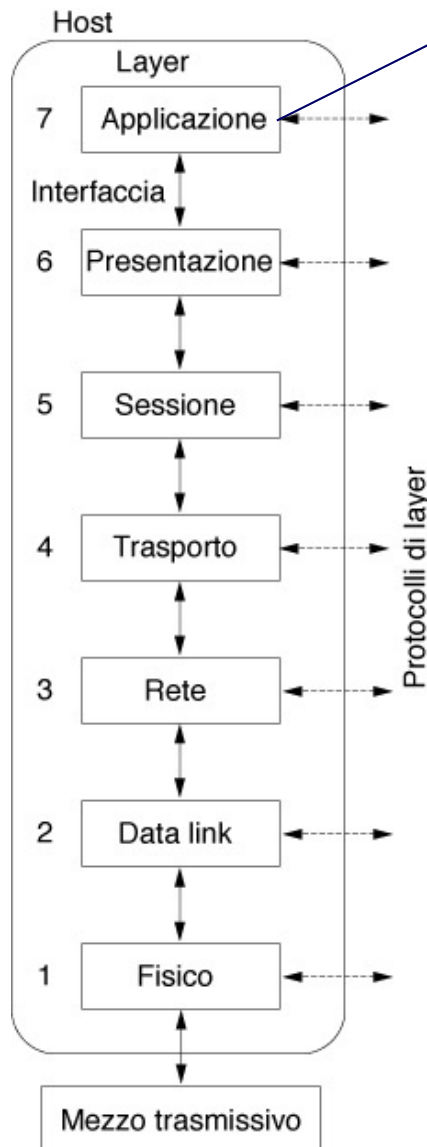
session layer: gestione delle connessioni tra host;
controllo dei conflitti

- ❑ 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 a seguito di malfunzionamenti), gestisce token, ...



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, ...



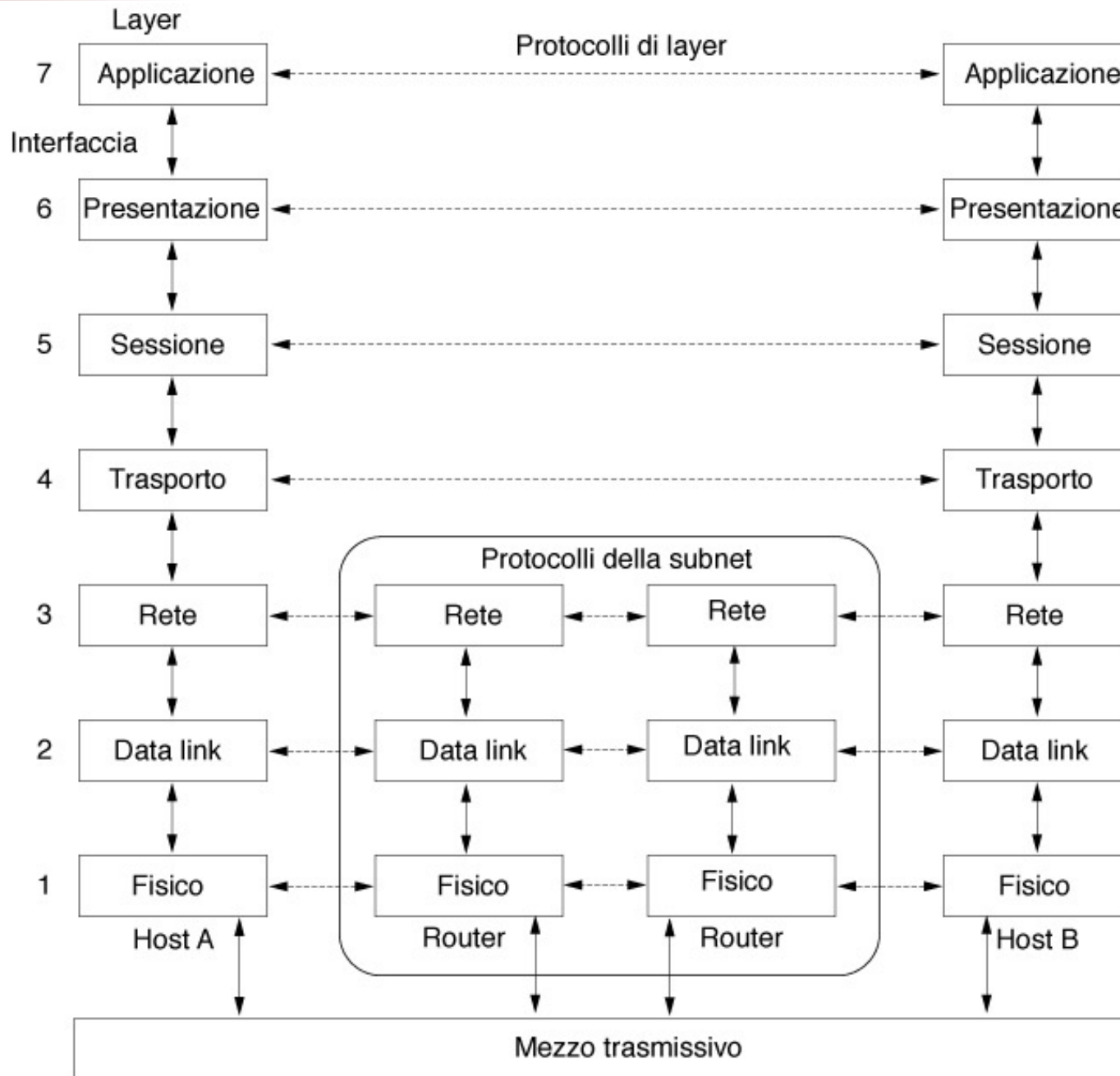
application layer: protocolli necessari all'utilizzatore finale (HTTP, POP, FTP, SMTP ...)

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

Nota: 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 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

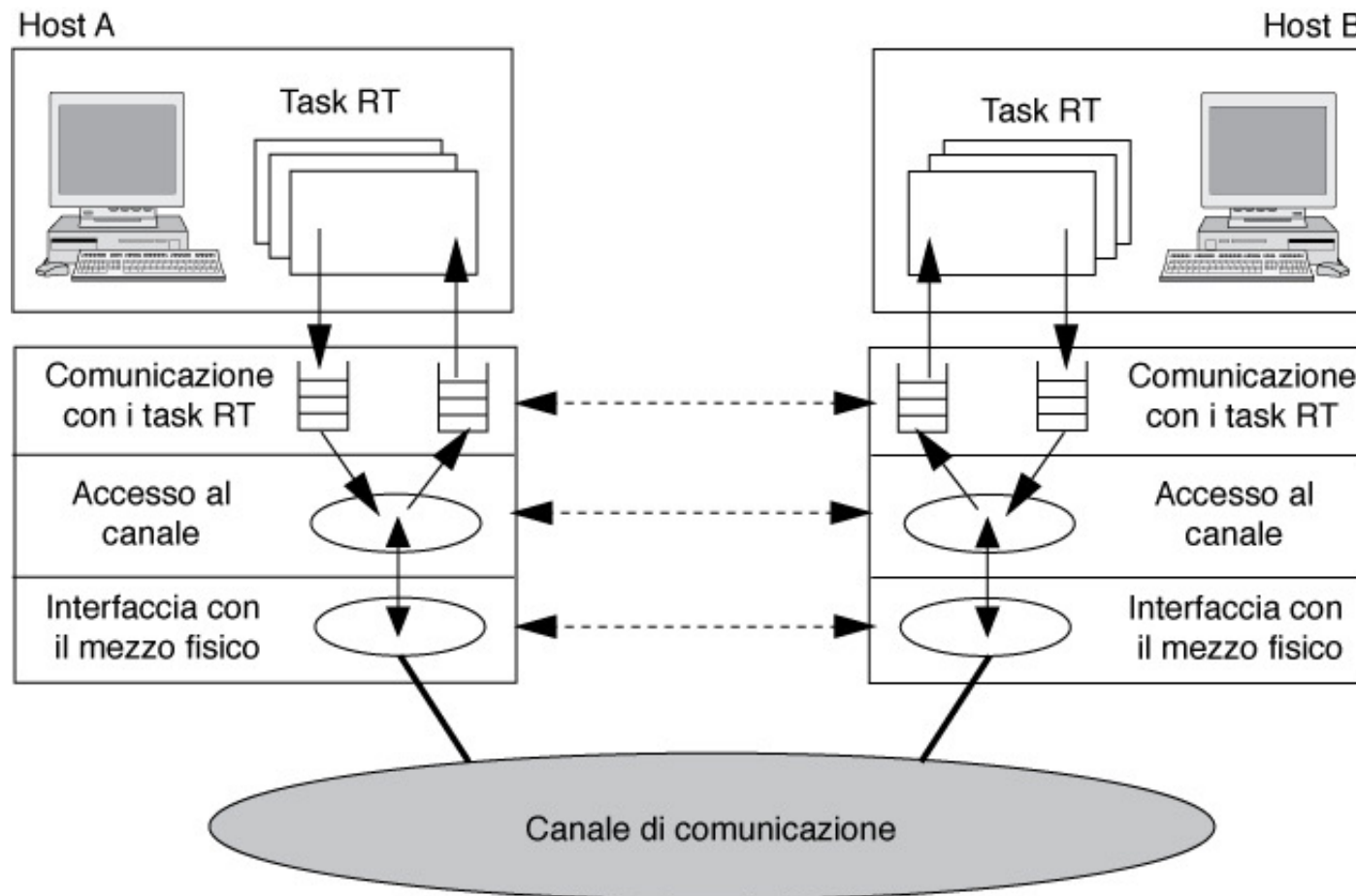
- ➔ generati da task aperiodici con vincoli hard real-time
- ➔ es: allarmi

Comunicazione real-time: specifiche

Problemi nella comunicazione tra task real-time

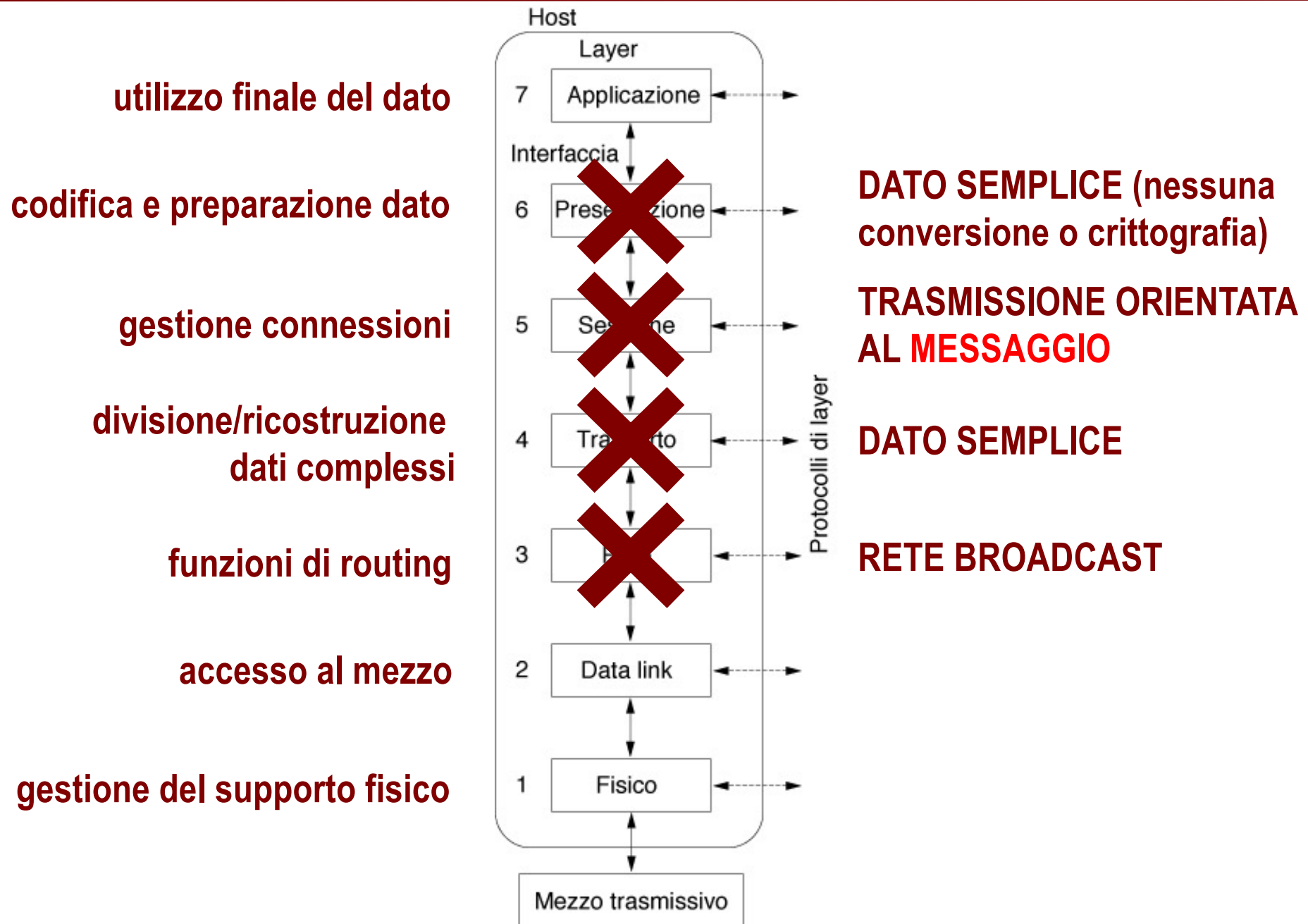
- ❑ missed packet: pacchetti non arrivati in tempo
- ❑ lost packet: pacchetti persi (ad es., per evitare overflow dei buffer si scartano pacchetti verso task non ready)
- ❑ delay: ritardo di comunicazione, tipicamente aleatorio \Rightarrow jitter

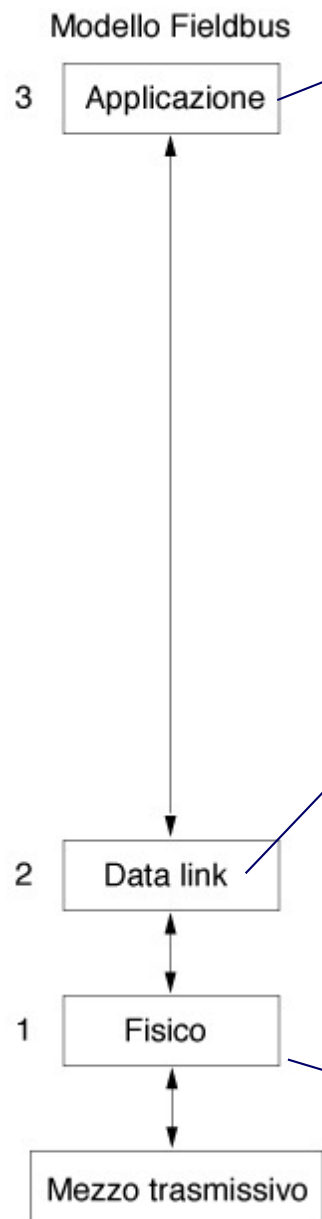
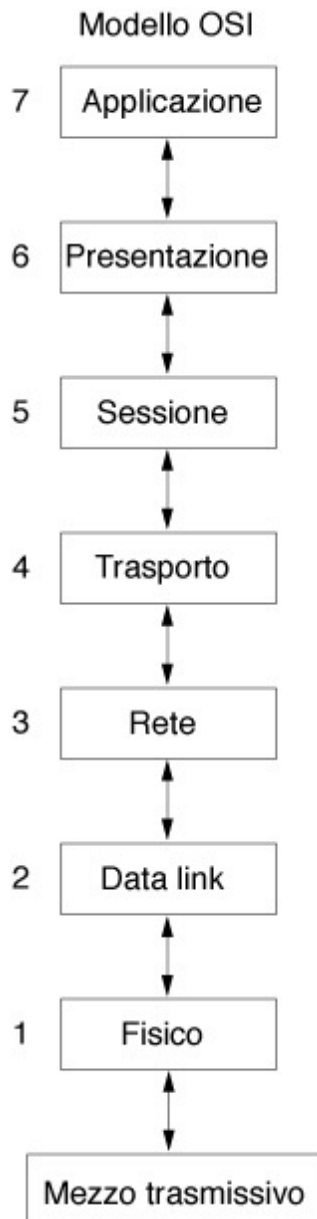
qui: uso di
**algoritmi di
scheduling**
in real time



- ❑ 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





tipi di comunicazione nell'applicazione layer:

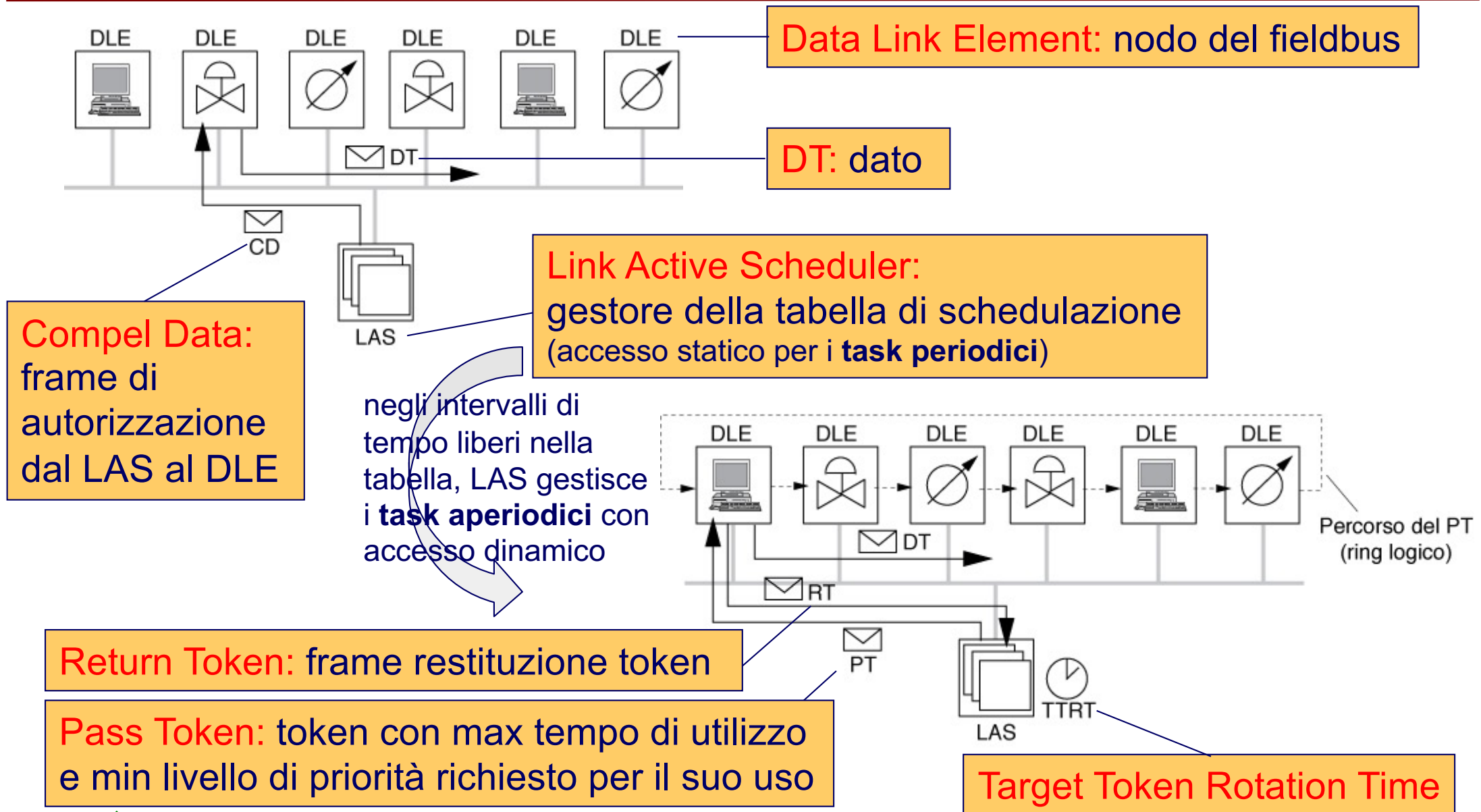
- client/server, producer/consumer, ...

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
- il coordinamento dei due metodi è effettuato dal Link Active Scheduler

physical layer:

- funzioni di interfaccia dipendenti (Data Terminal Equipment) o indipendenti (Data Communication Equipment) dal mezzo fisico



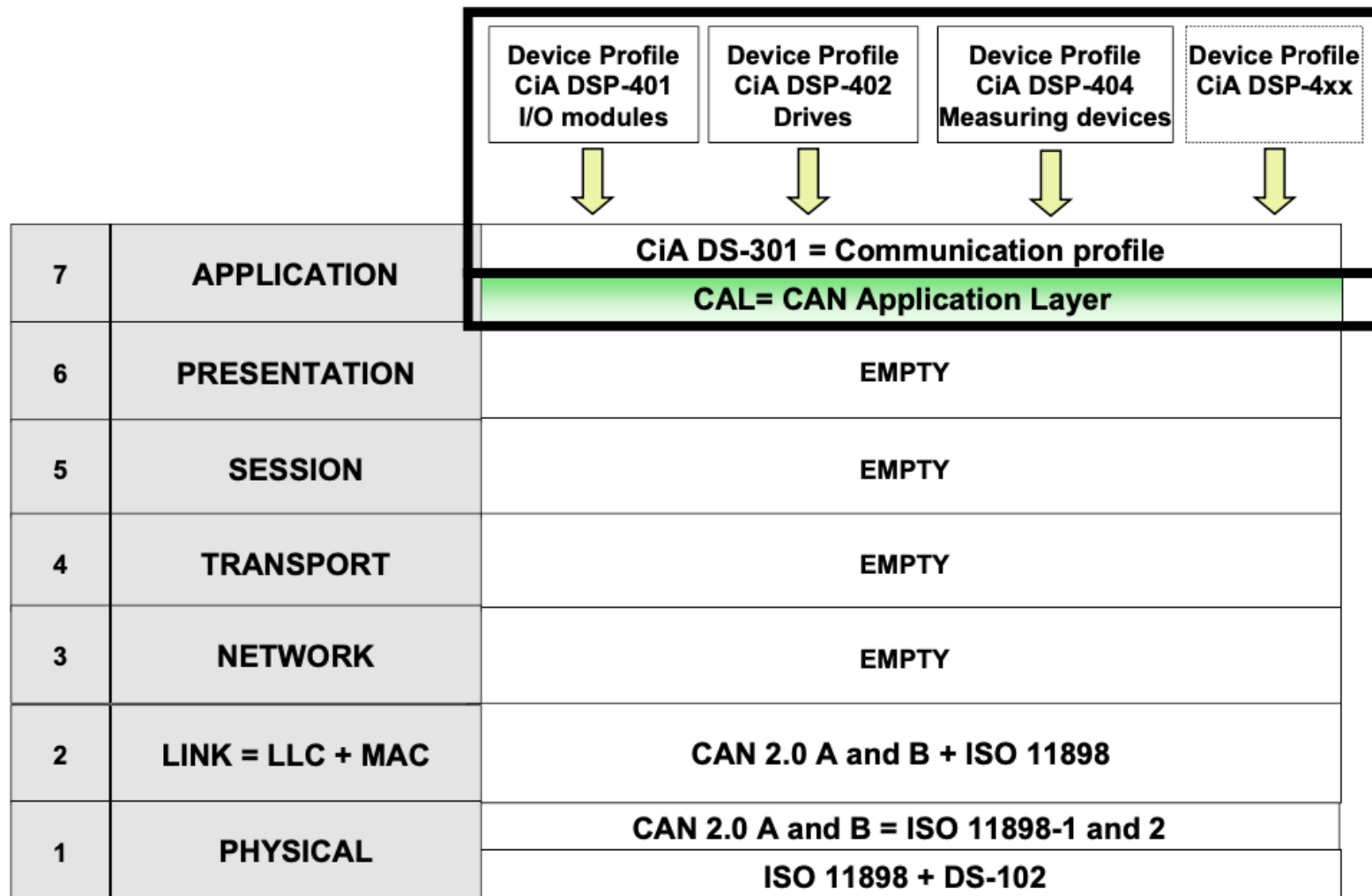
adattamento priorità: IF tempo effettivo T di ciclo del token > TTRT, THEN priorità ↗; ELSE ↘

- ❑ IEC 61158 (04/2003): fieldbus standard for use in industrial control and communication systems
 - ➔ norme che regolano il livello fisico (PhL)
 - ➔ norme che regolano il livello data-link (DLL)
 - ➔ norme che regolano il livello applicazione (AL)
- ❑ IEC 61784 (05/2003): definizione delle Communication Profile Family
 - ➔ Foundation Fieldbus (1994)
 - ➔ ControlNet (1997)
 - ➔ PROFIBUS & PROFINET(1996)
 - ➔ P-NET (1990)
 - ➔ WorldFIP (1993)
 - ➔ INTERBUS (1998)
 - ➔
- ❑ Bus di campo diffusi ma non ancora completamente normati
 - ➔ CAN (Controller Area Network) —sviluppato dalla Bosch (1985) e molto diffuso in applicazioni automotive e robotiche, CANopen, ModBus, ...

la versione completa del 2009
e un preview dei contenuti della
versione del 2023 sono disponibili
tra i materiali sul sito del corso



❑ Esempio di bus di campo: CANopen e layer del modello ISO-OSI



Layer fisico (1) – Link Layer (2)

□ mezzo fisico di supporto

- ➔ doppino twisted schermato: 2 fili o 4 fili (se con alimentazione)

□ topologia

- ➔ rete a bus: con brevi tratti, resistenze di 120 Ω come terminatori di linea

□ caratteristiche generali

- ➔ massima lunghezza: 1000 m
- ➔ 9 velocità: da 10Kbps a 1 Mbps, in funzione della lunghezza del bus (1 Mbps @25 m)
- ➔ massimo numero di dispositivi: 128 (1 master e 127 slaves)
- ➔ vari tipi di connettori: RJ45, 9-pin SUB D DIN 41652, ...

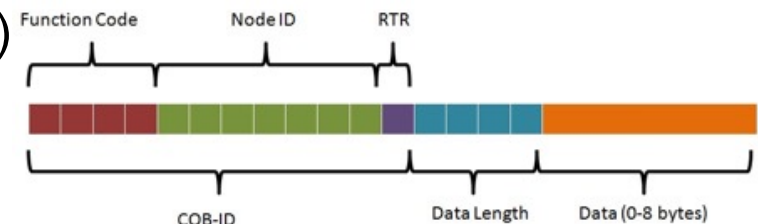


□ protocollo di accesso al mezzo fisico: CSMA/CR (o CA =... Avoidance)

- ➔ ogni dispositivo può inviare dati appena il bus è libero
- ➔ arbitraggio delle collisioni non-distruttivo a livello di bit, con bit 0 dominante
- ➔ messaggi a **priorità maggiore** hanno valore binario **minore** dell'identificatore

□ modello di comunicazione: produttore/consumatore

- ➔ formato frame: 11 bit in testa indicano **tipo dei dati** utili trasmessi e **nodo produttore**
- ➔ seguono 5 bit di controllo (RTR, start, lunghezza dati)
- ➔ seguono i dati utili: max **8 bytes** per frame
- ➔ dispositivi e procedure a elevata sicurezza



Confronto tra protocolli Fieldbus

□ sul layer fisico

| | ASi | CANopen | DeviceNet | Ethernet TCP/IP Modbus | Profibus-DP | FIPIO | Interbus | Modbus |
|--|--|---|--|---|---|---|-------------------------------|---------------------------------|
| Medium | Yellow flat ribbon cable Round unshielded cable Round shielded cable | Shielded twisted pair | Double shielded twisted pairs | Coaxial cable : 10base2 - 10base5 Shielded twisted pair 10baseT - 10baseTX Optical fibre 10baseF - 10 baseFX | Shielded twisted pair Optical fibre | Shielded twisted pair Optical fibre | Double shielded twisted pairs | Shielded twisted pairs |
| Max. distance without repeaters | 100m | Acc. to speed: 25m to 1 Mbps 1km to 10 Kbps | Acc. to speed: 100m to 500Kbps 500m to 125Kbps | Twisted pair 100m Optical fibre 2000m | Acc. to speed: 100m to 12Mbps 1.2km to 10Kbps | 1000 m twisted pair 3000 m optical fibre | 400m | 1300m |
| Max. distance with repeaters | 300m | Depends on the type of repeater | Depends on the type of repeater | 10km optical fibre | 400 to 4800m acc. to speed | 15km | 12.8km | Depends on the type of repeater |
| Speed | 166 Kbps | 9 possible speeds from 10 Kbps to 1 Mbps | 125, 250 or 500 Kbps | 10/100Mbps | 9.6 Kbps to 1 Mbps | 1 Mbps | 500 Kbps | up to 19200 bps |
| Max. number of devices | ASi V1: 1 master + 31 slaves ASi V2: 1 master + 62 slaves | 128 1 master and 127 slaves | 64 1 master and 63 slaves | 64 I/O scanning and Modbus | Mono or Multi-masters 126 devices max | 1 manager + 126 devices | 512 | 32 1 master and 31 slaves |



Confronto tra protocolli Fieldbus

□ sui layer data link (MAC) e di applicazione

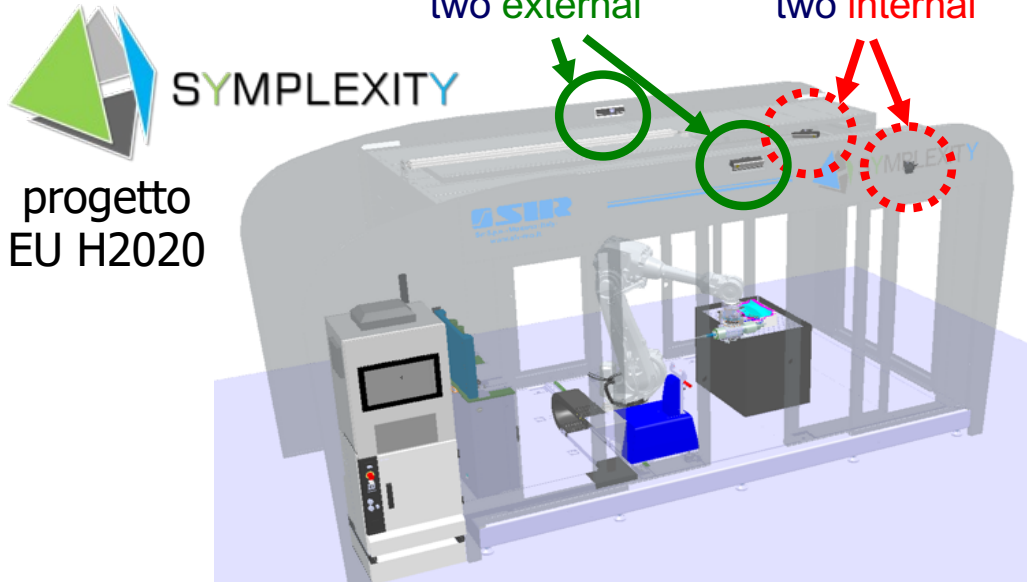
| | ASi | CANopen | DeviceNet | Ethernet TCP/IP Modbus | Profibus-DP | FIPIO | Interbus | Modbus |
|---------------------------------------|---|--|---|--|---|--|--|--|
| Medium access method | Master Slaves | CSMA/CA | CSMA/CA | CSMA/CD | Token ring and master/slaves | Bus manager | Master Slaves Single frame | Master Slaves |
| Type and size of data exchanged | <p>ASi V1: Cyclic: 4 IN bits 4 OUT bits Acyclic: 4 P bits</p> <p>ASi V2: Cyclic: 4 IN bits 3 OUT bits Acyclic: 3 P bits</p> | <p>Cyclic I/O: PDO 8 IN bytes 8 OUT bytes</p> <p>Acyclic: SDO Param./adjust. >8 bytes due to fractioning of information</p> | <p>Cyclic I/O: I/O messages 8 IN bytes 8 OUT bytes or >8 if fragmentation</p> <p>Acyclic: Explicit messages Param./adjust. >8 bytes due to fractioning of information</p> | <p>Cyclic I/O: I/O scanning 125 IN words 125 OUT words</p> <p>Acyclic: Param./adjust. via asynchronous messaging 507 words</p> | <p>Cyclic I/O: PZD 244 IN words 244 OUT words</p> <p>PKW = 1 word at once</p> | <p>Cyclic I/O: 32 IN words 32 OUT words</p> <p>Acyclic: Param.= 30 words Adust. = 30 words</p> | <p>Cyclic I/O: 256 I/O words</p> <p>Acyclic: 256 words via fragmentation</p> | <p>Acyclic variables 1920 bits 120 words</p> |



CSMA/CA - CD: Carrier Sense Medium Access/Collision Avoidance – Collision Detection

Master/Slaves: il nodo/dispositivo master attribuisce l'accesso ordinato al mezzo trasmissivo ai nodi slave che ne hanno fatto richiesta (il master può fare un polling sui nodi slave per raccogliere le richieste)

Una cella per la robotica collaborativa

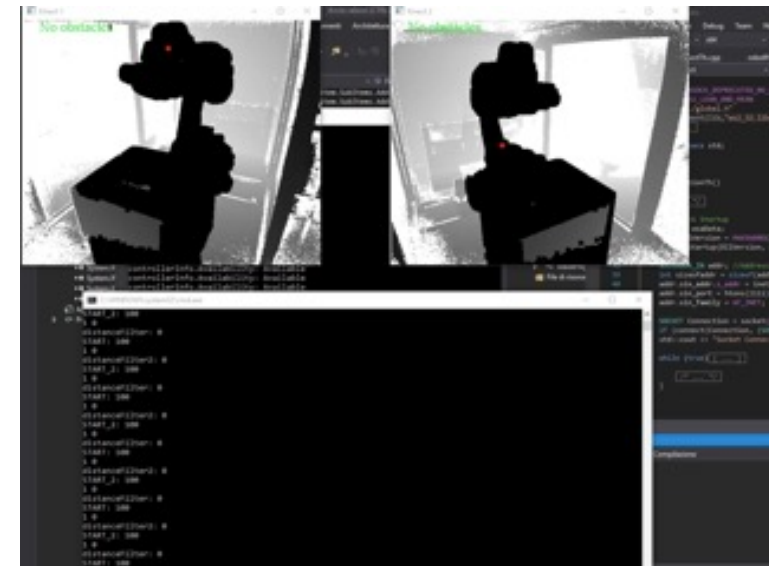


riconoscimento di comandi gesturali con Kinect esterna



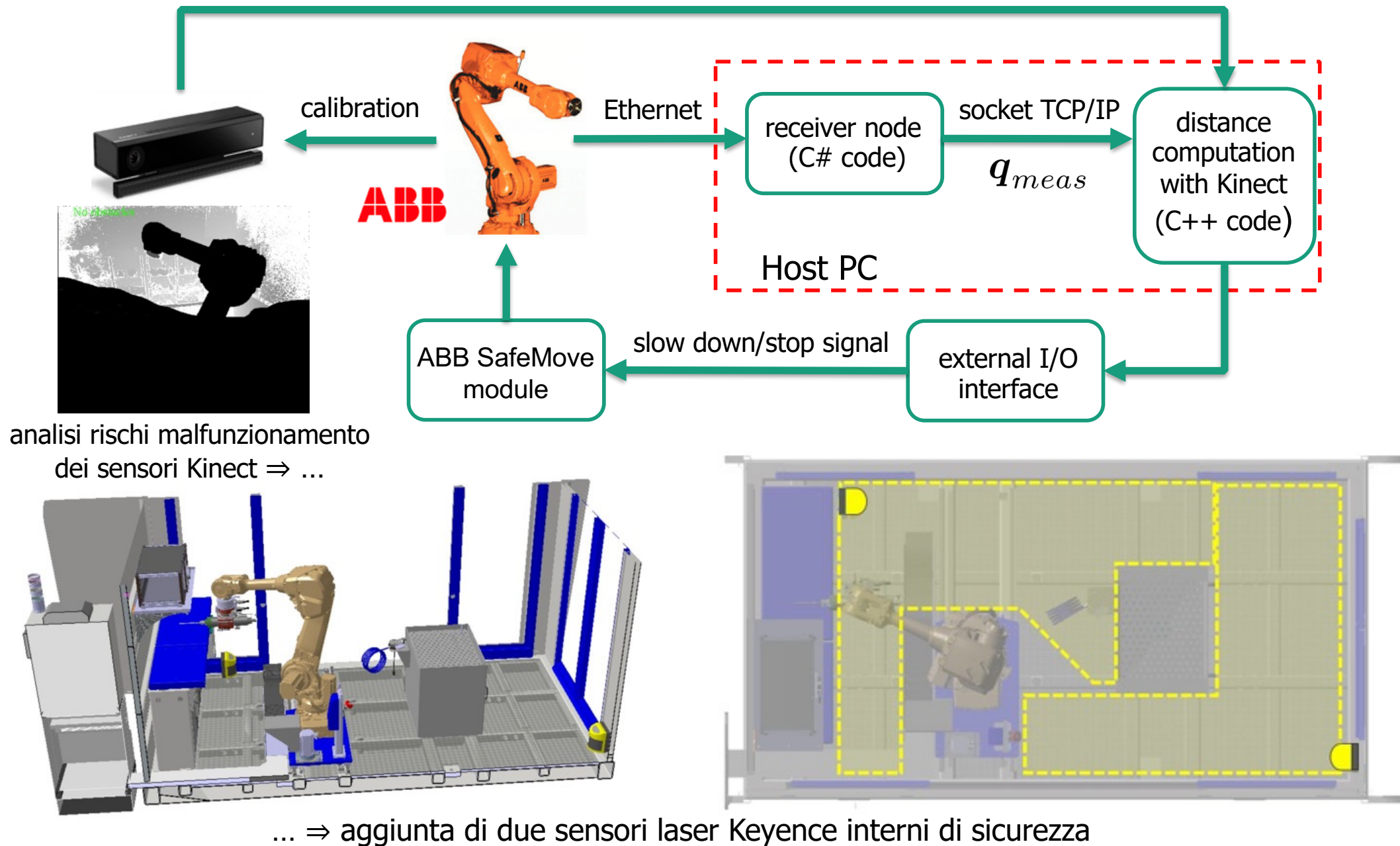
vista della cella dall'esterno

3 video



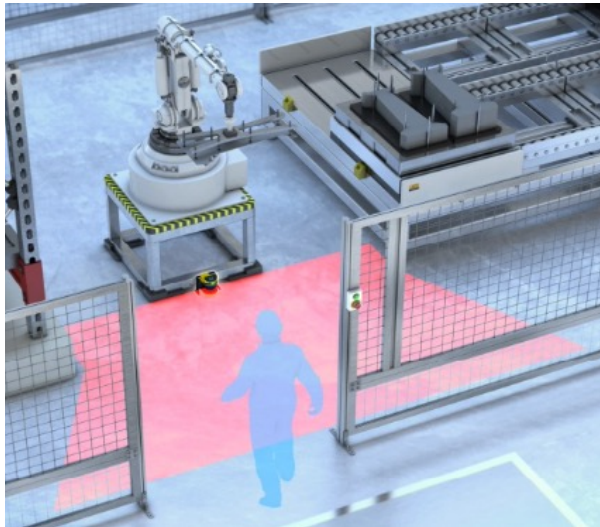
immagini **depth** delle 2 Kinect interne usate per il calcolo in tempo reale delle distanze robot-utente

Una cella per la robotica collaborativa



Dispositivi, protocolli e algoritmi

Keyence SZ-V32N Safety Laser Scanner



costo: ~5K€

tempo di lettura
(scan) 132 ms

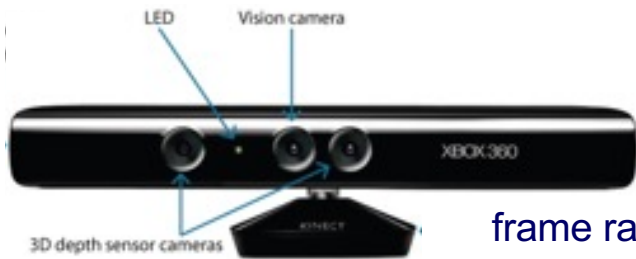


Safety PLC

■ Communication protocols that can be used simultaneously

| Selected communication protocol | Communication protocols that can be used simultaneously | | | | |
|---------------------------------|---|---------|-----------------|--------------|---------------|
| | (1) SZ-V Configurator | (2) UDP | (3) EtherNet/IP | (4) PROFINET | (5) PROFIsafe |
| UDP | ✓ | ✓ | | | |
| EtherNet/IP | ✓ | ✓ | ✓ | | |
| PROFINET | ✓ | ✓ | | ✓ | |
| PROFIsafe | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ |

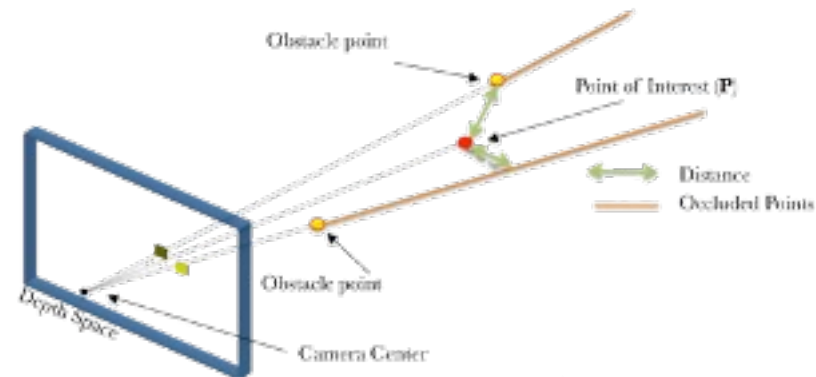
Microsoft Kinect Xbox 360/Kinect 2.0



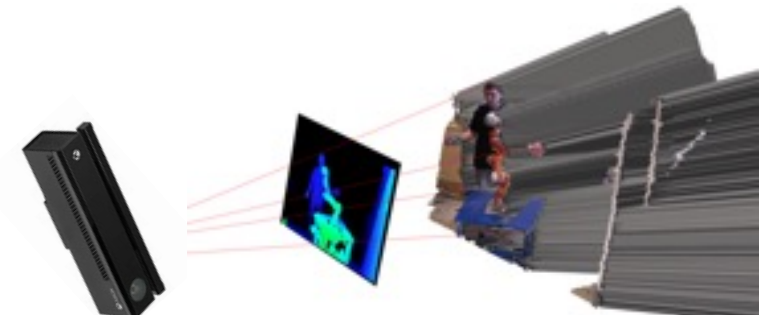
frame rate 30 Hz



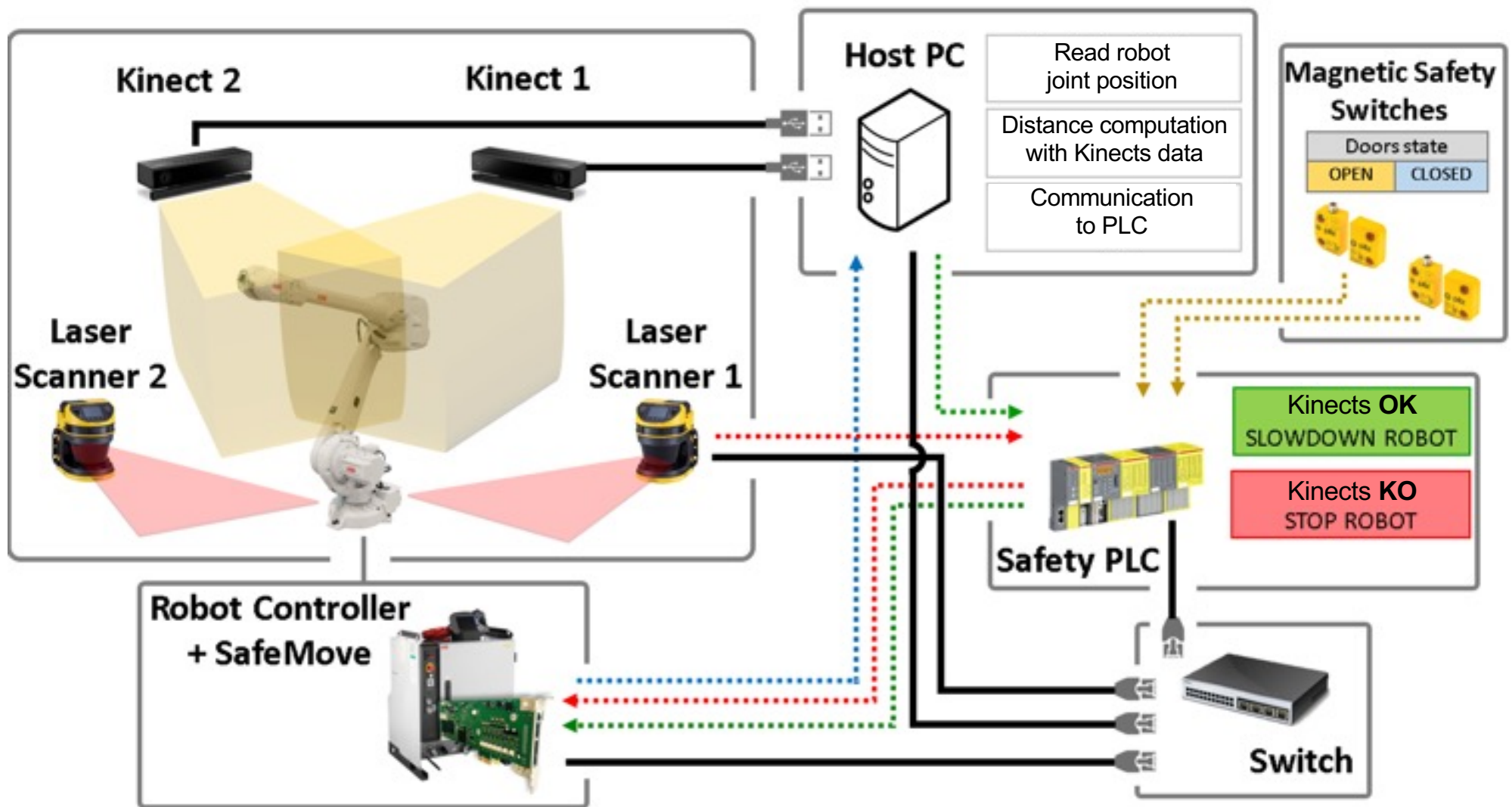
cavo seriale USB
(280 Mbps)



costo: <100€
(ora fuori mercato)

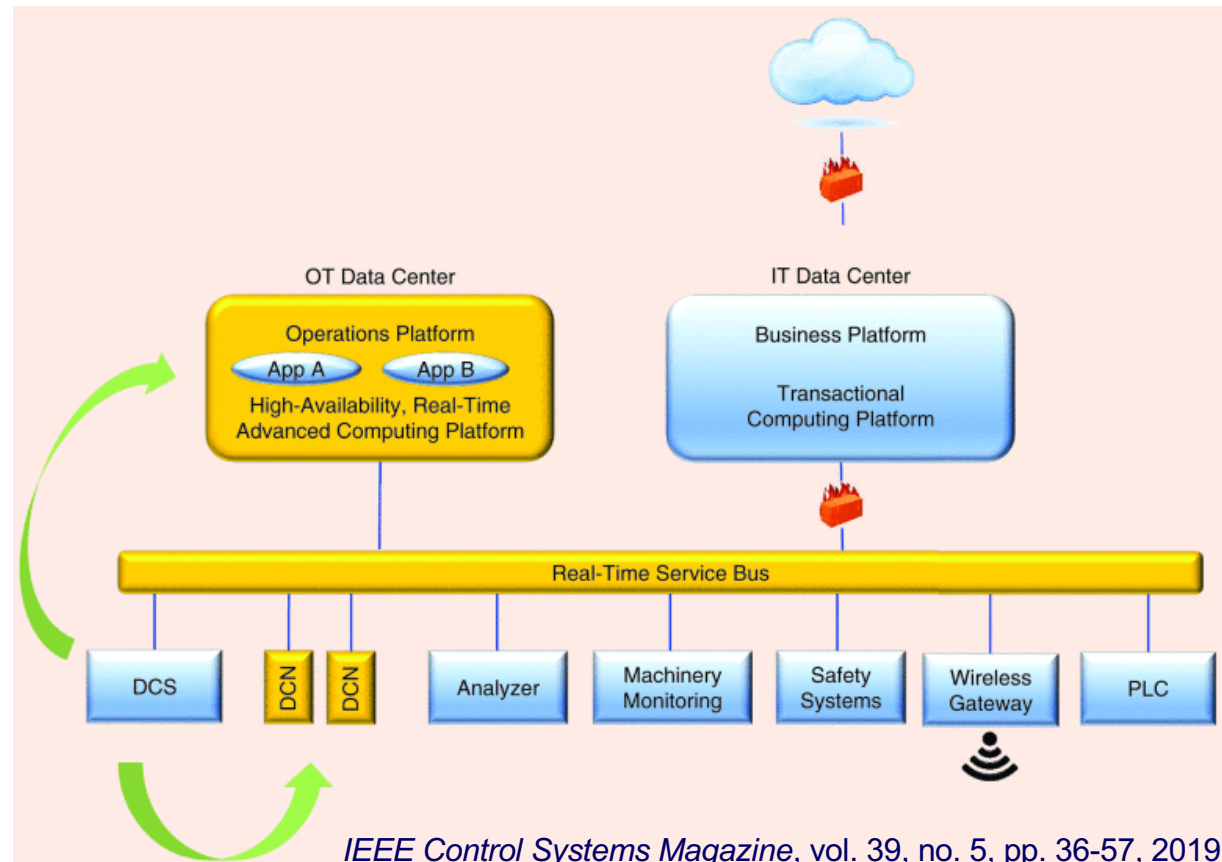


Architettura di controllo e rete di comunicazione



- comunicazione da/con il PLC di supervisione della cella, basata sul protocollo di campo **ProfiSAFE** per *certificare* la sicurezza nella “Human-Robot Coexistence”

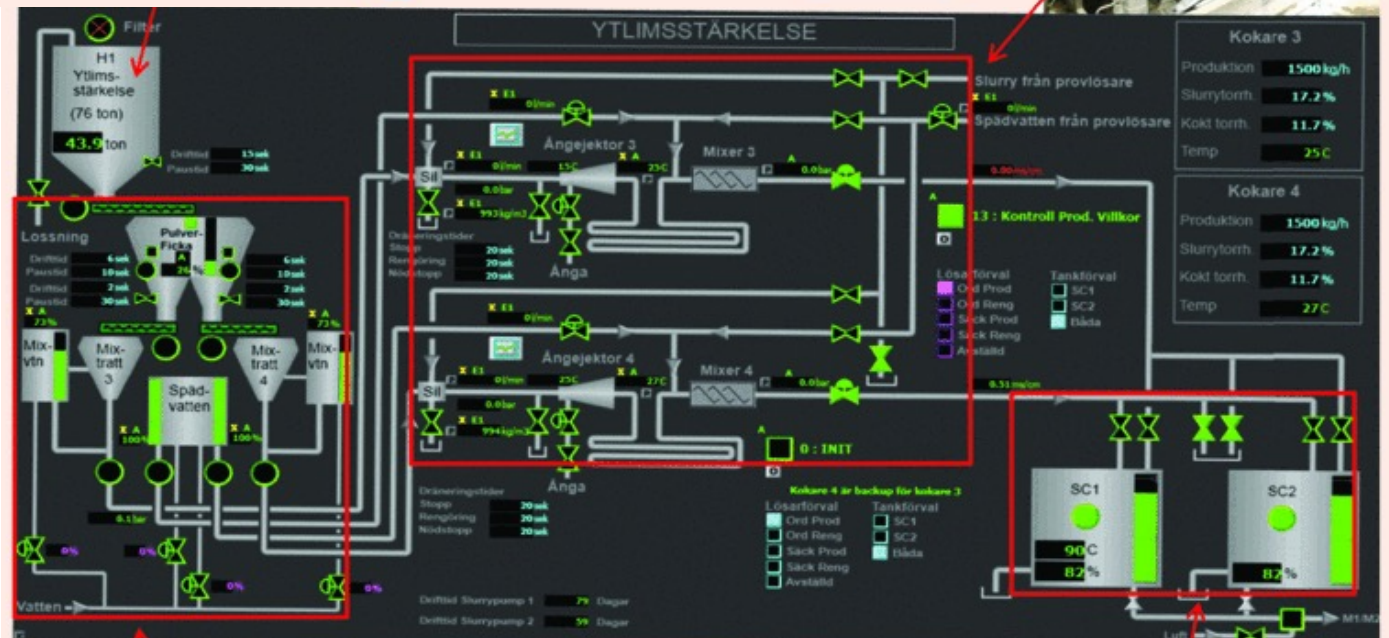
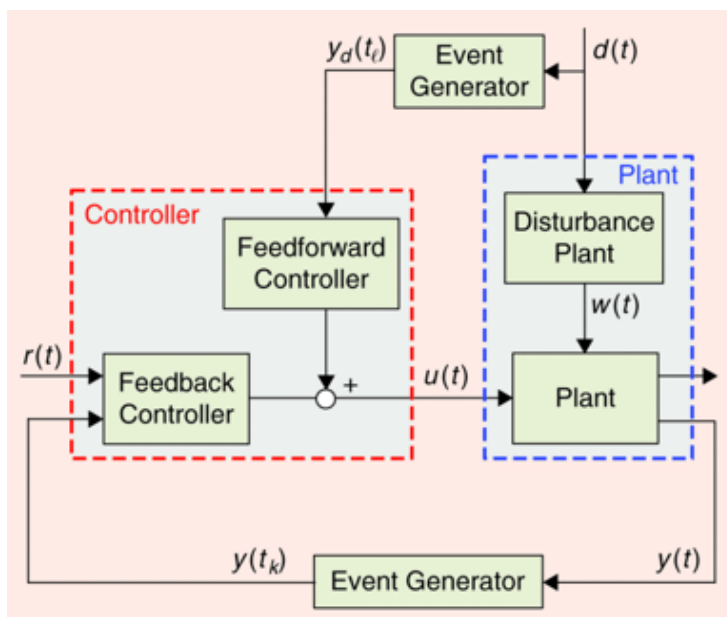
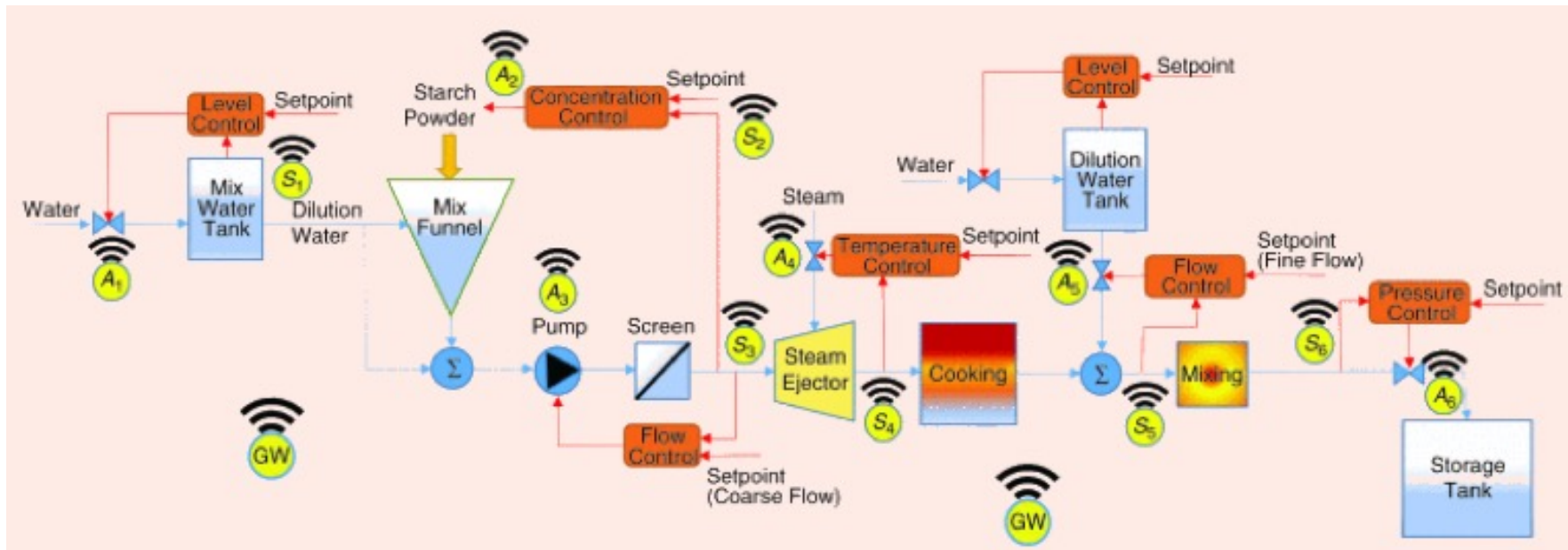
Rete wireless nell'automazione di processo



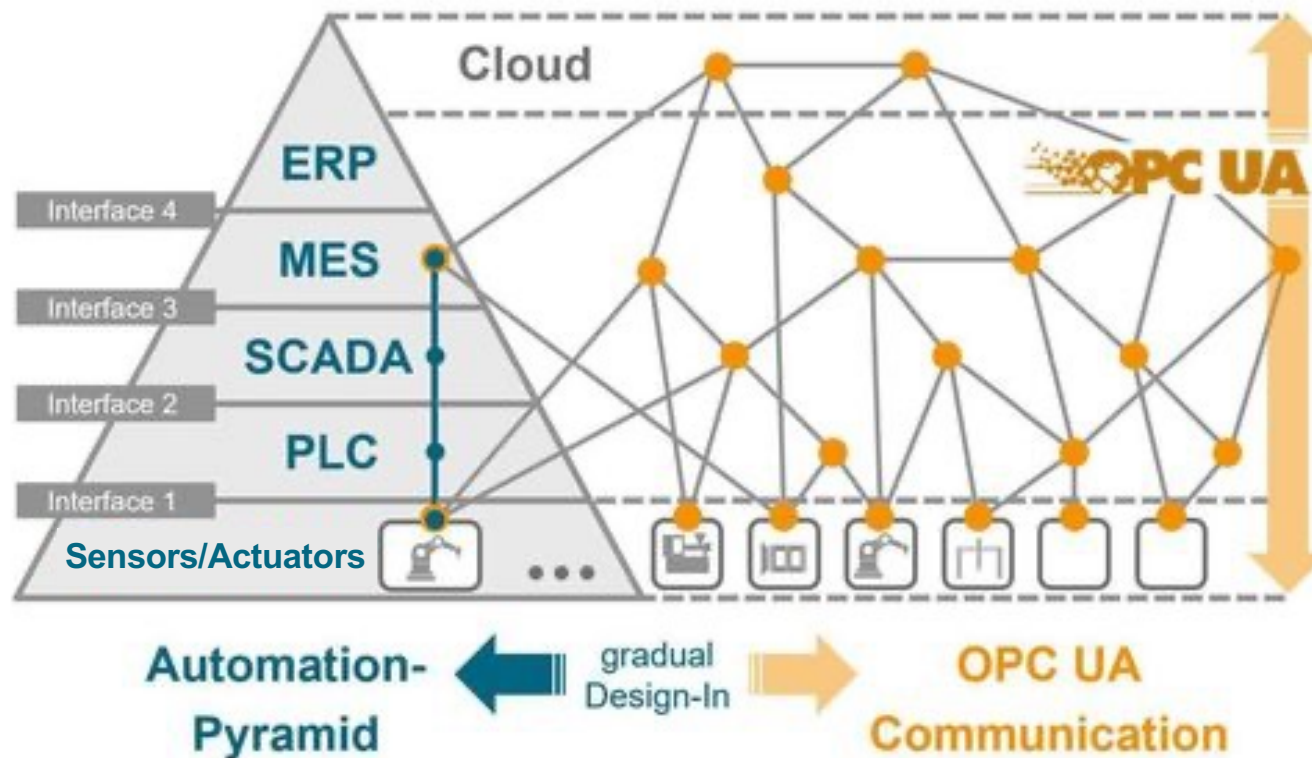
IEEE Control Systems Magazine, vol. 39, no. 5, pp. 36-57, 2019
[Link in IEEEXplore](#)

- ❑ cartiera industriale a Iggesund, Svezia
- ❑ controllo distribuito di processo (DCS)
 - ➔ PLC di controllo, monitoraggio macchine, analisi dati di campo, sistemi sicurezza
 - ➔ **fieldbus** per la comunicazione realtime
 - ➔ gateway di comunicazione **wireless** per trasmissione dati e supervisione remota

Rete wireless nell'automazione di processo



Nuovi protocolli di comunicazione per l'automazione



- ❑ OPC = Open Platform Communications (una fondazione di 35 aziende)
- ❑ UA = Universal Architecture
- ❑ modello semantico standard che permette la comunicazione tra componenti del sistema di automazione (**robot manipolatori, robot mobili, unità di controllo, dispositivi periferici**) di produttori differenti e l'aggregazione e analisi dei relativi dati