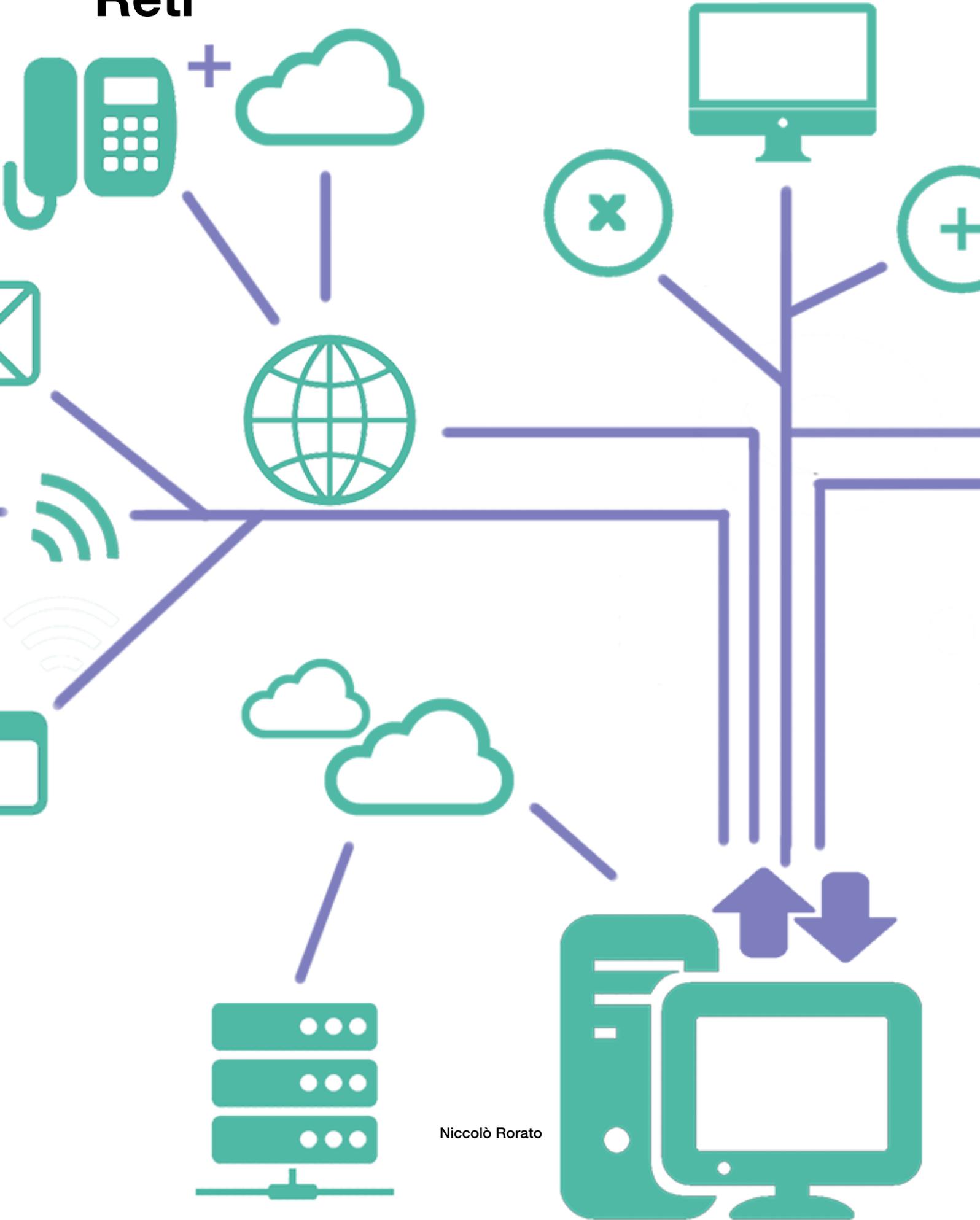


# Reti



# The Net

## Comunicazione

È il processo che consente a due o più sistemi di scambiarsi informazioni tra loro.  
Presenta livello logico e livello fisico.

## Protocollo

È un insieme di regole che descrivono la modalità di comunicazione tra i sistemi. Nel protocollo viene stabilito il **formato** del messaggio, **gestione degli errori** e la **sincronizzazione**.

## Standard (ASCII)

È un regolamento che stabilisce le linee guida da rispettare per realizzare le comunicazioni. Deve essere interoperabile con altri nodi. Un organismo può normare dei **protocolli** (di solito quelli più diffusi) affinché diventino degli **standard** (o protocolli normati) interoperabili con tutte le reti. I protocolli normati sono frutto di un organismo legale: ISO...

## Nodi (Host)

Generico dispositivo collegato ad una rete.

## Link

**Collegamento** fra **due nodi** attraverso un mezzo trasmissivo (doppino, cavo di rete) o wireless (bluetooth, Wi-Fi).

## Rete

È un **sistema di nodi interconnessi** da canali di comunicazione per lo scambio di dati e messaggi.

Il livello fisico è composto da un **mezzo trasmissivo** (aria, fibra ottica, doppino) attraverso il quale si trasmette e/o riceve un segnale (ottico, luminoso). Oltre a questo il livello fisico presenta a entrambi i capi del mezzo trasmissivo due interfacce o **schede di rete**.

Il livello logico è composto dalla **parte software** della scheda di rete ed è chiamata **Network Operating System**.

All'interno della rete sono presenti altri apparati di rete, ognuno di questi si colloca in un punto della rete in base alla funzione che svolge.

## Classificazione delle Reti

### GAN (Global Area Network)

Range: Pianeta.

### WAN (Wide Area Network)

Range: Regione, stato, nazione o continente.

### MAN (Metropolitan Area Network)

Range: 5km - 50km (città)

### LAN (Local Area Network)

Range: fino a circa 1km (distretto, edificio o stanza)

### WLAN (Wireless Local Area Network)

Range: At **2.4 GHz**, when there is **no interference** from other access points and/or clients, **100mW** maximum EIRP power and stock **3dBi** antennas then maximum range **in open space** when you have direct line of sight between your devices will be around 1.5 km.

### PAN (Personal Area Network)

Range: fino a circa 10m.

# Modelli di Comunicazione

## Modello Client-Server

Il **server offre** un servizio sempre attivo su quel nodo e lo **elabora su richiesta**.

Il **client richiede** un servizio (inattivo quando non richiede un servizio) e si aspetta un risultato.

Questo modello prevede una **concentrazione molto elevata di traffico** sul lato server, perché la richiesta del servizio avviene da **molteplici client**. Tipicamente la connessione lato server deve essere nettamente maggiore rispetto a quella lato client.

## Modello Peer-to Peer

Questo modello non richiede una specializzazione di un nodo. Ogni nodo elabora e richiede servizi al pari verso un altro nodo. Questo comporta una gestione del **traffico** molto **più bilanciata**, un costo inferiore ma meno sicura e **poco gestibile** se avviene una **congestione** (poiché non è centralizzata non è possibile limitare le richieste o aprire nuovi collegamenti).

# Topologia delle Reti

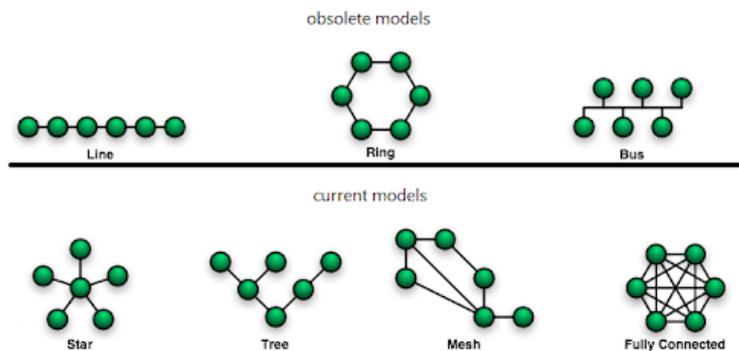
Struttura a dorsale (bus)

Struttura ad anello (ring)

Struttura a stella (star)

Struttura ad albero (tree)

Struttura a maglia (mesh)



# Modelli I.S.O

## **ISO/IEC 7498 ovvero modello O.S.I.**

Open System Interconnected

## **ISO/IEC 8802 (IEEE 802)**

(comunicazione in rete)

Tratta il livelli physical e datalink.

É suddiviso in 24 parti

## **IETF RFC791: Internet Protocol (I.P.)**

## **IETF RFC7231: HyperText Transfer Protocol (H.T.T.P.)**

# Modello I.S.O./O.S.I. (Standard)

È un **modello di comunicazione** di una struttura a pila di 7 strati che mappa le funzionalità di una rete a 7 strati. Ogni strato implementa uno o più protocolli.

Il modello è **agnostico** ovvero lo posso utilizzare per **analizzare qualsiasi rete**. Esso garantisce l'interoperabilità dei dispositivi di comunicazione attraverso **protocolli standardizzati**.

L'esempio principe è il modem ADSL ovvero un apparato che riceve pacchetti Ethernet per trasmettere su un linea ADSL con doppino in rame. La linea L.A.N. e L'A.D.S.L. seppur essendo diverse **implementano protocolli standard** studiabili attraverso il modello I.S.O./O.S.I..

OSI Model			
	Livello	Data	Layer
Host Layer	7	Data	Application Network process to application
	6	Data	Presentation Data representation and encryption
	5	Data	Session Interhost communication
	4	Segments	Transport End to End connections and reliability
Media Layer	3	Packets	Network Path determination and IP (logical addressing)
	2	Frames	Data Link MAC and LLC
	1	Bits	Physical Media, Signal and binary transmission

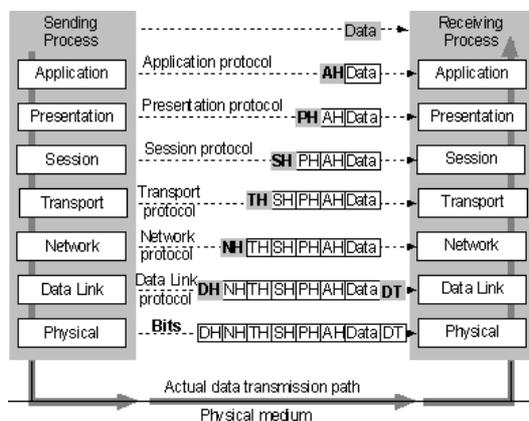
Possiamo dividere i layer della pila O.S.I. in due classi:

- **Media Layer**, comprende i protocolli e gli strati orientati al mezzo. Gestiscono il canale fisico ovvero come deve essere fatto il segnale, gestiscono la comunicazione tra due nodi della stessa rete e il layer network che consente di far comunicare reti diverse.
- **Host layer**, sono essenzialmente **protocolli software** all'interno del nodo della rete.

Si definiscono P.D.U. (**P**rotocol **D**ata **U**nit) i messaggi scambiati nello stesso layer della pila O.S.I. di mittente e destinatario. A livello datalink si scambiano P.D.U denominati frame, al livello network si scambiano pacchetti.

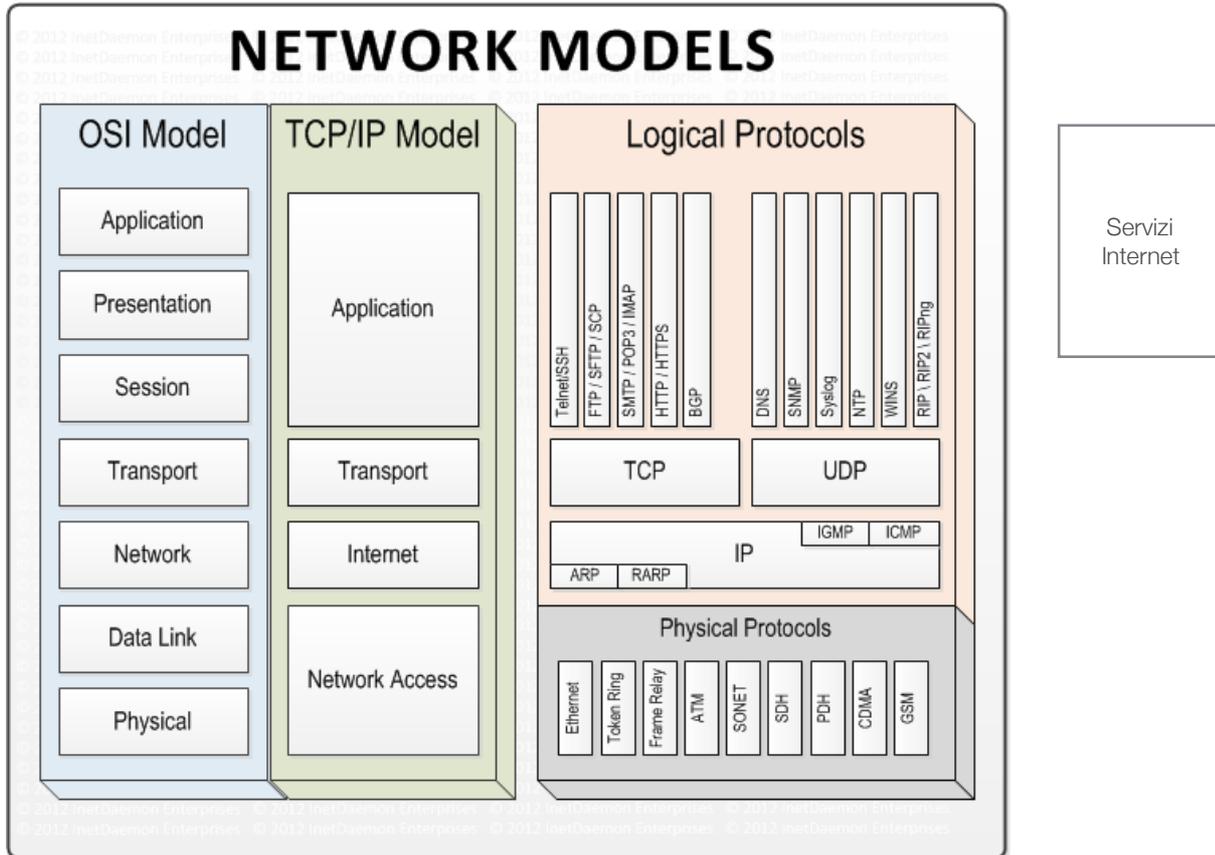
## Data Flow

Il messaggio scambiato tra due nodi è codificato dal mittente scorrendo i layer della pila dall'alto in basso. Il destinatario procede in modo inverso nella decodificazione ovvero scorre la pila dal basso verso l'alto. Questo meccanismo è noto con il nome di **incapsulamento**.



# Modello T.C.P./I.P.

È un modello di comunicazione di una struttura a pila di **5 layer** per l'implementazione della rete internet. L'unità base per comunicare attraverso internet è il pacchetto IP.



# Physical Layer o Layer Fisico

1	Bits	Physical Media, Signal and binary transmission
---	------	---

Si occupa di **trasmettere un flusso di bit attraverso un mezzo trasmissivo (mezzo fisico)**, permette perciò il trasporto dell'informazione.

Funzioni:

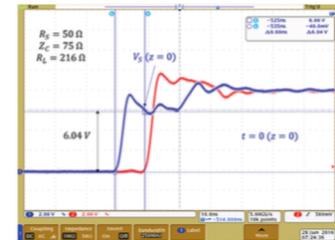
- Definisce le interfacce tra i nodi e il canale trasmissivo;
- Rappresentare i bit con grandezze fisiche (tensione, intensità luminosa...);
- Definisce la frequenza di trasmissione;
- Definire il verso di trasmissione;
- Realizzare la **topologia** fisica della rete.

## Cavi

Il segnale elettrico è trasmesso sul cavo imponendo una tensione al variare del tempo. Ogni coppia di conduttori può essere modellata come un **quadripolo elettrico a parametri concentrati** (parametri elettrici che rappresentano tutta la linea) o **distribuiti** (parametri elettrici che rappresenta  $\Delta x$  ovvero una parte della linea). Questi parametri rappresentano seppur in modo modesto un ostacolo al passaggio del segnale elettrico che viene definito con il termine impedenza. L'impedenza è responsabile del degradamento del segnale (**adattamento impedenza**). La tensione può venire riflessa se il cavo presenta una diversa impedenza caratteristica  $Z_0$ . Il **Bounce Diagram** permette di calcolare l'ampiezza delle riflessioni e il tempo di assestamento.

Classificazione dei cavi:

- **Unipolari**, conduttore rigido o conduttore a fili intrecciati.
- **Multipolari**
  - Cavi coassiali;
  - Cavi piatti (flat cable),
  - Doppino (T.P. ovvero **Twisted Pair**).



## Sezione Conduttori A.W.G. (American Wire Gauge)

AWG	Diametro mm	Sezione (Area) mm <sup>2</sup>	AWG	Diametro mm	Sezione (Area) mm <sup>2</sup>
0000 (4/0)	11,684	107,22	21	0,723	0,411
000 (3/0)	10,405	85,01	22	0,644	0,324
00 (2/0)	9,266	67,43	23	0,573	0,259
0 (1/0)	8,252	53,49	24	0,511	0,205
1	7,348	42,41	25	0,455	0,162
2	6,544	33,62	26	0,405	0,128
3	5,827	26,67	27	0,361	0,102
4	5,189	21,15	28	0,321	0,0806
5	4,62	16,77	29	0,286	0,0649
6	4,115	13,3	30	0,255	0,0507
7	3,655	10,55	31	0,227	0,0401
8	3,264	8,37	32	0,202	0,0324
9	2,906	6,63	33	0,18	0,0255
10	2,588	5,26	34	0,16	0,0201
11	2,305	4,17	35	0,143	0,0159
12	2,052	3,31	36	0,127	0,0127
13	1,828	2,63	37	0,113	0,0103
14	1,623	2,08	38	0,101	0,0081
15	1,45	1,65	39	0,09	0,0062
16	1,291	1,31	40	0,08	0,0049
17	1,149	1,04	41	0,071	0,0039
18	1,024	0,823	42	0,064	0,0032
19	0,912	0,653	43	0,056	0,0025
20	0,812	0,519	44	0,051	0,0020

# Cavo Coassiale



Mezzo trasmissivo utilizzato per la trasmissione di segnali elettrici.

Il cavo coassiale è costituito da un **anima centrale** in rame di diametro **1mm**, avvolto da un isolante in **P.V.C. o teflon** ricoperto da una **maglia metallica** costituita da **filamenti intrecciati di rame**. Esternamente ricoperto da una **guaina**. La **schermatura** costituita dalla maglia metallica lo rende immune (meno sensibile ovvero **mitiga gli effetti**) ai **disturbi elettromagnetici**. Agli estremi dei capicorda sono tipicamente crimpati dei connettori B.N.C. e il circuito viene chiuso da un **terminatore a 50Ω** (baseband) per la trasmissione digitale o 75Ω (broadband) per la trasmissione analogica.

# Cavi Twisted Pair o Doppino

Mezzo trasmissivo utilizzato per la trasmissione di segnali elettrici.

Il doppino è costituito da una **coppia di conduttori di rame** ricoperti da una guaina isolante attorcigliati tra di loro, al fine di ridurre le interferenze elettromagnetiche.

## Tipologie

### U.T.P. ovvero Unshielded Twisted Pair

Cavo non schermato.

### F.T.P. ovvero Foiled Twisted Pair

Schermatura esterna.

### S./F.T.P. ovvero Screened Foiled Twisted Pair

Doppia schermatura.

### S./U.T.P. ovvero Screened Unshielded Twisted Pair

Cavo. U.T.P. schermato solo esternamente.

### S.T.P. ovvero Shielded Twisted Pair

Schermatura per ogni coppia di fili.

### S.S.T.P. ovvero Screened Shielded Twisted Pair

Schermatura per ogni coppia di fili più schermatura esterna.

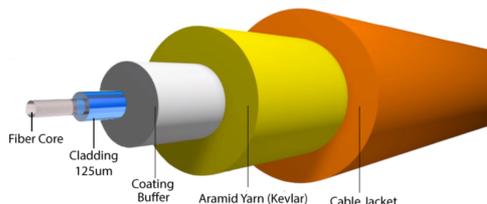
I cavi T.P. possono essere classificati in base alla frequenza massima a cui il segnale può essere trasmesso. Classificazione E.I.A./T.I.A.:

- Categoria da 1 a 3: tecnologia obsoleta.
- Categoria 5: bandwidth 100Mhz - bit rate 100Mbps su 100m
- Categoria **5e**: bandwidth **100Mhz** - bit rate **1Gbps** su 100m
- Categoria 6: bandwidth 250Mhz - bit rate 1Gbps - 10Gbps
- Categoria **6a**: bandwidth **500Mhz** - bit rate **10Gbps**
- Categoria 7: bandwidth 600Mhz - bit rate 10Gbps su 100m

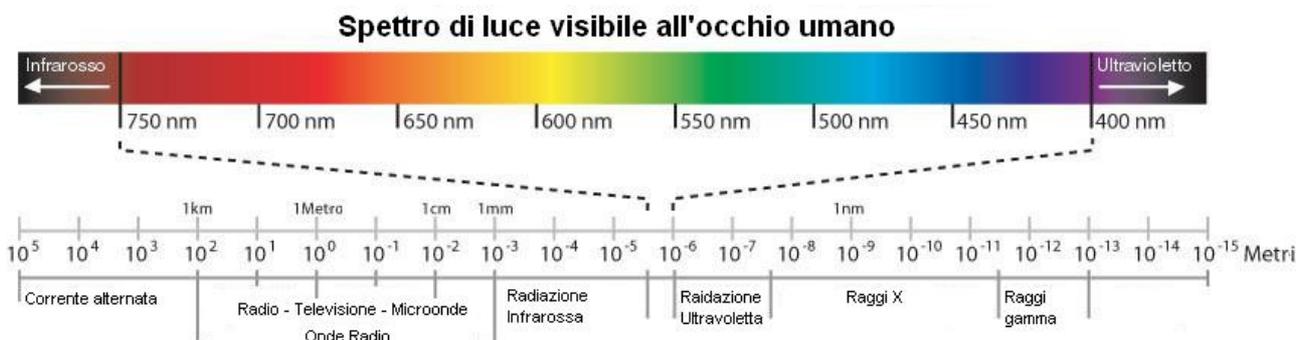
# Fibre Ottiche

La fibra ottica è composta da filamenti **vetrosi** (silice) o **polimerici** (Polymer Optical Fiber) realizzata in modo da poter condurre al loro interno un segnale luminoso. Sono costituite da:

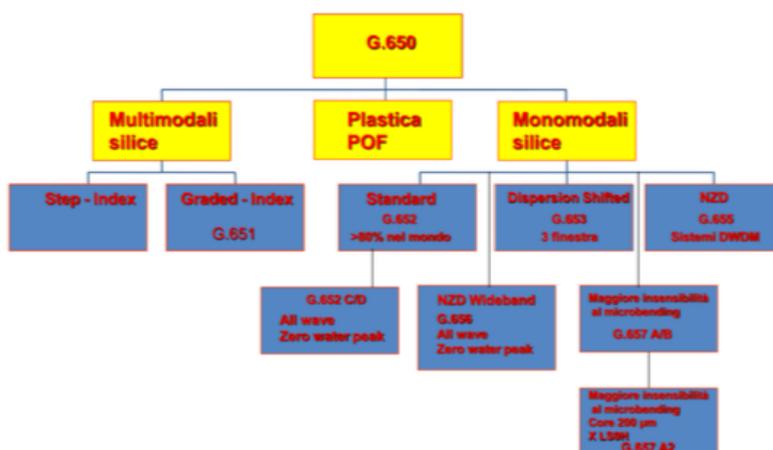
1. **Core** o nucleo (**Single Mode Fiber**  $\Phi$  10 - 9,6 - 8 $\mu$ m oppure **Multi Mode Fiber**  $\Phi$  50 - 62,5 $\mu$ m) il quale presenta proprietà ottiche;
2. **Cladding** o mantello ( $\Phi$  125 $\mu$ m o 900 $\mu$ m) presenta proprietà ottiche;
3. **Coating buffer** ovvero il rivestimento primario ( $\Phi$  250 $\mu$ m), il quale presenta proprietà di resilienza meccanica;
4. **Rivestimento di protezione** (Kevlar) per protezione da tagli;
5. **Jacket** o guaina ( $\Phi$  400 $\mu$ m).



Il raggio luminoso è propagato all'interno della fibra ottica. Le fibre ottiche operano nelle bande infrarosso, visibile e ultravioletto. All'interno della fibra vengono inviati più raggi luminosi di lunghezze d'onda diverse.



## Classificazione

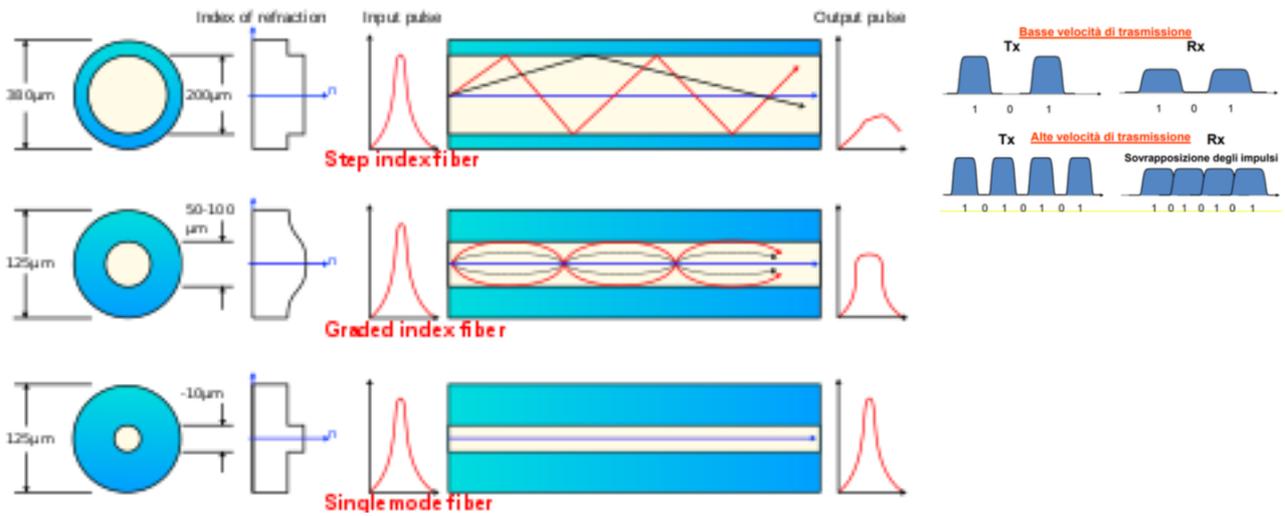


## Degrado del Segnale in Fibra Ottica

- **Dispersione multi-modale**, ci sono più raggi luminosi all'interno della fibra che si propagano con angoli di incidenza diversi;
- **Dispersione cromatica**, ci sono più raggi luminosi di frequenza ovvero di colore diverso che si propagano nella fibra.
- **Attenuazione del mezzo**, il materiale vetroso è più o meno "trasparente" a certe frequenze (colori);
- **Scattering**, dovuto a curvature o non conformità della fibra il raggio luminoso è parzialmente riflesso all'indietro.

## Effetti del Degrado di un Segnale Ottico

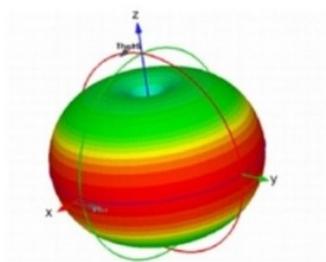
- **Attenuazione** ovvero riduzione dell'ampiezza.
- **Dispersione temporale** cioè aumento della durata del segnale.
- Interferenza inter-simbolica e limitazione della velocità di collegamento.



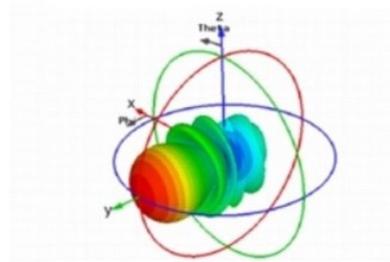
## Antenne

Possono essere:

- Omnidirezionali;
- Direttive
- A banda stretta;
- A banda larga;
- Singola;
- A schiera.



OMNIDIREZIONALE



DIREZIONALE

# Trasmissione

## Segnalazione

E' l'insieme dei **processi** che **permettono** la **trasmissione** dell'informazione tra 2 o più entità, possono essere:

- Elettrici, quando è imposta una tensione  $v(t)$  ai capi di una linea trasmissiva;
- Nelle fibre ottiche un impulso di intensità luminosa è inviato all'interno della fibra;
- In aria/acqua onde elettromagnetiche, luminose o sonore sono inviate e ricevute.

Il **segnale** è una **grandezza** chimico-fisica **variabile** nel tempo che trasporta dell'informazione sia **analogica** che **digitale**. **Analogica** quando l'ampiezza assume un intervallo di valori continuo del tempo.

**Digitale** quando l'ampiezza assume un set di valori **discreti** nel tempo. La **transizione** tra un valore e l'altro è supposta **istantanea**.

## Modulazione

Tecnica utilizzata per la trasmissione di un segnale digitale all'interno di segnali analogici. La modulazione imprime un segnale detto **modulante** su un altro segnale detto **portante**.

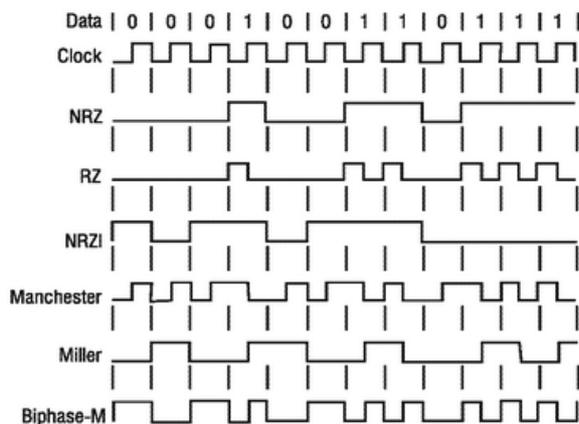
Modulazione analogica di frequenza (FM)

Modulazione digitale di frequenza (FSK)

Modulazione digitale di frequenza (OOK)

## Codifica di Linea con Segnale Digitale

La codifica di linea ha il compito di **produrre un codice idoneo alla trasmissione**. Il **baud** rappresenta il numero di **simboli** che vengono **inviati** in un **secondo** (ogni simbolo può rappresentare uno o più bit dipende dalla codifica). E' importante considerare inoltre che la sincronizzazione dei segnali è fondamentale.



Format	Symbols per Bit	Self-Clocking	Duty Factor Range (%)
NRZ	1	No	0-100
RZ	2	No	0-50
NRZI	1	No	0-100
Manchester (Biphase L)	2	Yes	50
Miller	1	Yes	33-67
Biphase M (Bifrequency)	2	Yes	50

### N.R.Z. ovvero Not Return to Zero

✔ Semplice

⚠ Si perde la sincronizzazione con il clock se vengono inviati tanti 0 o 1.

### R.Z. ovvero Return to Zero

✔ Semplice

✔ Risolve la sincronizzazione con il bit 1.

⚠ Si perde la sincronizzazione con il clock se vengono inviati tanti 0

### Manchester (IEEE 802.3)

A metà del tempo di bit si ha una transizione del segnale di tensione sia per 1 che per 0 logico.

✔ Risolve la sincronizzazione sia del bit 1 che del bit 0.

⚠ Consuma il doppio di banda rispetto a N.R.Z.. Questo avviene perché...

Convenzione **Thomas** è **Manchester invertita**.

## Differential Manchester

- ✓ 0 avviene una transizione, 1 rimane il valore precedente.
- ✓ Risolve la sincronizzazione sia del bit 1 che del bit 0.
- ✓ Risolve il problema delle convenzioni.
- ⚠ Consuma il doppio di banda rispetto a N.R.Z.

## Caratteristiche di una Trasmissione

### Verso di Trasmissione

Simplex -> connessione monodirezionale

Half-duplex -> connessione bidirezionale a turno

Full-duplex -> connessione bidirezionale completa

### Numero di Trasmettitori/Ricevitori

Point to Point 1TX - 1RX

Point to Multipoint 1TX - 2+RX

- Broadcast (a tutti)
- Multicast (a RX dedicati)

### Velocità della Trasmissione

#### Bandwidth o Larghezza di Banda

Massima quantità teorica di bit che può passare su quella linea.

#### Throughput

Quantità di dati che transitano **correttamente** sulla linea. È sempre minore rispetto alla larghezza di banda.

#### Bit Rate

Numero di bit al secondo (bit/s o bps o b/s).

#### Baud Rate

Numero di simboli al secondo (baud/s o b/s). Attenzione a non confondere con il bit rate, poiché un simbolo potrebbe contenere 64bit.

## Rilevamento e Correzione degli Errori

Per poter rilevare (detection) e correggere gli **errori** (dovuti a diverse cause) introdotti dal passaggio nel canale vengono aggiunti **codici di ridondanza**. Questi aggiungono informazioni al messaggio allo scopo di verificare la correttezza, tale operazione porta ad una conseguente **inefficienza** (vengono inviati più dati). Si dividono in:

- Codici **rivelatori**: permettono al destinatario di **determinare se** ci sono stati degli **errori**.
- Codici **correttivi**: permettono di **correggere** fino a  $k$  bit individuandone la posizione nel messaggio.

$c = m$  bit di informazione +  $r$  bit di ridondanza

Codeword = Campo dati + bit di ridondanza

$2^c$  sequenze di bit solo  $2^m$  sono messaggi validi

## Distanza di Hamming

2 sequenze di bit della stessa lunghezza distano tra loro pari al numero di **bit-flip** (errori) ordinati secondo le sequenze stesse.

$d(000,001)$  -> le dispongo una sotto l'altra

0 0 0 -> Prima Sequenza

0 0 1 -> Seconda Sequenza

$0+0+1$  -> Distanza di Hamming:  $d=1$

### Teorema A

Per **rilevare**  $k$  errori è necessario che nel codice di bit abbiano una distanza di Hamming minima di  **$d=k+1$**

### Teorema B

Per **correggere**  $k$  errori è necessario che nel codice le sequenze di bit abbiano una distanza di hamming minima di  **$d=2k+1$**

Perciò per correggere un errore c'è maggior ridondanza e quindi minor throughput.

## Bit di Parità

E' una tecnica di codifica di canale che permette di **rilevare 1 o un numero dispari** di errori, tuttavia non permette di correggerlo. Richiede 1 solo bit aggiuntivo alla sequenza di bit.

Il funzionamento del bit di parità è strutturato come segue:

A. Il mittente conta il numero di 1 logici e:

- Se **pari** il bit di parità è **0**;
- Se **dispari** il bit di parità è **1**.

B. Il destinatario ricalcola il suo bit di parità togliendo il bit di parità del mittente e lo confronta. Se sono uguali accetta il messaggio altrimenti segnala errore.

## C.R.C ovvero Codice di Ridondanza Ciclica

E' un codice che permette di **rilevare gli errori**, la quantità di bit non varia a seconda dei dati da trasmettere. Il funzionamento è il seguente:

- Lo standard individua un polinomio  $G(x)$  di grado  $g$
- Al messaggio sono aggiunti  $g$  zeri in coda in base al grado del polinomio ottenendo una stringa di bit ( $M$ ).
- La stringa è divisa per 2 e il resto  $r$  sono i bit di C.R.C.
- Il messaggio è trasmesso con i bit di C.R.C.
- Il ricevitore (conoscendo il  $G(x)$  e  $g$  divide il messaggio completo per  $G(x)$ . Se il resto è nullo il ricevitore accetta il messaggio.

Il codice binario viene convertito in un polinomio, ogni grado equivale ad un bit.

## Codici di Hamming

Esistono più codici di Hamming la cui funzionalità permette di individuare la posizione del bit flip e di correggerlo.

$2^r - 1 \geq m + r$

Per correggere errori doppi  $d=3$

# Layer Datalink

2	Frames	Data Link MAC and LLC
---	--------	--------------------------

Lo strato Data Link **implementa i protocolli** che gestiscono le sequenze di bit che si trasmettono al livello fisico. In particolar modo si **occupa dell'indirizzamento** (addressing) oltre che a rendere **affidabile la comunicazione** a livello fisico (attraverso codici per correggere e rilevare errori). Inoltre controlla l'accesso e la contesa della linea tra più nodi.

Le **P.D.U. (Protocol Data Unit)** del layer datalink sono dette **frames** e sono organizzati in 3 parti (e tutte le P.D.U.). Il passaggio delle informazioni da un livello ad un altro avviene attraverso il meccanismo **dell'incapsulamento**. Ovvero ogni layer prende informazioni dal livello soprastante come campo dati e aggiunge informazioni in testa (**header**) o in coda (**trailer**). La decodifica avviene in ordine inverso. Solo il **layer fisico** non presenta **né header né trailer**. Il layer non si occupa dell'informazione contenuta nel campo dati, in quanto è agnostico.

## Controllo di Flusso

Sono degli algoritmi e **meccanismi** di trasmissione in grado di **regolare la velocità di trasmissione** in modo che il destinatario riesca ad elaborare ciò che riceve. Il destinatario, in seguito alla ricezione del messaggio, invia un pacchetto di risposta detto ACK (Acknowledgement) secondo un meccanismo concordato.

### Stop and Wait

La trasmissione è ordinata.

1. Il mittente invia un messaggio e imposta un timer.
2. Se il mittente non riceve il messaggio di ACK entro un tempo stabilito ritrasmette il messaggio.

### Go Back N

E' un meccanismo a **finestra**. La trasmissione consente invio multiplo di messaggi. Ogni frame ha un numero identificativo. Il mittente ritrasmette dal frame che è stato perso. La ricezione avviene in sequenza ad ogni modo.

### Selective Repeat

Il mittente ritrasmette solo i frames persi, La sequenza dei tram è mantenuta dal destinatario attraverso un buffer. Per migliorare l'efficienza della linea è possibile l'invio di ACK multipli.

## Affidabilità

Un layer O.S.I. offre un servizio affidabile se garantisce che i dati arrivino correttamente, nel giusto ordine (orientato alla connessione).

## Orientamento della Connessione

L'orientamento della connessione può essere:

- **Connection Oriented**, consta di 3 fasi ovvero: apertura collegamento, trasferimento dati, chiusura collegamento;
- **Connection Less**, l'ordine dei dati non interessa, i dati sono trasmessi senza sapere se il destinatario possa riceverli o meno.

	AFFIDABILE	NON AFFIDABILE
CONNECTION-ORIENTED	Pacchetti corretti e in ordine es. protocollo TCP	Pacchetti in ordine ma possono contenere errori es. broadcast TV
CONNECTION-LESS	Pacchetti corretti e spediti in modo indipendente es. protocolli <b>DataLink</b>	Pacchetti non in ordine, possono contenere errori es. invio di pubblicità

# Layer Network

3	Packets	Network Path determination and IP (logical addressing)
---	---------	---

Si occupa di **consegnare** al destinatario il pacchetto del mittente attraversando reti diverse **suddividendo i segmenti** del livello transport **in pacchetti**. Il compito principale è l'instradamento (**routing**) dei pacchetti da mittente a destinatario scegliendo il percorso migliore.

## Protocollo I.P. (Internet Protocol)

Il protocollo I.P. è il protocollo maggiormente utilizzato nello strato network decidendo **l'instradamento dei datagram**. E' implementato sia da moduli software che risiedono nel sistema operativo dei computer sia in quello dei nodi di rete (router). Provvede al trasferimento dei messaggi fra differenti protocolli data-link. Esistono due **versioni**:

- **I.P.v4**, attiva fino al 2025;
- **I.P.v6**, attiva dal 2004 ma disponibile dal 2008.

Il motivo fondamentale per cui si è passati dalla versione 4 alla versione 6 è quella di permettere a tutti i dispositivi la possibilità di essere tutti connessi contemporaneamente. Attualmente non è possibile a tutti i dispositivi di avere un I.P. pubblico.

Fornisce un servizio **connection-less** e **non affidabile** dei pacchetti (**demandata al layer transport**):

- i pacchetti possono seguire percorsi diversi;
- il percorso per ogni pacchetto è calcolato dinamicamente;
- NON viene richiesta la conferma di ricezione dei pacchetti (no I.P. ACK), l'affidabilità è demandata al livello transport.

Indirizzi I.P. sono **indirizzi logici** composti da 32bit (I.P.v4) che identificano in modo **univoco** ciascuna stazione sulla rete e sono composti da due parti (network ID e host ID). Gli I.P. pubblici sono assegnati da un autorità centrale (N.I.C. ovvero **Network Information Center**). Sono unici a livello mondiale. L'I.P. può essere statico o dinamico (noleggiato per un determinato periodo di tempo).

Vengono scritti convenzionalmente nella **notazione decimale puntata**, perciò 4 numeri decimali (0-255) separati da punti.  
1.2.3.4

I.P. supporta l'indirizzamento **unicast**, **multicast** e **broadcast**.

Sono suddivisi in **5 classi** a seconda della porzione assegnata alla rete (network ID) e di conseguenza agli host (host ID).

Classe	Bit per la rete	Primi bit	Valori	Bit effettivi per la rete	Numero di reti	Bit per l'host	Numero di host
A	8	0	da 0 a 127	7	126	24	16.777.214
B	16	10	da 128 a 191	14	16.384	16	65.534
C	24	110	da 192 a 223	21	2.097.152	8	254

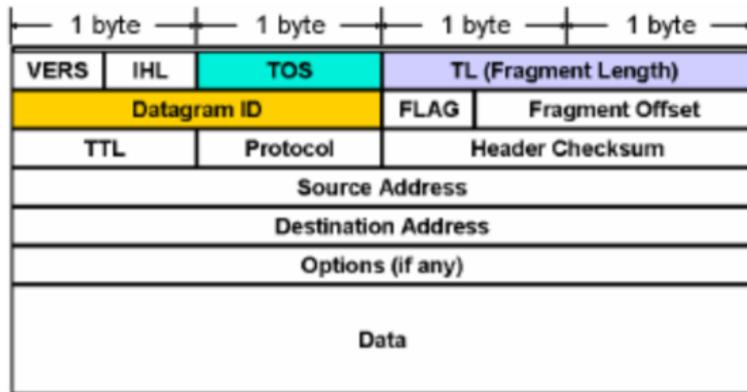
Classe	Intervallo di indirizzi host
A	Da 1.0.0.0 a 127.255.255.255
B	Da 128.0.0.0 a 191.255.255.255
C	Da 192.0.0.0 a 223.255.255.255
D	Da 224.0.0.0 a 239.255.255.255
E	Da 240.0.0.0 a 255.255.255.255

Gli indirizzi I.P. del protocollo I.P.v4 con il tempo hanno cominciato a scarseggiare perciò è stato introdotto il servizio N.A.T. (**Network Address Translation**). Il servizio utilizza un dispositivo con la funzione di **gateway** (router per reti locali e pubbliche), il quale permette di collegare due reti informatiche di tipo diverso riutilizzando gli I.P.. Il router infatti ha 2 indirizzi I.P. uno pubblico e uno privato (locale) entrambi **unici all'interno della stessa rete**. Nel momento in cui un dispositivo vuole collegarsi a internet, l'informazione passa per il router (l'unico nodo della rete locale che permette di collegarsi alla rete di livello superiore), il quale toglie l'I.P. locale e lo sostituisce con l'I.P. pubblico. Con l'I.P. pubblico il dispositivo partecipa alla rete di livello superiore (I.S.P. **I**nternet **S**ervice **P**rovider). Questo procedimento viene ripetuto fino ai server di livello metropolitano, nazionale, continentale poiché sono viste come reti separate.

Sono previsti dei campi riservati per applicazioni speciali:

- 10.0.0.0 - 10.255.255.255
- 172.16.0.0 - 172.31.255.255
- 192.168.0.0 - 192.168.255.255 (Classe C rete domestica)
- **0.0.0.0** equivale ad un indirizzo I.P. non specificato è utilizzato per **richiedere** ad un server D.H.C.P. un indirizzo **I.P. dinamico**;
- 127.x.x.x utilizzato per loop locali per verificare, tramite I.C.M.P., se la suite T.C.P./I.P. è installata correttamente in un computer.

## Pacchetto I.P.



- **T.O.S.** ovvero **Type Of Service**
- **T.L.** ovvero **Total Length** identifica lunghezza campo dati
- **Datagram Identification** è un identificativo che è comune a tutti i frammenti che appartengono a quel particolare messaggio.
- **Fragment Offset** identifica che pezzo del messaggio è.
- **T.T.L. ovvero Time To Live** è un pacchetto di 1byte. Essendo il percorso deciso dinamicamente non è dato sapere quale percorso farà. Si crea un problema se il pacchetto gira su una rete che forma dei loop, nel momento in cui si crea un loop il pacchetto va in circolo all'interno della rete non morendo mai. Per evitare la saturazione della connessione si utilizza questo campo dati che ha un determinato valore. Ogni nodo che legge e rimanda il pacchetto il valore T.T.L. viene decrementato di 1.
- **Header Checksum** per verificare la correttezza dei campi I.P. che ci sono prima
- **Source Address** il nodo che ha generato il datagram.
- **Destination Address**

## Subnetting

Le **classi** degli indirizzi possono **determinare uno spreco** di indirizzi nel caso in cui si volesse segmentare la rete in un determinato modo (in classe C 2097152 reti ma con un massimo di 254 host). Inoltre c'è un **aumento della complessità** delle tabelle di routing dei router principali all'aumentare del numero di reti. Si cerca appunto una **gestione più flessibile**. Attraverso il **subnetting** è permesso una **suddivisione dell'indirizzo I.P.** nelle due parti estendendo la parte di network ID a discapito dell'host ID. Questa suddivisione è specificata attraverso una subnet mask.

## Subnet Mask

E' una stringa di 32bit (IPv4), i primi N bit sono posti a 1 e sono riferiti al network ID mentre i rimanenti 32. N bit sono posti a 0. Le notazioni utilizzate sono due:

- Riportando accanto all'indirizzo I.P. il numero di 1 consecutivi che essa contiene;
- Con la notazione decimale puntata usata per gli indirizzi I.P.

10.4.2.1/16  
10.4.2.1 255.255.0.0

00001010	0000100	00000010	0000001	Indirizzo I.P.	10.4.2.1
11111111	11111111	00000000	00000000	Subnet Mask	255.255.0.0
00001010	0000100	00000000	00000000	Indirizzo I.P. Subnet	10.4.0.0

Il funzionamento della subnet mask è descritta di seguito:

- AND logico fra la **subnet mask** e il **proprio** indirizzo **I.P.**;
- AND logico tra la **subnet mask** e l'indirizzo **I.P. di destinazione**.

Se il risultato delle operazioni è identico invia il pacchetto nella rete locale indirizzandolo con l'indirizzo di rete locale del destinatario (se non conosce tale indirizzo userà il protocollo ARP per trovarlo);

Se il risultato delle operazioni è differente significa che il computer destinatario non appartiene alla rete locale, e il pacchetto verrà trasmesso al gateway (router) della rete locale affinché lo instradi verso la rete remota che contiene il computer destinatario.

## Protocollo I.C.M.P. ovvero Internet Control Message Protocol

Sempre un protocollo del layer network.

Permette di **monitorare la rete** (debug) **comunicando errori** e insuccessi **del routing** dei pacchetti. Le principali funzioni sono:

- Verificare la configurazione e la raggiungibilità di un nodo (comando **ping**);
- Avvertire il mittente di rallentare l'invio dei pacchetti per congestione del traffico;
- Re-instradare il traffico;
- Avvertire della scadenza del pacchetto, il campo T.T.L.=0;
- Verificare il percorso del pacchetto (comando **tracert**).

## Protocollo A.R.P. ovvero Address Resolution Protocol

Si occupa di mappare l'indirizzo I.P. noto al mittente nell'indirizzo M.A.C. del destinatario. Ogni scheda di rete è munita di un modulo A.R.P. in cui è contenuta una tabella detta **cache A.R.P.** con memorizzate le **corrispondenze** indirizzo **I.P.** - indirizzo **M.A.C.**. Il protocollo A.R.P. è implementato solo per il protocollo I.P.v4.

Per la costruzione della tabella cache A.R.P. avviene quanto segue:

- A emette un messaggio A.R.P. request di tipo broadcast con indirizzo I.P. di B.
- B riconosce il suo I.P. ed invia un messaggio A.R.P. reply contenente il proprio indirizzo M.A.C.

Esistono **varianti** di A.R.P. ad esempio **R.A.R.P.** (**R**everse **A**ddress **R**esolution **P**rotocol) il quale permette di conoscere il proprio I.P. conoscendo il proprio M.A.C..

I.P.v4	I.P.v6
32bit	128bit
Rappresentazione con cifre decimali	Rappresentazione con cifre esadecimali
Configurazione statica / D.H.C.P.	Configurazione automatica
Protocollo A.R.P.	Protocollo N.D.P.
Protocollo I.C.M.P.	Protocollo M.L.D.
Campo T.T.L.	Campo Hop Limit

# Layer Transport

4	Segments	Transport End to End connections and reliability
---	----------	---

Si occupa di effettuare una consegna affidabile attraverso il protocollo **T.C.P.**, corregge e ordina i dati contenuti nei pacchetti I.P.. Svolge la funzione di instradare il messaggio al corretto processo che lo ha richiesto. Riordinare e unire i dati nei pacchetti I.P. in **P.D.U.** dette **segmenti**. Controllo di flusso della connessione (end-to-end).

	AFFIDABILE	NON AFFIDABILE
CONNECTION-ORIENTED	Pacchetti corretti e in ordine es. <b>protocollo TCP</b>	Pacchetti in ordine ma possono contenere errori es. broadcast TV
CONNECTION-LESS	Pacchetti corretti e spediti in modo indipendente es. protocolli DataLink	Pacchetti non in ordine, possono contenere errori es. <b>protocollo UDP</b>

## Protocollo T.C.P. ovvero Transmission Control Protocol

E' un protocollo di livello transport che si occupa di gestire la connessione.

### Connection-oriented

Viene stabilita una connessione virtuale prima di ogni trasferimento di dati

Il programma utente riceve un avviso se la connessione non viene stabilita o se viene interrotta

### Affidabile

Il ricevitore segnala la ricezione dei dati (T.C.P. ACK)

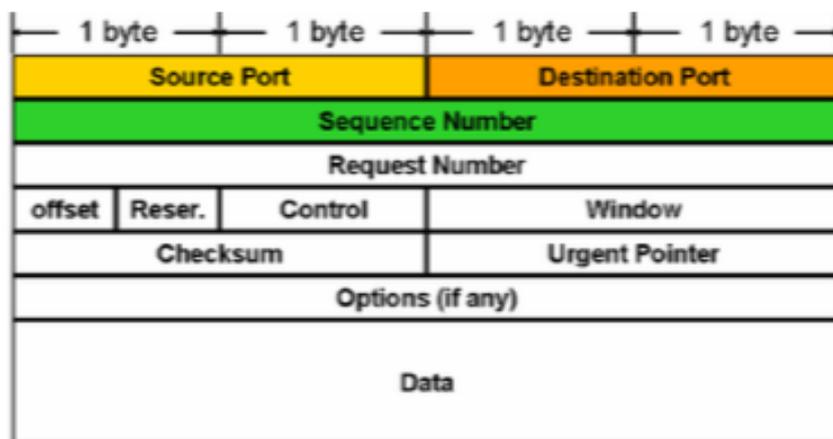
Se il trasmittente non riceve l'acknowledgement entro un tempo specificato, i dati vengono ritrasmessi (go-back-n, selective repeat)

### Gestione a flusso

Il trasferimento è visto come un flusso continuo (stream) di bytes

L'applicazione ai livelli superiori non deve frammentare il messaggio

## Segmento T.C.P.



- **Source Port** il numero di porta del mittente.
- **Destination Port** il numero di porta del destinatario.
- **Sequence Number**
- **Request Number** indica quanti byte sono stati ricevuti correttamente.
- **Offset** segnale l'inizio del campo dati.
- **Reserved** riservati per usi futuri.
- **Control**
- **Window** indica il numero di dati che il trasmittente è in grado di ricevere.
- **Checksum** valore numerico utilizzato per la rilevazione degli errori.
- **Urgent Pointer**

# Comunicazione

Le porte sono l'oggetto astratto che permette ad un software di passare dati allo strato di trasporto (T.C.P. o U.D.P.). L'utilizzo delle porte permette al protocollo T.C.P. di gestire connessioni multiple. Il segmento T.C.P. utilizza 16bit per mappare le porte, numerate da 0 a 65536.

192.168.1.1:80

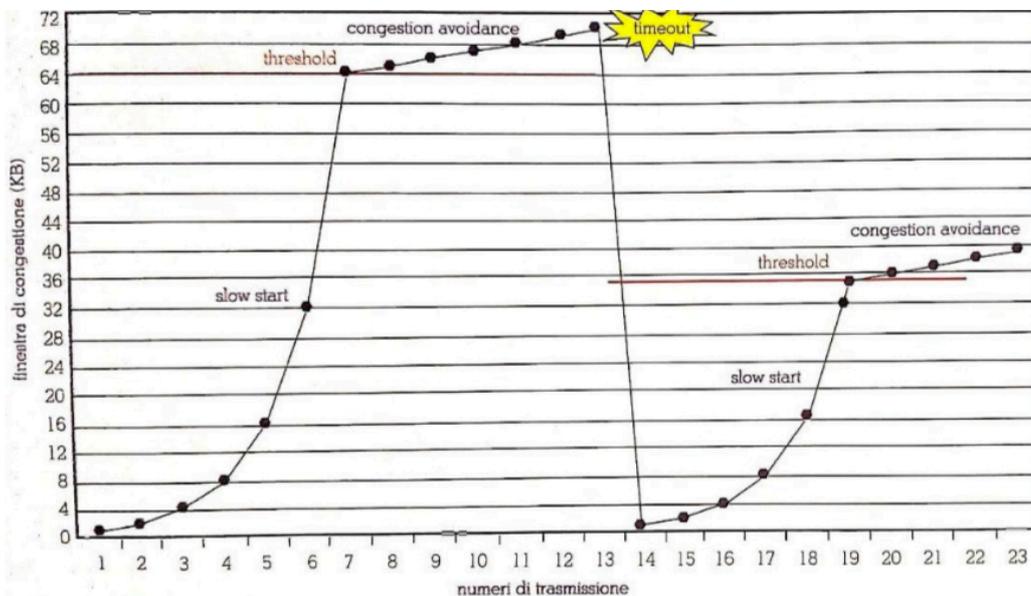
Alcune porte sono riservate per alcuni protocolli applicativi (inferiori a 1024):

- Porta **80** per il protocollo **H.T.T.P.**;
- Porta **23** per il protocollo **F.T.P.**;
- Porta **22** per il protocollo **S.S.H.**;
- Porta **25** per il protocollo **S.M.T.P.**

L'applicativo scrive il messaggio in un speciale **buffer (socket)** che viene gestito direttamente dal protocollo di trasporto, aggiungendovi le informazioni necessarie alla connessione.

## Gestione della Congestione

Il protocollo T.C.P. **aggiusta la velocità** di connessione **dinamicamente** aumentando gradualmente il flusso di bit. Vi sono 2 algoritmi: il primo di crescita esponenziale (**slow start**) e uno di crescita lineare (**congestion avoidance**). Entrambi sono regolati da una soglia che varia a seconda del traffico nella rete. All'invio del segmento TCP imposta un timer e se non riceve il messaggio di ACK deduce che ci sia stata una congestione di rete; la velocità torna a 0 e riparte un nuovo ciclo di gestione. Per evitare una successiva congestione la soglia (**threshold**) viene posta a metà.



## Protocollo U.D.P. ovvero User Data Protocol

Come il T.C.P., U.D.P. è un protocollo di livello transport tuttavia è:

### Connection-less

I pacchetti sono trasmessi in modo indipendente, senza gestione della connessione e congestione.

### Non affidabile

Il ricevitore NON segnala la ricezione dei dati

### Minimale

Header ridotto (maggiore efficienza dei segmenti)

Controllo degli errori ridotto

Il segmento U.D.P. è detto **datagram**.

## Datagram U.D.P.

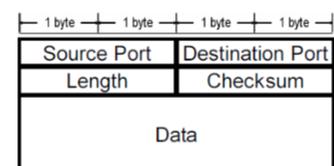
**Source Port** il numero di porta del mittente.

**Destination Port** il numero di porta del destinatario.

**Length** è la lunghezza del campo dati

**Checksum** codice di rilevazione e correzione degli errori.

**Data** ovvero il campo dati



# Layer Application

7	Data	Application Network process to application
---	------	---

E' l'unico layer che **non aggiunge informazioni** aggiuntive al messaggio quando lo passa al layer inferiore della pila. Fornisce un **interfaccia** tra le applicazioni all'interno del nodo e la rete **ospitando** una grande varietà di protocolli detti **servizi internet**. Questi servizi sono utilizzabili attraverso la connessione e iterazione con la rete internet. Ogni servizio internet ha come riferimento uno o più protocolli.

Alcuni servizi internet:

- Trasferimento di file;
- Navigazione web;
- Invio e ricezione posta elettronica;
- Assegnazione indirizzi I.P.;
- Messaggistica;
- Condivisione remota del desktop;
- ...

## F.T.P. ovvero File Transfer Protocol

Gestisce il **trasferimento di file** attraverso la rete internet (modello client-server).

- Connessione ad un nodo remoto della rete
- Visualizzazione remota degli archivi del nodo server
- Trasferimento bidirezionale di file
- Accesso protetto al server (necessaria login e password)
- Un nodo server accetta più richieste contemporaneamente.

Esistono due modalità di funzionamento:

- **Attiva**, il server inizia la trasmissione dati verso il client;
- **Passiva**, il client inizia la trasmissione dati verso il server.

## H.T.T.P. ovvero HyperText Transfer Protocol

Gestisce il **trasferimento di risorse web** attraverso la rete internet (modello client-server).

- Le richieste al server sono dette **request**
- Ne client ne server tengono traccia delle informazioni scambiate (questo potrebbe avvenire a livello applicativo);
- Esistono varie versioni del protocollo (1.0 fino a 5)
- L'unità fondamentale del protocollo è il messaggio composta da header + body (dati)

Ad un server possono essere fatte più richieste:

- **GET** richiede al server una risposta
- **POST** invio di dati dal client al server
- **PUT** memorizza una risorsa sul server all'URL
- **DELETE** cancella dal server la risorsa all'URL dato

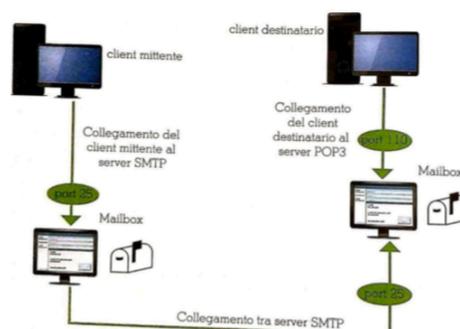
Gli errori sono segnalati con codici numerici: 404 equivale a pagina non trovata.

## S.M.T.P ovvero Simple Mail Transfer Protocol

Protocollo che permette solamente l'**invio** di posta.

## P.O.P. / I.M.A.P. ovvero Posto Office Protocol / Internet Message Access Point

Protocollo che permette la **ricezione** di posta da un server con nome utente e password.



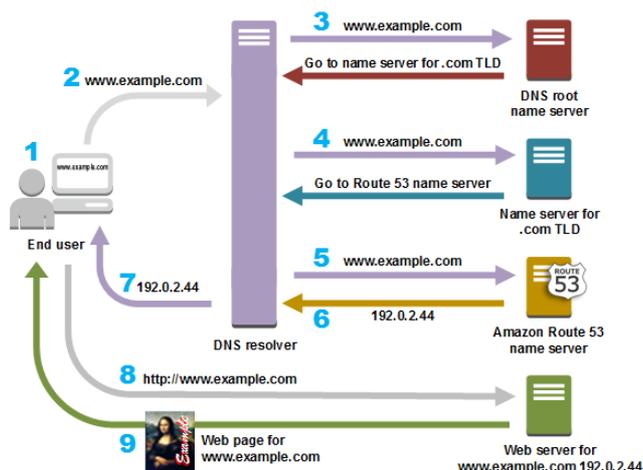
## D.H.C.P. ovvero Dynamic Host Configuration Protocol

Protocollo per la configurazione dinamica degli I.P. in una rete. Deve essere presente **un solo server D.H.C.P.** nella rete, **solitamente** tale funzione è integrata nel **router**. Il server noleggia al client un indirizzo I.P. per un certo tempo pre-impostato. Se il server risulta offline il client si assegna un Ip nel range riservato e prova a contattare il server DHCP ogni 5 minuti.

## D.N.S. ovvero Domain Name System

Protocollo che permette di assegnare dei **nomi ai nodi della rete**. I nomi dei siti (**da destra a sinistra**) sono organizzati ad albero.

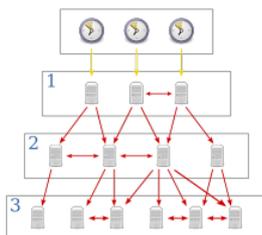
www.miosito.its.it(.)  
.(root) -> it (dominio) -> its (sottodominio) -> miosito (hostname) -> porta 80 (www)



La consultazione dei server DNS è pubblica e gratuita, l'iscrizione del proprio dominio presso servizio D.N.S. solitamente è a pagamento. I name servers utilizzano la notazione puntata degli indirizzi per coordinarsi e fornire la risoluzione del nome.

## N.T.P. ovvero Network Time Protocol

E' un protocollo che permette la **sincronizzazione degli orologi** dei computer all'interno di una rete con trasmissione di pacchetti. Si utilizza il modello client-server con datagram U.D.P.. La struttura dei server N.T.P. è gerarchica ad albero con dei rami di compensazione degli errori temporali tra server dello stesso livello. Il livello più alto dei server è sincronizzato direttamente con gli orologi atomici. All'interno di una LAN in condizioni ottimali sincronizza un nodo in 10ms con una accuratezza di  $\pm 200\mu s$ .



## S.S.H. ovvero Secure SHell

Gestisce una connessione crittografia end-to-end tra 2 nodi, comunemente utilizzata per eseguire comandi shell su una macchina remota.

## M.Q.T.T. ovvero MQ Telemetry Transport

Protocollo che permette la trasmissione affidabile con pacchetti di ridotte dimensioni, utilizzato principalmente per l'acquisizione di dati con bassa latenza da sensori remoti e applicazioni IoT.

## R.A.D.I.U.S. ovvero Remote Authentication Dial-In User Service

Gestisce l'autenticazione degli utenti nella rete con il paradigma client-server (es. accesso alle reti Wi-Fi scolastiche, alberghiere e ferroviarie, oltre alla password WPA/WEP gestita dal router).

## T.C.P. vs U.D.P.

caratteristiche	TCP	UDP
dimensione header	20-60 byte	8 byte
messaggio trasmesso in rete	segment	datagram
checksum	sì	opzionale
dimensione della checksum (bit)	16	16
connection-oriented	sì	no
full duplex	sì	sì
trasferimento dati affidabile (reliable)	sì	no
consegna ordinata dei messaggi	sì	no
controllo di flusso	sì	no
controllo della congestione	sì	no
supporto ECN	sì	no
path MTU discovery	sì	no
frammentazione del messaggio inviato dall'applicazione in segmenti da inviare in rete	sì	no
assemblaggio dei dati dei segmenti per ricostruire il messaggio originale	sì	no
consentita la chiusura a metà della connessione	sì	non applicabile

### U.D.P.

Su una rete affidabile o quando non serve garantire l'affidabilità

Quando l'applicazione mette tutti i dati in un singolo messaggio

Quando si vogliono evitare ritardi (bassa latenza)

Quando la ritrasmissione è gestita dall'applicazione (es. sistema hard- real time a bassa latenza)

### T.C.P.

Quando l'applicazione richiede una connessione affidabile.

Quando si deve garantire l'integrità dei dati (es. trasferire files).

Quando è necessario controllare dinamicamente la connessione (es. trasferimento di database)

applicazione	protocollo livello Application	protocollo livello Transport
posta elettronica	SMTP	TCP
accesso a terminale remoto	Telnet	TCP
trasferimento file	FTP	TCP
Web	HTTP	TCP
streaming Audio/Video	RTSP/RTP	TCP (comandi) + UDP (flusso)
server di file remoto	NFS	UDP
telefonata su Internet (VoIP)	SIP, H.323, ...	UDP
gestione della rete	SNMP	UDP
risoluzione dei nomi	DNS	UDP

# IEEE 802

Nello standard 802 sono specificati i protocolli nei due livelli più bassi della pila ISO/OSI, ovvero il **Data Link Layer (D.L.L)** e il layer fisico. La famiglia 802 è dedicata a reti che hanno pacchetti di lunghezza variabile.

Lo standard comprende più gruppi:

- IEEE 802.1 Bridging and Management
- IEEE 802.2 Logical Link Control
- **IEEE 802.3 CSMA/CD Access Method (Ethernet)**
- IEEE 802.4 Token bus (dismesso)
- IEEE 802.5 Token Ring
- IEEE 802.6 DQDB - Distributed Queue Dual Bus (dismesso)
- IEEE 802.7 Broadband TAG (dismesso)
- IEEE 802.8 Fiber Optic TAG (dismesso)
- IEEE 802.9 Integrated Services LAN (dismesso)
- IEEE 802.10 Interoperable LAN Security (dismesso)
- **IEEE 802.11 Wireless local area network**
- IEEE 802.12 demand priority
- IEEE 802.13 (non utilizzato)
- IEEE 802.14 Cable modem (dismesso)
- IEEE 802.15 Wireless personal area network
- IEEE 802.16 WiMAX - Broadband wireless access
- IEEE 802.17 Resilient packet ring
- IEEE 802.18 Radio Regulatory TAG
- IEEE 802.19 Coexistence TAG
- IEEE 802.20 Mobile Broadband Wireless Access
- IEEE 802.21 Media Independent Handoff
- IEEE 802.22 Wireless Regional Area Network

## IEEE 802.3 (Standard Ethernet)

802.3 offre grande flessibilità nella scelta della topologia di una LAN.

### Livello Fisico

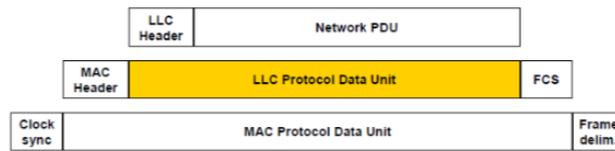
Il livello fisico prevede esclusivamente trasmissioni via cavo a velocità di **10, 100, 1000Mbps** su cavi coassiali, T.P. e fibre ottiche. Queste caratteristiche sono riassunte in **acronimi per le varie implementazioni** del livello fisico del tipo: NBaseA. Dove:

- **N** indica la velocità (bandwidth) di trasmissione teorica (5, 10, 100, 1000);
- **Base** indica che l'implementazione opera in banda base (NON c'è modulazione);
- **A** è una sigla legata al tipo di mezzo trasmissivo (**T** 100m, **2** 185m, **5** 500m, **LX** 5km, **ZX** 70km, **CX** 25m).

Date	IEEE Std.	Name	Data Rate	Type of Cabling
1990	802.3i	10BASE-T	10 Mb/s	Category 3 cabling
1995	802.3u	100BASE-TX	100 Mb/s*	Category 5 cabling
1998	802.3z	1000BASE-SX	1 Gb/s	Multimode fiber
	802.3z	1000BASE-LX/EX	1 Gb/s	Single mode fiber
1999	802.3ab	1000BASE-T	1 Gb/s*	Category 5e or higher Category
2003	802.3ae	10GBASE-SR	10 Gb/s	Laser-Optimized MMF
	802.3ae	10GBASE-LR/ER	10 Gb/s	Single mode fiber
2006	802.3an	10GBASE-T	10 Gb/s*	Category 6A cabling
2015	802.3bq	40GBASE-T	40 Gb/s*	Category 8 (Class I & II) Cabling
2010	802.3ba	40GBASE-SR4/LR4	40 Gb/s	Laser-Optimized MMF or SMF
	802.3ba	100GBASE-SR10/LR4/ER4	100 Gb/s	Laser-Optimized MMF or SMF
2015	802.3bm	100GBASE-SR4	100 Gb/s	Laser-Optimized MMF
2016	SG	Under development	400 Gb/s	Laser-Optimized MMF or SMF

Original IEEE Standard	Shorthand Name	Informal Names	Speed	Typical Cabling
802.3i	10BASE-T	Ethernet	10 Mbps	UTP
802.3u	100BASE-T	Fast Ethernet	100 Mbps	UTP
802.3z	1000BASE-X	Gigabit Ethernet, GigE	1000 Mbps (1 Gbps)	Fiber
802.3ab	1000BASE-T	Gigabit Ethernet, GigE	1000 Mbps (1 Gbps)	UTP
802.3ae	10GBASE-X	10 GigE	10 Gbps	Fiber
802.3an	10GBASE-T	10 GigE	10 Gbps	UTP
802.3ba	40GBASE-X	40 GigE	40 Gbps	Fiber
802.3ba	100GBASE-X	100 GigE	100 Gbps	Fiber

# Livello Datalink



Diviso in due sottolivelli:

## 1. M.A.C. ovvero Medium Access Control

Ha la funzione di gestire l'indirizzamento (nodo mittente e nodo destinatario) attraverso un indirizzo univoco. Inoltre regola l'accesso al mezzo.

L'indirizzo M.A.C. è composto da 6 bytes: i **primi 3 byte** identificano il **produttore**, i **successivi 3 byte** identificano la **scheda di rete** nel nodo. L'indirizzo M.A.C. è modificabile attraverso software.

0000 0000 : 0000 0000 : 0000 0000 : 0000 0000 : 0000 0000  
1111 1111 : 1111 1111 : 1111 1111 : 1111 1111 : 1111 1111  
FF : FF : FF : FF : FF : FF  
Costruttore : Numerazione scheda

Si 6 byte o 48 bit sono raggruppati attraverso una numerazione a cifre esadecimali a gruppi di due.

Attraverso l'indirizzo M.A.C può essere utilizzato per inviare un messaggio in 3 modi diversi:

- Indirizzo **unicast**, individua un unico indirizzo a cui destinare il messaggio. **08 : 00 : 2B : C4 : BE : F3**
- Indirizzo **multicast**, individua un gruppo di nodi (schede). Ponendo a 1 tutto il campo di byte del produttore vengono individuate tutte le schede di qualsiasi produttore. Quando non ci interessa identificare quel campo esso viene posto a 1. **FF : FF : FF : [0:A]X : XX : XX** -> Non interessa il produttore ma sono individuate solamente le schede aventi come prima cifra tutte le schede comprese tra 0 e A.
- Indirizzo **broadcast**, invia il messaggio a tutti i nodi della rete. Tutti i bit vengono posti a 1. **FF : FF : FF : FF : FF : FF**

Nel M.A.C. Header sono contenuti indirizzo del destinatario, indirizzo del mittente e la versione del protocollo.

## Accesso al Mezzo

Esistono diversi protocolli e algoritmi che consentono di regolare la contesa del mezzo trasmissivo.

### Accesso Master - Slave

Nella rete è presente un unico nodo detto master che regola la trasmissione degli altri nodi detti slave.

### Accesso Bus Arbitrato

Nella rete non ci sono differenziazioni tra i nodi, è presente un meccanismo che regola la contesa in modo autonomo.

Un esempio sono le **reti ad anello** con il passaggio del **pacchetto token**, il quale viene passato in modo circolare tra un nodo della rete ed un altro. Quando il token è ricevuto da un nodo, questo può trasmettere.

Il token può essere generato da un nodo master, nelle reti domestiche c'è un algoritmo che permette di generare un token in modo arbitrario. Nel momento in cui si generano due token questi possono coesistere all'interno di un anello singolo purché il verso di trasmissione sia lo stesso.

### Rilevamento della Portante

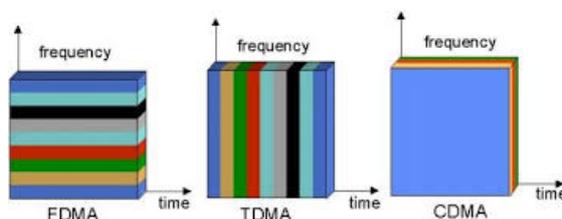
Ogni nodo della rete è in ascolto e quando ritiene che la linea sia libera trasmette. È necessario un meccanismo di gestione delle collisioni. I metodi per evitare le collisioni sono il meccanismo di **T.D.M.A.** e il **C.S.M.A/C.D.**

# T.D.M.A ovvero Time Division Multiple Access

E' un **meccanismo di contesa** in cui ogni nodo detiene il controllo della linea per un certo **tempo**, uguale per tutti. E' utilizzato su reti di tipo master-slave (polling ovvero il master interroga gli altri nodi slave) e nelle reti ad anello. E' un meccanismo inefficiente nel momento in cui i nodi generano traffico non bilanciato e/o ci sono nodi che trasmettono raramente.

# F.D.M.A ovvero Frequency Division Multiple Access

E' una variante del T.D.M.A. in cui più nodi utilizzano contemporaneamente il mezzo ma trasmettono su frequenze diverse. Ogni nodo ha una **frequenza riservata**.



# C.S.M.A/C.D. ovvero Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection

E' una sigla emblematica derivata dall'accostamento di 3 parole.

## Carrier Sense (rilevazione della trasmissione)

- Ogni stazione ascolta il bus e trasmette solo se ritiene sia libero.
- La stazione rimane in ascolto anche mentre trasmette e non appena finisce prova a ritrasmettere.

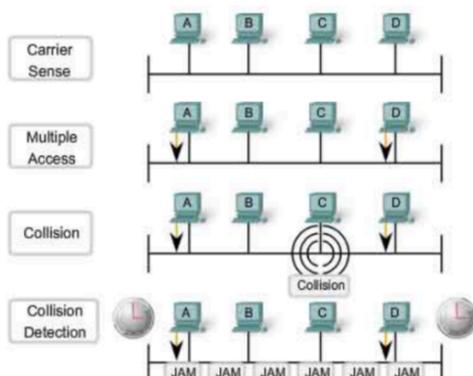
## Multiple Access

- Ogni stazione può trasmettere quando il bus è libero.
- Quando 2 o più stazioni iniziano a trasmettere contemporaneamente si può verificare una collisione a causa del tempo di propagazione del segnale sulla linea non nullo.

## Collision Detection

Le stazioni trasmettenti restano comunque in ascolto e non appena rilevano una collisione trasmettono una **sequenza di jamming**. Il **frame** generato che viene trasmesso in **broadcast**, è **breve** e ogni stazione che lo riceve lo ripropaga a sua volta. Sembra un controsenso ma se anche il pacchetto collide con un altro, essendo lo stesso messaggio non avvengono ulteriori collisioni. Dopo aver ricevuto il messaggio di jamming ogni nodo sa che non dovrà più trasmettere per un tempo definito. C'è un meccanismo di gestione della collisione del traffico che permette di abbassare la velocità di trasmissione al livello di datalink.

Ethernet implementa questa tecnica all'interno di M.A.C.



## 2. L.L.C. ovvero Logic Link Control

Ha la funzione di **controllo del flusso**, **rilevazione degli errori** e loro **eventuale correzione**.

### Controllo di Flusso

Sono degli algoritmi e meccanismi di trasmissione in grado di **regolare la velocità di trasmissione** in modo che il destinatario riesca ad elaborare ciò che riceve. Il destinatario, in seguito alla ricezione del messaggio, invia un pacchetto di risposta detto ACK (Acknowledgement) secondo un meccanismo concordato.

#### Stop and Wait

La trasmissione è ordinata.

3. Il mittente invia un messaggio e imposta un timer.

4. Se il mittente non riceve il messaggio di ACK entro un tempo stabilito ritrasmette il messaggio.

#### Go Back N

E' un meccanismo a finestra. La trasmissione consente invio multiplo di messaggi. Ogni frame ha un numero identificativo. La ricezione avviene in sequenza ad ogni modo.

#### Selective Repeat

Il mittente ritrasmette solo i frames persi, La sequenza dei frames è mantenuta dal destinatario attraverso un buffer. Per migliorare l'efficienza della linea è possibile l'invio di ACK multipli.

### Servizi

#### Unacknowledged Connectionless Service (L.L.C. Type 1)

I pacchetti sono inviati senza ricevere ACK

#### Connection Oriented Service (L.L.C. Type 2)

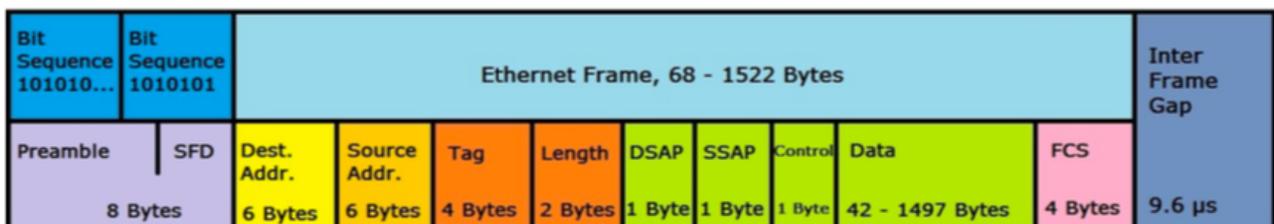
I frame sono corretti e arrivano in ordine.

#### Unacknowledged Connectionless Service (L.L.C. Type 3)

Le sequenze di bit sono inviati appena pronti, si attende la conferma di ricezione.

⚠ E' importante ricordare che il controllo degli errori è fatto su più livelli della pila OSI, tipicamente al livello datalink e transport. Gli errori vengono solitamente corretti appena si presentano.

### Frame Ethernet



- **Preambolo**, permette la sincronizzazione sulla linea trasmissiva (tempo di bit);
- **S.F.D.** (Start **F**rame **D**atafield);
- **M.A.C.** header (dest. address, source address, tag, length);
- **L.L.C.** header (D.S.A.P., S.S.A.P., control);
- **Data** (Network P.D.U.);
- **F.C.S.** (Frame **C**heck **S**equences), tipicamente bit codice di ridondanza ciclica;
- **Inter Frame Gap**, **tempo** standard di separazione fra due frame. Questo tempo è pari a **9.6us**.(in un sistema .C.S.M.A./C.D.).

⚠ Il **campo dati** può essere **variabile** eliminando per esempio le sequenze di byte D.S.A.P e S.S.A.P. del protocollo L.L.C. annotando la dimensione del campo dati e farla corrispondere al F.C.S. sul campo di length.

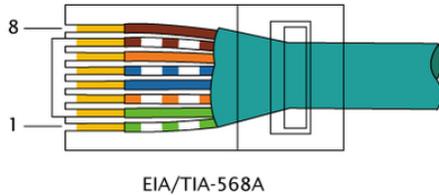
# R.J.45 (Registered Jack 45)

Gli R.J.45 sono connettori a 8 poli 8 contatti (**8P8C**) destinati in particolare per il cablaggio di reti locali secondo gli standard **IEEE 802.3**.

## Standard di Cablaggio EIA/TIA 568

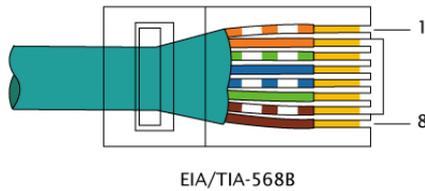
### EIA/TIA 568A

Reti ethernet in America.



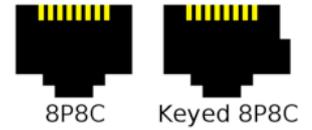
### EIA/TIA 568B

Reti ethernet in Europa.



Cavo **diritto** EIA/TIA 568B - EIA/TIA 568B

Cavo **crossover** EIA/TIA 568B - EIA/TIA 568A utilizzato per connessioni punto punto tra 2 nodi. E per collegare switch in cascata



# Apparati di Rete

Una rete è composta da diversi dispositivi i quali svolgono ognuno una diversa funzione specifica.

## Modem (Layer Fisico)

E' inteso come circuiteria per la linea telefonica/ADSL. Modulatore e de-modulatore.

## N.I.C. Network Interface Controller (Layer Fisico)

Una **scheda di rete** moderna integra al suo interno funzionalità degli strati O.S.I. superiori. Questa contiene la circuiteria per la trasmissione del segnale nel mezzo trasmissivo.

## Ripetitori (Layer Fisico)

Presenti sul mezzo trasmissivo ricevono e ritrasmettono il segnale senza leggerne il contenuto. Vengono utilizzati per poter coprire distanze maggiori su un mezzo trasmissivo che...

## Hub (Layer Fisico)

Hardware di rete che ritrasmette su tutte le porte disponibili il messaggio in arrivo.

## Bridge (Layer Datalink)

Permette di collegare reti diverse con lo stesso protocollo fisico. Utilizzato per le reti con tipologie a bus. Lavorano con indirizzamento M.A.C. anche se esistono altri tipologie di indirizzamento. Elaborazione software dei frames.

## Switch (Layer Datalink)

Permette di collegare reti diverse con lo stesso protocollo fisico. Utilizzato per le reti con tipologie a bus e a stella. Elaborazione hardware dei frame con detection e correzione degli errori.

## Switch Unmanaged

Hanno una funzionalità di autoconfigurazione, essa consiste nell'inviare in broadcast un messaggio al quale i nodi risponderanno.

## Switch Managed

## Router (Layer Network)

Permette di collegare reti con protocolli datalink diversi ma che condividono lo stesso protocollo network. Il router è un computer dedicato con 2 schede di rete (protocolli datalink diversi LAN, WAN). Modem attualmente è integrato al router, uno per ogni standard (Ethernet, WAN, Wi-Fi)

Elabora i pacchetti via software fino allo strato network.

Memorizza e gestisce la tabella di routing.

Memorizza temporaneamente i dati in transito.

## Firewall

E' un componente di difesa perimetrale di una rete informatica, originariamente passivo, che può anche svolgere funzioni di collegamento tra due o più segmenti di rete.

La zona demilitarizzata è una rete protetta da firewall ma isolata dalla rete interna.

# Reti Industriali

E' un tipo di **rete** adatta all'utilizzo negli **ambienti** e nelle **attività industriali**, quindi le apparecchiature devono avere determinate particolarità in base all'impianto che sta intorno (fonderia). E' fondamentale che una rete industriale debba soddisfare particolari requisiti di sicurezza (**safety** riguardo la sicurezza **operativa** e **security** solitamente relegato a garantire che i dati non vengano rubati) operativa:

- **Determinismo**, i protocolli devono garantire **l'esecuzione delle operazioni** in modo **prevedibile**;
- **Robustezza agli errori**, i protocolli devono garantire una capacità di rilevamento e correzione migliori di una rete domestica. Indica la **probabilità** che un **errore si verifichi**, generalmente il layer che interessa le reti industriali è il datalink e di conseguenza si parla di frame. Vengono controllati i pacchetti inviati, i persi e i corrotti, di questi corrotti successivamente ci interessa capire quanti errori ci sono. Questo permette di fare una stima sulla probabilità. Nelle reti industriali tipicamente **l'ordine di grandezza** della probabilità varia tra **10<sup>-6</sup>** e **10<sup>-9</sup>**. Questo si ottiene attraverso protocolli di rilevazione e correzione degli errori più avanzati (in generale più bit di ridondanza).
- **Garantire requisiti temporali**, i messaggi devono essere consegnati entro un tempo prestabilito (applicazione real-time).

Applicazioni:

- Automazione di processi produttivi;
- Monitoraggio di impianti e sistemi di sicurezza operativa (safety);
- Domotica e robotica industriale;
- **Smart grid** (gestione attraverso la rete elettrica di distribuzione).

Una rete industriale si può ramificare e suddividere in vari livelli, possono coesistere sistemi diversi con funzioni diverse. Quindi la coesistenza di vari tipi di rete.

Negli impianti industriali l'organizzazione è gerarchica piramidale.

- **L1 (Field)**, comprende sensori e attuatori;
- **L2 (I/O)**, comprende moduli che gestiscono il livello L1;
- **L3 (Control)**, comprende i controllori (PLC) e la logica di gestione diretta dei sensori e attuatori;
- **L4 (H.M.I.)** comprende i dispositivi che permettono l'integrazione con l'operatore (fuori dal livello di controllo);
- **L5 (Management)**, comprende i sistemi di gestione dei dati di processo.

La rete in questo modo si può suddividere in 3 grandi classi:

- Bus di campo (**fieldbus**), implementa la comunicazione tra sensori e moduli gestori dell'I/O;
- Bus di controllo (**control bus**), implementa la comunicazione con il livello superiore, ovvero tra gli I/O e i controllori veri e propri;
- Rete aziendale (**enterprise**), permette la gestione dei controllori dalle postazioni interne dell'azienda o remote.

I bus di campo e controllo sono caratterizzati da messaggi con pochi dati, alta cadenza e alta robustezza. E' richiesta la consegna dei messaggi entro un certo tempo.

Le reti enterprise sono caratterizzate da messaggi voluminosi, minor cadenza e minore richiesta di determinismo.

## Real Time

Per real-time si intende la consegna del messaggio rispettando un requisito temporale stabilito entro il quale il messaggio è utile. Si suddivide in:

- **Hard real-time, requisito temporale critico** nel quale la perdita di messaggi potrebbe causare **situazioni di pericolo** per cose o persone.
- **Soft real-time, requisito temporale non critico** nel quale i messaggi persi potrebbero causare malfunzionamenti ma non situazioni di pericolo.

I tipi di messaggio in base alla richiesta dei messaggi si suddividono in:

- Messaggi **periodici** (lettura sensori, comando attuatori);
- Messaggi **aperiodici** (comandi operatore);
- Messaggi **sporadici** sono caratterizzati da essere rari ma hanno vincoli hard real-time. A questi viene riservato un canale prioritario.

Gli effetti degli errori durante la trasmissione sono:

- Pacchetti mancanti o missed (pacchetti che non sono arrivati in tempo);
- Pacchetti persi o lost (pacchetti scartati poichè corrotti);
- Ritardo delay quando tra l'invio e la ricezione dei pacchetti avviene un certo ritardo.

I punti critici della comunicazione real time riguardano:

- Le applicazioni.
- L'accesso al canale.
- La linea di trasmissione.

Per imporre il determinismo si esegue un processo di stima temporale (profiling), per verificare la qualità della linea e i tempi di latenza tra i vari nodi.

In accoppiata alla stima temporale c'è lo scheduling (lettura sensori -> regolazione -> attuazione).

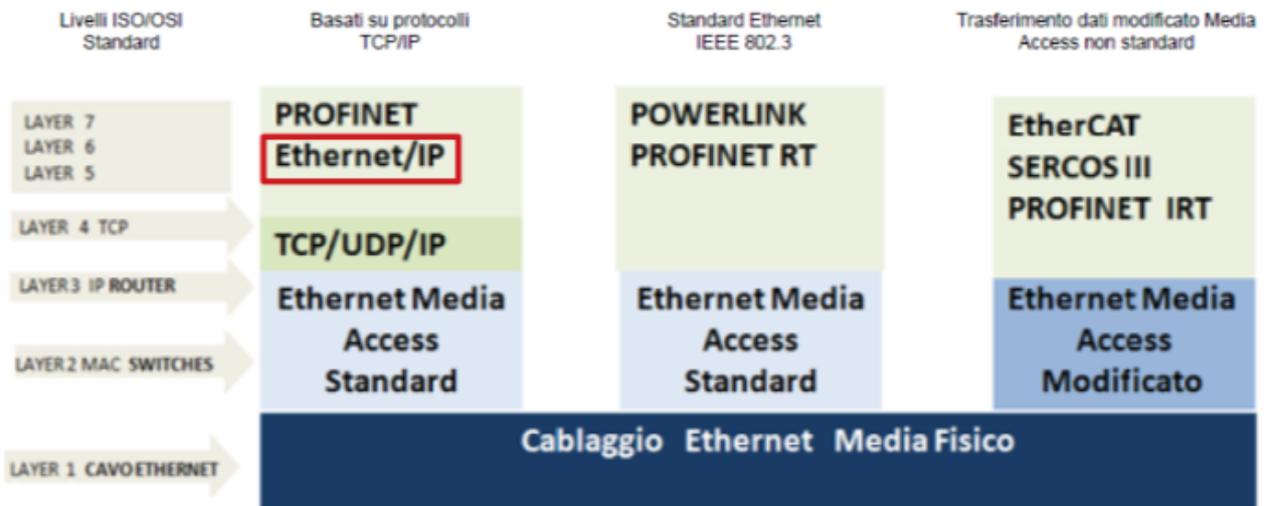
## Scheduling

Lo **scheduling** in particolare permette di disporre le attività in una sequenza logica. Per attuare lo scheduling è necessario:

- Sapere a priori il **tempo di esecuzione** di un task, lo si può fare attraverso un ciclo di scansione (profiling) per sapere in quanto tempo viene eseguito. Inoltre sappiamo ogni quanto deve essere definito.
- Sapere la priorità dei task;
- Algoritmi di ordinamento delle attività;
- Priorità più alta ai processi più brevi.

E' buona pratica riservare un certo margine di inattività per garantire l'esecuzione dei processi sporadici o momentanei rallentamenti.

## Pila O.S.I.



Anche le reti industriali sono modellate sulla pila O.S.I., tuttavia richiedono una gestione efficiente del messaggio:

- Basso overhead
- Determinismo
- Integrazione dello scheduling nei protocolli di comunicazione

Pila ridotta per reti field-bus (3 layer).

Pila per reti control-bus implementa 3 layers + 2 opzionali (network e transport) a seconda dei servizi richiesti.

IEC 61783: reti field-bus per uso industriale

IEC 61158: definizione delle **C**ommunication **P**rofile **F**amilies (C.P.F.) la quale implementa 2+ layer (non è un protocollo poiché questo implementa 1 solo layer).

Ci sono standard diffusi ma non ancora normati come ad esempio **modbus** (di cui ne esistono diverse varianti), **CANOpen** (C.P.F. basata su standard open source)...

# Fieldbus

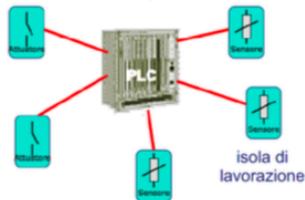
E' una **rete** di comunicazione **bidirezionale multiutente** tra nodi dei livelli **L1** (sensori e attuatori) e **L2** (I/O) di tipo L.A.N..

- Permette il passaggio da controllo centralizzato a controllo distribuito;
- Risparmio di cablaggio;
- Gestione diretta degli smart-sensor.

Le famigli normate più diffuse nel mondo dell'automazione di processo sono: Foundation Fieldbus (F.F.) e PROFIBUS.

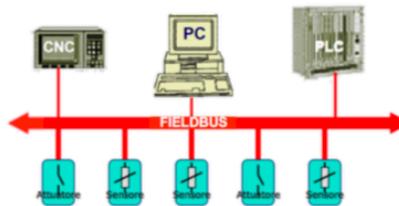
## architettura tradizionale

- 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



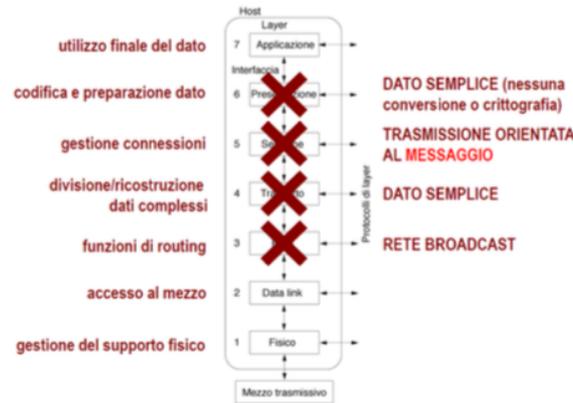
Serial Number	Variable	4-20 mA System	Fieldbus System
1	Number of field devices per wire	1	Max. 32
2	Signal/data	1	Up to thousands
3	Power supply over the wires	Yes	Yes
4	Signal degradation	Yes	Managed with terminators
5	Failure analysis	By human intervention	Reported at HMI
6	Max. run length	2000 m with proper cables and power supply	1900 m, extendable to 5700 m with repeaters
7	Field device interchangeability	Yes	Yes
8	Intrinsic safety	Yes, more barriers needed	Yes, less barriers needed
9	Control in the field	No	Yes
10	Device failure notification	Very limited	Extensive
11	Networking of field devices	No	Yes

# Pila O.S.I. per Reti Fieldbus

La pila O.S.I. con 7 livelli è troppo onerosa per applicazioni Fieldbus poiché:

- **Livelli intermedi non sono necessari:** in quanto la rete fieldbus è **paragonabile** a una **rete fisica limitata** con 1 o più PLC di macchina e successivamente i drive di I/O e sensori e attuatori (L1 L2 L3), quasi mai interessa operare con sensori di un'altra macchina, quindi il livello network non è implementato (solo nel caso di P.L.C. di impianto e dispositivi L2 e L3 ma questo è il livello superiore di control-bus).
- **Overhead,** si vogliono pochi bit aggiuntivi su bit totali del messaggio, spesso i messaggi in un impianto industriale sono comandi o letture singole di un sensore perciò non è richiesto un campo dati molto esteso. Si riducono i bit aggiuntivi per incapsulamento.
- E' necessaria un'estensione di **accesso al mezzo** (M.A.C.) con vincoli **real-time**.

La pila viene ristretta a soli 3 layer (livello fisico, livello datalink e livello application).



## Tipi di Reti

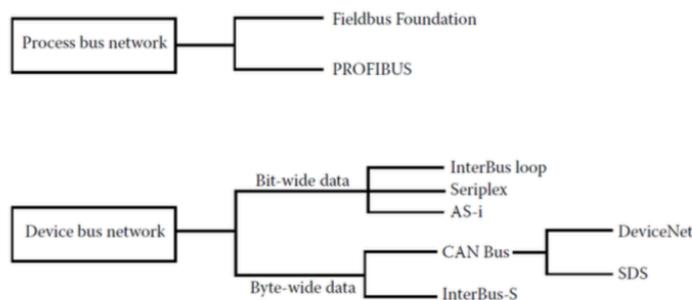
### Reti device-bus

Si interfacciano con dispositivi dotati di **informazioni a basso livello** (stato relè, pulsanti...). L'informazione è modificabile in modo digitale e il **bit rate è basso**:

- **Reti bit-wide**, il messaggio può contenere fino a 8bit;
- **Reti byte-wide**, il messaggio può contenere fino a 50+byte.

### Reti process-bus

Si interfacciano con dispositivi ad alto contenuto informativo (valvole di controllo, sensori smart, strumenti di misura) e generalmente il segnale trasmesso è analogico (in seguito digitalizzata).



## Topologia

- **Punto punto;**
- **Albero;**
- **Multi-drop** (bus con derivazioni), composto da un modulo di I/O, un bus unico e per ogni dispositivo una terminazione e in generale ai capi della linea.
- **Daisy-chain** (a stella dove per ogni ramo ci sono dispositivi in serie), questa topologia viene sfruttata per avere una sicurezza intrinseca in più.
- Topologia mista.

Ogni **estremità** delle reti a bus **richiede** di un **terminatore**, composta da un'impedenza R.C. pari all'impedenza caratteristica  $Z_0$  della linea, questo viene fatto per mitigare riflessioni di segnali sulla linea elettrica.

# Modelli di Comunicazione

## Modello Client-Server

Comunicazione con conferma di ricezione e solamente tra 2 nodi (**unicast**).

## Modello Produttore-Consumatore

Comunicazione **senza conferma di ricezione**, il produttore propaga il pacchetto su tutta la linea (broadcast).

## Modello Publisher-Subscriber

Comunicazione senza conferma di ricezione dove ci sono uno o più editori, il publisher (a turno con gli altri) invia il pacchetto alle sole stazioni abbonate con pacchetti **multicast** (come avviene per M.Q.T.T. in cui c'è il broker è l'intermediario e conosce gli indirizzi dei Publisher e ha una lista degli abbonati).

Supponiamo che un simbolo elettrico (baud) sia un bit.

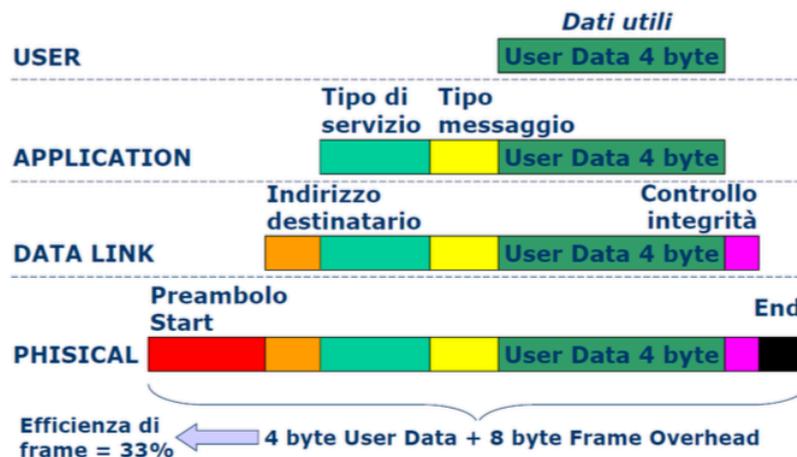
**Throughput = bit utili trasmessi  
nell' unità di tempo**

**Velocità di  
trasmissione = bit al  
secondo (BAUD)**

$$\tau = \varepsilon \times v$$

**L'efficienza complessiva, dipende da:**

- Efficienza dell' incapsulamento o frame overhead
- Modalità di accesso al bus
- Tecnica di indirizzamento e modelli di comunicazione



# C.A.N. ovvero Controlled Area Network

C.A.N. o più comunemente C.A.N.bus è una **famiglia di protocolli** (C.P.F.) che regolamentano la trasmissione al livello **fisico e datalink** dei messaggi. Tutti i messaggi sono **broadcast** seguendo il modello produttore-consumatore. Ogni messaggio contiene un **ID** (non implementa M.A.C.) che **identifica il mittente**. Essendo i messaggi di tipo broadcast il frame datalink non ha bisogno di identificare il destinatario. Ogni nodo ricevente può elaborare o ignorare il messaggio. La gestione delle **collisioni** avviene **con priorità** ovvero se 2 messaggi collidono nella line di trasmissione, il messaggio a **priorità più alta sovrasta** il messaggio con **priorità più bassa** (avviene attraverso un trucchetto con le linee elettriche). Tipicamente il C.A.N.bus nasce per lo scambio di messaggi tra microcontrollori e sensori. Attualmente esistono convertitori C.A.N.-Industrial Ethernet, oltre che apparati di rete come switch/bridge e router. Il C.A.N.bus viene normato (ISO 11898) ed è utilizzato in applicazioni di tipo **automotive, mezzi agricoli, aeronautica, automazione, pedalata assistita...** Esistono diverse versioni del protocollo.

Nel 1996 è supportato dallo standard automobilistico diagnostico (O.D.B.II). Nel **2008** C.A.N.bus **diventa obbligatorio** e per questa ragione è molto diffuso. Tipicamente in un automobile esistono 20-30 nodi con 2-3 linee C.A.N.bus.

Ogni nodo possiede 3 componenti:

- **Trans-ceiver** (transmitter receiver) gestisce i livelli elettrici della comunicazione (livello più basso coopera con il collegamento fisico della rete).
- **Controller** gestisce l'accesso al mezzo e il controllo dei pacchetti;
- **Processing unit**, applicazione del micro controller che interpreta direttamente i messaggi.

## Pila O.S.I.

Layer OSI	Later CAN	Funzioni
Datalink (LLC)	Object	Filtraggio e gestione dei messaggi
Datalink (MAC)	Transfer	Error detection, ACK, Routing, controllo della velocità e del bit timing, arbitraggio
Fisico	Fisico	Segnalazione

## Strato Fisico

Allo strato fisico la trasmissione avviene su 4 conduttori (**Vcc, GND, CAN-H, CAN-L**), non è previsto però alcuno standard meccanico del connettore. La trasmissione è digitale su 2 livelli di tensione, più tensione di **bias** (2.5V) sul bus. La tensione di bias permette di capire immediatamente se il dispositivo è collegato o meno dalla rete.

La codifica di linea è di tipo N.R.Z. con la seguente notazione:

- Bit 1 (simbolo recessivo) è codificato mantenendo il bus alla tensione di bias;
- Bit 0 (simbolo dominante) è codificato compiendo una **transizione positiva** su CAN-H e **contemporaneamente** una **transizione negativa** su CAN-L.

La trasmissione in questo caso è bilanciata in questo modo la robustezza del segnale è elevata, quindi meno soggetta a disturbi.

## Arbitraggio del Bus

Si vuole far svolgere al circuito la funzione di AND logico (**wired-and**), questo viene realizzato con la codifica di bit dominante, bit recessivo e il livello di tensione dati. La funzione logica viene tradotta in un circuito a transistor.

L'output ha valore alto quando tutti i transistor sono aperti. Se uno solo di questi è chiuso la tensione va a 0. Per questo motivo lo 0 è identificato come bit dominante, in caso di conflitto tra un bit 1 e 0, con questo circuito, lo 0 domina. Basta che almeno 1 dei nodi della rete metta uno 0 logico sul bus perché il suo 0 venga trasmesso sul bus.

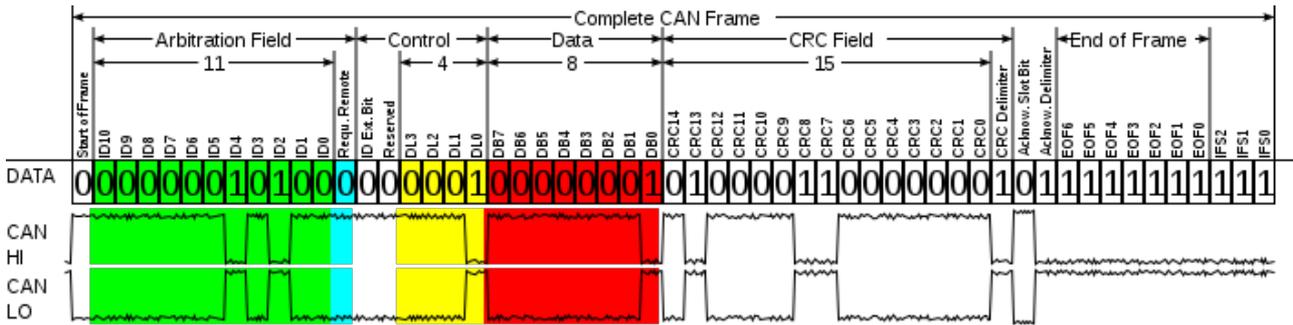
Questo aspetto viene sfruttato per segnalare il diritto di parlare alla stazione che ha trasmesso lo 0.

Lo **scopo** quindi è **determinare** quale nodo (identificato come una sequenza di 11bit) ha la **priorità** di trasmettere sul bus.

Tutte le stazioni trasmettenti sono in ascolto, appena rilevano un messaggio con priorità più alta, smettono di trasmettere.

La **priorità** dei nodi viene **suddivisa** per **tipologia di sensori e informazione** trasmessa, in seguito sostituita da assegnazioni più frequenti.

## Frame C.A.N.



- **Start Bit** sempre 0.
- **Identificatore** (C.A.N.ID) di 11bit del nodo mittente che definisce anche la priorità del nodo nella rete.
- **Remote Transmission Request** (R.T.R.) di 1 bit. Permette a un nodo di richiedere dei dati ad un altro nodo.
- **Data length** (4bit), lunghezza in byte del campo dati.
- **Campo dati.**
- **C.R.C.**, per la correzione degli errori
- **ACK.**
- **E.O.F** (End Of Frame).

## Tipologie di Frame

Esistono 4 tipologie di pacchetto (stessa struttura) variando il valore di bit R.T.R, campo dati, ACK:

- **Data Frame:** permette di **trasmettere dati**;
- **Remote Frame:** utilizzato per **richiedere dati** da un altro nodo. Il valore R.T.R. cambia e il campo dati è vuoto.
- **Error Frame:** utilizzato per segnalare **errori** nella linea;
- **Overload Frame:** utilizzato per adattare la **velocità** di trasmissione.

## Trasmissione del Frame: Bit Timing

Tutti i nodi devono trasmettere alla stessa stessa velocità per avere un bit timing costante, in realtà entrano in gioco tolleranze e rumori nella linea che portano un bit rate diverso da quello nominale.

Inoltre è **assente** una linea di **clock** per questo la trasmissione deve essere sincronizzata utilizzando la linea C.A.N.-H e C.A.N.-L. Il ricevitore si **sincronizza** sulla prima **transizione** 1-0 **successiva allo start bit**. La re-sincronizzazione avviene su ogni transizione 1-0 del frame. Essendo codifica N.R.Z. si perde la sincronizzazione nel caso in cui si trasmettiamo continuamente sequenze di 0 o di 1 poiché non c'è più una transizione.

## Trasmissione del Frame: Bit Stuffing

Per mantenere la sincronizzazione (codifica) ogni 5 bit dello stesso valore logico è inserito un bit di polarità opposta (la lunghezza del frame aumenta). Nei campi: C.R.C. (dipende se supportato), ACK, E.O.F. non si usa il bit stuffing.

---

Tutti i messaggi sono **broadcast** seguendo il modello produttore-consumatore, per questo motivo il frame datalink non ha bisogno di identificare il destinatario. Ogni messaggio contiene un **ID** (non implementa M.A.C.) che **identifica il mittente**. L'arbitraggio del bus avviene con il meccanismo wired-AND realizzato con la codifica di bit dominante/ bit recessivo e i livelli di tensione dati. Lo **scopo** quindi è **determinare** quale nodo ha la **priorità** di trasmettere sul bus.

---

# C.A.N.open

E' una **famiglia di protocolli** (C.P.F.) e specifiche di dispositivo per sistemi utilizzati nell'automazione.

Il C.A.N.open consiste in:

- Metodo di indirizzamento;
- Piccoli protocolli di comunicazione;
- Layer application;
- Specifiche di dispositivo.

Prevede di essere **implementato** su rete **C.A.N.bus** (che ospita layer fisico e datalink), **EtherC.A.T.** e **Ethernet Powerlink**.  
Gli standard sono emanati da Ci.A. (C.A.N. in Automation).

## Pila O.S.I.

Application level		User program(s)
Data level		CiA 4XX: Device and application profiles
OSI layers	Application layer	CiA 301: NMT, Heartbeat, SDO, PDO, SYNC, EMCY, TIME
	Presentation layer	CiA 301: Data types and encoding rules
	Session layer	Not applicable
	Transport layer	CiA 301: Segmented SDO
	Network layer	(CiA 302-7: SDO and EMCY routing, PDO bridging)*
	Data link layer	ISO 11898-1
	Physical layer	ISO 11898-2, CiA 301 (bit-timing), CiA 303-1 (cable and connectors)



## Modelli di Dispositivo

Descrivono le strutture dati comuni e condivise che ogni dispositivo deve comunicare.

### Communication Unit

E' l'insieme di uno o più protocolli necessari per comunicare in rete. Il campo C.A.N.-ID (11bit) è suddiviso in 2 parti:

- Primi 4bit identificano il blocco funzione;
- Successivi 7bit identificano il nodo della rete.

Un nodo ha priorità più o meno alta non solo in base alla sua priorità am anche in base a cosa deve comunicare.

### Object Dictionary

E' una tabella di variabili in lettura e scrittura per configurare il dispositivo o leggere le misurazioni correnti. Sono possibili  $2^{16}$  righe, ogni riga contiene una variabile (intera, float, booleana...).

### Application

E' il processo utente che svolge le operazioni all'interno del dispositivo.

## Protocolli di Comunicazione

### N.M.T. ovvero Network Management Protocols

Si utilizzano per far cambiare di stato il dispositivo (on-off). Ha la priorità più alta dei frame C.A.N..  
Modello master-slave.

### Heartbeat

Si utilizza per il monitoraggio dei nodi della rete oltre alla verifica della loro effettiva operatività.  
Modello produttore-consumatore, il nodo che svolge questa funzionalità manda un pacchetto a cadenza prefissata, se il pacchetto non arriva ai consumatori in tempo il nodo si ritiene inattivo.

### S.D.O. ovvero Service Data Object

Si utilizza per leggere o scrivere dei valori dall'object dictionary di un dispositivo C.A.N.open. Se la lunghezza del messaggio è più lunga di un frame C.A.N. si preoccupa di segmentare e riunire il messaggio nei nodi destinatari (layer transport).  
Modello client-server. Solo trasferimento su richiesta.

### P.D.O. ovvero Process Data Object

Si utilizza per trasferire dati real-time (fino a 64bit a messaggio), supporta il trasferimento di più righe per volta.  
Modello produttore-consumatore. Trasferimento sincrono e asincrono.

### SYNC ovvero Synchronization Object

Utilizzato per sincronizzare 2 o più nodi tra loro. Modello produttore-consumatore.

### TIME ovvero Time Stamp Object

Si utilizza per diffondere nella rete l'informazione temporale, inviata in due strutture dati diverse:

- 32bit per i ms dopo mezzanotte
- 16bit per il numero di giorni trascorsi dal 1 gennaio 1984.

Si occupa inoltre di una modalità di sincronizzazione con risoluzione 1us.

### EMCY ovvero Emergency Object

Si utilizza per la trasmissione prioritaria di **allarmi** ed **errori fatali** che interrompono il sistema (safety). Un **solo** messaggio per evento catastrofico con la possibilità di generare codici errori customizzabili nell'object dictionary.

### E.D.S. ovvero Electronic Data Sheet

E' interno al device layer (aggiuntivo), specifica cosa è e le funzioni del dispositivo. E' un **file** di testo in **formato XML** (leggibile da umani e macchine), funge da cartellino elettronico. Si utilizza per il **riconoscimento** automatico dei dispositivi collegati alla rete e per la loro **configurazione automatica**. Gli E.D.S. sono obbligatori per un dispositivo C.A.N.open.

# Industrial Ethernet

Sono una serie di reti che basano il loro funzionamento sul protocollo Ethernet **estendendone** le funzionalità:

- Accesso e contesa al mezzo rapida;
- **Determinismo** nell'accesso al mezzo;
- Gestione delle collisioni per comunicazioni **real-time**

Utilizzabile sia come bus di campo che come bus di controllo.

Perciò le **caratteristiche peculiari** dell'Industrial Ethernet diventano:

- **Linea** di trasmissione **veloce** e robusta;
- **Interoperabilità** nei layer più alti della pila O.S.I.;
- **Interoperabilità** con alcuni protocolli datalink (**Ethernet to C.A.N.**);
- Garantisce la sicurezza dal esterno (**security** sicurezza dalle intrusioni) e sicurezza operativa (safety).

Gli **svantaggi**:

- Complessità di gestione aggiuntiva;
- Overhead maggiore dei frame Ethernet rispetto al fieldbus.

Gli svantaggi sono **compensati cablando linee** di trasmissione ad **alta velocità** comportando però un maggior costo dell'hardware di trasmissione. Lo strato fisico è implementato su cavi intrecciati (T.P.) o in fibra ottica secondo gli standard 100BaseN e 1000BaseN per le connessioni a 1Gbps.

Per ambienti industriali **general purpose** si utilizzano cavi CAT5-CAT7 con connettori R.J.45..

Per ambienti industriali critici si utilizzano connettori protetti

I principali bus adottati nel ramo Industrial Ethernet sono:

- **Ethernet/IP;**
- **PROFINET;**
- **EtherC.A.T.;**
- Ethernet Powerlink;
- ModBus-T.C.P.;
- **Sercos III.**

## C.I.P ovvero Common Industrial Protocol

E' una delle 16 famiglie (C.P.F.) che estende la comunicazione tra più layer della pila O.S.I.. La C.I.P. ci permette di definire il profilo del dispositivo. A differenza di C.i.A. è normata.

La struttura di un istanza C.I.P. è leggermente diversa rispetto all'object dictionary.

Dentro la classe definisco come è fatta la mia tabella (formata da dati strutturati) che originariamente è vuota. Questa classe viene stanziata per ogni dispositivo. Con questo riesco ad avere una flessibilità maggiore.

La trasmissione tra 2 istanze C.I.P. avviene

C.I.P. è uno standard sostenuto da O.V.D.A. (**O**pen **D**evice**N**et **V**endors **A**ssociation) dal 1995.

# Ethernet/IP

Questa è una famiglia di protocolli che basa il proprio funzionamento sopra i protocolli T.C.P./U.D.P./I.P.. In questo protocollo esiste una connessione internet ai dispositivi per la gestione remota, permettendo perciò di utilizzare il router. Implementa la famiglia C.I.P. e gestisce il **trasporto** dei messaggi I/O attraverso **pacchetti U.D.P.**. Avviene una **connessione full-duplex** e gestione automatica della velocità (ancor più nel caso T.C.P./U.D.P.) entrambe supportate da Ethernet. L'integrazione di tutti i protocolli avviene con il meccanismo dell'incapsulamento. Il **modello T.C.P./I.P** viene **utilizzato** ma i **servizi** internet vengono **sostituiti** da una **variante industriale**.

# Ethernet Powerlink

Si appoggia direttamente sul protocollo IEEE 802.3. Pur non utilizzando né T.C.P. né U.D.P. è consentito il passaggio di tali pacchetti. E' una famiglia di protocolli che permette la comunicazione real-time attraverso frame Ethernet standard. **Il bus non è affine alle tecnologie P.o.E.** o comunicazioni power line. Questo perché non sono specificate regole sull'alimentazione dei dispositivi attraverso il bus che sono una specifica a livello sottostante.

Principali caratteristiche:

- Consegna dei messaggi entro un certo tempo impostabile;
- Messaggi consegnati in cicli sincronizzati;
- Possono coesistere più messaggi attraverso il T.D.M.A.;
- Messaggi asincroni trasferiti in un canale asincrono riservato.

## Pila O.S.I.

Layer network implementato da Ethernet Powerlink che permette di mantenere il CSMA ma permette le comunicazioni solo in maniera deterministica (gestito al livello network con modello master-slave).

Il layer application è lo standard C.A.N.open.

## Funzionamento

Esistono 2 tipi di nodo:

- **Managing Node** (bus master) controlla lo scheduling dei messaggi e arbitra il bus.
- **Communication Node** (bus slave) nodo utilizzatore del bus trasmette il messaggio nello slot stabilito da M.N.

La comunicazione è suddivisa in cicli, ognuno dei quali è diviso in due parti: una isocrona (sincrona) e una asincrona.

Durante la fase isocrona:

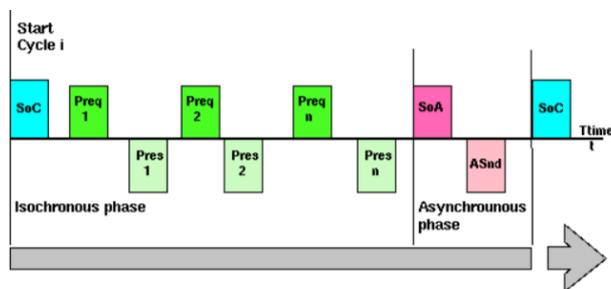
- M.N. invia il pacchetto **Start of Cycle**;
- Per ogni C.N., M.N. manda un frame request (broadcast, modello produttore-consumatore);
- Il C.N. interessato trasmette in broadcast sullo slot a lui assegnato.

Durante la fase asincrona:

- M.N. invia il pacchetto **Start of Asynchronous**;
- Il C.N. interessato mandano un frame asynchronous.

Nella **fase asincrona** è consentito utilizzare il protocollo I.P. per indirizzare i nodi, oltre che **utilizzare** il C.S.M.A..

E' possibile agire sul M.N. per definire un ordine di trasmissione dei C.N. basato sulle priorità per distribuire i pacchetti su più cicli di trasmissione.



I nodi con task ad alta priorità o basso tempo di ciclo avranno slot riservati per ogni ciclo. Mentre i nodi con bassa priorità o alto tempo di ciclo avranno uno slot di trasmissione ogni n cicli del bus powerlink.

Il master fa polling perciò non usa il C.S.M.A. ma lo usa nella seconda parte

# EtherC.A.T. ovvero Ethernet for Control Automation Technology

Sono reti che presentano una modifica dei frame Ethernet. In particolare il **M.A.C. risulta modificato**, perciò **non avvengono collisioni** in nessuna fase temporale della trasmissione

E' un **fieldbus** (comunicazione tra sensori e attuatori e moduli I/O) ad **alta velocità** con un **meccanismo di sincronizzazione** avanzata (**Precision Time Protocol**).

Compatibile con i dispositivi IEEE 802.3 ma non tutti, per esigenze di mercato è un protocollo **open**. Modello **master-slave** con **topologia ad anello** nello strato fisico. Interoperabilità con altre reti è garantita attraverso particolari gateway.

Esistono due standard EtherC.A.T. la cui distinzione principale è il tempo di latenza e il numero di stazioni.

## Pila EtherCAT

Layer **datalink** collegamento full-duplex, frames Ethernet standard ma con modifica dell'algoritmo di accesso al mezzo.

Layer **application** implementa una macchina a stati che gestisce l'operatività della comunicazione e dell'elaborazione dei dati. Supporta l'integrazione di altri protocolli di livello application.

## Comunicazione

EtherC.A.T. prevede due tipi di nodo:

- **Master** è il nodo che inizia e termina la comunicazione e **configura** la rete in fase di startup. E' unico e fisso nella rete coordinando la sincronizzazione. Può essere implementato su qualsiasi dispositivo che implementi con una scheda di rete Ethernet standard (solo software).
- **Slave** è il nodo che invia/riceve ed **elabora i dati al volo**. **1 scheda di rete** Ethernet con elaborazione hardware integrata. Tipicamente l'elaborazione dei dati è fatta solo su un verso della comunicazione Ethernet mentre nell'altro verso i dati passano in modo trasparente.

La doppia freccia indica che c'è un cavo ethernet bidirezionale.

Il nodo master inizia la comunicazione

Il primo slave legge ed elabora e scrive i propri dati in coda al frame e lo passa allo slave successivo. Ogni slave esegue la medesima operazione fino ad arrivare all'ultimo slave. L'ultimo slave per chiudere la catena trasmette a se stesso e chiude l'anello ripassando l'informazione al precedente nodo. Solo il master può eliminare informazioni dai pacchetti.

## Sincronizzazione

La sincronizzazione è fondamentale nelle reti industriali. Interessa fare una stima dei tempi di propagazione del messaggio e via via correggere gli errori temporali. Questo permette di avere un riferimento di tempo identico per ogni nodo.

Per fare questo il nodo master inizia la comunicazione con un frame broadcast. Ogni slave segna il tempo impiegato a riceverlo, elaborarlo e lo invia allo slave successivo. All'ultimo slave si segna il tempo che ci impiega a tornare a se stesso e poi viene rispedito al master. Con questi tempi registrati è possibile ottenere una mappa dei ritardi di trasmissione di tutta la linea. Questo è importante per decidere il ciclo di trasmissione (se i pacchetti vengono inviati troppo velocemente i slave potrebbero non stargli dietro) quindi settare la cadenza del master e anche per motivi di qualità di servizio nel bus

# SE.R.CO.S. III ovvero Serial Real-time Communication System

E' un **bus** per l'automazione **hard real-time** utilizzato principalmente per i sistemi di motion control ad anello chiuso (C.N.C.). Protocollo open avente 3 versioni:

- I. **2-4Mbps** con collegamento in fibra ottica e hardware ad-hoc;
- II. **2-16Mbps** con collegamento in fibra ottica e hardware ad-hoc;
- III. **100Mbps** con collegamento in fibra ottica e in rame su fast Ethernet, dispositivi ethernet standard

Caratteristiche principali:

- Accesso **T.D.M.A. senza collisioni**;
- **Poco overhead**;
- **Sincronizzazione avanzata** e ripetibilità della trasmissione (ritardo 35ns-1us);
- **Ridondanza** nella comunicazione con topologia ad anello.

## Pila SE.R.CO.S III

Layer network presenta un IP opzionale.

Layer application presenta protocollo SE.R.CO.S.

Profili Sercos, CIP.

## Topologia

### A Linea

I nodi trasmettono usando 2 porte ethernet, l'ultimo nodo slave chiude l'anello di comunicazione trasmettendo a se stesso. Non c'è ridondanza.

### A Doppio Anello

Avviene una comunicazione a versi opposti. In caso di **un guasto** sulla linea la **topologia è preservata**:

- Ridondanza del collegamento;
- Permette l'inserimento e la rimozione a caldo dei nodi slave (**hot-plug**).

SERCOS III non supporta hub e switch.

2 schede ethernet full duplex perchè ethercat 1 sola porta ethernet mentre sercos due schede di rete 4 fili in andata e 4 fili in ritorno

Incapsulamento

Indirizzamento attraverso protocollo sercos III o IP

Nell'indirizzo sercos

# Profinet

Ultima famiglia di bus industrial ethernet. E' un **bus di controllo**.

Ne esistono diverse versioni via via più incentrate sul **real time**:

- **Profinet T.C.P./I.P.**, applicazioni poco critiche con tempi di risposta maggiori di 100ms, supporta protocolli TCP/IP;
- **Profinet R.T. (Real Time)**, per applicazioni con tempi di risposta maggiori di 10ms;
- **Profinet I.R.T., Isochronous Real Time**, per applicazioni di risposta maggiori di 1 ms.

Profinet non è profibus (non basato su industrial ethernet).

Le reti profinet sono suddivise in classi di conformità in relazione a requisiti e alle normative che devono soddisfare:

- **Classe A**, solo i nodi sono certificati.
- **Classe B**, I nodi sono certificati e i cablaggi sono realizzati rispettando linee guida Profinet IO. C'è ridondanza dei collegamenti e supporta Profinet RT.
- **Classe C**, nodi certificati, cablaggio secondo Profinet IO, gestione avanzata della sincronizzazione (supporta Profinet IRT). Utilizzato per sistemi di posizionamento.
- **Classe D**, classi B e C con supporto a **Time Sensitive Networking (T.S.N.)**. Utilizzata per sistemi di computer vision.

Strato fisico: Fast Ethernet 100BaseN con connettori R.J.45 o rinforzati a seconda della versione.

Strato datalink: tutte le versioni utilizzano fra Ethernet standard con topologia generica (doppio anello o linee parallele per reti ridondanti).

Layer Transport: la versione profinet per versioni non critiche implementa IP, TCP,UDP, supporta anche servizi dello strato application (DHCP)

Application layer: ogni versione di profinet implementa un proprio protocollo di rete

3 tipi di nodi:

- **IO-Controller**: nodo controllore del processo (master) tipicamente un P.L.C.;
- **IO-Device**: nodo (slave) della ret;
- **IO-Supervisor**: nodo supervisore (piattaforma software su PC).

Il rapporto tra controller e device è detto Application Relations (A.R)

3 tipi di indirizzo:

- **M.A.C.**
- **I.P.**, assegnato anche dinamicamente attraverso il protocollo DHCP;
- Nominativo di stazione, attraverso il protocollo D.C.P (**D**iscovery and **B**asic **C**onfiguration **P**rotocol).

3 metodi di indirizzamento:

- **Unicast**
- **Multicast**
- **Broadcast**

IO-connection Life-cycle è la trasmissione ciclica o aciclica di dati tra nodo e controllore e gli IO-device. Le fasi della comunicazione sono 4:

1. Inizio della connessione, il controllore manda una connection request a ogni IO-Device secondo le regole CR pre-stabilite richiedendo un servizio, fornendo i parametri della connessione. Gli IO-Device rispondono con ACK.
2. Parametrizzazione, il controllore

Consegna dei pacchetti nel Bus

La trasmissione è suddivisa in cicli (>32us).

Ogni ciclo è suddiviso in 2 parti, la prima è composta da soli frame IRT e RT, nella seconda parte sono trasmessi...