

MODELLO ISO/OSI

1 - LIVELLO FISICO

Come descritto nel tutorial del modello ISO/OSI visionabile al seguente link:

<https://danielepostacchini.it/wp-content/uploads/2019/02/modello-ISO-OSI.pdf>

il livello fisico è identificato come il primo e si occupa di tutto ciò che interessa la trasmissione a livello hardware del pacchetto di bit che compone l'intero messaggio.

Il pacchetto di bit da inviare proviene dal livello 2 e mediante l'apparato trasmittente viene immesso sul mezzo trasmissivo per poi essere ricevuto dall'apparato ricevente che lo passa al livello 2 della propria pila ISO/OSI.

Nel modello ISO/OSI, il dialogo avviene tra i corrispondenti livelli (layers) utilizzando dei protocolli.



L'informazione trasmessa è contenuta in una sequenza di bit 0 ed 1, i quali possono essere trasmessi in maniera digitale o analogica come vedremo più avanti.

Il livello fisico pertanto si occuperà dei seguenti due aspetti:

- **Mezzo trasmissivo**, tipologia, caratteristiche, connessioni.
- **Trasmissione e ricezione dei dati**, tipologia del segnale, trasmissione e ricezione, modulazione, multiplexing, codifica, controllo errori.

MEZZO TRASMISSIVO

Prima di conoscere i principali mezzi trasmissivi, facciamo due semplici esempi.

Quando parliamo con un'altra persona, il suono prodotto dalle nostre corde vocali (trasmettitore) viene trasmesso in aria mediante la sua vibrazione all'orecchio (ricevitore) del nostro interlocutore.

In questo caso **l'aria è il mezzo trasmissivo**.

Se inviamo un messaggio in una bottiglia nell'oceano, **l'acqua è il mezzo trasmissivo**.

Se tramite una luce emettiamo un segnale in codice Morse (come ad esempio il famoso S.O.S. che è composto dalla sequenza di 3 lampeggi veloci, 3 lampeggi lenti e 3 lampeggi veloci) **l'etere è il mezzo trasmissivo**, visto che la luce non ha bisogno di aria per spostarsi.

In maniera più specifica, possiamo definire con il termine **mezzo trasmissivo** (anche detto "canale trasmissivo") **l'elemento fisico che consente al segnale contenente la nostra informazione, di propagarsi tra due o più dispositivi**.

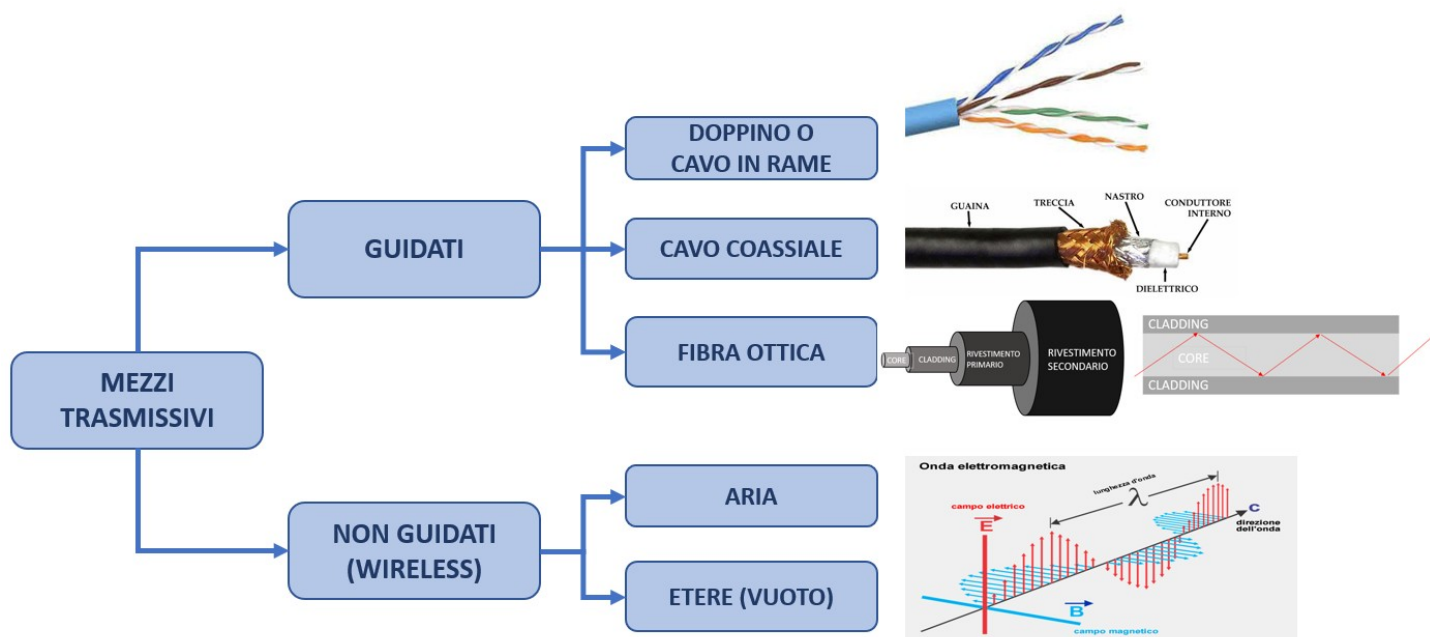
Nel mondo delle telecomunicazioni i segnali che vengono utilizzati per trasmettere l'informazione sono essenzialmente di 3 tipi:

- elettrici,
- luminosi,
- onde radio.

E per essere trasmessi necessitano rispettivamente dei seguenti 3 mezzi trasmissivi:

- cavi di rame,
- fibre ottiche,
- etere.

Possiamo inoltre differenziare i mezzi trasmissivi tra quelli guidati e quelli non guidati, nel primo caso il segnale viaggia da un dispositivo ad un altro connesso al primo, nel secondo caso il segnale viaggia e raggiunge tutti i dispositivi presenti nel raggio d'azione di chi trasmette.



CAVO IN RAME

Le due principali tipologie di cavi di rame utilizzati nelle telecomunicazioni sono il doppino telefonico, ed il cavo di rete UTP o STP.

Doppino telefonico.

Il doppino telefonico è composto da due soli conduttori in rame isolati tra di loro in PVC. Il suo nome deriva dal fatto che veniva utilizzato per la linea telefonica analogica, oggi non più esistente in quanto sostituita dalla linea **ADSL** (**A**symmetric **D**igital **S**ubscriber **L**ine) che consente la trasmissione di voce e dati sullo stesso cavo..

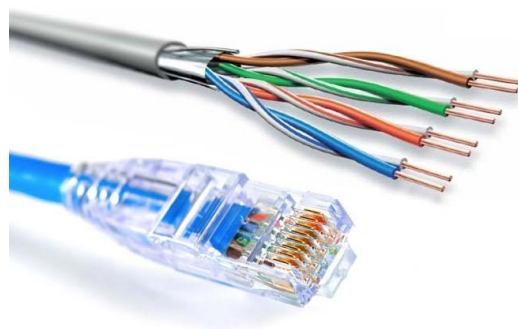


Cavo di Rete, o cavo Ethernet.

Il cavo di rete Ethernet può essere di tipo STP (Shielded Twisted Pair) o UTP (Unshielded Twisted Pair).

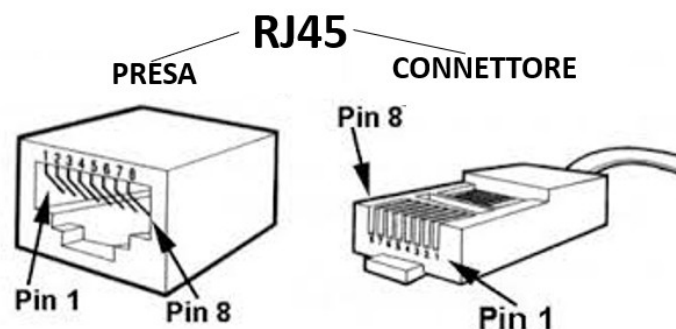
In entrambi i casi i segnali passano su più doppini in rame "twistati" (cioè intrecciati tra di loro).

In un cavo di rete ci sono 4 doppini twistati cioè 4 coppie di fili con dei colori definiti dagli standard EIA/TIA T568A e EIA/TIA T568B.



In un cavo STP oltre alle 4 coppie di fili, c'è un rivestimento in materiale conduttivo dei doppini per schermare il cavo da interferenze esterne (da qui il termine shielded). Nel cavo UTP non è presente la schermatura.

Il connettore in figura è chiamato RJ45 (Registered Jack tipo 45).



I cavi ethernet sono inoltre divisi nelle seguenti 6 categorie.

	CAT.5	CAT.5e	CAT.6	CAT.6a	CAT.7	CAT.7a
Velocità Massima (Gbps)	0,1	1	10	10	10	100
Larghezza di banda (MHz)	100	100	250	500	600	1000
Distanza massima (m)	100	100	55 (dopo 55m la velocità scende a 1Gbps))	100	100	15 (dopo 55m la velocità scende a 40Gbps))
Schermatura	NO	NO	NO/SI	SI	SI	SI

Come detto sopra in un cavo di rete sono presenti 4 coppie di conduttori identificate dai seguenti colori:

COLORE		FUNZIONE
		
bianco/verde		TX+ positivo linea di trasmissione
verde		TX- negativo linea di trasmissione
bianco/arancio		RX+ positivo linea di ricezione
arancio		RX- negativo linea di ricezione
bianco/blu		POE+ alimentazione positiva
blu		POE+ alimentazione positiva
bianco/marrone		POE- alimentazione negativa
marrone		POE- alimentazione negativa

In un cavo ethernet è presente un doppino per la trasmissione dei dati TX ed uno per la ricezione RX.

In entrambi i casi il segnale è di tipo differenziale, ciò sta a significare che il segnale è dato dalla differenza di tensione tra TX+ e TX- o tra RX+ e RX-.

Il segnale trasmittente TX va sempre collegato al ricevente RX.

Le altre due coppie di conduttori, possono invece essere utilizzati per alimentare dei dispositivi di rete con la tecnica POE (Power Over Ethernet) infatti sul doppino blu/bianco blu è presente il positivo della tensione di alimentazione e sul doppino marrone bianco marrone il negativo dell'alimentazione, lo standard prevede che venga fornita una tensione di 48Volt.

Lo standard che regola le reti ethernet è lo standard IEEE802.3 con le sue successive evoluzioni e derivazioni che regolamentano le varie tipologie di rete. Ad esempio le reti ethernet che utilizzano il cavo con doppini di rame ad 1Gbps (identificato con la sigla 1000Base-T) è regolamentato dallo standard IEEE802.3ab, o quello che definisce il funzionamento della tecnica POE prima citata è regolamentato dallo standard IEEE802.3af.

IEEE è l'acronimo di Institute of Electrical and Electronical Engineering, ed il sito di riferimento è il seguente:

<https://www.ieee.org/>

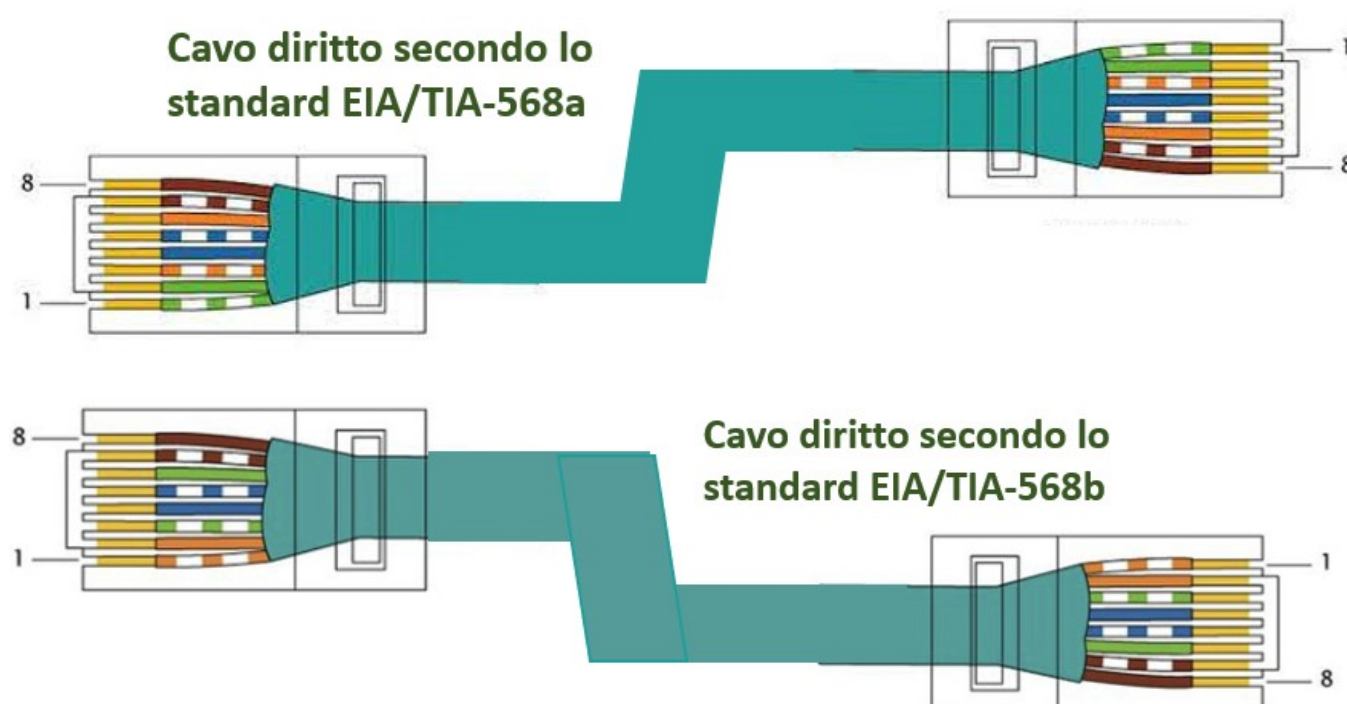
Per i cavi di rete lo standard di riferimento è fornito dall'ente **ANSI / TIA**, **American National Standards Institute** e **Telecomunicazioni Industries Alliance**, esiste anche l'ente **EIA Electronic Industries Alliance** che è stato accreditato dall'ANSI e che per questo ha rilasciato degli standard sul cablaggio di rete come ad esempio i due standard principali che sono:

- EIA/TIA 568a detto anche T568a.
- EIA/TIA 568b detto anche T568b.

Questi standard prevedono che i cavi di rete siano costituiti dai 4 doppi e da due connettori RJ45 collegati diversamente sui connettori a seconda dello standard scelto.

Esistono due tipologie di cavi, i cavi dritti e quelli incrociati (crossover).

Cavo dritto.



DTE (Data Terminal Equipment)

PC o ROUTER

Pin1 TX+

Pin2 TX-

Pin3 RX+

Pin4

Pin5

Pin6 RX-

Pin7

Pin8

DCE (Data Communication Equipment)

HUB o SWITCH

Pin1 RX+

Pin2 RX-

Pin3 TX+

Pin4

Pin5

Pin6 TX-

Pin7

Pin8

Un cavo dritto viene utilizzato per collegare un PC o un Router ad un Hub o ad uno Switch.

Cavo incrociato (crossover).

In questo caso i due connettori seguono due standard di collegamento differenti come mostrato in figura, da un lato lo standard EIA/TIA-568b e dall'altro lo standard EIA/TIA-568a.

DTE (Data Terminal Equipment)**PC o ROUTER**

Pin1 TX+

Pin2 TX-

Pin3 RX+

Pin4

Pin5

Pin6 RX-

Pin7

Pin8

DTE (Data Terminal Equipment)**PC o ROUTER**

Pin1 TX+

Pin2 TX-

Pin3 RX+

Pin4

Pin5

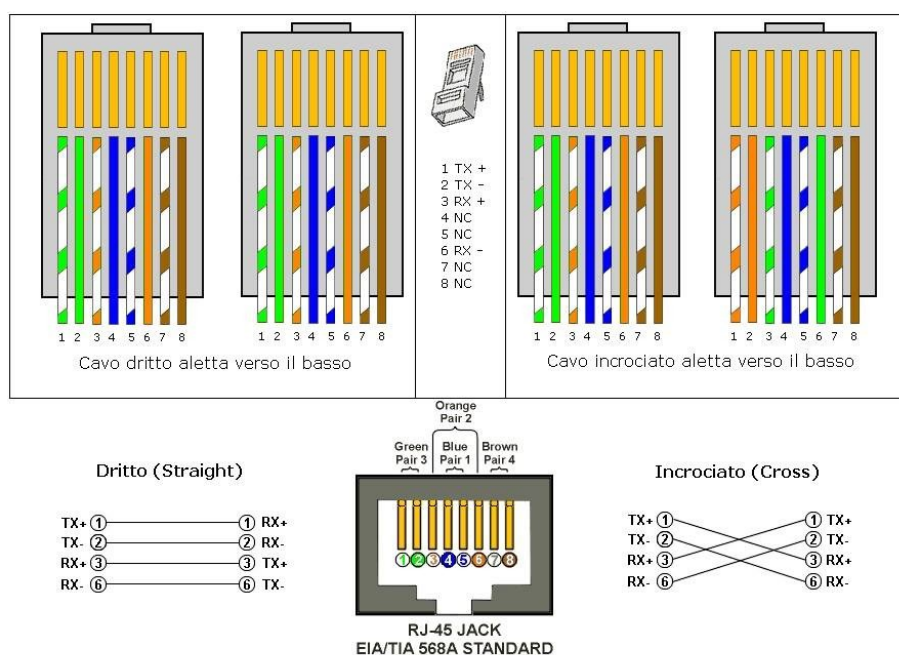
Pin6 RX-

Pin7

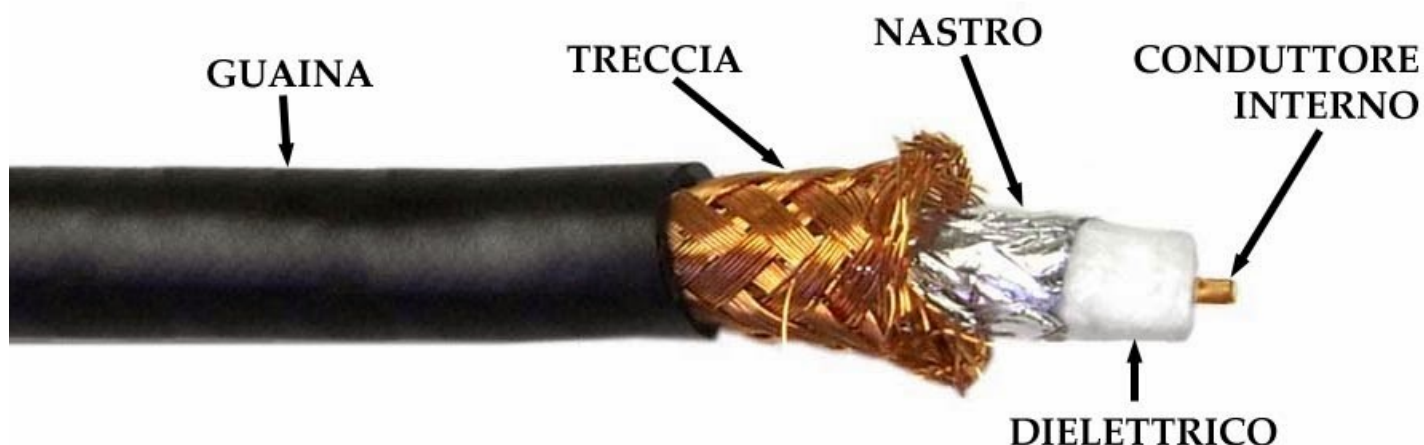
Pin8

Un cavo dritto viene utilizzato per collegare un PC o un Router ad un altro PC o Router.

Possiamo riassumere quanto detto sopra con questa immagine riepilogativa.



CAVO COASSIALE



Il cavo coassiale è un particolare tipo di cavo utilizzato prevalentemente nel settore delle RF (Radio Frequenze) un tempo utilizzato anche nelle reti di computer.

Il cavo è composto da un conduttore interno dove viene fatto passare il segnale elettrico, riferito al potenziale 0 di riferimento che è quello presente sulla treccia in rame comunemente chiamata "calza". I due conduttori sono separati da un isolante e ricoperti entrambi da una guaina protettiva.

Intorno al 1990 le reti LAN venivano realizzate utilizzando il cavo coassiale con i connettori BNC, ed opportuni connettori T per consentire il collegamento di più PC su un unico cavo.



Connettore BNC

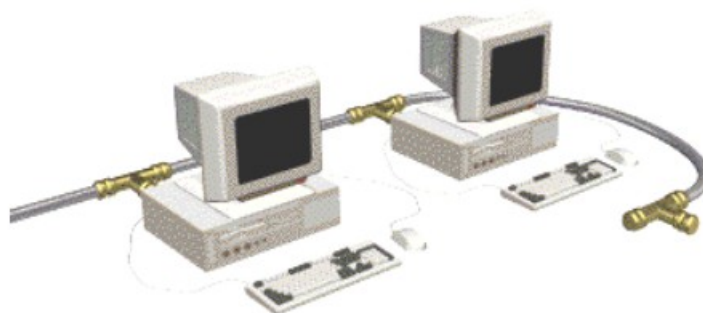


Connettore T



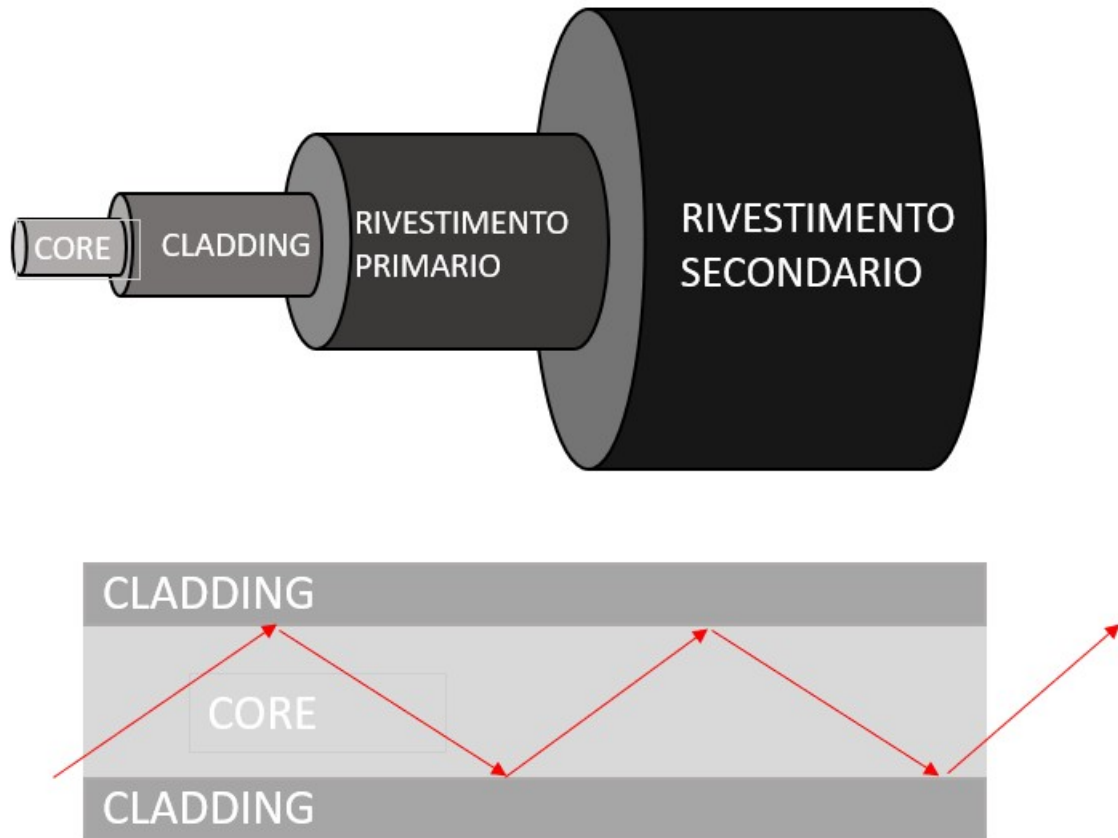
Terminatore

In pratica veniva realizzato un collegamento a BUS tra i vari PC e sul primo e sull'ultimo PC del BUS veniva inserito il Terminatore, che altro non era che un connettore BNC con una resistenza da 50Ohm interna.



Come detto sopra oggi le reti LAN non utilizzano più i cavi coassiali, che vengono ancora largamente utilizzati in altre applicazioni come quelle RF (trasmissioni televisive e satellitari ecc...).

FIBRA OTTICA



La fibra ottica è realizzata in materiale vetroso per consentire il passaggio della luce con frequenze prossime all'infrarosso, al suo interno.

Le caratteristiche più vantaggiose di una fibra ottica sono:

- l'elevata velocità con cui può trasmettere dati arrivando anche all'ordine di Tbps (Tera bit per secondo cioè mille miliardi di bit al secondo)
- l'immunità ai disturbi elettromagnetici in quando il segnale viene trasmesso nel cavo utilizzando la luce e non segnali elettrici.

In figura vediamo la struttura di una fibra ottica, sia il CORE che il CLADDING sono realizzati in materiale vetroso con differente indice di rifrazione, in modo che il raggio di luce immesso all'estremità, venga riflesso e rimanga catturato all'interno della fibra.

In base alla loro tipologia costruttiva le fibre si dividono in:

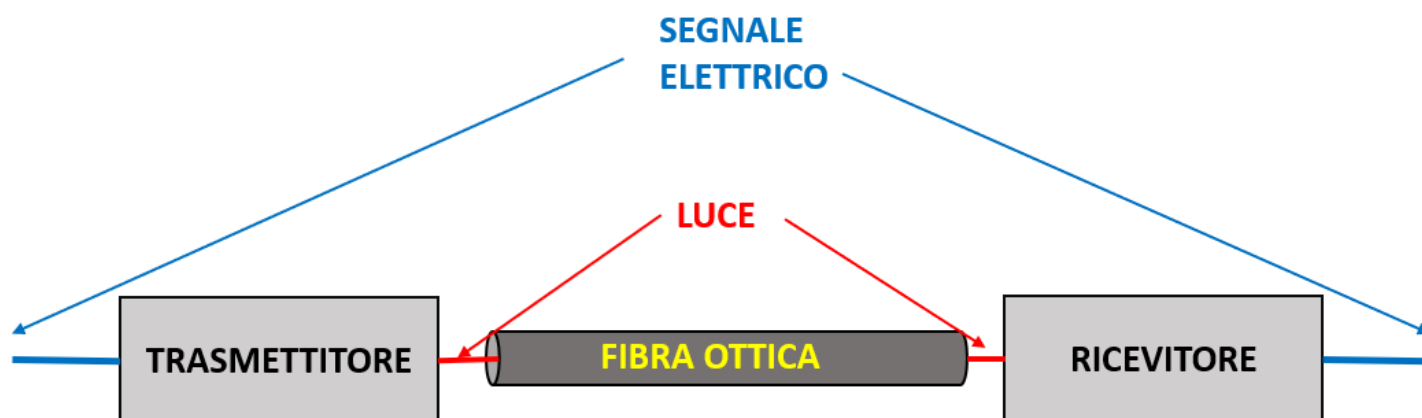
- Multimodale Step Index. *Poco costose, ma anche poco utilizzate.*
- Multimodale graded index. *Bassa dispersione. Sono le più utilizzate ma solo per distanze <300m.*
- Monomodale. *Molto costose e con bassa dispersione. Vengono utilizzate solo per lunghe tratte <40km.*

Le dimensioni delle 3 tipologie di fibre sono riassunte nella seguente tabella.

	Multimodale Step Index	Multimodale Grade Index	Monomodale
Core	50 o 62,5 micron	50 o 62,5 micron	9 micron
Cladding	125 micron	125 micron	125 micron
Rivestimento primario	250 micron	250 micron	250 micron

Un canale ottico è composto da 3 parti:

- Trasmettitore (generatore di impulsi luminosi).
- Fibra ottica.
- Ricevitore (convertitore da impulsi di luce a segnale elettrico).

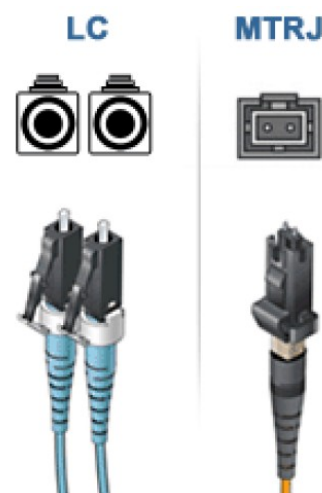


Per consentire una trasmissione FULL DUPLEX (in entrambe le direzioni contemporaneamente) occorrono due fibre ottiche con due connettori come in figura.



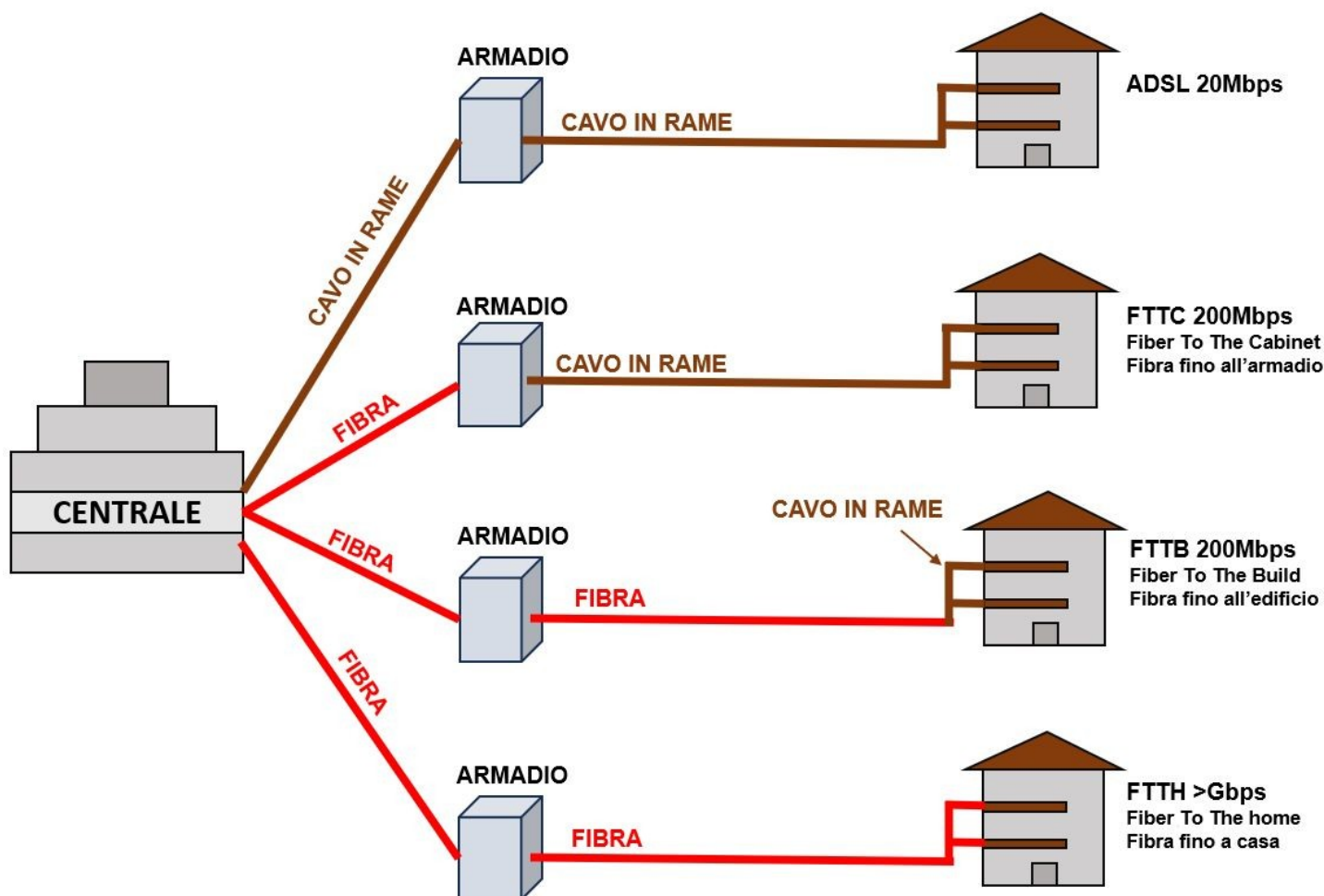
Esistono diverse tipologie di connettori i più utilizzati sono il tipo LC ed MTRJ.

E' ovvio che trattandosi di luce, l'allineamento del cavo con il connettore è molto importante, per questo esistono apparecchiature particolari per collegare la fibra ottica al connettore.



Oggi le fibre ottiche vengono utilizzate per portare la connessione internet nelle nostre case soppiantando la tecnologia ADSL che utilizzava il doppino telefonico.

Le possibili soluzioni per connettere gli edifici alla rete internet sono quelle raffigurate in figura.

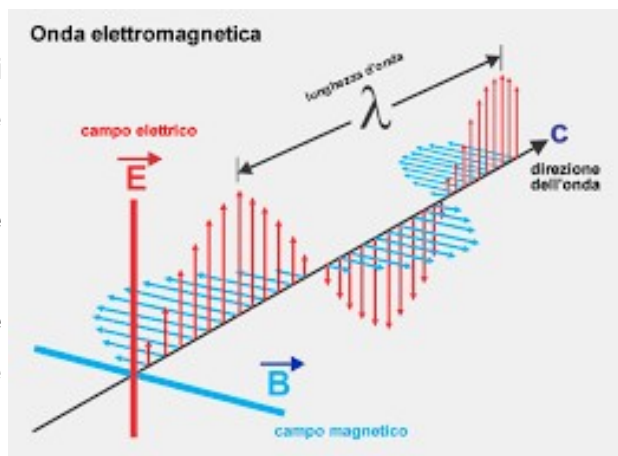


ETERE (VUOTO) E ARIA

L'ultimo mezzo trasmissivo da citare è l'etere cioè il mezzo trasmissivo delle onde elettromagnetiche. Senza addentrarci nelle definizioni fisiche della parola, consideriamo come etere il vuoto e sappiamo che la luce e tutte le onde elettromagnetiche riescono a propagarsi nel vuoto come anche nell'aria che ci circonda.

In questo caso non è molto importante soffermarsi sulle caratteristiche del mezzo trasmissivo ma più che altro sulle tecnologie che consentono la trasmissione di dati sotto forma di onde elettromagnetiche.

Non essendoci cavi di alcun tipo, questo tipo di trasmissione viene definita genericamente **Wireless**, che tradotto letteralmente significa senza cavi.



Ogni dispositivo Wireless è dotato di una o più antenne ed è in grado di trasmettere e ricevere informazioni utilizzando onde elettromagnetiche a varie frequenze.

Una rete Wireless può essere abbreviata con l'acronimo **WLAN** (Wireless Local Area Network) ed oggi è molto diffusa in ambito domestico ma anche industriale, la struttura prevede uno o più dispositivi denominati Access-Point collegati poi fisicamente con cavo ad un Modem per la navigazione Internet. Le frequenze utilizzate in questo caso sono 2,4GHz e 5GHz.

Un altro esempio di comunicazione Wireless è il **WiMAX**, una sorta di grande rete composta da un'antenna disposta su un edificio per consentire il collegamento ad utenti nel raggio di diversi km.

Altre tecnologie conosciute sono il **Bluetooth** nelle varie versioni (BLE) utile per far comunicare dispositivi entro distanze inferiori, al massimo 10-20 metri.

Anche lo **Zigbee** è una tecnologia oggi usata per far comunicare tra loro dispositivi a distanze a corto raggio, questa tecnologia è anche compatibile con i dispositivi Alexa.

Per distanze maggiori si utilizza la tecnologia **LORAWan** che consente il collegamento tra dispositivi anche a distanze di qualche km. Con il mondo dell'**IoT** (Internet Of Things) queste tecnologie stanno avendo una rapida evoluzione e citarle tutte sarebbe inutile. Per approfondire il funzionamento esistono comunque i documenti tecnici dello IEEE che definiscono il protocollo delle varie tecnologie.

Da ultimo non possiamo non citare la tecnologia satellitare che può essere utilizzata per il collegamento ad Internet, in maniera unidirezionale o bidirezionale.

Nel primo caso il satellite viene utilizzato per ricevere i dati e la connessione terrestre su fibra o su cavo per inviare i dati.

Nel secondo caso la ricezione e la trasmissione dei dati avviene sempre passando per il satellite e non è necessaria una connessione terrestre via cavo.

TRASMISSIONE E RICEZIONE DATI

Per comprendere le modalità con cui vengono trasmessi i dati su un qualsiasi mezzo trasmissivo, occorre in premessa approfondire i seguenti concetti:

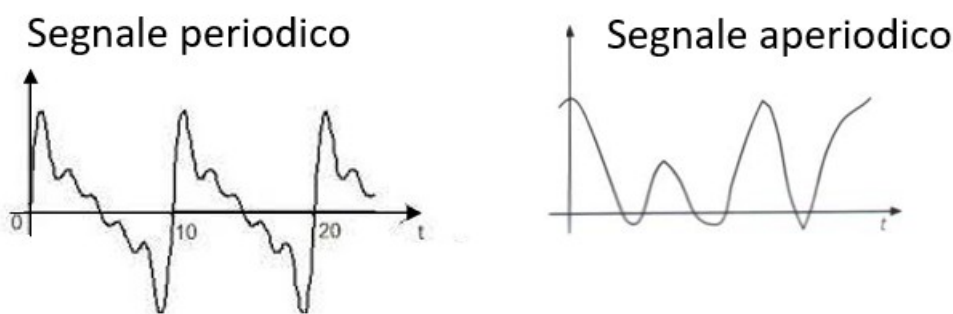
- Che cosa è un segnale.
- Cosa influenza un segnale.
- Come si trasmette un segnale.

CHE COSA E' UN SEGNALE.

Con il termine segnale intendiamo la variazione di una grandezza fisica.

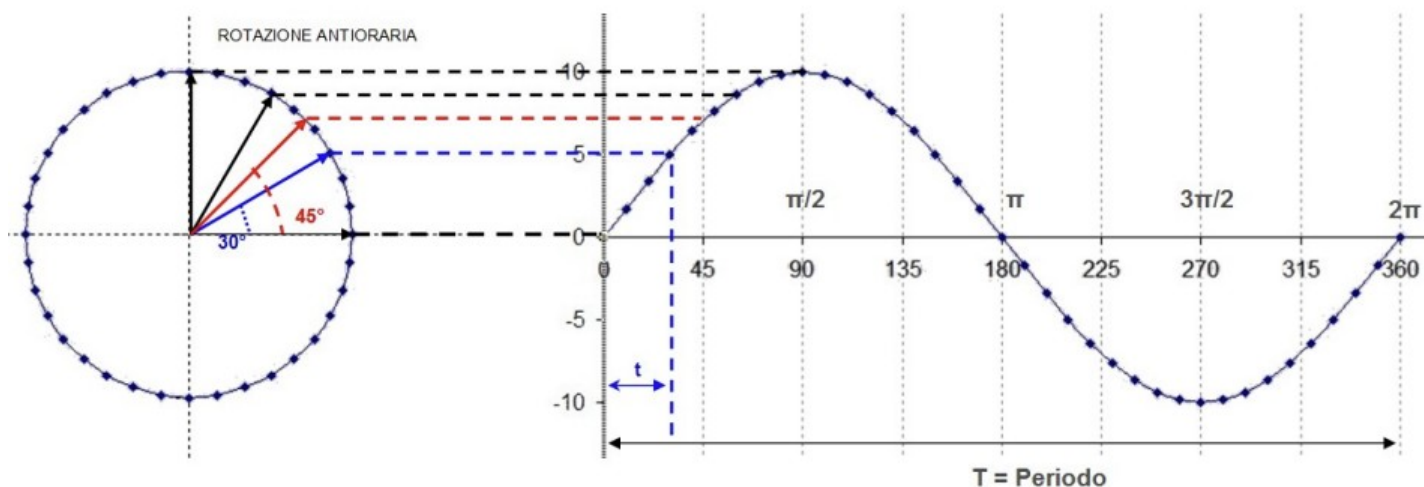
Nel mondo delle telecomunicazioni i segnali possono essere: elettrici, luminosi e onde radio.

I segnali possono essere periodici, quando la variazione avviene con intervalli regolari di tempo e sempre nella stessa maniera, o aperiodici, quando la sua variazione non avviene con intervalli regolari o in maniera differente.



L'ampiezza di un segnale periodico rappresenta il valore massimo raggiunto dal segnale, il periodo rappresenta l'intervallo di tempo in cui si ripete il segnale e la frequenza è la quantità di volte in cui si ripete il periodo in un secondo.

Il segnale periodico più noto è il segnale sinusoidale ottenuto dalla rotazione antioraria di un vettore con modulo pari all'ampiezza del segnale.



$$v = V * \text{sen}(2\pi f t + \phi)$$

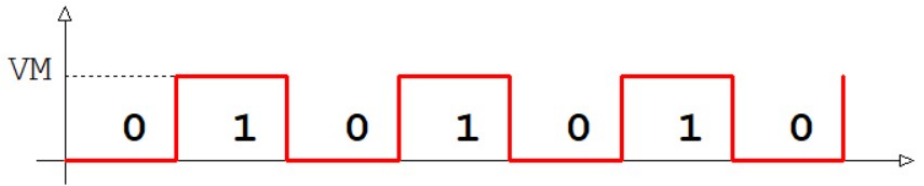
Dove con V si rappresenta il valore massimo, con f la frequenza del segnale pari al reciproco del periodo, e con ϕ lo sfasamento nell'immagine sopra pari a 0. Il valore v dipende dall'istante t.

Leggere la dispensa al seguente link: <https://danielepostacchini.it/wp-content/uploads/2018/09/sinusoide.pdf>

Sviluppo in serie di Fourier.

Ogni segnale periodico può essere ottenuto come somma infinita di segnali sinusoidali di frequenze ed ampiezze differenti.

Ad esempio se consideriamo il seguente un segnale ad onda quadra positiva, che rappresenta una sequenza di bit 0 ed 1.

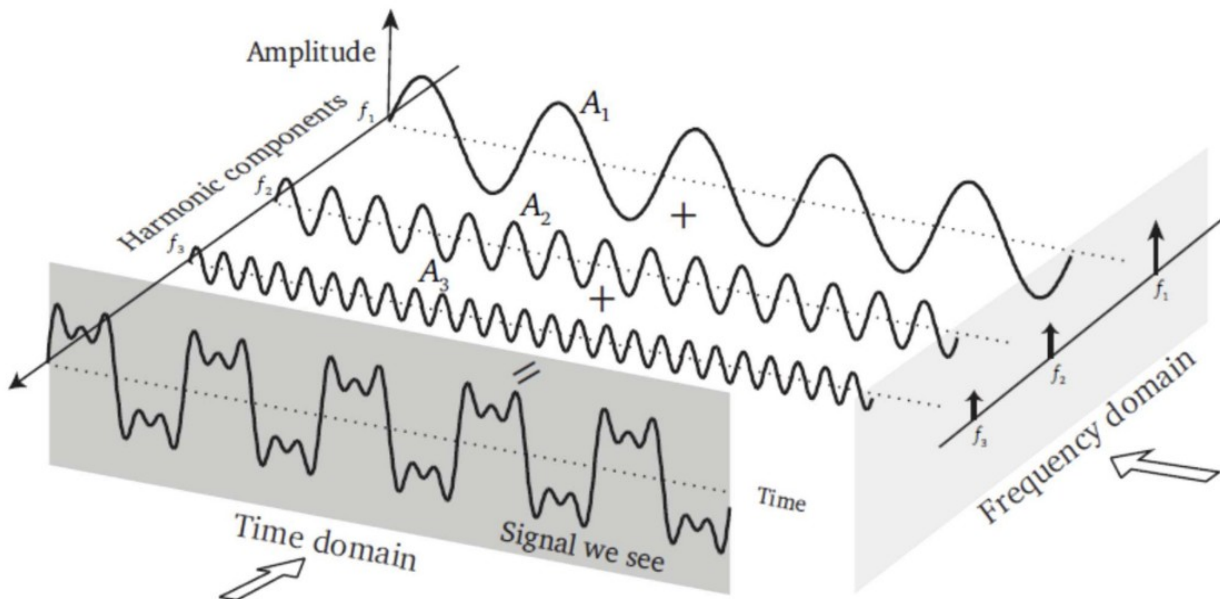


Lo sviluppo in serie di Fourier ci dice che il segnale può essere rappresentato da una sommatoria di sinusoidi secondo la seguente formula:

$$f(t) = \sum_{n \text{ dispari}} \left(\frac{4 \cdot VM}{n \cdot \pi} \right) \cdot \sin(n \cdot \omega \cdot t)$$

In pratica lo stesso segnale può essere ottenuto come più sinusoidi con frequenza ed ampiezza differente.

Quanto visto ci porta a dire che un segnale può essere studiato sia nel dominio del tempo che nel dominio della frequenza.



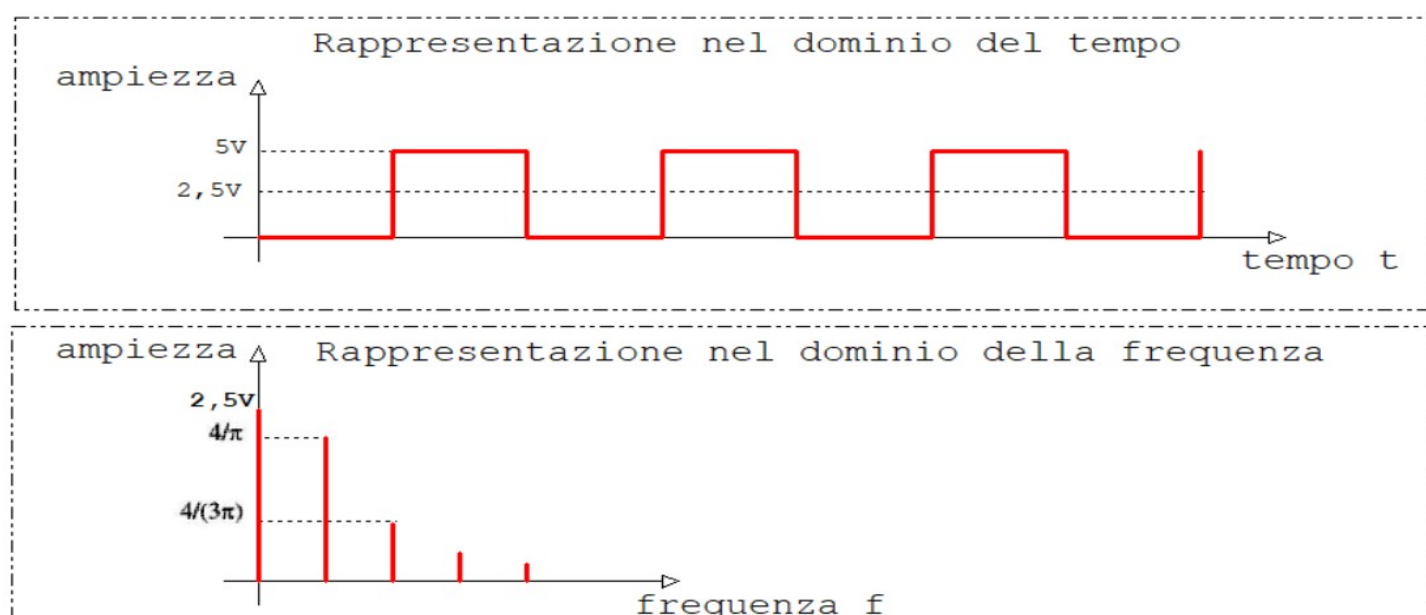
Dominio del tempo.

Studiare un segnale nel dominio del tempo, significa correlare l'ampiezza del segnale con il tempo, come nei due grafici precedenti, l'andamento dell'ampiezza viene rappresentato al variare del tempo.

Dominio della frequenza.

Studiare un segnale nel dominio della frequenza, significa correlare l'ampiezza del segnale con la frequenza. In questo caso viene correlata l'ampiezza delle varie sinusoidi che compongono il segnale.

Ad esempio il segnale ad onda quadra può essere rappresentato nel dominio del tempo e nel dominio della frequenza nel seguente modo:



COSA INFLUENZA UN SEGNALE.

I segnali possono essere influenzati da diversi fattori, i 3 più importanti sono i seguenti:

- Attenuazione.
- Distorsione.
- Rumore

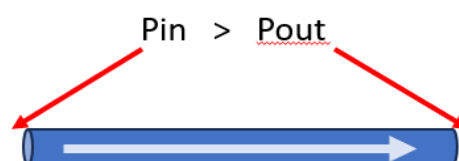
Attenuazione.

L'attenuazione è la perdita di energia di un segnale su un mezzo trasmissivo. Le cause dipendono essenzialmente dal tipo di mezzo trasmissivo, ad esempio in un cavo in rame il segnale si attenua essenzialmente per la resistenza del cavo che pur se piccola è presente e causa una perdita di energia per la dissipazione di potenza sotto forma di calore, ma il segnale si attenua anche per l'energia che viene inevitabilmente propagata tramite onde radio nell'intorno del cavo. In una fibra ottica l'energia, sotto forma di radiazione luminosa, viene in parte persa per fenomeni di assorbimento o di diffusione. Nelle comunicazioni WIFI, l'attenuazione dipende dall'interazione dell'onda elettromagnetica con l'ambiente circostante.

L'unico mezzo trasmissivo dove l'attenuazione può essere considerata nulla, è lo spazio libero inteso come vuoto assoluto, dove il segnale non ha la possibilità di interagire con nulla.

L'attenuazione si misura in decibel (dB) con il valore di 0dB si intende l'assenza di attenuazione.

$$A = 10 \cdot \log\left(\frac{P_{out}}{P_{in}}\right) \quad A = \text{attenuazione (dB)}$$



Con un'attenuazione di -3dB, ad esempio, abbiamo un segnale in uscita che è la metà di quello di ingresso. O anche se un segnale si riduce di 10 volte avremo un'attenuazione di -10dB.

Distorsione.

Distorsione da ritardo. Come visto precedentemente, un segnale è composto da più armoniche (sinusoidi di differente ampiezza e frequenza). La velocità di propagazione nel mezzo delle varie armoniche perciò è differente e per questo il segnale al termine della linea non avrà la stessa forma d'onda ma presenterà delle distorsioni.

Distorsione d'ampiezza. Sempre considerando le varie armoniche tra loro differenti, bisogna osservare che l'attenuazione per ogni armonica potrà essere differente, in questo caso al termine della linea arriveranno armoniche attenuate differentemente ed anche per questo la forma del segnale trasmesso sarà differente.



Rumore.

Con il termine rumore vengono indicati tutti i fenomeni esterni che influenzano e modificano l'andamento del segnale. In genere esso è causato da segnali in alta frequenza irradiati in aria o indotti lungo la linea di trasmissione, derivanti da altri dispositivi per lo più di potenza. Basti pensare ad esempio ai disturbi creati dagli alimentatori switching (come ad esempio gli alimentatori per PC) che creano dei disturbi per effetto del circuito di chopper interno operante a frequenze comprese tra 20 e 200kHz.

Anche i circuiti di pilotaggio dei motori, o comunque sia tutti i circuiti di potenza, generalmente irradiano disturbi che possono interferire con il segnale trasmesso in una linea di trasmissione.

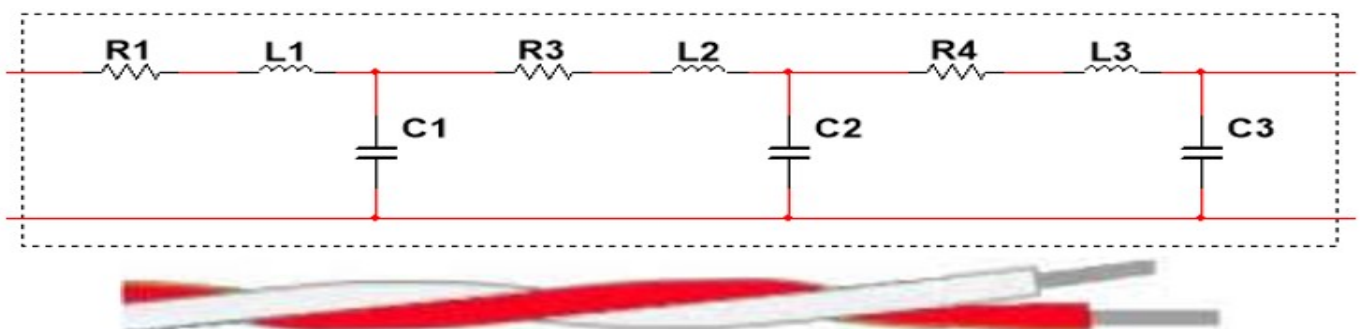
Le fibre ottiche non essendo un mezzo trasmissivo che utilizza un segnale elettrico, sono ovviamente immuni a questo tipo di disturbi.



BANDA PASSANTE DI UN CANALE.

La banda passante di un canale, rappresenta l'intervallo di frequenze che il canale lascia passare.

Se consideriamo un doppino telefonico, possiamo rappresentarlo come un insieme di celle costituite da una rete RLC, come in figura.

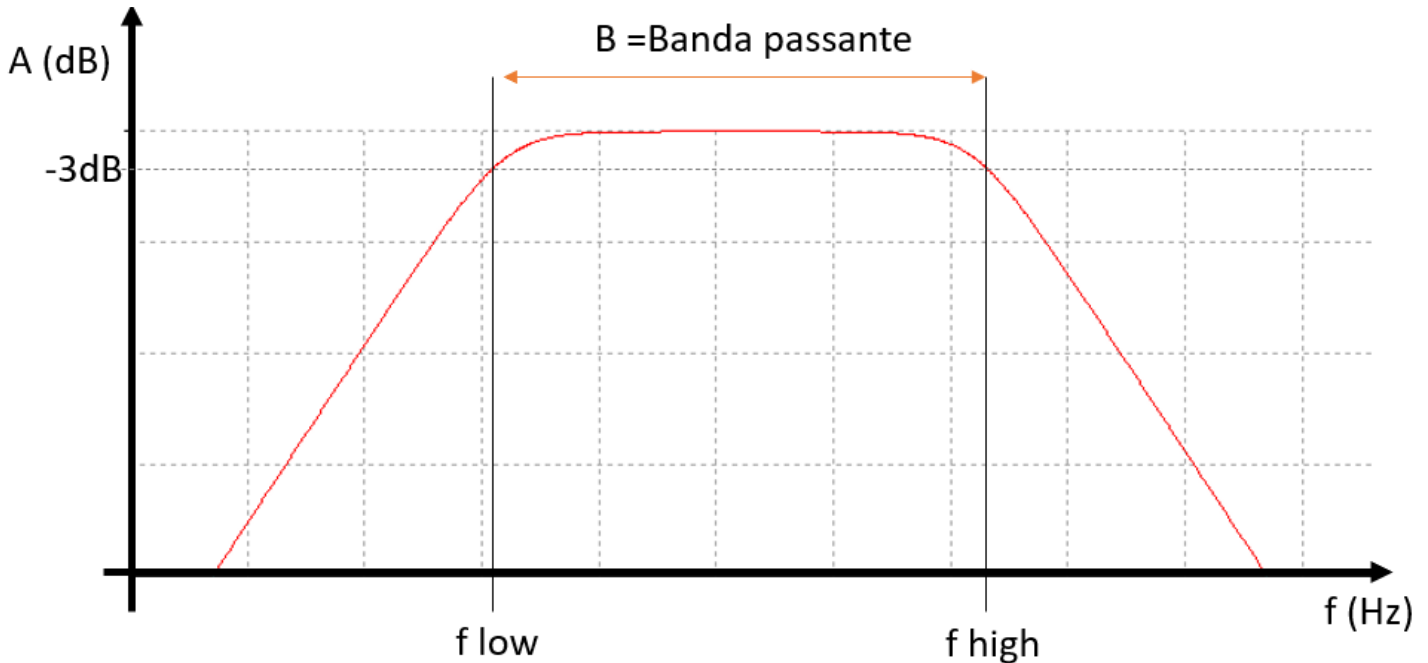


Alle basse frequenze il condensatore ha un'impedenza altissima e l'induttore invece bassissima, lasciando passare il segnale quasi inalterato.

Viceversa alle alte frequenze il condensatore ha un'impedenza bassa e l'induttore alta, attenuando fortemente il segnale. Il cavo in pratica si comporta come un filtro passa-basso.

In base ai parametri della linea (valore di Resistenza, Induttanza e Capacità al metro lineare) può cambiare la banda passante del canale.

La banda passante viene calcolata tra le due frequenze di taglio, che si trovano in corrispondenza dell'attenuazione di -3dB (corrispondente ad una potenza in uscita della linea metà di quella di ingresso).



CAPACITA' DEL CANALE

La velocità di trasmissione di un segnale in un canale trasmissivo, dipende fortemente dalla banda passante e da tutti quei parametri che possono creare attenuazione o distorsione del segnale. Per sintetizzare il tutto in un unico parametro possiamo definire la Capacità del canale che rappresenta la velocità massima con cui un segnale può passare nel mezzo trasmissivo.

La legge di Shannon stabilisce con la seguente formula la relazione tra banda passante B, potenza del segnale S, potenza del rumore N e capacità del canale C.

$$C = B \cdot \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad \text{la capacità C si esprime in bit per secondo [bps]}$$

Ad esempio se la banda passante del canale è 100kHz ed il rapporto segnale rumore (S/N) è pari a 34dB, possiamo calcolare il rapporto S/N e ricavare il valore di C.

$$34 \text{ dB} = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{S}{N} \right) \quad \frac{S}{N} = 10^{\frac{34}{10}} = 2512 \quad C = 100 \cdot 10^3 \cdot \log_2 (1 + 2512) = 1129,5 \text{ kbps}$$

CONDIVISIONE DEL CANALE

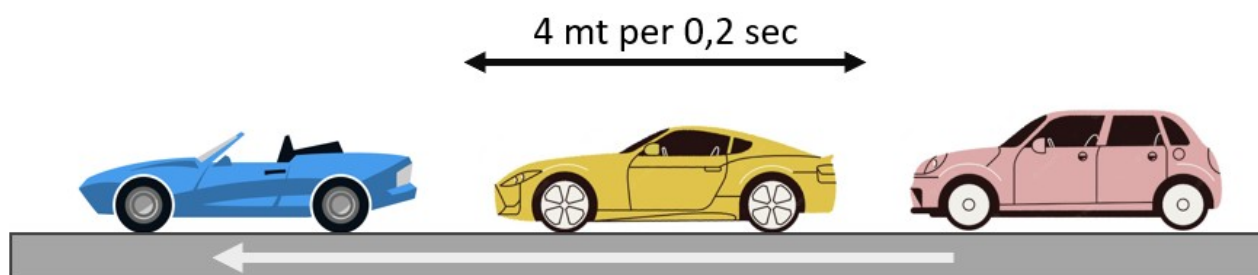
Un canale trasmissivo non può essere dedicato ad un'unica trasmissione di dati ma deve essere condiviso per le trasmissioni dei vari utenti che lo utilizzano, la condivisione può avvenire con differenti modalità e per semplicità possiamo utilizzare l'analogia con un tratto autostradale utilizzato da più viaggiatori.

La condivisione del canale viene effettuata con delle tecniche chiamate di **MULTIPLAZIONE**.

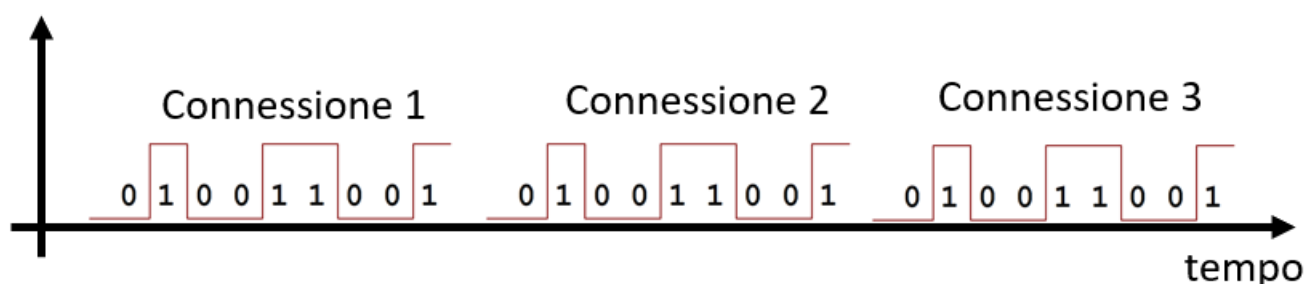
Multiplazione a divisione di tempo.

Se consideriamo una corsia di un tratto autostradale percorsa da più automobili, ci accorgiamo che ogni viaggiatore utilizza la corsia per un tempo definito, ad esempio viaggiando a 72 km/h (cioè 20 m/s) si ha che un'automobile occupa circa 4 metri di strada per un tempo di 0,2 sec.

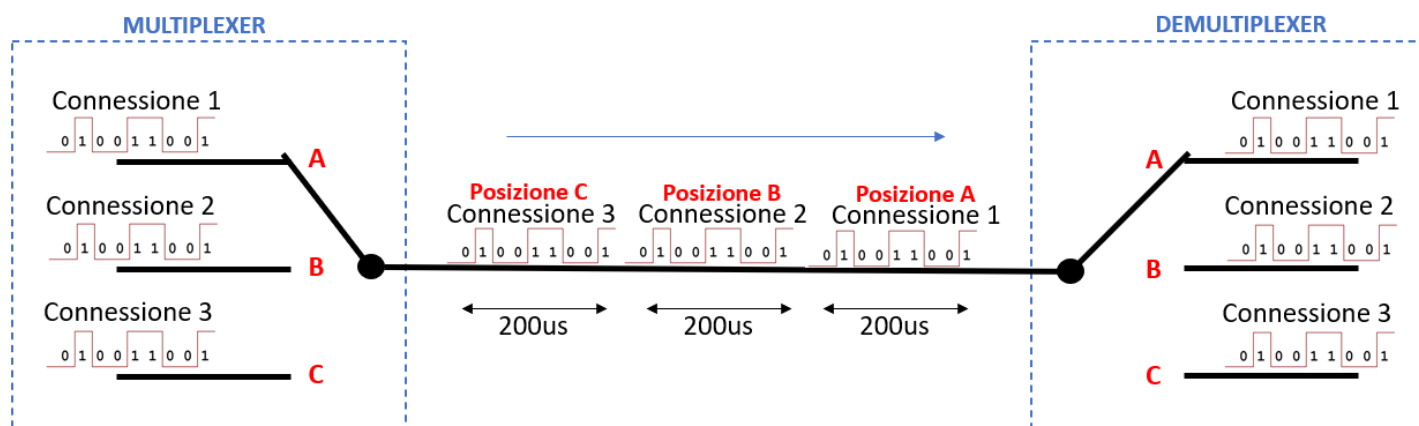
Tutte le automobili in fila viaggiando alla stessa velocità occuperanno i 4 metri di strada per lo stesso tempo.



Allo stesso modo su un canale possono passare sequenze di dati di differenti connessioni.

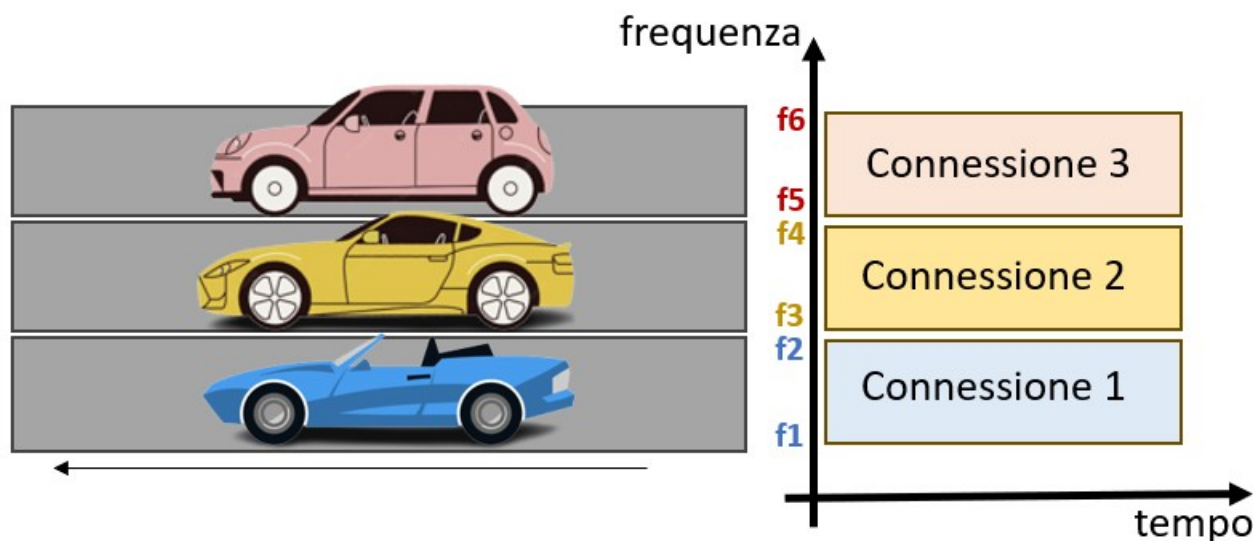


Questa tecnica si chiama **TDM** (Time Division Multiplexing) il meccanismo per effettuare questa multiplazione utilizza dispositivi quali **multiplexer** e **demultiplexer**, come in figura.



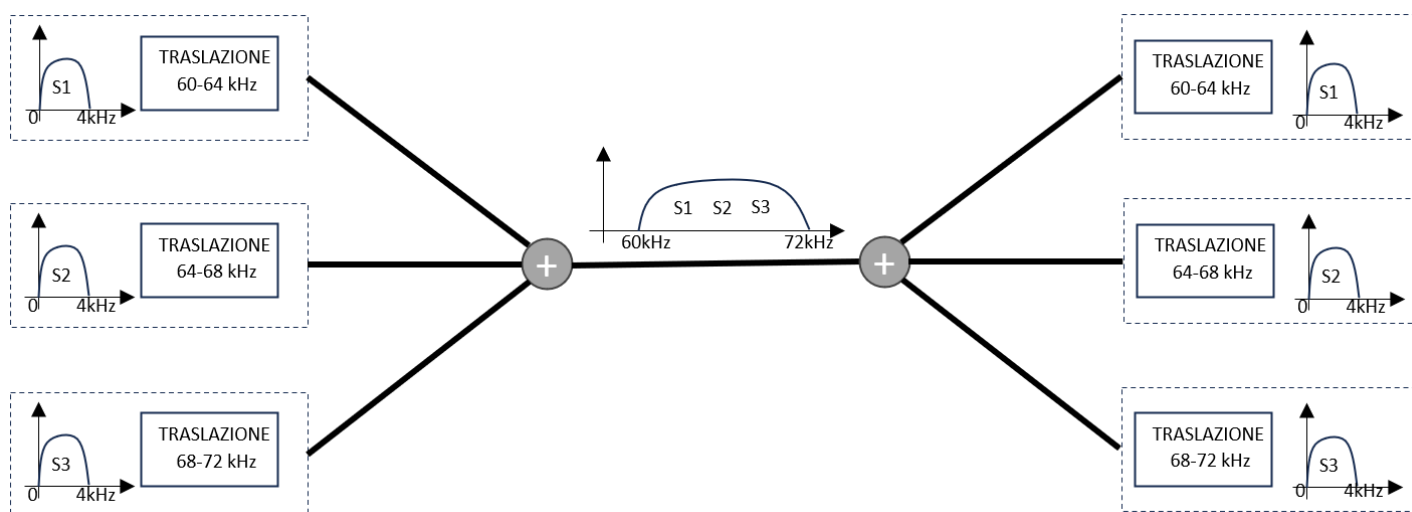
Multiplazione a divisione di frequenza.

Sempre ragionando con l'analogia autostradale, possiamo considerare il fatto che un'autostrada possiede più corsie per far transitare i veicoli.



In questo caso, ogni connessione sfrutterà una banda di frequenze differente. Questa tecnica è denominata **FDM (Frequency Division Multiplexing)**.

Lo schema a blocchi di questa trasmissione è il seguente:



La banda del canale trasmissivo dipende dalla quantità di segnali da trasmettere.

Multiplazione a divisione di codice.

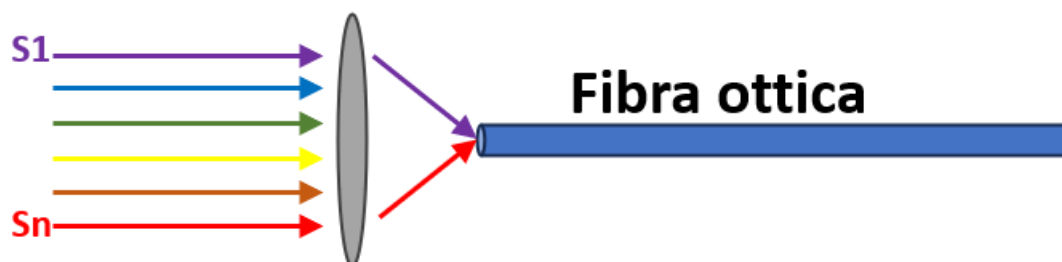
L'analogia in questo caso è quella di più persone in una stanza che parlano tra di loro utilizzando un linguaggio differente.

L'accesso multiplo a divisione di codice, **CDMA (Code Division Multiple Access)** consiste nel codificare in maniera differente i segnali da trasmettere sommandoli poi per trasmetterli sullo stesso canale trasmissivo. Il ricevitore decodifica poi i segnali ricostruendo l'informazione iniziale.

Multiplazione a divisione d'onda.

Questa tecnica utilizzata nelle fibre ottiche, consiste nel creare un unico fascio luminoso sommando i differenti fasci luminosi con lunghezze d'onda differenti.

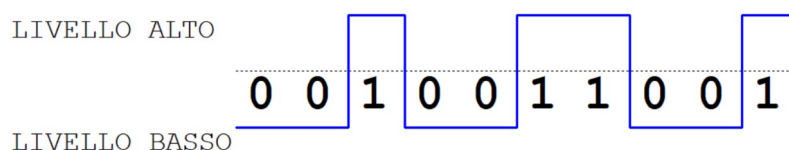
Lo schema a blocchi della tecnica **WDM (Wavelength Division Multiplexing)** è il seguente:



TRASMISSIONE DIGITALE

In questo caso la sequenza di bit da inviare viene codificata sotto forma di segnali discreti (un segnale discreto può assumere solo determinati valori ben definiti nel caso del sistema binario può assumere solo due valori).

Una trasmissione digitale che utilizza un sistema binario, può essere rappresentata con un segnale la cui tensione varia tra due valori ben definiti.



TRASMISSIONE SERIALE

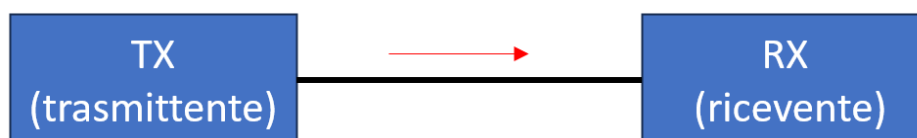
A differenza della trasmissione parallela la trasmissione seriale utilizza meno terminali per inviare e ricevere i dati. Nella configurazione più semplice sono sufficienti due fili oltre al filo del potenziale di riferimento (massa). Nelle comunicazioni si utilizza prevalentemente questo tipo di trasmissione in quanto necessita di un minor numero di cavi.

Il dato viene inviato in maniera sequenziale sul canale partendo dal bit meno significativo (LSB) al più significativo (MSB).

Ci sono tre modalità di trasmissione seriale:

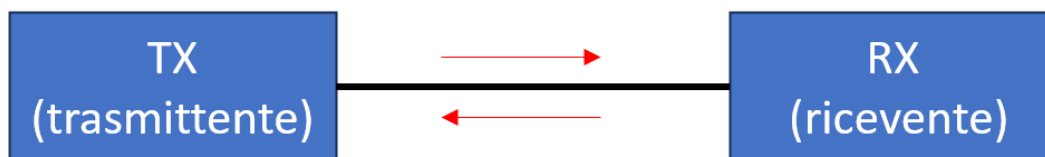
- **SIMPLEX**

Quando il dato può andare in un'unica direzione dal dispositivo che trasmette a quello che riceve.



- **HALF DUPLEX**

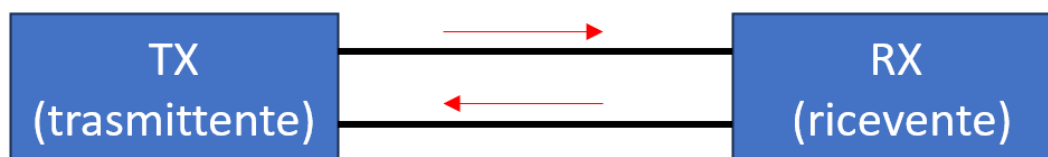
Quando il dato può andare in entrambe le direzioni dal dispositivo che trasmette a quello che riceve e viceversa utilizzando lo stesso canale la trasmissione avviene o dal trasmittente al ricevente o viceversa.



- **FULL DUPLEX**

Quando il dato può andare in entrambe le direzioni dal dispositivo che trasmette a quello che riceve e viceversa contemporaneamente.

In questo caso ci sono due canali trasmissivi uno per la trasmissione ed uno per la ricezione.

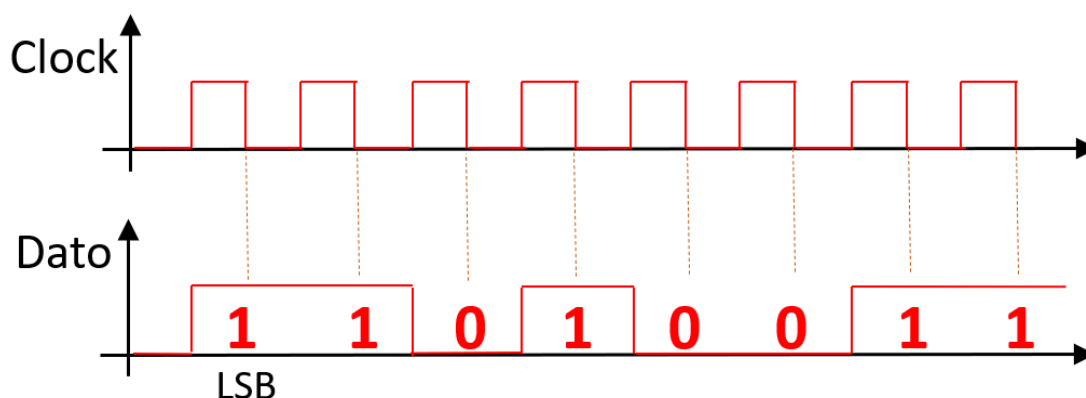


La trasmissione seriale può suddividersi anche in SERIALE SINCRONA ED ASINCRONA.

Trasmissione seriale sincrona.

Nella trasmissione seriale sincrona oltre al dato viene inviata la velocità con cui viene trasmesso.

Nella trasmissione seriale sincrona oltre al dato può essere inviato un clock, un segnale ad onda quadra che dà il tempo di lettura dei bit sulla linea dati.



E' anche possibile realizzare una comunicazione seriale sincrona, senza utilizzare il segnale di clock, ma facendo autosincronizzare il ricevitore in base alle transizioni 1-0 dei bit presenti nel messaggio inviato.

Un esempio di trasmissione seriale autosincronizzante è quella effettuata con la codifica Manchester, come vedremo più avanti.

Due esempi di comunicazione seriale sincrona che utilizzano il segnale di clock, sono lo standard I2C e SPI.

Trasmissione seriale asincrona.

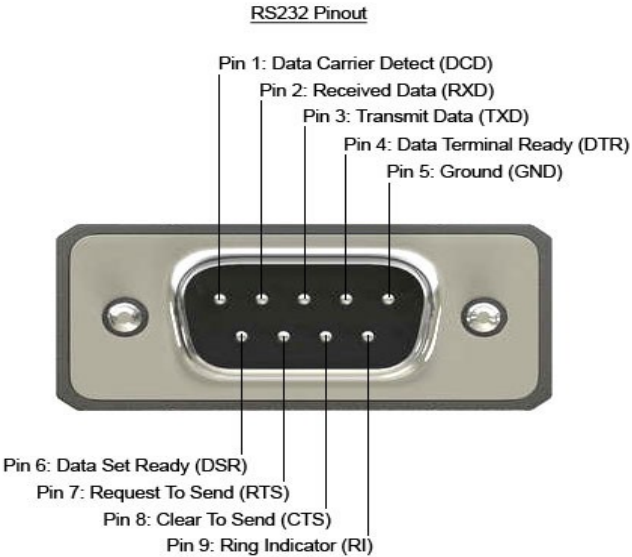
In questo tipo di trasmissione, il sincronismo viene effettuato conoscendo la velocità di trasmissione ed utilizzando dei bit di start e di stop.

La trasmissione seriale asincrona più conosciuta è lo standard RS232.

Questo standard prevede una comunicazione seriale asincrona tra due dispositivi, mediante due pin RXD e TXD.

Viene utilizzato un connettore a vaschetta a 9 poli, con la seguente piedinatura:

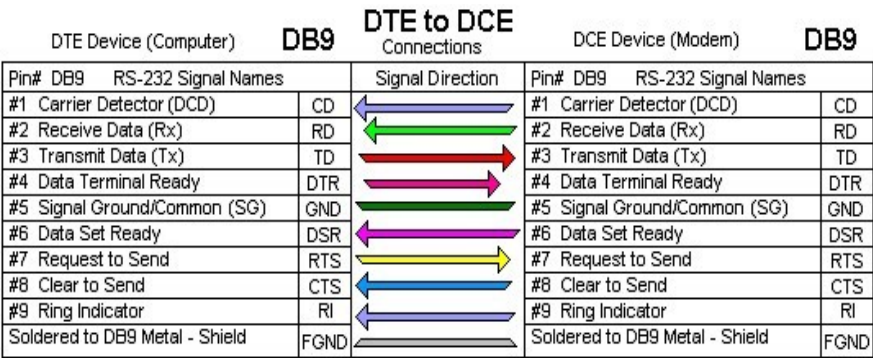
Num. pin	Descrizione
1	DCO – Data Carrier Detect
2	RXD – Received Data
3	TXD – Transmit Data
4	DTR – Data Terminal Ready
5	GND - Ground
6	DSR – Data Set Ready
7	RTS – Request To Send
8	CTS – Clear To Send
9	RI – Ring Indicator
shield	Schermo connettore



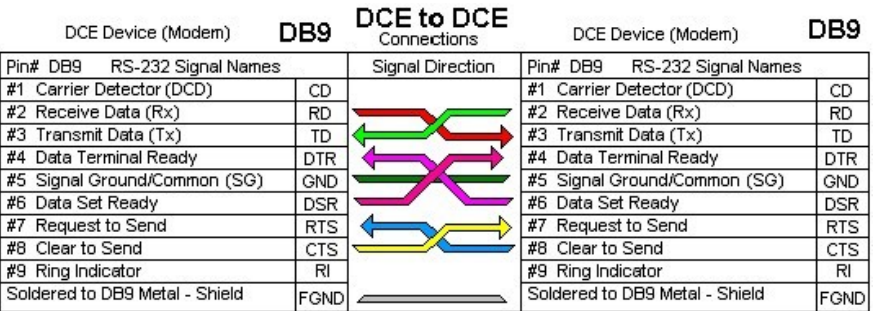
Il collegamento minimo per lo standard seriale, prevede l'utilizzo delle sole due linee RXD e TXD, in questo modo possiamo collegare due dispositivi utilizzando un cavo incrociato, dove il pin RX del primo dispositivo va a collegarsi con il pin TX del secondo e viceversa.

Lo standard RS232 nasce per far comunicare due dispositivi chiamati DTE (Data Terminal Equipment) e DCE (Data Communication Equipment) come ad esempio il collegamento tra PC e Modem seriale.

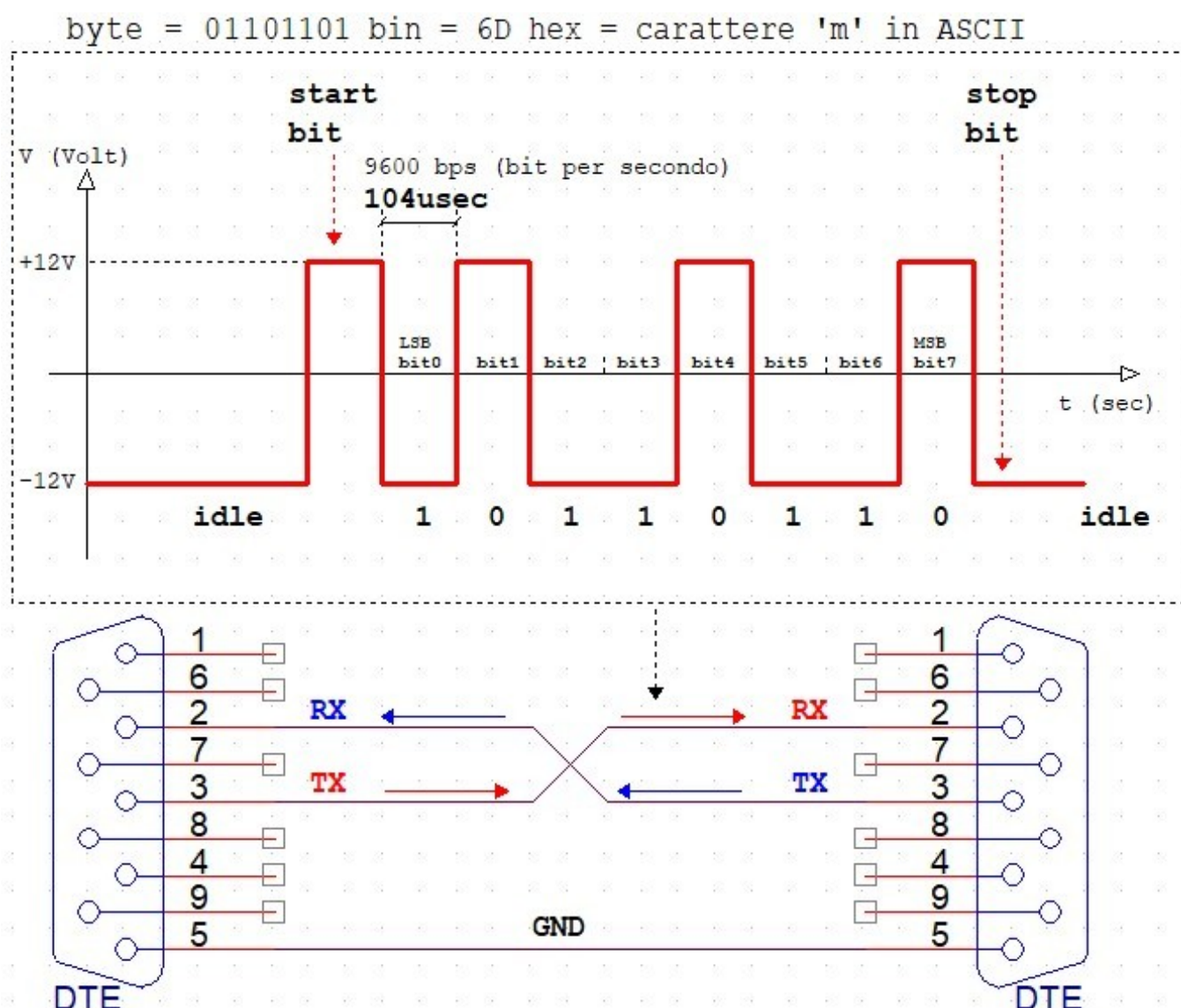
In questo caso l'inversione dei pin RX e TX non è necessaria, in quanto nel DCE il funzionamento dei pin RX e TX viene invertito nel dispositivo. Esiste inoltre la possibilità di utilizzare un connettore a 25 pin anziché 9 pin.



L'incrocio dei pin RX e TX dipende se il collegamento avviene tra un DTE e DCE o tra due dispositivi dello stesso tipo. A destra due esempi di collegamento tra DTE e DCE, o tra DCE e DCE, o anche tra due DTE, come ad esempio tra due PC.



Considerando il collegamento più semplificato tra due DCE, dovendo inviare un byte avremmo la seguente situazione:



Il segnale sulla linea TX viene tenuto normalmente ad un livello di IDLE che corrisponde a -12Volt, quando invece la trasmissione inizia, viene inviato lo start bit che corrisponde ad un livello di +12Volt, e successivamente vengono inviati gli 8 bit considerando il livello logico 0 pari a +12Volt ed il livello logico 1 pari a -12Volt.

Al termine del byte viene inviato un bit di stop corrispondente a -12Volt e la linea rimane poi nello stato di IDLE.

Il livello logico **0** viene definito **space**, il livello logico **1** viene definito **mark**.

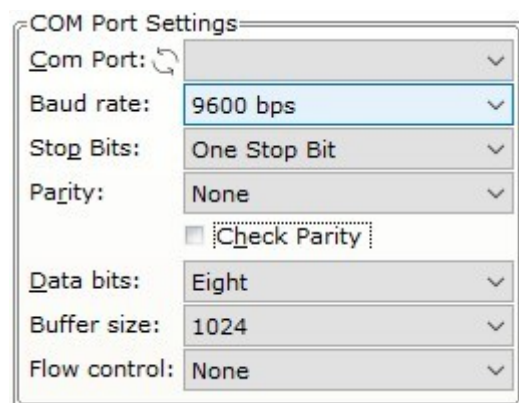
Lo standard prevede l'invio anche di un numero diverso di bit (5,6,7,8,9) o di un numero diverso di bit di stop (1, 2 o 1,5). Inoltre può essere prevista l'aggiunta un bit di parità per il controllo della correttezza del byte ricevuto, nello specifico ci sono le seguenti opzioni:

- nessuna parità *non viene aggiunto alcun bit*
- pari (even) *viene aggiunto un bit in modo che il numero di bit ad 1 (mark) sia pari*
- dispari (odd) *viene aggiunto un bit in modo che il numero di bit ad 1 (mark) sia dispari*
- mark *viene aggiunto sempre un bit di mark*
- space *viene aggiunto sempre un bit di space*

Essendo una comunicazione di tipo asincrono, occorre definire la velocità della comunicazione sui due dispositivi comunicanti. La velocità viene definita in bit per secondo (Baud rate) alcune velocità possibili sono: 1200, 2400, 4800, 9600, 14400, 19200, 38400, 57600, 115200.

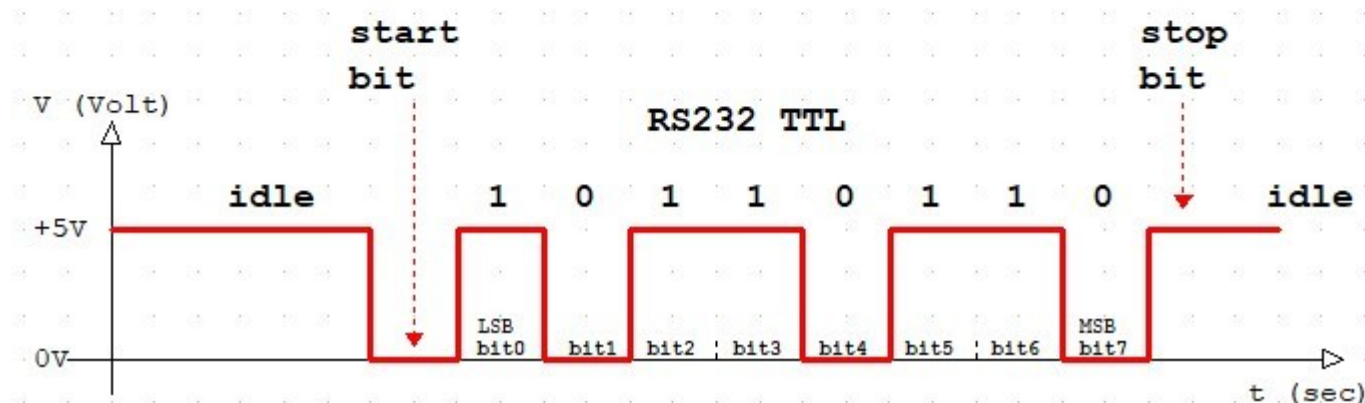
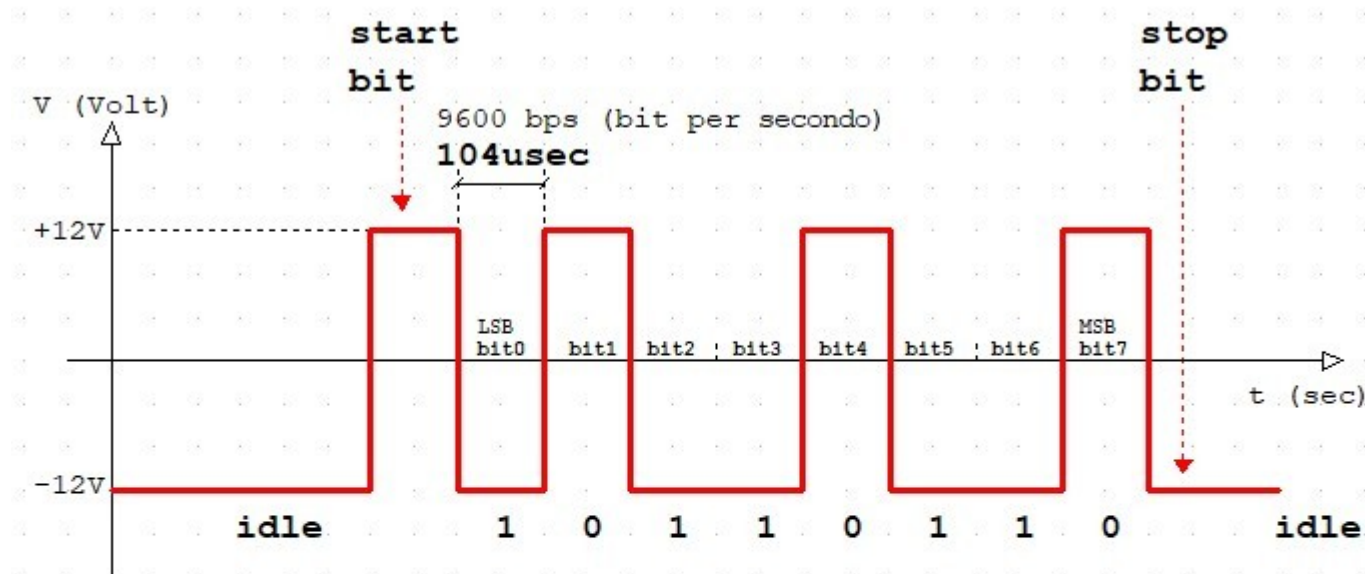
Altro parametro che si può impostare in una comunicazione seriale, è il controllo di flusso (handshaking, stretta di mano) che può avvenire in maniera hardware utilizzando gli altri bit della seriale, in maniera software mediante l'invio di ulteriori bit, o può non essere utilizzato.

In un PC le porte seriali vengono definite con la sigla COM e numerate in base alla quantità di porte presenti (COM1, COM2 ecc...) la distanza massima consigliata tra due dispositivi è di 15metri.



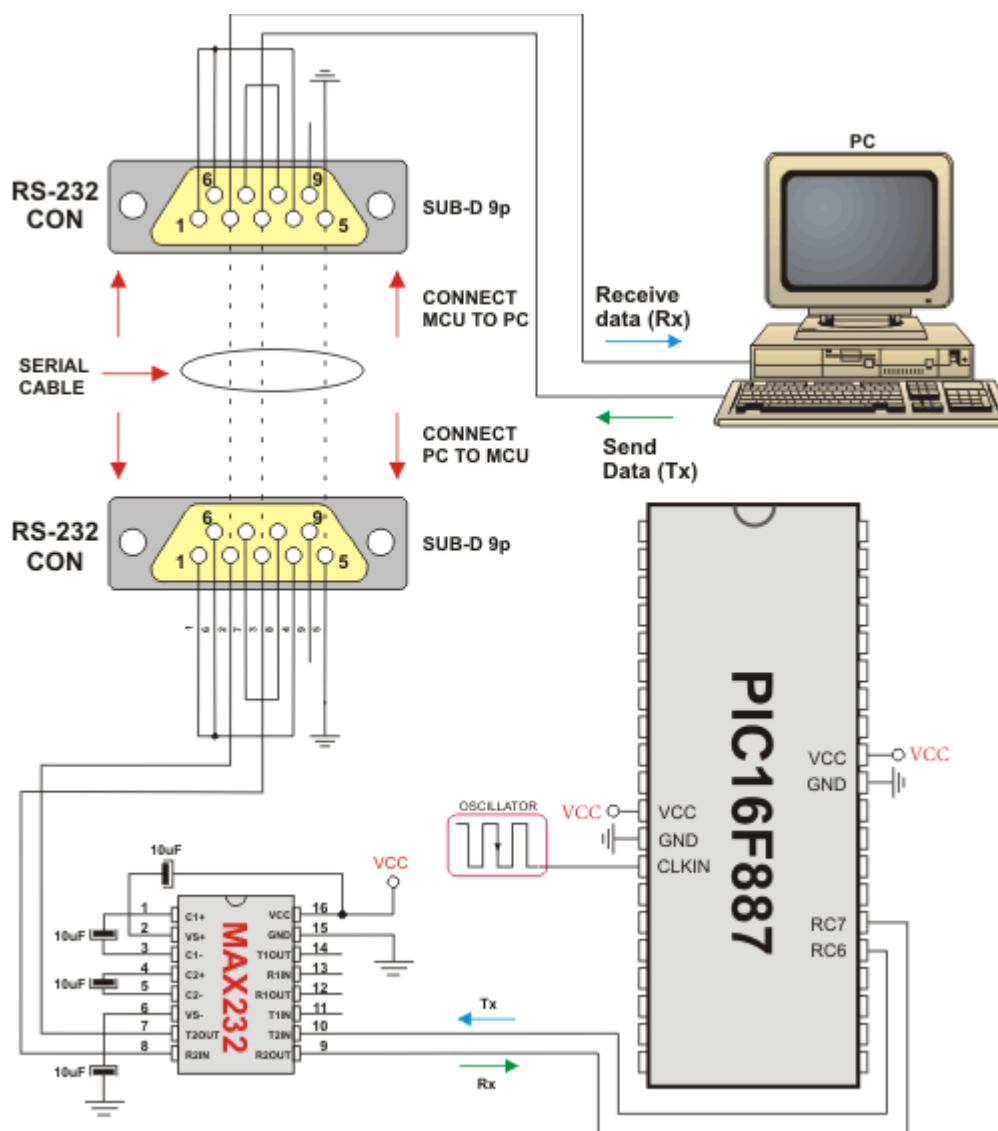
Lo standard seriale può essere anche utilizzato con livelli di segnale TTL (ad esempio nei microcontrollori) in questo caso valgono tutte le regole precedentemente descritte, fatta eccezione per il livello di tensione che necessariamente deve essere 0Volt per lo zero logico e 5Volt per l'uno logico. Pertanto occorre solamente traslare il livello di tensione, ed il byte precedentemente visto si presenta su una linea seriale TTL nel seguente modo.

byte = 01101101 bin = 6D hex = carattere 'm' in ASCII



Esistono in commercio dei circuiti integrati come il MAX232, che consentono la trasposizione dei livelli di tensione, consentendo il collegamento tra un dispositivo che funziona con livelli di tensione 0-5V e lo standard ufficiale che prevede livelli diversi.

La seguente immagine è tratta dall'help del compilatore mikroC della ditta Mikroelektronika (www.mikroe.com) che fornisce tutte le librerie necessarie per instaurare una comunicazione seriale RS232, insieme a molte altre librerie per i diversi standard e protocolli di comunicazione.



Copyright (c) 2002-2019 mikroElektronika. All rights reserved.

Questo standard di comunicazione non è però adatto ad una comunicazione tra più dispositivi, come ad esempio in un sistema Master-Slave, dove gli slave possibili sono in genere più di uno.

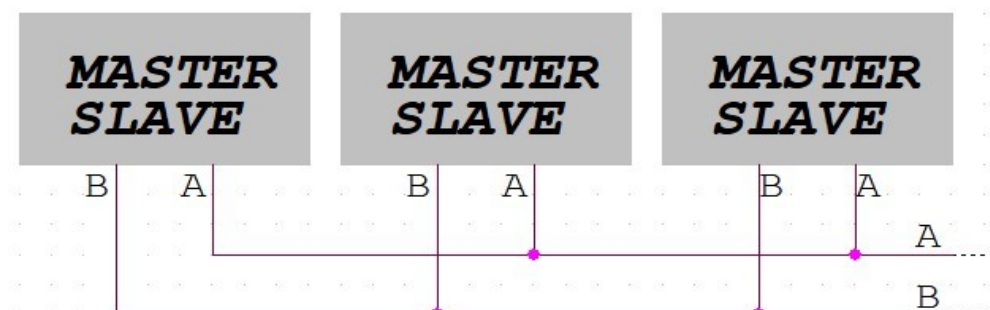
Il suo utilizzo è limitato alla comunicazione tra solo due dispositivi a meno che non vengano adottate soluzioni particolari normalmente non utilizzate.

Per collegare più dispositivi, occorre pertanto un sistema di comunicazione a bus, come ad esempio lo standard RS485.

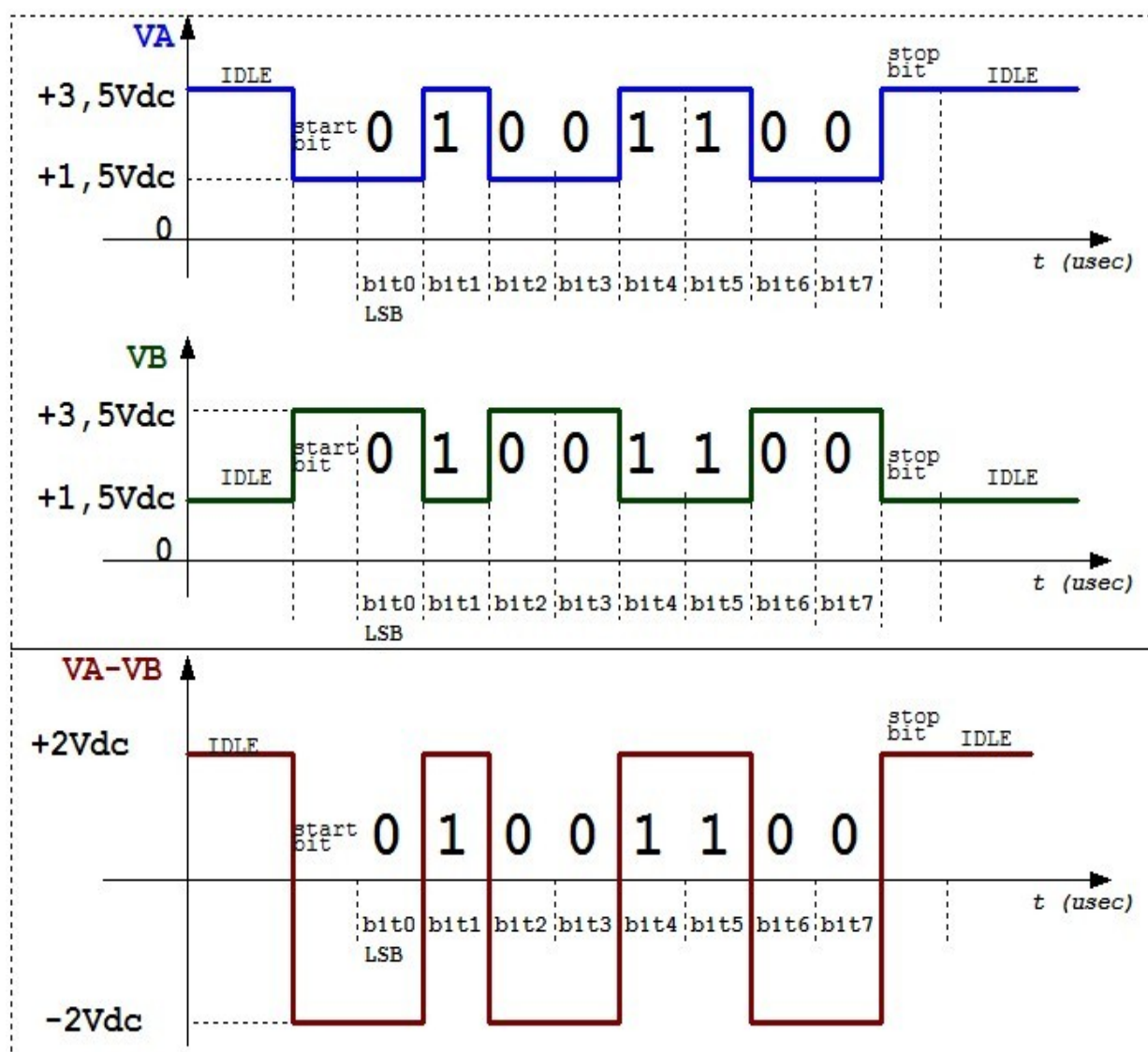
Standard RS485 (EIA RS-485 Electronic Industries Alliance Recommended Standard 485)

A differenza della RS232 dove il dato transita su due canali differenti RX e TX, il cui valore di tensione è riferito allo stesso potenziale GND, nella comunicazione RS485, si prevede il transito dei dati su un bus composto da due collegamenti dove il valore di tensione è di tipo differenziale.

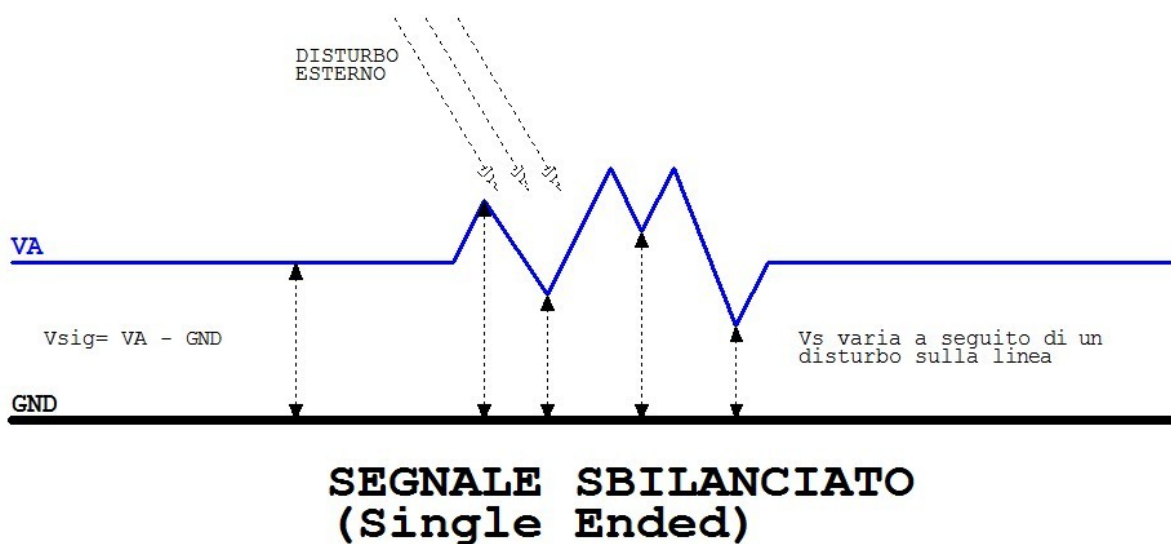
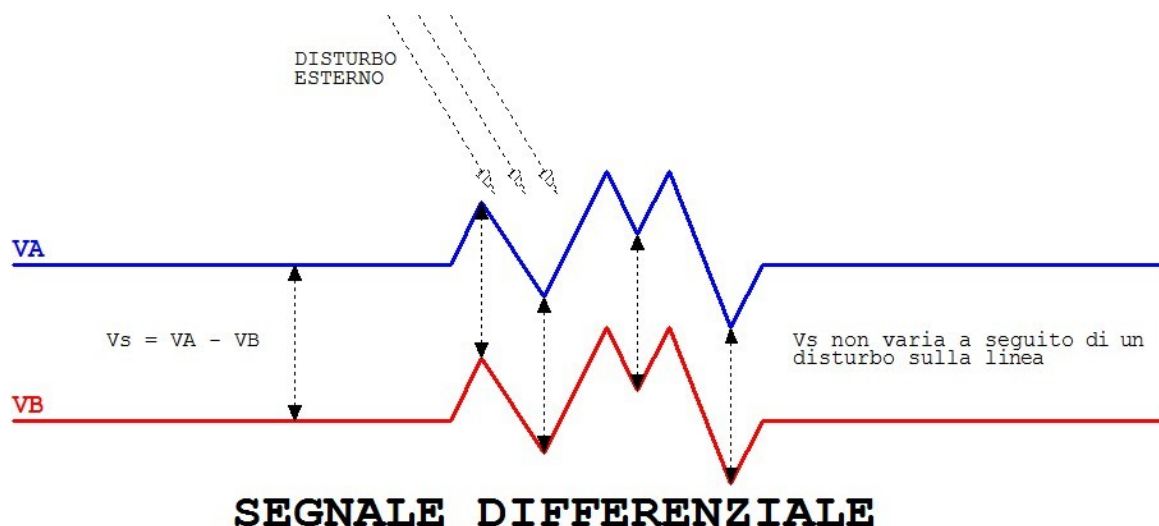
Questo tipo di comunicazione si presta per un collegamento tra più dispositivi, come nel caso di un collegamento Master-Slave.



Come nella RS232 si prevedono due canali RX e TX oltre ad altri canali utilizzati per il controllo del flusso come RTS e CTS, tutti operanti con segnali differenziali, dove il valore di tensione tra i due terminali + e - corrisponde ad un valore positivo o negativo a seconda del livello logico 0 o 1. La tensione può variare da 1,5 a 3,5Volt.



Come detto in precedenza, in un segnale differenziale, il livello di tensione di un terminale è riferito all'altro terminale, ed i due terminali viaggiano in genere su collegamenti twistati (incrociati) in questo modo un eventuale disturbo di origine elettrica, andrebbe a modificare il valore di tensione di entrambi i terminali, non influenzando sul valore della loro differenza. Una situazione completamente diversa da quella del segnale della RS232, un segnale sbilanciato, definito anche Single Ended, riferito alla GND. In questo caso un eventuale disturbo andrebbe a modificare il valore di tensione della linea causando possibili errori di trasmissione.



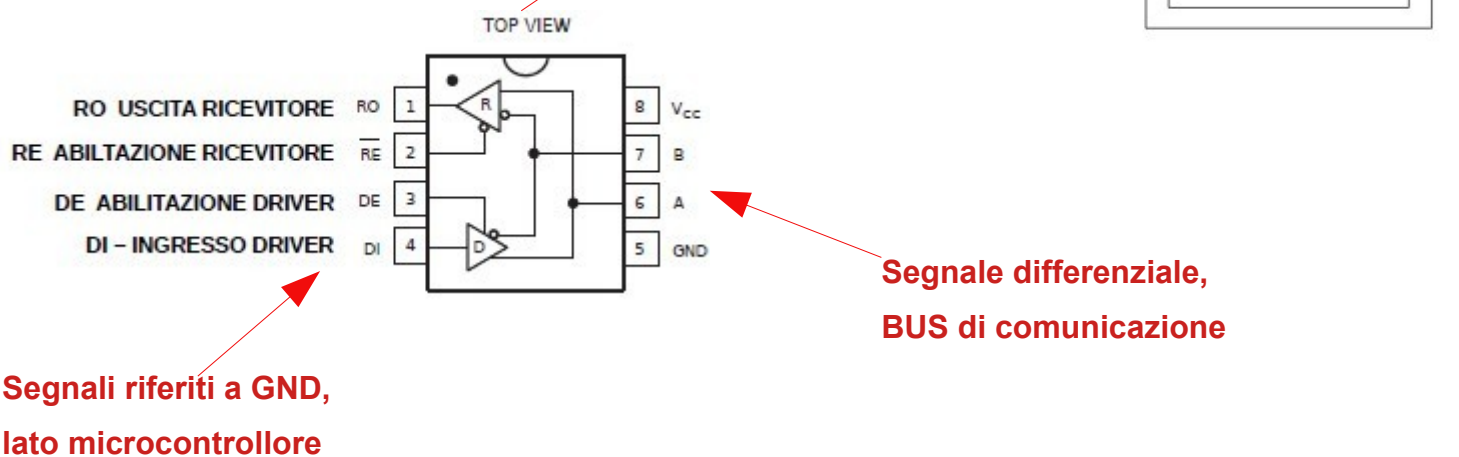
Anche in questo caso esiste uno standard nel pin-out di un connettore a vaschetta a 9 poli, anche se questo tipo di connettore viene utilizzato normalmente in una connessione punto-punto tra due dispositivi.

Num. pin	Segnale	Descrizione
1	TXD -	Transmit Data
2	TXD +	
3	RTS -	Request To Send
4	RTS +	
5	GND	Ground
6	RXD -	Received Data
7	RXD +	
8	CTS-	Clear To Send
9	CTS+	
shield		Schermo connettore

Come nella precedente comunicazione esistono in commercio dei dispositivi in grado di gestire il bus 485, come ad esempio l'integrato MAX485 o LTC485.

Il segnale digitale TX viene inviato sul pin 4 DI ed il segnale RX viene ricevuto dal pin 1 R0. I due pin RE e DE permettono di scegliere la direzione del dato, se in lettura o scrittura ed in genere possono essere collegati insieme come nell'esempio di seguito, tratto sempre dall'help del compilatore mikroC prodotto dalla mikroelektronika.

In questo modo un qualsiasi microcontrollore, può essere collegato ad un bus RS485 utilizzando 3 sole linee digitali.



Dal datasheet dello stesso integrato possiamo vedere un esempio di collegamento con più dispositivi.

<https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX1487-MAX491.pdf>

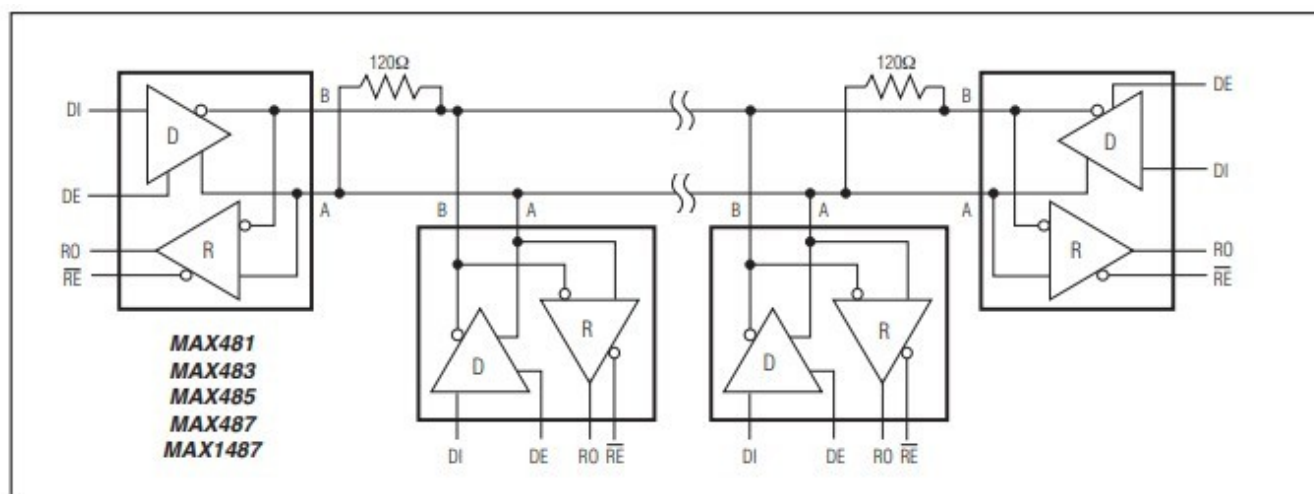
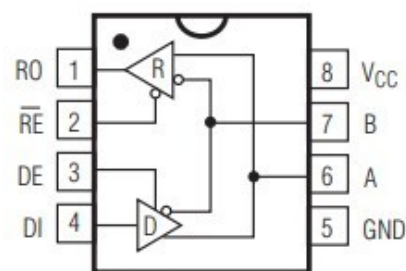


Figure 21. MAX481/MAX483/MAX485/MAX487/MAX1487 Typical Half-Duplex RS-485 Network

Come si può notare dall'immagine sopra, il bus è unico e comune a tutti i dispositivi, ed essendo costituito da un solo canale differenziale, la comunicazione può essere solo HALF-DUPLEX (il dato transita o in una direzione o nell'altra, mai contemporaneamente).

Il circuito integrato MAX488 invece ha al suo interno due canali differenziali indipendenti.



In questo modo si possono ottenere due canali indipendenti, uno per la trasmissione ed uno per la ricezione, in modo da avere la possibilità di una comunicazione FULL-DUPLEX (il dato può transitare contemporaneamente in entrambe le direzioni).

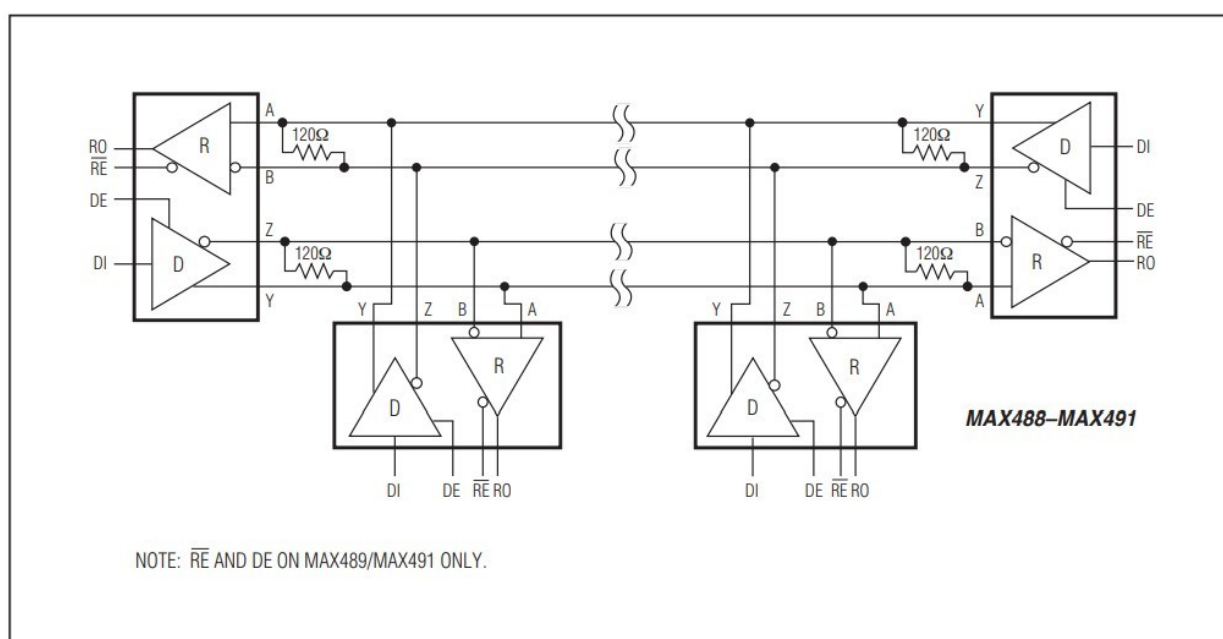


Figure 22. MAX488-MAX491 Full-Duplex RS-485 Network

Il vantaggio di una comunicazione su bus RS485, è essenzialmente una maggiore immunità ai disturbi, in quanto vengono utilizzati dei canali trasmissivi differenziali. Questo consente anche il raggiungimento di distanze molto maggiori rispetto alla RS232, distanze dell'ordine dei 1200 metri con velocità elevate fino a 20Mbps.

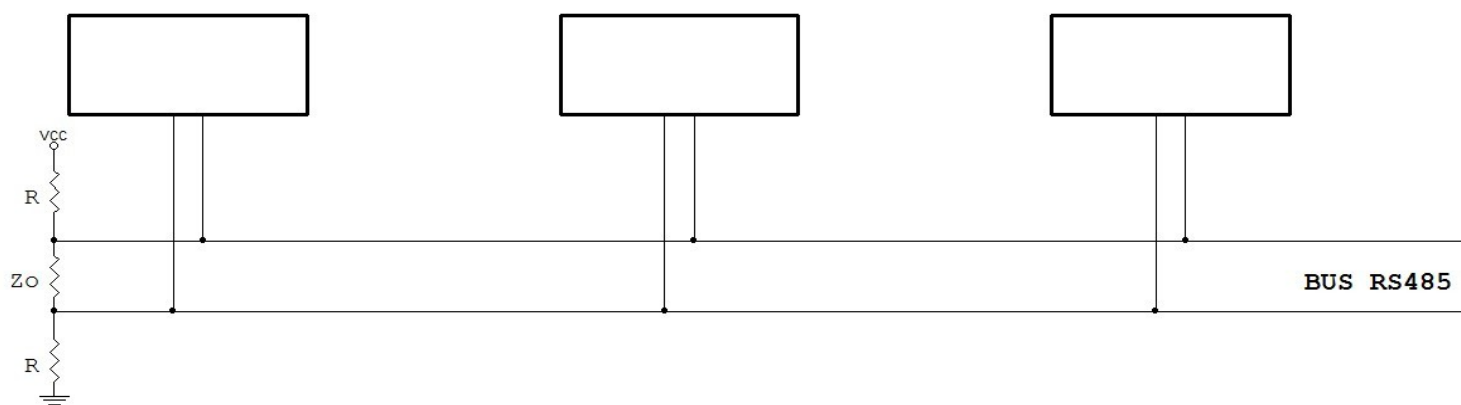
Inoltre la comunicazione RS485, consente un collegamento tra più dispositivi e non solo tra un DTE-DCE o DTE-DTE, come visto nella comunicazione RS232.

Come visto sopra nei grafici del segnale differenziale, il livello di uscita tra le uscite A e B è di $\pm 2\text{ V}$, i trasmettitori si occupano di mettere a disposizione sulle due linee del bus questo valore, mentre i ricevitori riconoscono anche livelli più bassi fino a $\pm 200\text{ mV}$. Ciò consente un'ottima immunità ai disturbi, anche su percorsi molto lunghi. Per diminuire le riflessioni del segnale trasmesso, il primo ed ultimo dispositivo della rete devono avere una resistenza terminatrice in parallelo, che varia da 120 a 560 Ohm in base all'impedenza caratteristica della linea.

Lo standard RS485 può teoricamente supportare fino a 32 dispositivi connessi, anche se con i moderni trasmettitori e ricevitori si arriva a 128 nodi.

Per evitare che le linee siano lasciate in alta impedenza quando tutti sono in ricezione, si può polarizzare il bus per evitare che il bus ad alta impedenza possa captare dei disturbi elettromagnetici dall'esterno.

Ciò può avvenire con 3 resistenze collegate questo modo:



$$R = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{V_{cc} \cdot Z_o}{V_{bus}} - Z \right)$$

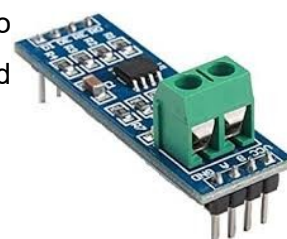
$$V_{bus} = 2\text{ Volt}$$

Z = impedenza totale della linea

Z_o = impedenza caratteristica della linea

In genere queste resistenze sono implementate nei moderni dispositivi.

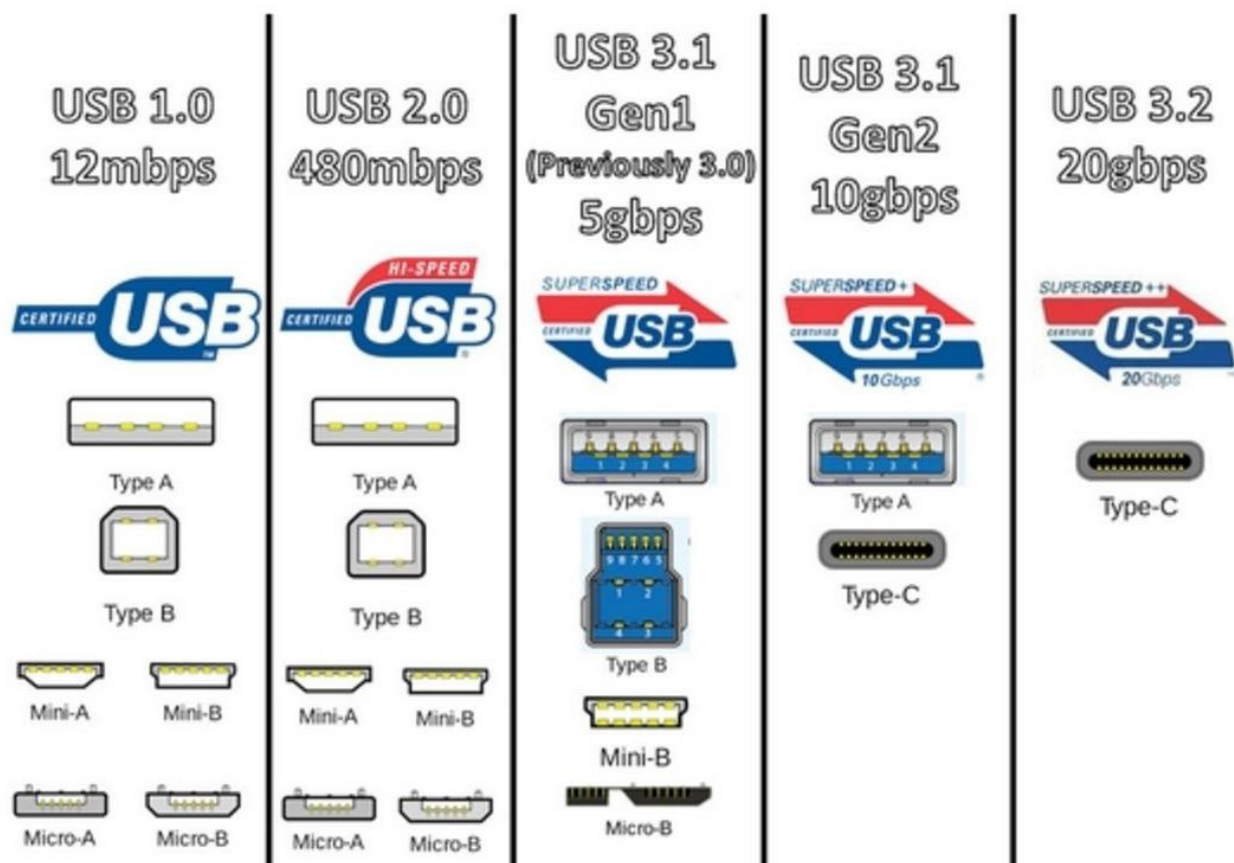
Esistono in commercio dei dispositivi che implementano oltre all'integrato MAX485, tutte le resistenze necessarie per la polarizzazione del bus, come ad esempio questo in figura.



Standard USB (Universal Serial Bus)

Questo standard seriale viene utilizzato per connessioni con topologia a stella, dove un unico Host gestisce la comunicazione con i dispositivi connessi (fino a 127) per questo motivo viene definito uno standard di comunicazione “asimmetrico”.

Lo standard USB ha avuto una rapida evoluzione negli anni, sia dal punto di vista della velocità che dal punto di vista dei connettori.



Il classico connettore type A ha la seguente piedinatura.

Pin	Nome segnale	Colore filo	Descrizione
1	VBUS		+ 5 V
2	D-		Data -
3	D+		Data +
4	GND		GND

Lo standard USB utilizza una comunicazione differenziale con codifica NRZ.

La comunicazione è autosincronizzante, pertanto è classificabile tra i sistemi di trasmissione seriale sincroni.

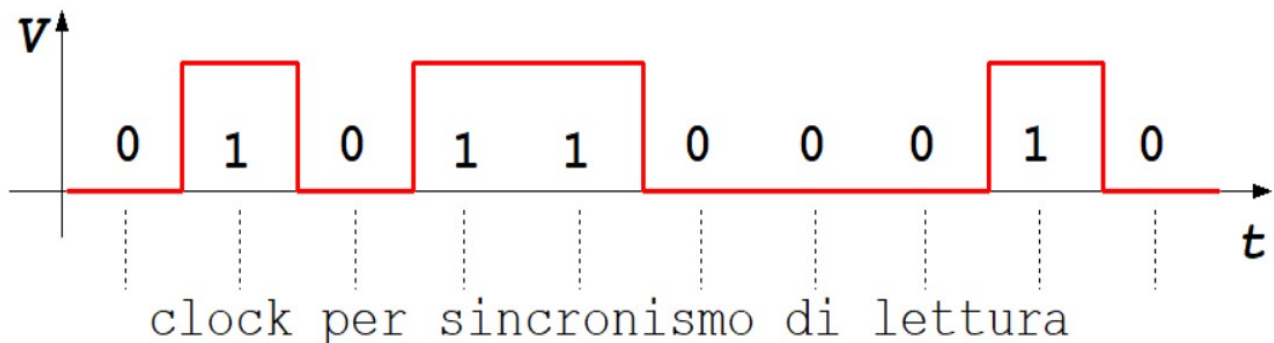
CODIFICA DI LINEA

I dati trasmessi sulla linea vengono trasformati in un segnale elettrico con le tecniche di CODIFICA DI LINEA, e ritrasformati in dati dal ricevitore con un analogo sistema che possiamo chiamare DECODIFICA DI LINEA. Queste tecniche devono inoltre garantire il sincronismo tra trasmettitore e ricevitore.

Associando al segnale elettrico dei valori di tensione ad esempio, abbiamo come visto nella comunicazione seriale, dei livelli di tensione che corrispondono allo 0 o 1 logico. La soluzione di associare il livello di tensione al livello logico però non è sempre quella ottimale, soprattutto per il problema del sincronismo, andiamo perciò ad analizzare i principali metodi utilizzati per inviare un dato in maniera seriale su un canale.

CODIFICA NRZ (Non Return to Zero)

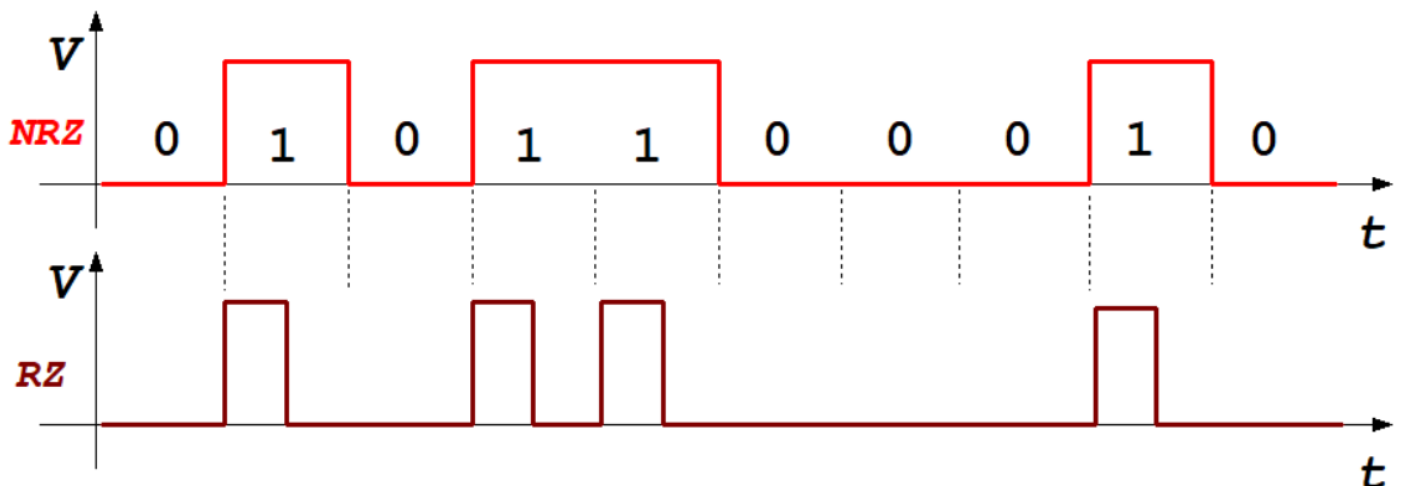
E' la tecnica più semplice vista anche nello standard RS232, ai valori logici 0 ed 1 vengono associati due valori di tensione definiti.



Questo tipo di tecnica non richiede circuiti complessi, ma il problema principale di questa comunicazione è che in caso di una sequenza lunga di bit 0 o 1, si potrebbe avere un'interpretazione errata dei dati causata da un disallineamento nel clock del ricevitore. Se ci sono invece delle variazioni da 0 a 1 o viceversa il ricevitore può riallineare il clock utilizzato per la lettura dei dati basandosi sul fronte di discesa o di salita.

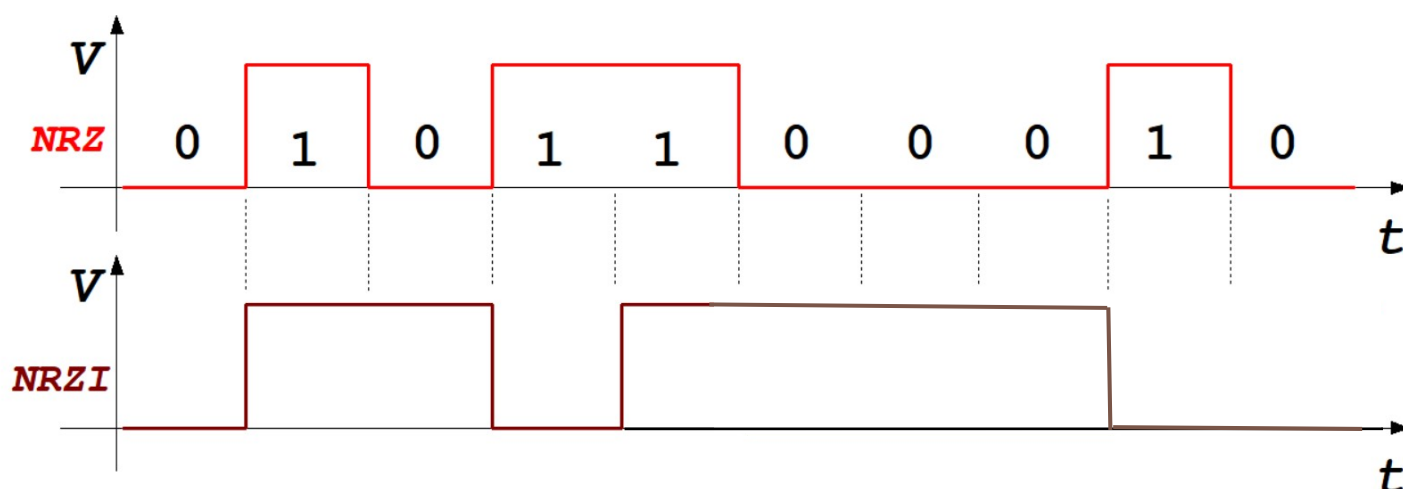
CODIFICA RZ (Return to Zero)

E' simile alla precedente ma il segnale viene riportato a zero ogni semiperiodo. Il bit 1 viene rappresentato da un livello alto per metà della durata. In questo modo si risolve solo il problema delle lunghe sequenze di bit ad 1, ma non delle lunghe sequenze di bit a 0.



CODIFICA NRZI (Non Return to Zero Inverted)

Con questa codifica viene identificato un livello alto con una cambiamento dello stato del segnale, se il segnale è a livello alto per identificare un 1 viene portato a livello basso, o se il segnale è a livello basso per segnalare un 1 viene portato a livello alto. In caso di 0 il segnale non viene modificato.

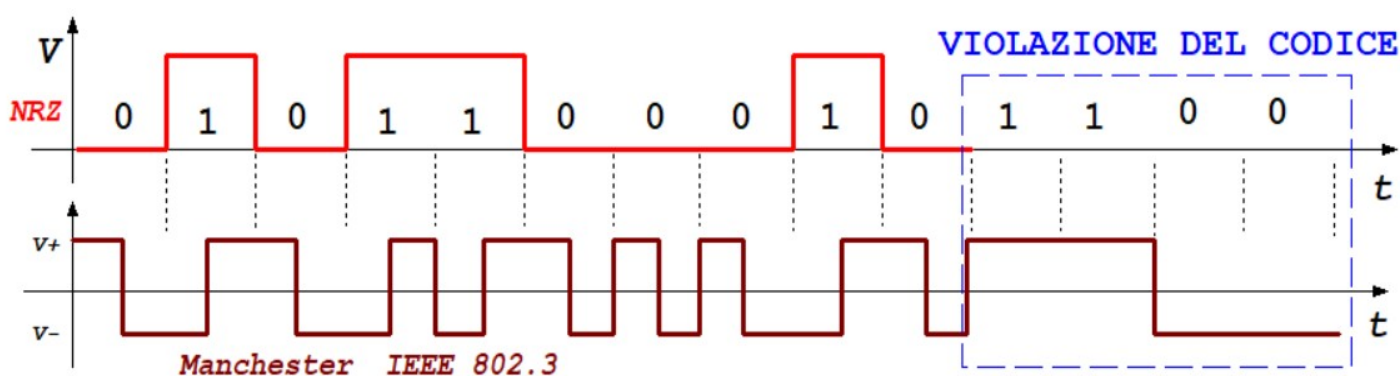


CODIFICA MANCHESTER

Questa tecnica di codifica viene definita “autosincronizzante” in quanto non necessita di un segnale di sincronismo consentendo comunque una sincronizzazione dei bit inviati.

Nella codifica Manchester il bit viene identificato da una transizione, in questo modo ad ogni bit si avrà una variazione del segnale utile per sincronizzare il ricevitore.

Una transizione dal livello basso a quello alto identifica un 1, viceversa una transizione dal livello alto a quello basso identifica uno 0.



In questo caso anche con lunghe sequenze di bit dello stesso valore, ci saranno delle transizioni che serviranno a sincronizzare il ricevitore.

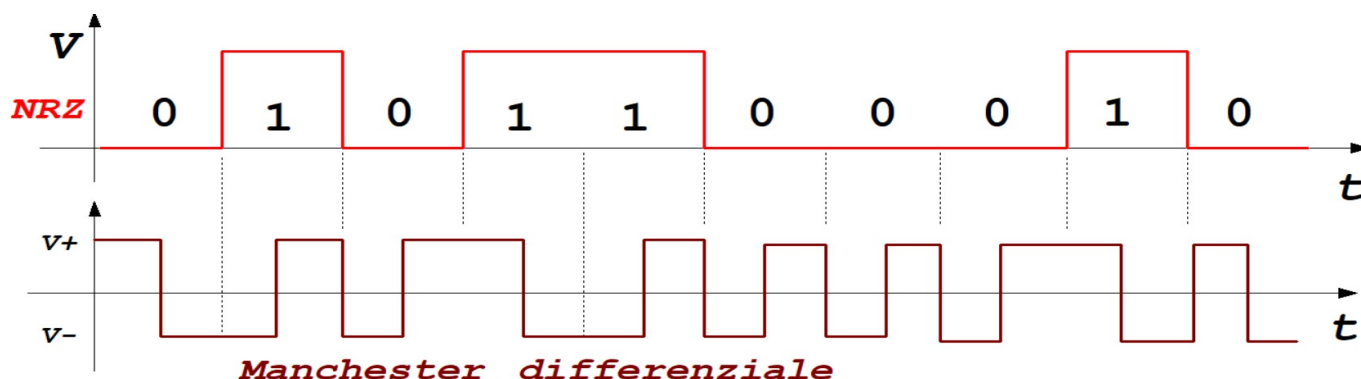
La combinazione 1100 generata dal trasmettitore, viene definita violazione del codice, e consente di identificare la fine del messaggio in quanto è una combinazione di bit che non ha cambi di fronte tra un bit ed il successivo.

Questa codifica non presenta una componente continua, essendo il segnale simmetrico tra un valore positivo ed uno negativo, ma di contro ha una minore efficienza in quanto per trasmettere un bit occorrono due valori, con la necessità di una banda di trasmissione doppia.

La codifica Manchester viene utilizzata nelle reti LAN Ethernet 10 MB/s.

CODIFICA MANCHESTER DIFFERENZIALE

In questa codifica c'è sempre una transizione al centro della durata del bit, all'inizio del bit invece c'è una transizione di livello in caso di bit 0, ed un'assenza di transizione in caso di bit 1.



L'assenza di una transizione al centro del bit, rappresenta una violazione del codice e viene utilizzata per delimitare il frame trasmesso.

I segnali sono compresi tra 3 e 4,5 Volt per il livello alto e simmetricamente tra -3 e -4,5 volt per il livello basso.

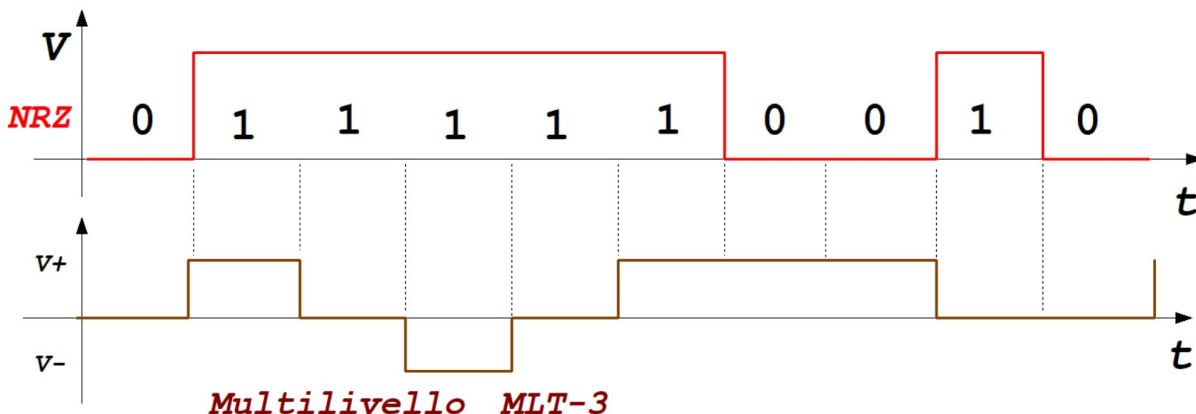
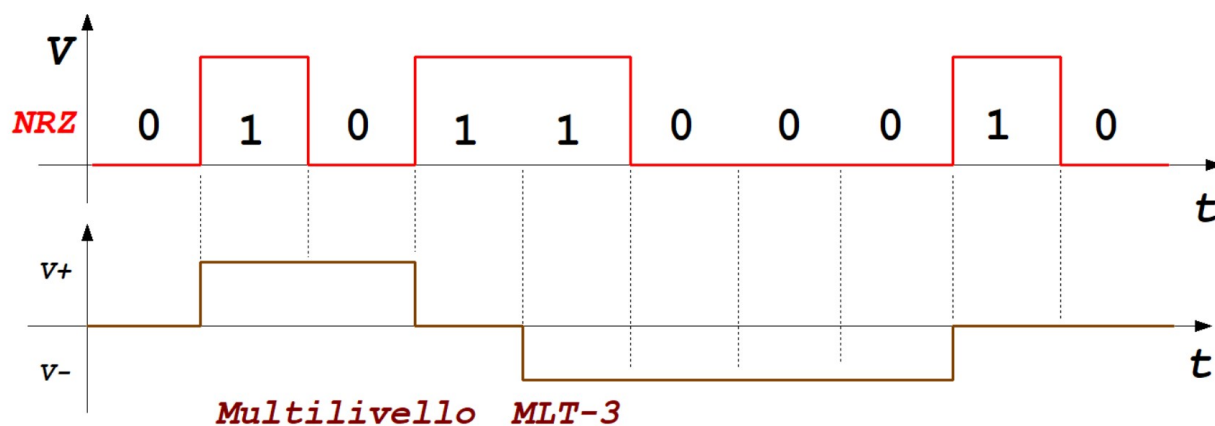
CODIFICA MULTILIVELLO MLT-3

La codifica viene definita multilivello perché utilizza più di due livelli come visto fino ad ora. Tra le varie tipologie di codifica multilivello è quella che utilizza un minor numero di livelli di tensione.

Il segnale può variare solo con la seguente sequenza:

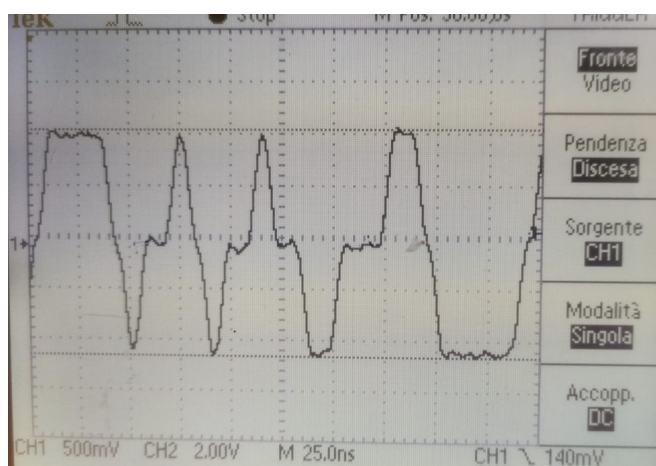
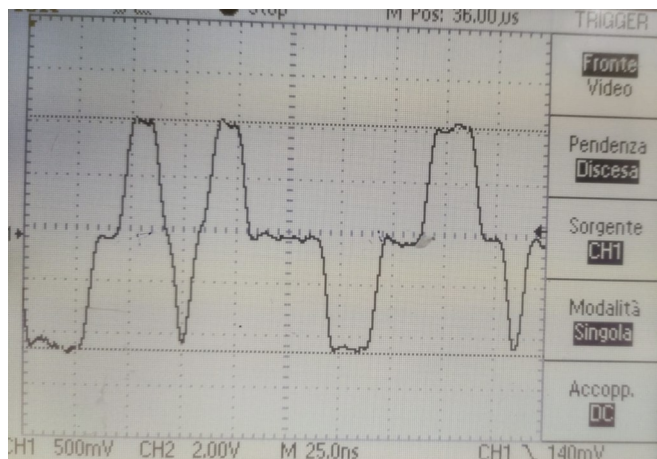
0	V+	0	V-	0	V+	0	V-
---	----	---	----	---	----	---	----

Ci sarà una variazione in caso di bit 1 da trasmettere, non ci sarà variazione nel caso di un bit 0.



Questa codifica viene utilizzata nelle reti LAN Ethernet 100 MB/sec.

Nelle seguenti schermate la visualizzazione del segnale di una rete LAN domestica tramite oscilloscopio.



Come si può notare, la codifica utilizzata è una multilivello MLT-3.

Parlando del livello fisico, sono molti gli argomenti da affrontare, dalle **modulazioni** alle **commutazioni**, senza dimenticarsi il **cablaggio strutturato** che rappresenta l'insieme di tutti i componenti passivi che interconnettono una rete.

Il cablaggio strutturato è quell'infrastruttura che consente di realizzare una rete a livello fisico, si suddivide in:

- cablaggio di piano detto cablaggio orizzontale,
- cablaggio di edificio, detto cablaggio verticale,
- cablaggio di campus.

Per approfondire questa tematica occorre essenzialmente conoscere le normative esistenti ed i componenti usati per realizzare cablaggi tramite cavo in rame, fibra ottica e wireless.

Questi ultimi argomenti appena citati appartengono al mondo del livello fisico, ma la loro trattazione richiederebbe molte pagine, lo scopo di questa dispensa è quello di toccare gli aspetti fondamentali, con qualche approfondimento su quelli basilari e per questo più importanti da conoscere.