

CONNESSIONE CON I CAVI IN RAME

In ogni tipo di sistema i dispositivi devono scambiarsi dati utilizzando appositi mezzi trasmissivi di diverso tipo a seconda della distanza alla quale sono posti i dispositivi da connettere. Il segnale può essere di tre tipi: **elettrico** (per piccole distanze), **ottico** (distanze medio lunghe), **elettromagnetico** (per ogni distanza senza connessione fisica).

TRASMISSIONE DEI SEGNALI ELETTRICI VIA CAVO

La trasmissione di un segnale elettrico via cavo sfrutta una connessione fisica tra 2 dispositivi effettuata con un **CAVO** conduttore.



Sul filo conduttore passano messaggi composti da 0 e 1 opportunamente convertiti in segnali elettrici da un dispositivo presente nel trasmettitore. Per permettere un adeguato scambio delle informazioni il cavo deve avere una buona conducibilità (attitudine ad essere attraversato dalla corrente elettrica).

CONDUTTORE ELETTRICO

I materiali si raggruppano in 3 tipi in base al comportamento al momento del passaggio di corrente: conduttori, semiconduttori, isolanti. Il comportamento dei materiali è strettamente legato alla loro composizione atomica. Ogni atomo è costituito da: un nucleo, elettroni, protoni e neutroni. Questi ultimi sono disposti in orbite che orbitano attorno al nucleo. Gli elettroni posti sull'ultima orbita sono chiamati **elettroni liberi**. In base al numero di elettroni sull'ultimo stadio si definisce la tipologia di materiale:

- *Senza elettroni liberi*: materiale **ISOLANTE**
- *Con quattro elettroni liberi*: materiale **SEMICONDUTTORE**
- *Con almeno un elettrone libero*: materiale **CONDUTTORE**

L'IMPEDENZA

Per impedenza si intende l'ostacolo che il conduttore elettrico oppone al passaggio della corrente: si misura in Ohm.

$$Z = R + jX$$

Dove R indica gli effetti resistivi del circuito mentre jX è la somma algebrica di X_L e X_C che definisce l'**ammettenza** del circuito. Entrambi i valori di reattanza sono legati alla pulsazione (ω).

$$X_L = j\omega L$$

$$X_C = \frac{1}{j\omega C}$$

TIPOLOGIE DI CAVI

Per ogni tipo di trasmissione viene utilizzato un tipo di cavo diverso in base alla natura del segnale da trasmettere. Ad esempio: per la trasmissione digitale si utilizza un cavo diverso da quello analogico. L'attenuazione subita da un segnale è in funzione della velocità di trasmissione, della lunghezza del conduttore e dalla tipologia di cavo utilizzato. I tipi di cavo sono:

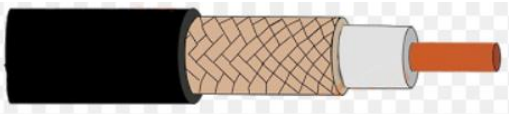
- **Coassiale**
 - o **Thinnet** (Thin Ethernet): Cavo sottile;
 - o **Thicknet** (Thick Ethernet): Cavo spesso;
- **Doppino**
 - o **STP** (Shielded twisted pair): coppie di fili doppiamente schermati;
 - o **FTP** (Foilded twisted pair): coppie di fili con unica schermatura;
 - o **UTP** (Unshilded twisted pair): coppie di fili non schermati.

CAVO COASSIALE

Un cavo coassiale è costituito da un conduttore in rame ricoperto da un cilindro di plastica isolante (dielettrico) a cui viene avvolta una maglia in rame (Gabbia di Faraday) e infine una guaina in plastica isolante. La Gabbia di Faraday oltre ad essere il conduttore per il ritorno del segnale (ossia per la chiusura del circuito) possiede una funzione di schermatura rendendo il cavo immune ai disturbi elettromagnetici. Agli estremi di ogni cavo vengono crimpati dei connettori **BNC** e il circuito tra i 2 connettori viene chiuso attraverso dei terminatori a $50\ \Omega$ che permettono inoltre di collegare la maglia esterna alla massa. I cavi coassiali sono divisi in due gruppi in base alla dimensione del conduttore al loro interno.

THICKNET

Utilizzato nelle backbone ethernet è costituito da:
un conduttore centrale in rame;
un cilindro isolante (solitamente in telefon)
due schermi in foglio di alluminio;
due schermi in calza;



THINNET

Utilizzato nelle vecchie reti ethernet è costituito da:
un conduttore centrale in rame;
un cilindro isolante (generalmente realizzato in teflon);
uno schermo in foglio di alluminio;
uno schermo in calza.



DOPPINO

Il doppino è un cavo costituito da una o più coppie di conduttori attorcigliati tra loro (twisted pair) per ridurre gli effetti dei campi magnetici generati dai campi magnetici e dalla corrente che circola all'interno di essi. Per rendere più tollerante nei confronti dei disturbi elettromagnetici si utilizzano i seguenti tipi di schermature:

- con un **foglio di alluminio** molto sottile (da 0,05 mm a 0,2 mm);
- con una **calza costituita da un intreccio** “a reticolo” di due trecce di fili di rame che avvolgono il filo in due direzioni opposte.

I doppini sono classificabili in vari tipi in base al loro livello schermatura.

Cavo UTP (Unshielded Twisted Pair)

È un conduttore costituito da quattro coppie di fili attorcigliati e avvolti in una guaina isolante. È economico e semplice da installare ma è molto sensibile ai disturbi elettromagnetici, in quanto ogni coppia di cavi non è singolarmente schermata. L'impedenza in questo tipo di connettori è **100 Ω**. I connettori utilizzati sono gli **RJ45**.

Cavo FTP (Foiled Twisted Pair)

È costituito da quattro coppie di fili attorcigliati con un'unica schermatura globale, cioè un foglio di alluminio. L'impedenza in questo tipo di connettori è **100 Ω**.

Cavo STP (Shielded Twisted Pair)

È costituito da quattro coppie di fili attorcigliati e schermati sia a coppie che globalmente da una guaina isolante. L'impedenza in questo tipo di connettori è **150 Ω**, essi sono più costosi e vengono utilizzati per coprire distanze maggiori di 100 m.

CLASSIFICAZIONE DEI DOPPINI

I cavi sono classificati in sette categorie in base alle applicazioni per le quali sono idonei: **maggiore il numero di categoria maggiori sono le prestazioni** e gli impieghi del cavo.

Categoria 1: solo per telefonia analogica;

Categoria 2: per telefonia digitale ISDN (linee seriali) e trasmissione di dati a bassa velocità (LSD);

Categoria 3: per reti locali con frequenze fondamentali minori o uguali a 12,5 MHz, e fino a 10 Mb/s (Ethernet 10Base-T e 10Base-T4);

Categoria 4: per reti locali con frequenze minori o uguali a 20 MHz (Token Ring 16Mb/s);

Categoria 5: per reti locali con frequenze minori o uguali a 32 MHz, fino a 100 Mb/s, su distanze di 100 m (FDDI MLT-3, Ethernet 100Base-TX, ATM);

Categoria 6: per reti locali con una banda passante minore o uguale a 200 MHz, fino a 1 Gb/s, su distanze di 100 m;

Categoria 7: per reti locali con una banda passante minore o uguale a 600 MHz, fino a 10 Gb/s, su distanze di 100 m;

COLLEGAMENTO DEI PIN

Esistono tre tipologie di cavi in base a come vengono connessi ai due capi, possiamo trovare:

- **Straight-Through:** che permette di effettuare collegamenti tra dispositivi di tipo diverso;
- **Cross-over:** che permette di effettuare collegamenti tra dispositivi dello stesso tipo;
- **Rollover:** che collega il connettore **RG45** posto sulla porta seriale di un computer ad uno switch o un router.

Nella tabella sottostante possiamo osservare le differenze tra un cavo dritto e crossato nello standard **EIA/TIA-568B**.

STRAIGHT-THROUGH			CROSS-OVER		
Pin 1	_____	Pin 1 Bianco Arancio	Bianco Arancio	Pin 1	_____ Pin 3 Bianco Verde
Pin 2	_____	Pin 2 Arancio	Arancio	Pin 2	_____ Pin 6 Verde
Pin 3	_____	Pin 3 Bianco Verde	Bianco Verde	Pin 3	_____ Pin 1 Bianco Arancio
Pin 4	_____	Pin 4 Blu	Blu	Pin 4	_____ Pin 4 Blu
Pin 5	_____	Pin 5 Bianco Blu	Bianco Blu	Pin 5	_____ Pin 5 Bianco Blu
Pin 6	_____	Pin 6 Verde	Verde	Pin 6	_____ Pin 2 Arancio
Pin 7	_____	Pin 7 Bianco Marrone	Bianco Marrone	Pin 7	_____ Pin 7 Bianco Marrone
Pin 8	_____	Pin 8 Marrone	Marrone	Pin 8	_____ Pin 8 Marrone

AMERICAN WIRE GAGE (AWG)

Per facilitare la scelta dei conduttori da utilizzare è stata introdotta come unità di misura l'American Wire Gage che permette di calcolare l'impedenza di ogni conduttore in funzione della resistività di esso. Al diminuire della sezione del cavo aumenta l'impedenza e più piccola è la sezione minore è la forza di trazione. Le tabelle AWG sono strumenti utilizzati nella progettazione e nell'installazione di sistemi elettrici per garantire che i cavi siano adatti alle specifiche dell'applicazione.

VELOCITA' DI PROPAGAZIONE

Quando un trasmettitore ha finito di inviare il segnale, se la distanza con il ricevitore è grande, questo potrebbe non avere ancora iniziato a riceverlo. Si definisce **velocità di propagazione** la percentuale della velocità della luce nel vuoto dalla quale si propaga un segnale elettrico sul cavo. Nei cavi in rame solitamente la velocità di propagazione di un segnale equivale al 65% della velocità della luce.

$$V_p = 0.65 \times 3 \times 10^8 \approx 200000 \text{ km/s}$$

ATTENUAZIONE

Un segnale a causa dell'impedenza viene alterato durante il suo attraversamento di un conduttore, questo fenomeno è detto **Attenuazione** o **Insertion Loss**. Con attenuazione si definisce **il rapporto tra la tensione del segnale di ingresso al conduttore e la tensione d'uscita**, espresso in deciBel(dB). La perdita di segnale che porta al fenomeno dell'attenuazione è dovuta: **all'impedenza del conduttore, alla perdita di energia portata dall'isolamento dei cavi e dalla perdita di inserzione**. Per misurare l'attenuazione si utilizza un cable tester che sfrutta le frequenze più alte utilizzabile su quel cavo in modo da calcolare il massimo valore di Attenuazione.

RUMORE

Per rumore (noise) si intende un segnale indesiderato che si sovrappone al segnale trasmesso. Esso può essere generato da varie cause principali come ad esempio:

- **diafonia** (crosstalk): il segnale che viaggia sul filo è disturbato da campi elettromagnetici generati dai fili posti accanto ad esso;
- **RFI**: disturbi di radiofrequenza dovuti ad altri dispositivi che utilizzano la stessa tecnologia di trasmissione;
- **EMI**: disturbi elettromagnetici generati da cavi elettrici o addirittura dalle condizioni meteorologiche.

Il rumore può agire su tutte le frequenze (rumore bianco) o su una gamma di esse (narrow band).

Per proteggere i cavi dal rumore si utilizza la schermatura che può essere di tre tipi:

- **Foglio (Foil)**: Sottile strato di materiale conduttivo avvolto intorno al conduttore del cavo per bloccare le interferenze ad alta frequenza;
- **Calza (Braid)**: Treccia di fili conduttori intorno al conduttore per proteggere da interferenze a bassa frequenza;
- **Uso combinato di foglio e calza**: Combinazione di schermatura a foglio e calza per una protezione completa contro una vasta gamma di interferenze.

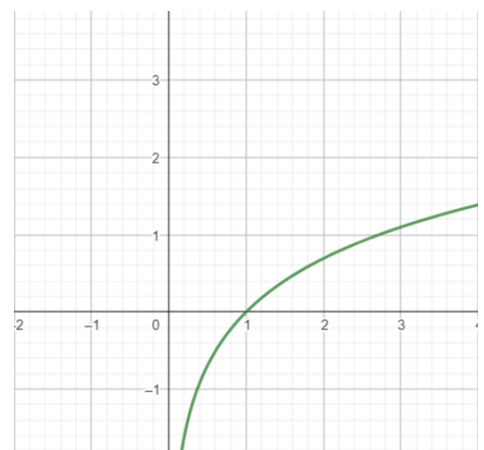
FUNZIONE LOGARITMO E IL DECIBEL

Prima di andare avanti con la diafonia bisogna fare una breve introduzione sulle funzioni logaritmiche per comprendere l'unità di misura adimensionale che verrà trattata, ossia il **deciBel**. **Una funzione logaritmica in una determinata base è l'inverso della funzione esponenziale nella stessa base.**

Es: $y = e^x$ è l'inverso di $y = \log_e x$

Una funzione logaritmica è definita solo se $x > 0$ quindi il grafico si troverà sempre a destra dell'asse delle y. Dato che elevando a 0 un qualunque numero reale si otterrà 1, il grafico passa sempre per il punto (1; 0). L'andamento dipende dalla base a: se $0 < a < 1$ la funzione è strettamente decrescente, se $a > 1$ la funzione è strettamente crescente.

$$y = \log_e(x) \longrightarrow$$



Il **decibel** è un'unità di misura logaritmica del rapporto tra due grandezze omogenee. Il valore ottenuto dal logaritmo essendo il rapporto tra due grandezze dello stesso tipo è **ADIMENSIONALE** (numero puro) ma vi si può essere associata un'unità di misura per indicare la base utilizzata, nel nostro caso, useremo il **neper** (logaritmo naturale in base e).

DIAFONIA

La **diafonia** è un disturbo che riguarda le coppie sullo stesso cavo provocato da un segnale che viaggia su una delle coppie del cavo. Un parametro cruciale per valutare la qualità di un cavo è la sua "immunità" ai campi elettromagnetici indotti dal proprio segnale. Questa immunità è rappresentata in decibel e rappresenta il livello di attenuazione del segnale indotto. Maggiore è l'attenuazione del segnale indotto, maggiore è l'insensibilità del cavo alle interferenze provocate dalla diafonia. *ES: Il campo elettromagnetico di un conduttore che induce nell'altro conduttore un segnale elettrico che disturba il segnale passante sul di esso.*

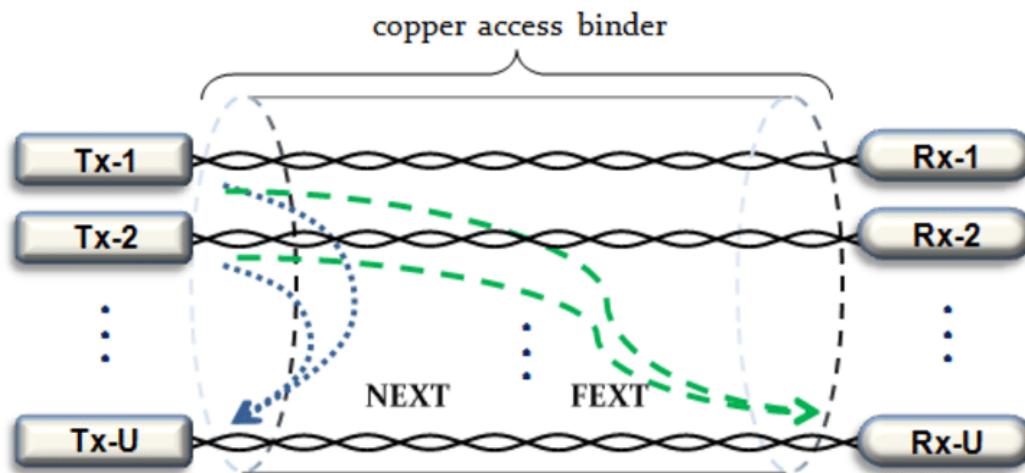
Esistono due categorie di diafonia:

Paradiafonia: Rappresenta il livello del segnale indotto nel cavo adiacente (V_{gen}) quando misurato (V_{ct}) dalla stessa parte del trasmettitore (dov'è collocato il generatore di segnale). Questo fenomeno è anche noto come **NEXT** (Near End Crosstalk).

$$NEXT = \log_{10} \left(\frac{V_{gen}}{V_{ct}} \right)$$

PSNEXT è il parametro che misura contemporaneamente l'effetto della paradiafonia tra i segnali indotti su tutte le coppie dei fili, il suo acronimo sta per: **Power Sum Near End Crosstalk**.

Telediafonia: Indica il segnale indotto nel cavo vicino quando misurato dall'estremità opposta del trasmettitore. Questo aspetto è comunemente indicato come **FEXT** (Far End Crosstalk).



ACR

L'attenuazione svolge un ruolo cruciale nel bilanciare due esigenze contrastanti: da un lato, si cerca un'alta attenuazione per il segnale indotto (diafonia), mentre dall'altro si richiede una minimizzazione dell'attenuazione per il segnale trasmesso. Per affrontare questa dualità, è stato introdotto l'**ACR (Attenuation to Crosstalk Ratio)**, che rappresenta il rapporto tra l'attenuazione e la diafonia. L'ACR fornisce una misura data dal rapporto tra il segnale trasmesso attenuato su una coppia di cavi e il segnale indotto dalla coppia adiacente (confronto del rumore con il segnale attenuato). **Un elevato valore di ACR è fondamentale per una trasmissione efficiente e per la valutazione della qualità del cavo.** Per la misurazione dell'ACR è utilizzato un cable tester.

$$ACR = \frac{\text{Segnale Trasmesso}}{\text{Segnale Indotto}}$$

ELFEXT (Equal Level Far End Crosstalk)

È un parametro significativo che permette di normalizzare i risultati delle prove rispetto alla lunghezza dei cavi ed è ottenuto da un'operazione algebrica seguendo i passaggi:

- Calcolo dell'attenuazione su entrambi i cavi
- Calcolo **FEXT** in una coppia di cavi adiacente
- Si sottraggono i due valori ottenendo **ELFEXT**

$$\text{Attenuazione} = 11 \text{ dB}$$

$$\text{FEXT} = 45 \text{ dB}$$

$$\text{ELFEXT} = 45 - 11 = 34 \text{ dB}$$

RIFLESSIONE

Il segnale propagandosi lungo il cavo può incontrare delle discontinuità (connettori, deformazioni) che possono portare il segnale ad essere riflesso e ritorni alla sorgente che l'ha trasmesso. La misura accurata del segnale trasmesso è detto **RL** (Return Loss) ed è espresso in deciBel.

$$RL = -20 \log_{10}(|\text{Coefficiente di riflessione}|)$$

TEST DA EFFETTUARE SUI CAVI

Lo standard EIA/TIA-586B del 2001 indica un elenco di 10 test da effettuare al fine di determinare vari parametri come:

Mappatura dei fili: i fili devono seguire una sequenza di colori specifica. Ad esempio, le coppie 1-2 effettuano la trasmissione, mentre le coppie 3-6 sono utilizzate per la ricezione.

Cable Length: la lunghezza dei cavi deve essere inferiore a 100 metri, conforme ai requisiti delle reti 10BASE-T/100BASE-TX/1000BASE-T.

Return Loss: misura la perdita di segnale riflesso verso il trasmettitore.

Insertion Loss: misura in decibel che combina l'attenuazione alla discontinuità.

NEXT: misura del segnale di test rispetto al crosstalk misurato alla stessa estremità

PSNEXT: basato sugli effetti combinati di NEXT sulle quattro coppie di fili.

ELFEXT: calcolo ottenuto da (FEXT - Insertion Loss), importante per reti 1000Base-T.

PSELEFEXT: Effetto combinato di ELFEXT da tutte le coppie di fili.

Propagation Delay: Misura il ritardo di propagazione.

Delay Skew: intervallo Massimo di ritardo tra la coppia più veloce e la coppia più lenta delle coppie di conduttori (20-50ns)

TEST AGGIUNTIVI INTRODOTTI DALLA NORMATIVA ISO 11801/2002

Attenuation Crosstalk Ratio (ACR): valuta la qualità del cavo, richiedendo un ACR sufficientemente grande per minimizzare gli errori

Power Sum ACR (PSACR): simile all'ACR, ma utilizza il valore PSNEXT nel calcolo.

Resistenza DC: misura l'impedenza di cortocircuito del cavo, fornendo l'impedenza caratteristica del cavo

Tutti questi test sono utilizzati tutt'oggi nelle reti **Ethernet** per determinare **una trasmissione dei dati affidabile e garantire la qualità e le prestazioni dei cavi**. Gli obiettivi principali di questi test sono:

Determinare la lunghezza del cavo;

Individuare eventuali collegamenti errati;

Fornire una mappa dei cavi e delle connessioni crossate nei connettori;

Misurare l'attenuazione del segnale;

Misurare eventuali interferenze;

Misurare il livello di rumore.