

UNITÀ DIDATTICA 1

LA CONNESSIONE CON I CAVI IN RAME

IN QUESTA UNITÀ IMPAREREMO...

- gli elementi fondamentali di elettrologia
- gli elementi fondamentali della trasmissione di segnali elettrici via cavo

■ Generalità sulle connessioni

In ogni tipo di **sistema** i dispositivi presenti devono scambiarsi dei dati in modo che ogni componente possa eseguire il proprio compito producendo i risultati desiderati.

I dispositivi possono essere comunque complessi ed essere fisicamente vicini, anche posti all'interno dello stesso contenitore (◀ **chassis** ▶) oppure possono trovarsi a distanze anche considerevoli, da centinaia di metri fino a centinaia di chilometri.

A seconda della distanza o della tipologia di sistema, i meccanismi di comunicazione possono essere completamente diversi, ma la loro struttura deve essere composta da tre componenti come vediamo nel seguente schema:

emittente => mezzo trasmissivo >= ricevente

In questo Modulo didattico ci occuperemo del **mezzo trasmissivo**, cioè di quali sono gli strumenti, le tecniche e le modalità con le quali due (o più) dispositivi vengono connessi in modo tale da poter **comunicare** scambiandosi informazioni.

Il **mezzo trasmissivo** è dipendente dalla distanza alla quale sono posti i dispositivi da connettere e proprio in base a essa vengono usate differenti tecnologie per rappresentare il messaggio, che può essere:

- di natura **elettrica** per piccole distanze, utilizzando un conduttore come mezzo trasmissivo;
- di natura **ottica** per distanze medio-lunghe, utilizzando una fibra particolare (fibra ottica);
- di tipo **elettromagnetico** per ogni tipo di distanza senza bisogno di connessioni fisiche ma utilizzando l'etere come mezzo trasmissivo (connessioni **wireless**).



◀ Il termine francese **chassis** identifica un **telaio**. Nel caso di un computer si tratta in genere del case o comunque dell'involucro che raggruppa i vari componenti di cui è dotato (scheda madre, alimentatore, dischi ecc.). ▶

Prima di affrontare lo studio dei mezzi trasmissivi è utile richiamare alcuni elementi di fisica necessari per comprendere come avviene la trasmissione del segnale e quali sono le problematiche connesse alle diverse tecnologie per poter garantire il corretto funzionamento dei sistemi di comunicazione.



SISTEMA

Un **sistema** è un insieme di componenti che interagiscono fra loro per realizzare uno scopo comune.

■ Trasmissione di segnali elettrici via cavo

La trasmissione di segnali elettrici via cavo sfrutta una connessione **fisica** tra due dispositivi effettuata mediante un **cavo (filo)** conduttore che garantisce al segnale di natura elettrica, generato dal dispositivo **trasmettitore**, di giungere pressoché inalterato al dispositivo **ricevitore**.

Sul conduttore avviene quindi il trasferimento di un messaggio, per esempio composto da una sequenza di uno e di zero, trasformato in **segnali elettrici** da un dispositivo presente nel trasmettitore. Gli stessi segnali elettrici “viaggiano” sul cavo e vengono trasferiti fino al ricevitore che li ritrasforma in segnali interpretabili dal destinatario.

Affinché il cavo possa trasmettere un segnale elettrico deve avere particolari caratteristiche tra le quali la più importante è una buona **conducibilità**, cioè l'attitudine a essere attraversato da **corrente elettrica**.

La corrente elettrica: richiami di elettrologia

Per spiegare la corrente elettrica è necessario ricorrere alla definizione di carica elettrica partendo dalla legge di Coulomb.

Carica elettrica



CARICA ELETTRICA

L'unità di misura di **carica elettrica** è chiamata **coulomb** ed è la quantità di carica Q che in un secondo attraversa una sezione qualunque di un conduttore percorso dalla corrente di 1 **ampere**.

Nel **Sistema Internazionale (SI)**, dato che la corrente I è la grandezza fondamentale utilizzata come riferimento per le altre grandezze, si ricavano le dimensioni di Q dalla relazione:

$$Q = IT \quad (1)$$

dall'analisi dimensionale ne segue che:

$$1C = 1A \times 1s \quad (2)$$

cioè

$$[1 \text{ coulomb}] = [1 \text{ ampere} \times 1 \text{ secondo}] \quad (3)$$

Per avere un'idea delle dimensioni in gioco si ricorda che la carica dell'elettrone è:

$$e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C} \quad (4)$$

quindi per avere la carica di 1C sono necessari circa $6,25 \cdot 10^{18}$ elettroni.

Campo elettrico e potenziale

Il campo elettrico E presente in una regione dello spazio è definito operativamente come *il rapporto tra la forza F che agisce su una carica elettrica Q e la carica stessa*:

$$E = F/Q \quad (5)$$

da cui si ricava l'unità di misura del campo elettrico:

$$[\text{newton/coulomb}] \quad (6)$$

Come per il campo gravitazionale terrestre il campo elettrico in ogni suo punto può essere descritto da una funzione detta **potenziale elettrico**: a un punto del campo elettrico associamo un valore V_p che chiamiamo **potenziale elettrico del punto p** . Possiamo ora definire l'energia potenziale.



ENERGIA POTENZIALE DI UNA CARICA

Si definisce energia potenziale U di una carica Q posta in un punto P del campo il prodotto della carica Q per il potenziale V_p in quel punto:

$$U = QV_p \quad (7)$$

Dalla definizione si ottiene la formula inversa che esprime il potenziale elettrico V_p :

$$V_p = U/Q \quad (8)$$

Un concetto fondamentale è quello di **differenza di potenziale** elettrico tra due punti, A e B , del campo elettrico (indicato con $d.d.p.$ _{AB} oppure con ΔV_{AB}), che viene calcolato semplicemente con:

$$\Delta V = V_A - V_B = U_A/Q - U_B/Q = \Delta U/Q \quad (9)$$

dove ΔU è la differenza di energia tra i due punti del campo elettrico e ha il significato fisico del lavoro che è necessario per spostare la carica Q da un punto all'altro

$$L = \Delta U \quad (10)$$

La formula (9) può essere riscritta in questi termini:

$$\Delta V = V_A - V_B = L/Q \quad (11)$$

Alla sua unità di misura è stato dato il nome di *volt* che viene rappresentato con il simbolo V e risulta essere

$$1V = 1J \times 1C^{-1} \quad (12)$$

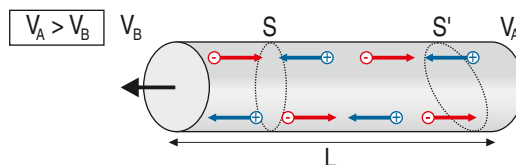
cioè

$$[1 \text{ volt}] = [1 \text{ joule/1 coulomb}] \quad (13)$$

Corrente elettrica

Si supponga di avere due punti A e B con diverso potenziale elettrico (rispettivamente V_A e V_B): quando i due punti vengono connessi tra loro con un filo metallico conduttore avviene uno spostamento delle cariche elettriche da A verso B (o viceversa a seconda dei valori dei potenziali). I potenziali elettrici diversi V_A e V_B tendono a eguagliarsi: pertanto si dice che la loro **differenza di potenziale** (d.d.p.) tende a zero.

Un moto di cariche elettriche fra A e B , cioè lo spostamento delle cariche elettriche che equilibrano la differenza di potenziale, costituisce una **corrente elettrica**. ▶



Se poniamo attenzione a una sezione **S'** del filo conduttore, essa sarà attraversata da una certa quantità di carica **q** in un intervallo di tempo di osservazione **t**.



CORRENTE ELETTRICA

Si definisce intensità della corrente elettrica, indicata con **I**, la quantità di carica che attraversa una data sezione **S** di un conduttore nell'unità di tempo:

$$I = \Delta Q / \Delta t \quad (14)$$

All'unità di misura dell'intensità di corrente, nel **Sistema Internazionale (SI)** in cui essa è una grandezza fondamentale, è stato dato il nome di **ampere (A)** e si rappresenta con il simbolo **I**.

Dalla definizione di intensità di corrente si deduce che:

$$1A = 1C \times 1s^{-1} \quad (15)$$

cioè

$$[1 \text{ ampere}] = [1 \text{ coulomb} / 1 \text{ secondo}] \quad (16)$$

Nella pratica vengono usati i sottomultipli dell'ampere:

$$1 \text{ mA (milliampere)} = 10^{-3} \text{ A} \quad (14)$$

$$1 \text{ } \mu\text{A (microampere)} = 10^{-6} \text{ A} \quad (15)$$

Diamo un'idea del numero di cariche elementari (elettroni) trasportate nell'unità di tempo da una corrente d'intensità pari a

$$1 \text{ } \mu\text{A} = 1 \text{ } \mu\text{C}/1\text{s} \quad (16)$$

Sappiamo quanti elettroni sono necessari per ottenere una carica pari a 1 C e lo dividiamo per 10^6 per ottenere

$$1 \text{ } \mu\text{C} = 6,25 \cdot 10^{18} / 10^6 = 6,25 \cdot 10^{12} \quad (17)$$

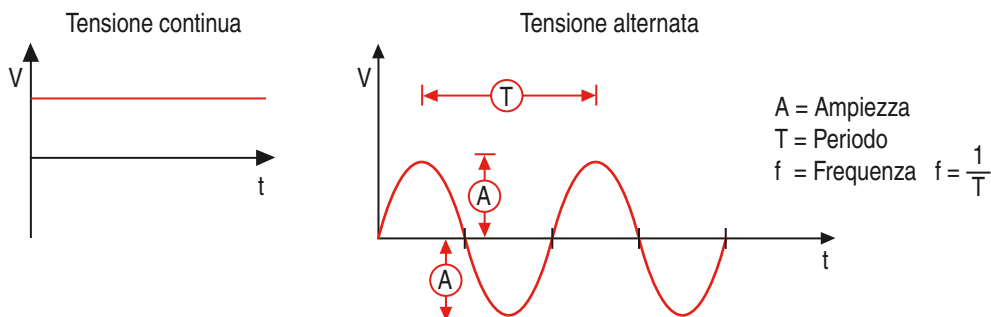
risulta quindi che la corrente di

$$1 \text{ } \mu\text{A} = 6,25 \cdot 10^{12} \quad (18)$$

cariche elementari/secondo.

La corrente elettrica può essere di due tipi:

- ▶ **continua**: se la differenza di potenziale si mantiene sempre costante (DC, *Direct Current*);
- ▶ **alternata**: se la d.d.p. viene fatta variare nel tempo in modo che passi da una polarità all'altra secondo una legge tipicamente sinusoidale (AC, *Alternating Current*).



Tutte le apparecchiature e gli strumenti elettrici funzionano proprio perché esiste una **differenza di potenziale elettrico** tra due punti e si genera un flusso di corrente: nelle nostre case le "prese di corrente" collocate nei muri non sono altro che due punti del campo elettrico che il fornitore dell'energia (per esempio **Enel**) provvede a mantenere a una d.d.p. pari a 220 V alternato (fra i poli delle prese esiste una *tensione di 220 V* che garantisce un flusso di corrente per un tempo indefinito con la quale è possibile alimentare un utilizzatore come il frigorifero, il ferro da stiro, la TV, il videoregistratore, l'HiFi ecc.).

Conduttore elettrico

Non tutti gli elementi presenti in natura sono adatti a essere utilizzati come conduttori di elettricità: possiamo raggruppare i materiali in tre categorie proprio in base al loro comportamento:

- ▶ **conduttori**;
- ▶ **semiconduttori**;
- ▶ **isolanti**.

Il comportamento dei materiali è legato alla loro struttura fisica, cioè alla particolare costituzione degli **atomi** che la compongono.

Ogni atomo è costituito da:

- ▶ un **nucleo**, cioè la parte centrale dell'atomo, formato da:
 - **protoni**: cariche positive che stanno nel nucleo;
 - **neutroni**: non hanno carica e stanno nel nucleo;
- ▶ **elettroni**: hanno carica negativa e ruotano attorno al nucleo disposti su diverse orbite. Gli elettroni presenti sull'ultima orbita vengono chiamati **elettroni liberi** (e sono gli elettroni di valenza).

È proprio in base al numero di elettroni liberi che un materiale favorisce o meno il passaggio della corrente:

- ▶ senza elettroni liberi: **materiali isolanti**, come la plastica, la carta, il legno, l'aria, l'acqua;
- ▶ con quattro elettroni liberi: **materiali semiconduttori**, come il silicio, il germanio;
- ▶ con almeno un elettrone libero: **materiale conduttore**, come l'argento, l'oro, il rame, lo stagno, il corpo umano ecc.

A seconda del materiale anche i conduttori offrono un modesto ostacolo al passaggio della corrente che si esprime in termini di **impedenza** e viene indicato con la lettera **Z**: essa indica la tipologia di ostacolo che un conduttore offre, e può essere di tre tipi:

- ▶ **resistivo**: viene indicato con **R** (**resistenza**) e non è influenzato dal valore di frequenza della corrente;
- ▶ **induttivo**: viene indicato con **X_L** (**impedenza reattiva**) e aumenta proporzionalmente con la frequenza;
- ▶ **capacitivo**: viene indicato con **X_C** (**impedenza capacitiva**) e aumenta in modo inversamente proporzionale con la frequenza.

In generale l'**impedenza** di un conduttore è responsabile del degradamento del segnale che avviene quando questo attraversa un conduttore ed è sempre legato alla sua lunghezza: quindi in un conduttore è importante conoscere quanto **attenua** un segnale per dimensionare correttamente il mezzo trasmissivo.

■ Tipologie di cavi

Per ogni tipologia di applicazione sono previsti cavi specifici che permettono di ottenere le prestazioni desiderate: innanzitutto la prima differenza fondamentale, necessaria per effettuare la scelta di un cavo, è quella legata alla natura del segnale. Per i segnali digitali vengono utilizzati

cavi differenti da quelli dei segnali analogici, in quanto nella trasmissione digitale (◀ **baseband** ▶) sono necessarie caratteristiche diverse dei conduttori rispetto alla trasmissione analogica (**broadband**).



◀ **Baseband** È una tecnica che consente di trasmettere in modo diretto **segnali digitali** senza l'utilizzo della modulazione. ▶

L'attenuazione che un segnale subisce è in funzione della velocità di trasmissione (e quindi della sua frequenza), della lunghezza del conduttore e della tipologia di cavo utilizzato.

Abbiamo due tipologie di cavi:

► **coassiale**

- **thinnet** (o *Thin Ethernet*): cavo sottile;
- **thicknet** (o *Thick Ethernet*): cavo spesso;

► **doppino**

- **STP** (*Shielded Twisted Pair*): a coppie di fili doppiamente schermati;
- **FTP** (*Foiled Twisted Pair*): a coppie di fili con un'unica schermatura;
- **UTP** (*Unshielded Twisted Pair*): a coppie di fili non schermati.

I più utilizzati per le trasmissioni digitali sulle reti **Ethernet** con velocità di 10 Mb sono tre:

- **10 BASE 2**, dove il **2** indica che il segnale può viaggiare per circa 200 m, chiamato **Thinnet**, ed è un cavo coassiale sottile;
- **10 BASE 5**, dove il **5** indica che il segnale può viaggiare per circa 500 m, chiamato **Thicknet** dato che è un cavo coassiale spesso;
- **10 BASE T**, dove **T** indica **twisted pairs**, cioè cavi con coppie di fili attorcigliati.

Cavo coassiale

Il cavo coassiale è costituito da un filo conduttore centrale di rame ricoperto da un cilindro di plastica isolante sul quale viene avvolta una maglia costituita da filamenti di rame, e il tutto è esternamente ricoperto da una guaina.

Il foglio (o la calza metallica) che avvolge il cavo coassiale oltre a essere il conduttore per il ritorno della corrente del segnale realizza una **gabbia di Faraday** per il conduttore interno rendendolo praticamente immune ai disturbi elettromagnetici. ▶

Agli estremi (o **capocorda**) vengono **crimpati** (oppure avvitati o saldati) dei connettori particolari, i connettori **BNC**, e il circuito tra i due connettori viene chiuso mediante un **terminatore** a 50 ohm che permettere inoltre di connettere a massa la maglia esterna (anche chiamata **calza**). ▶

Essi vengono realizzati con due diversi diametri del conduttore interno:

- il più spesso, o **thicknet**, è oggi utilizzato nei **backbone Ethernet**, ed è costituito da:

- un conduttore centrale in rame;
- un cilindro isolante (generalmente realizzato in teflon);
- due schermi in foglio di alluminio;
- due schermi in calza;

- il più sottile, o **thinnet**, è stato largamente utilizzato per le “vecchie” reti Ethernet degli anni '90 (**tipo RG58**): ha un'attenuazione circa tre volte superiore al cavo Thick ed è costituito da:

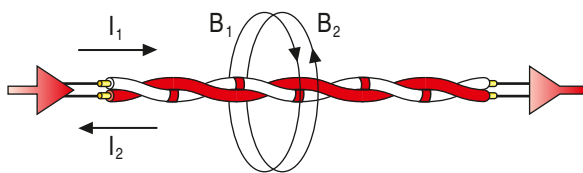
- un conduttore centrale in rame;
- un cilindro isolante (generalmente realizzato in teflon);
- uno schermo in foglio di alluminio;
- uno schermo in calza.



Può arrivare a distanze maggiori delle connessioni STP e UTP ed è meno costoso delle fibre ottiche.

Doppino

Il doppino è costituito da una o più coppie (pair) di conduttori di rame “attorcigliati tra loro” (twisted) per ridurre gli effetti di disturbi originati dai campi magnetici e dalla corrente che circola nei conduttori stessi. ►



Le correnti I_1 e I_2 che attraversano i due conduttori sono di uguale intensità e verso opposto, e quindi generano campi magnetici B_1 e B_2 opposti che tendono ad annullarsi.

Per migliorare la tolleranza ai disturbi elettromagnetici (EMI) e quindi migliorare le caratteristiche di un cavo si introduce la **schermatura**.

Questa si realizza avvolgendo il doppino o l'intero cavo:

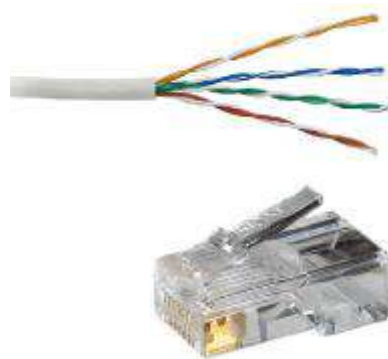
- con un **foglio** di alluminio molto sottile (da 0,05 mm a 0,2 mm);
- con una **calza** costituita da un intreccio “a reticolo” di due trecce di fili di rame che avvolgono il filo in due direzioni opposte.

I cavi composti da doppini hanno costi inferiori rispetto ai cavi coassiali e per questo motivo sono utilizzati normalmente sia in telefonia sia per la trasmissione dati nelle reti locali e nei cablaggi strutturati. A seconda del livello di schermatura abbiamo diverse tipologie di cavi.

► Cavo UTP

Il cavo **UTP** (*Unshielded Twisted Pair*) è costituito da un insieme di quattro coppie di fili attorcigliati e avvolti da una guaina di isolante. A differenza del STP ogni coppia di cavi non è singolarmente schermata. ►

L'impedenza in questo tipo di conduttori è generalmente di 100 Ω : esso viene utilizzato per distanze fino a 100 metri ed è sensibile ai disturbi elettromagnetici, ma rispetto al cavo STP è più economico e semplice da installare. Come connettori vengono utilizzati gli **RJ45**. ►



Il connettore RJ45 può essere utilizzato collegando una coppia o due coppie per fonìa mentre si collegano tutte e quattro le coppie nel cablaggio strutturato.

► Cavo FTP

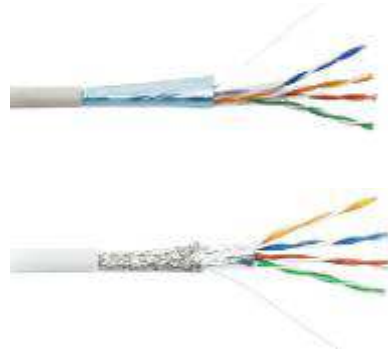
Il cavo **FTP** (*Foiled Twisted Pair*) è costituito da un insieme di quattro coppie di fili attorcigliati con un'unica schermatura globale costituita da un foglio di alluminio. ►

L'impedenza in questo tipo di conduttori è generalmente di 100 Ω .

► Cavo STP

Il cavo **STP** (*Shielded Twisted Pair*) è costituito da un insieme di quattro coppie di fili attorcigliati e schermati sia per ogni singola coppia che tutti insieme, e avvolti da una guaina di isolante. ►

L'impedenza in questo tipo di conduttori è generalmente di 150 Ω : esso viene utilizzato per distanze fino a 100 metri ed è in grado di ridurre maggiormente il rumore rispetto al cavo UTP ma è più costoso. La schermatura metallica viene connessa a massa a entrambe le estremità.





Zoom su...

CAVO IBM

Il cavo STP a 150 W è anche conosciuto come cavo di **Tipo 1 IBM**: esistono anche altri tipi di cavi con il nome IBM, per esempio il **Tipo 2 IBM**, costituito da un cavo di Tipo 1 IBM con l'aggiunta di quattro coppie non schermate da 100 Ω , nato come soluzione integrata per il Cabling System IBM dati (due coppie a 150 W) e fonia (quattro coppie a 100 W), e il cavo di **Tipo 6 IBM** a 150 W con due coppie singolarmente schermate in foglio e schermo globale in calza di rame.

Classificazione dei doppini

Tutti i tipi di cavi elettrici sono sensibili alla frequenza del segnale che devono trasmettere e quindi è necessario scegliere opportunamente il cavo in funzione della specifica applicazione (in particolare l'attenuazione e la diafonia sono fortemente dipendenti dalla frequenza, come vedremo in seguito).

Per semplificare la scelta è stata fatta una classificazione che cataloga i cavi in **sette** categorie in base alle applicazioni per le quali essi sono idonei: al crescere del numero di categoria aumentano le prestazioni del cavo e quindi le possibilità di impiego del cavo stesso.

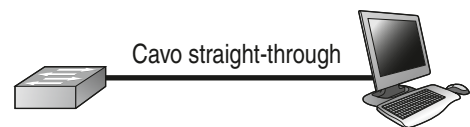
- **Categoria 1:** solo per telefonia analogica (*Telecommunication*).
- **Categoria 2:** per telefonia digitale ISDN e trasmissione di dati a bassa velocità (linee seriali, *Low Speed Data*).
- **Categoria 3:** per reti locali che non producono frequenze fondamentali superiori a 12.5 MHz, adatti a realizzare reti locali fino a 10 Mb/s (Ethernet 10BaseT e 10BaseT4, Token Ring 4 Mb/s).
- **Categoria 4:** per reti locali che non producono frequenze fondamentali superiori a 20 MHz (Token Ring 16 Mb/s).
- **Categoria 5:** per reti locali che non producono frequenze fondamentali superiori a 32 MHz; comprende i cavi disponibili per applicazioni fino a 100 Mb/s, su distanze di 100 metri (FDDI MLT-3, Ethernet 100BaseTX, ATM. Sono i cavi normalmente utilizzati per reti locali).
- **Categoria 6:** per reti locali con una banda passante fino a 200 MHz; comprende i cavi disponibili per applicazioni fino a 1 Gb/s su distanze di 100 metri.
- **Categoria 7:** per reti locali con una banda passante fino a 600 MHz; comprende i cavi disponibili per applicazioni fino a 10 Gb/s su distanze di 100 metri.

■ Cavi: collegamento dei pin

In generale possiamo affermare che esistono tre tipologie di cavi, in relazione a come essi vengono connessi ai due capi:

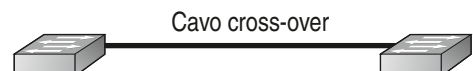
- **Straight-through** o **dritto**: permette di effettuare il collegamento tra dispositivi di tipo diverso, quali:

- Switch e router
- Switch e PC o server
- Hub e PC o server

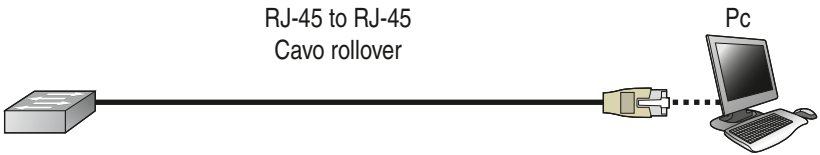


- **Cross-over** o **incrociato**: permette di effettuare il collegamento tra dispositivi dello stesso tipo, quali:

- Switch e switch
- Switch e hub
- Hub e hub
- Router e router
- PC e PC
- Router e PC



► **Rollover**: è il cavo che collega l'adattatore RJ45 posto sulla porta seriale del computer alla porta console di un router o uno switch.



Nella tabella seguente sono messi a confronto i colori delle connessioni tra il cavo **drritto** e quello **incrociato** nello standard ◀ EIA/TIA-568B ▶ dove è possibile vedere che solo metà dei pin vengono “crossati” mentre gli altri quattro sono identici nelle due diverse tipologie.



◀ EIA/TIA TIA (*Telecommunications Industry Association*) ed EIA (*Electronic Industries Alliance*) sono enti leader nello sviluppo di standard di ingegneria. Le specifiche EIA/TIA-568B riguardano gli standard per il cablaggio dei sistemi di comunicazione per gli edifici commerciali e prevedono due insiemi di cavi, uno per la voce e uno per i dati: quello più frequentemente raccomandato per entrambi è il **CAT 5 UTP** (categoria 5 UTP). ▶

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

È possibile riconoscere i diversi cavi confrontando i due connettori RJ45 presenti alle due estremità:

- nel **straight-through** la sequenza dei fili è identica;
- nel **cross-over** vengono incrociati i pin 1 con 3 e 2 con 6 dato che i fili di ricezione e di trasmissione sono tra loro invertiti;
- nel **rollover** i colori sono esattamente in senso opposto.