

Il mezzo elettrico ideale

- Il mezzo trasmissivo elettrico ideale ha le seguenti caratteristiche:
 - Resistenza bassa
 - Capacità bassa
 - Induttanza bassa
- È dunque un mezzo nondispersivo e non dissipativo, e quindi
 - Il segnale trasmesso non viene distorto dal canale (il cavo)
 - Tutta la potenza inviata sul canale dal trasmettitore arriva al ricevitore

Il mezzo elettrico ideale

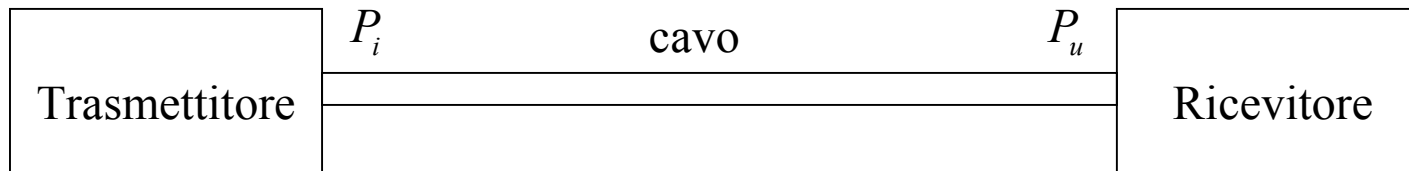
- Le caratteristiche principali di un mezzo trasmissivo elettrico sono:
 - Velocità di propagazione del segnale trasmesso, espresso come frazione della velocità della luce $c = 3 \cdot 10^8$ m/s. I valori tipici vanno da $0.5 c$ a $0.8 c$
 - L'impedenza della linea, espressa come $Z = R + jI$
 - La dimensione dei conduttori

Caratteristiche elettriche

- Le caratteristiche elettriche dipendono da numerosi fattori, quali
 - Caratteristiche meccaniche e geometriche del cavo, come il numero di conduttori, la forma e la dimensione dei conduttori, la posizione relativa tra mezzi conduttori e mezzi isolanti, l'eventuale presenza di schermi, ...
 - Proprietà fisiche dei materiali impiegati, sia conduttori che isolanti, come la costante dielettrica, la permeabilità magnetica, la resistività, il coefficiente di mutua induzione, ...

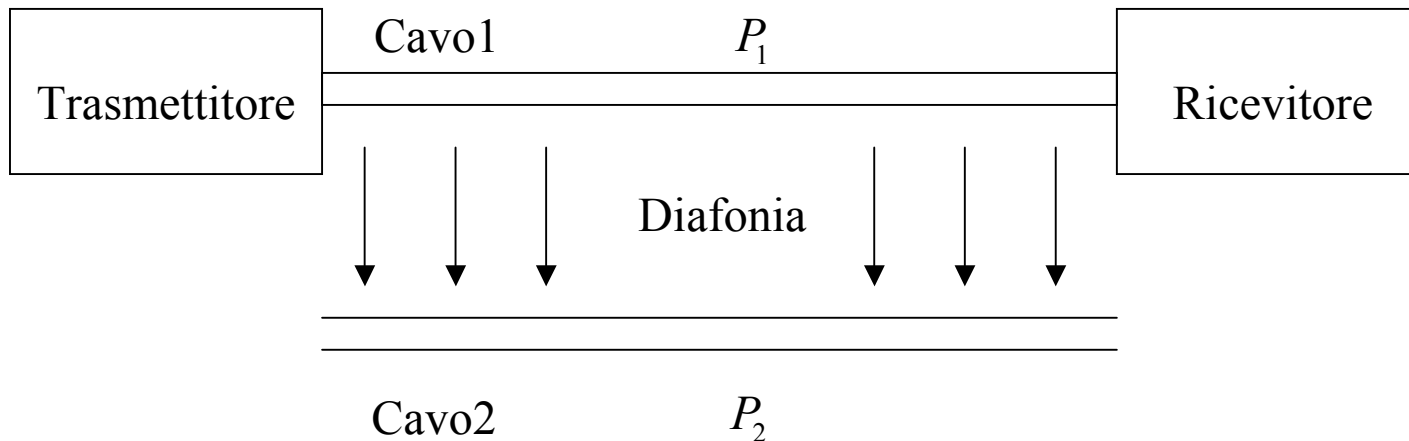
Attenuazione lungo un cavo

- L'attenuazione di un cavo è la riduzione di potenza del segnale di uscita P_u rispetto alla potenza del segnale di ingresso P_i
- L'attenuazione cresce linearmente (in dB) con la lunghezza della tratta perciò nelle specifiche tecniche si parla di *attenuazione specifica* espressa in dB/m o in dB/km.



Diafonia tra i cavi

- La diafonia (cross-talk) misura quanto un cavo interferisce con un cavo vicino; in particolare è il rapporto tra la potenza indotta sul cavo vicino P_2 e la potenza osservata sullo stesso P_1
- Sarebbe quindi espressa in dB negativi, tuttavia, per praticità, si preferisce esprimerla come attenuazione di diafonia, e quindi come rapporto tra P_1 e P_2 per avere così dei dB positivi.



Impedenza di un cavo

- Ogniqualvolta vi è una variazione di impedenza lungo la linea si crea un'onda riflessa, che quindi comporta l'attenuazione del segnale utile e la generazione di segnali interferenti; dunque è estremamente importante che l'impedenza effettiva lungo la linea rimanga entro determinati limiti dal valore di impedenza nominale.
- Vi sono innumerevoli fattori che possono modificare l'impedenza di un cavo; i più frequenti sono legati a deformazioni del mezzo trasmissivo provocate da difetti di fabbricazione e schiacciamenti, stiramenti, piegamenti della linea in fase d'installazione.

La schermatura

- La presenza di schermi può comportare
 - Maggiore immunità ai disturbi elettromagnetici
 - Riduzione dell'emissione di disturbi elettromagnetici
 - Minore scostamento dell'impedenza dal suo valore nominale
 - Minore diafonia con linee vicine
- Occorre però effettuare una adeguata messa a terra degli schermi per fissarne il potenziale ad un valore costante. Tale operazione può risultare particolarmente difficoltosa per linee lunghe e con segnali ad elevata frequenza.

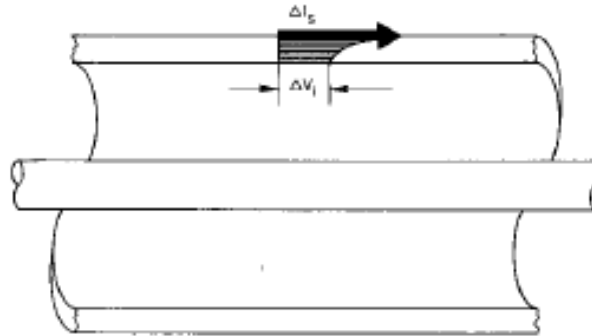
Tipi di schermi

- **Foglio (foil).** È un sottile foglio di mylar alluminato che avvolge il cavo sotto la guaina di protezione esterna. I cavi che presentano un foglio per la schermatura vengono aggettivati con foiled.
- **Calza (braid).** È una trecciola di fili di rame che avvolge il cavo; ha una conducibilità migliore del foglio di alluminio, ma la copertura non è completa.
- **Foglio più calza.** È la schermatura migliore, ma aumentano le dimensioni, il peso ed il costo del cavo.

Impedenza di trasferimento

- L'impedenza di trasferimento è il parametro che indica l'efficacia della schermatura del cavo; in particolare è data dal rapporto tra la corrente indotta sulla superficie esterna dello schermo e la tensione che si sviluppa sulla superficie interna

$$Z_t(\Omega) = \frac{\Delta V_i}{\Delta I_s}$$



Problematiche legate alla sicurezza

- Talvolta i cavi devono essere alloggiati in ambienti particolarmente ostili, come ad esempio in ambienti industriali caratterizzati da elevate temperature, da elevata umidità o in presenza di sostanze chimiche corrosive. A seconda dell'applicazione è necessario prevedere l'utilizzo di adeguati cavi, cioè in grado di resistere allo specifico tipo di attacco a cui sono sottoposti.
 - Vediamo il comportamento di varie tipologie di cavo in caso di incendio; i cavi possono essere costruiti con le seguenti caratteristiche:
 - **Flame retardant**, cioè ostacolano la propagazione delle fiamme, ritardando così l'istante di rottura del collegamento
 - **Low smoke fume**, caratterizzati da una bassa emissione di fumi se incendiati; sono particolarmente adatti per l'utilizzo in ambienti frequentati dal personale
-

Problematiche legate alla sicurezza

- **Zero halogen**, che non rilasciano gas tossici quando bruciano
- Ad esempio i cavi di tipo *plenum* resistono alle alte temperature e non propagano l'incendio poiché carbonizzano; tuttavia durante tale processo emettono gas altamente tossici

Il cavo ideale

- Il cavo ideale alle alte frequenze deve presentare una bassa attenuazione ed una bassa diafonia, cioè è tutta l'energia che viene inviata sulla linea non deve essere dispersa e deve quindi arrivare al ricevitore, senza però creare dei disturbi sulle linee vicine.
 - Praticamente, per ottenere queste proprietà un cavo deve avere una elevata dimensione dei conduttori ed una buona spaziatura tra gli stessi, gli isolanti devono avere una bassa costante dielettrica e le coppie di fili devono essere ben schermate, sia singolarmente (contro la diafonia) che globalmente (rispetto ai disturbi esterni).
 - I cavi che presentano tali caratteristiche sono molto spesso ingombranti, pesanti e costosi da posare, quindi la scelta del mezzo trasmissivo risulta da un **compromesso**.
-

Il cavo coassiale

- Il cavo coassiale è costituito da un conduttore centrale ed un conduttore concentrico isolati elettricamente da un materiale espanso. Uno o più schermi aumentano l'immunità ai disturbi elettromagnetici, mentre una guaina protettiva assicura una certa robustezza fisico-meccanica



- Viene utilizzato nei sistemi di trasmissione adattati in impedenza, ed è comunemente impiegato nella televisione via cavo (*cable television*, CATV) e nelle reti dati, e comunque in tutte le applicazioni che necessitano di una elevata capacità trasmissiva a basso costo.

Il cavo coassiale

- I cavi coassiali più moderni garantiscono delle bande passanti fino a 10 GHz; l'impedenza nominale dei cavi ad uso televisivo è di 75 Ω , mentre i cavi per applicazioni dati hanno una impedenza nominale di 50 Ω .
- Il cavo coassiale di tipo RG213 è costituito da un conduttore centrale in rame, un isolante elettrico in materiale espanso o compatto (teflon), due schermi in foglio di alluminio e due schermi in calza di rame.

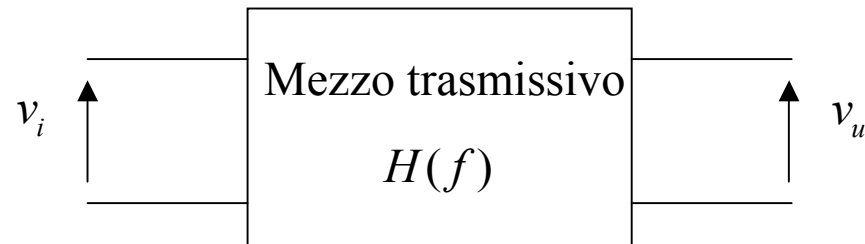


Il cavo coassiale

- Il cavo coassiale di tipo RG58 è costituito da un conduttore centrale in rame, un isolante elettrico in materiale espanso o compatto (teflon), uno schermo in foglio di alluminio ed uno schermo in calza di rame. La sua attenuazione è 2.7 volte superiore al cavo RG213 per via delle minori dimensioni dei conduttori.
- Il cavo coassiale RG213 è comunemente chiamato thick Ethernet perchè viene utilizzato nelle reti Ethernet 10Base5, mentre il cavo coassiale RG58 è chiamato thin Ethernet poichè utilizzato nelle reti Ethernet 10Base2.

Condizioni di non distorsione

- Un cavo può essere schematizzato come un doppio bipolo



- Per non avere distorsione occorre che

$$|H(f)| = k$$

e

$$\angle H(f) = k' f$$

Attenuazione lungo un cavo

- L'attenuazione specifica $\alpha(f)$ può essere espressa in funzione della frequenza f come

$$\alpha(f) = \alpha_s \sqrt{\frac{f}{f_s}}$$

dove α_s è l'attenuazione specifica misurata alla frequenza f_s

- A causa di vari fattori l'attenuazione specifica dipende dalla frequenza del segnale trasmesso sul cavo; in particolare l'effetto pelle induce una dipendenza dalla radice quadrata della frequenza di utilizzo
- Come risultato la quantità $|H(f)|$ non è costante con la frequenza, e quindi il cavo coassiale introduce una certa distorsione sul segnale trasmesso.

Circuito equivalente di un cavo coassiale

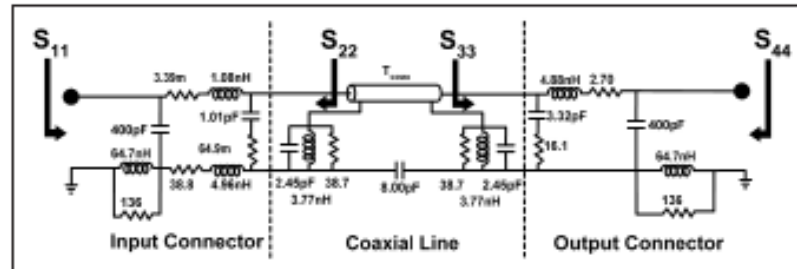


Figure 3 - Equivalent circuit of an unmodified coaxial cable.

- Il comportamento dei cavi in rame è di tipo passa-basso
- L'efficienza spettrale dei moderni sistemi di telecomunicazione è di alcuni bit/Hz di banda (tipicamente da 0.8 a non più di 5), quindi la capacità trasmissiva di un cavo è **limitata**.

Il doppino binato

- È costituito da una o più coppie (pair) di conduttori di rame ritorti (binati, twisted).
- Praticamente tutti gli edifici moderni ad uso industriale-commerciale vengono cablati con i doppini ed in tal caso si parla di cablaggio strutturato.
- Il doppino binato è stato storicamente utilizzato per la trasmissione di segnali fonici; infatti si parla tuttora di doppino telefonico.
- Il cablaggio strutturato viene sfruttato per realizzare delle reti dati in area locale; il problema fondamentale è che le caratteristiche elettriche richieste dalle applicazioni dati per reti locali sono nettamente superiori a quelle per impieghi di sola fonia per cui sono stati introdotti i doppini binati.

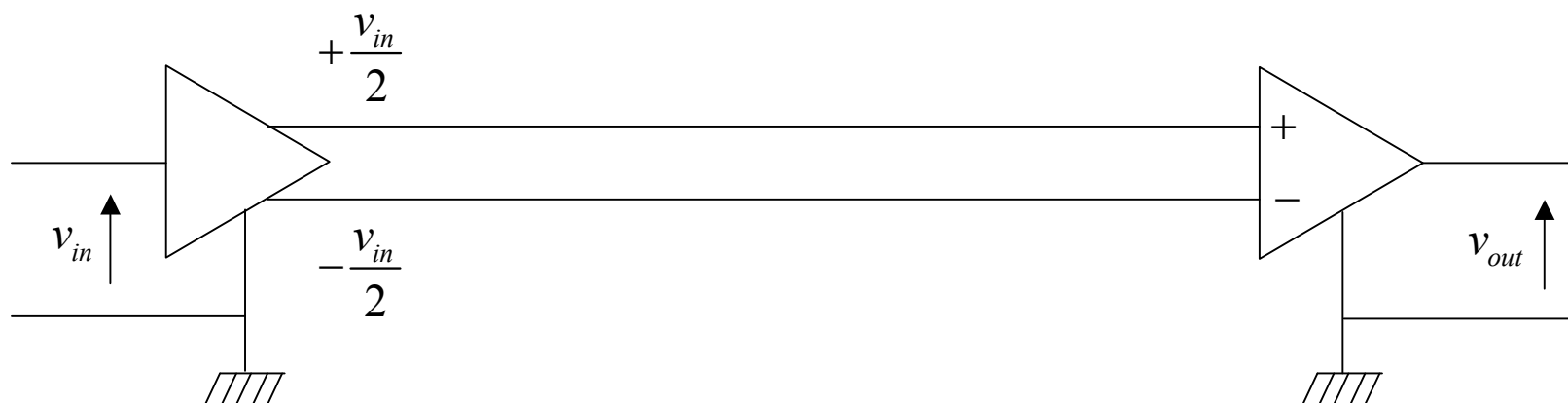
Il doppino binato

- La banda passante del doppino binato è decisamente inferiore a quella del cavo coassiale, come lo sono in generale tutte le caratteristiche elettriche
- Il doppino binato viene utilizzato per il cablaggio strutturato per via dei ridotti costi e della sua facilità d'installazione, in quanto è piuttosto flessibile e non richiede personale qualificato per la posa.



Emissione di disturbi elettromagnetici

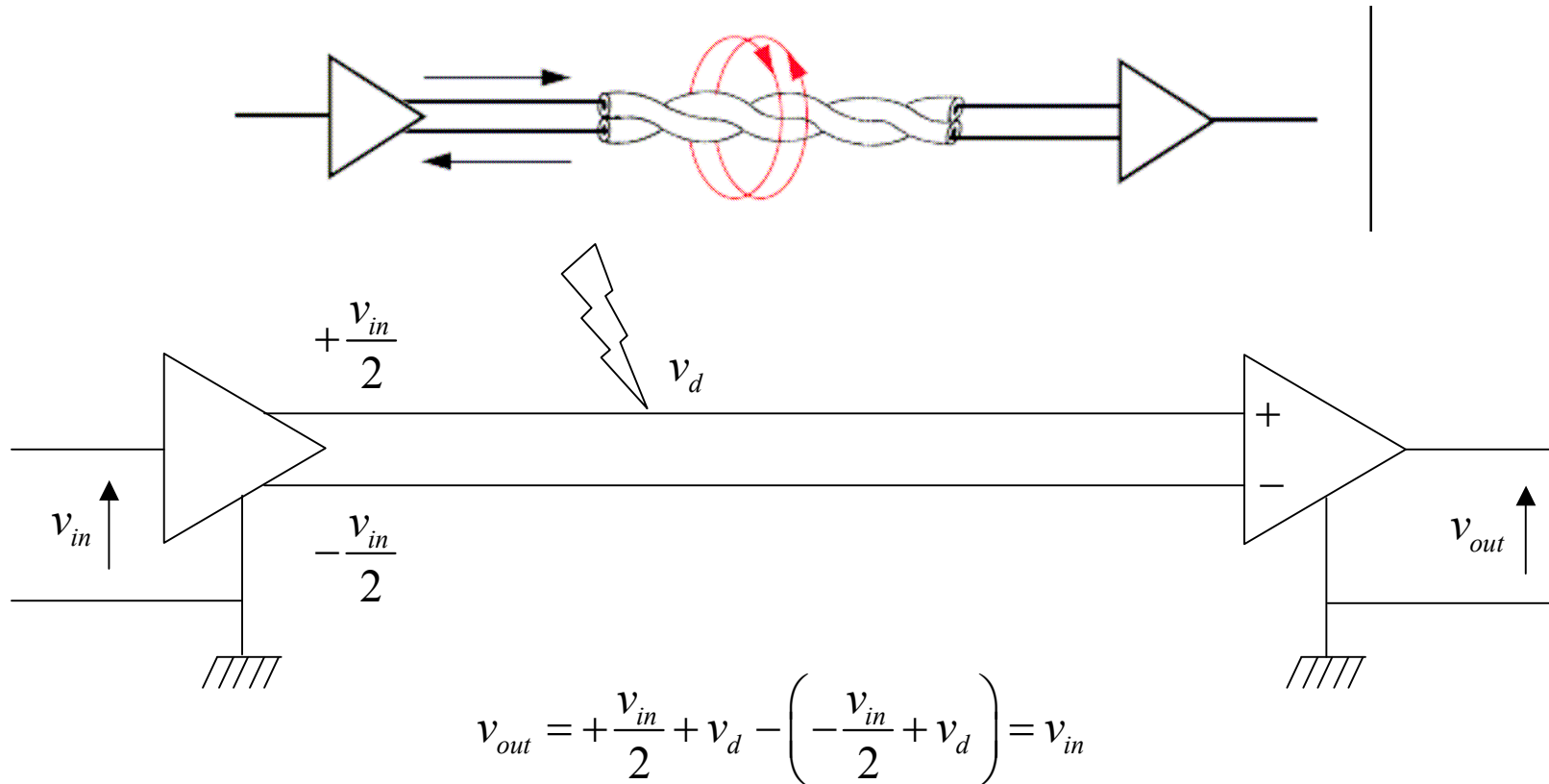
Trasmissione bilanciata



$$v_{out} = +\frac{v_{in}}{2} - \left(-\frac{v_{in}}{2}\right) = v_{in}$$

Immunità ai disturbi elettromagnetici

- La binatura serve a far sì che mediamente i campi elettromagnetici esterni agiscano in egual modo sui due conduttori.



Immunità ai disturbi elettromagnetici

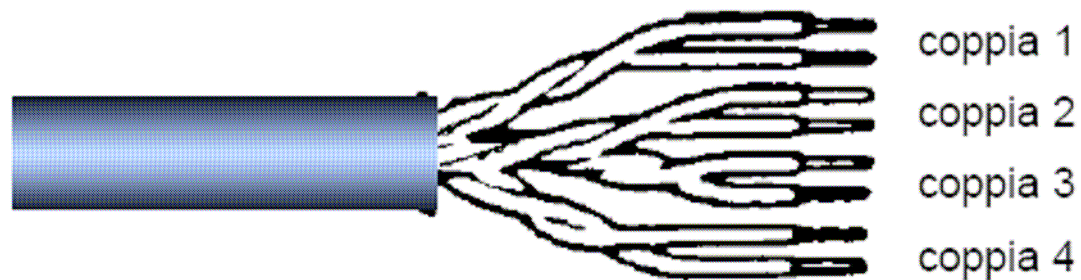
- Ritorcendo i doppi di uno stesso cavo con passi differenti è possibile ridurre la diafonia (cross-talk), poiché è mediante l'accoppiamento elettromagnetico si elide.

Tipi di doppino

- Doppino non schermato (*unshielded twisted pair*, UTP), caratterizzato da una impedenza nominale $Z = 100$
- Doppino con schermo globale in foglio di alluminio (*foiled twisted pair*, FTP), caratterizzato da una impedenza nominale $Z = 100$
- I precedenti tipi di doppini si possono trovare anche nella versione con uno schermo globale costituito da una calza in rame; in questo caso sono denominati shielded-UTP (S-UTP) e shielded-FTP (S-FTP). Sono caratterizzati da una impedenza nominale $Z = 100$
- Doppino con le singole coppie schermate più uno schermo globale (*shielded twisted pair*, STP); caratterizzato da una impedenza nominale $Z = 150$

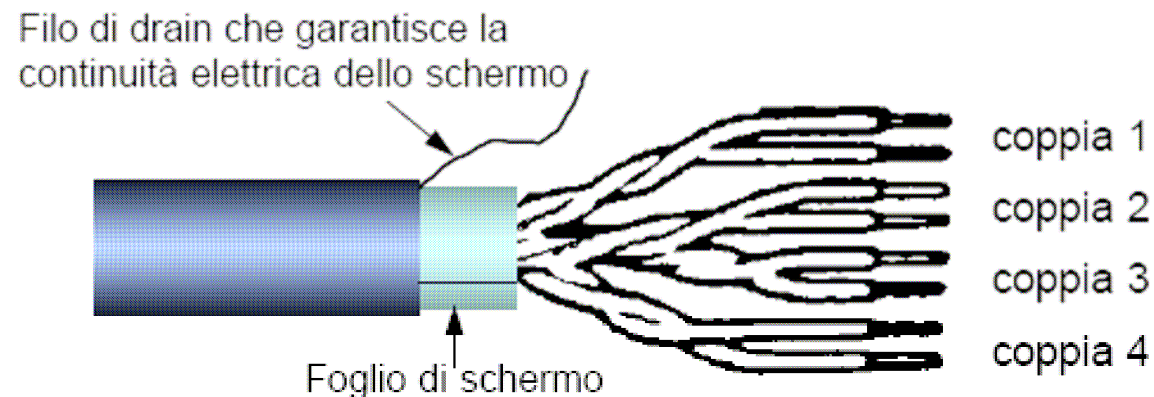
Cavo UTP

- Nelle applicazioni per la fonia viene tipicamente utilizzato ad una o due coppie; è il cavo che collega tutti gli apparecchi telefonici fissi domestici alla centrale di commutazione.
- Un cavo con quattro coppie viene utilizzato per il cablaggio strutturato degli edifici.
- I cavi multicoppie (10, 20, 25, 50, 100, 300 coppie) sono utilizzati normalmente sulle dorsali telefoniche dei livelli gerarchicamente più bassi. Vengono a volte utilizzati anche per il trasferimento dei dati a medie e basse velocità.



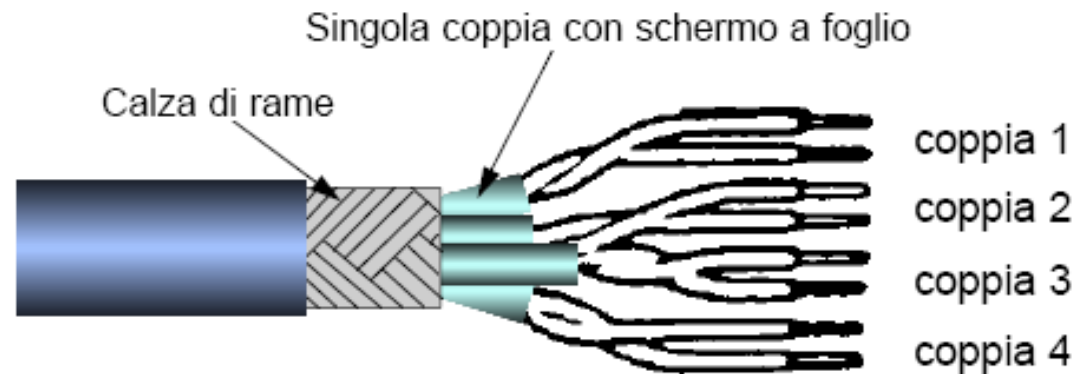
Cavo FTP

- I doppi FTP vengono utilizzati in cavi a quattro coppie con schermo globale in foglio per il cablaggio strutturato degli edifici.
- I cavi multicoppie sono utilizzati normalmente sulle dorsali telefoniche dei livelli gerarchicamente più bassi. Vengono a volte utilizzati anche per il trasferimento dei dati a medie e basse velocità.



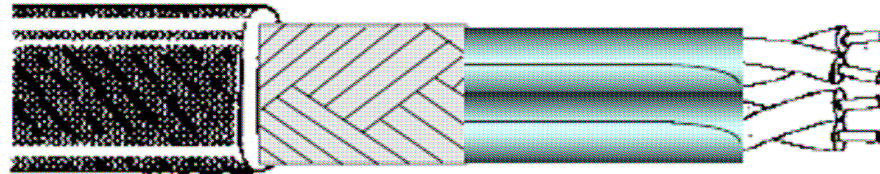
Cavo S-UTP e S-FTP

- I doppini S-UTP e S-FTP vengono utilizzati in cavi a quattro coppie per il cablaggio strutturato degli edifici.



Cavo STP

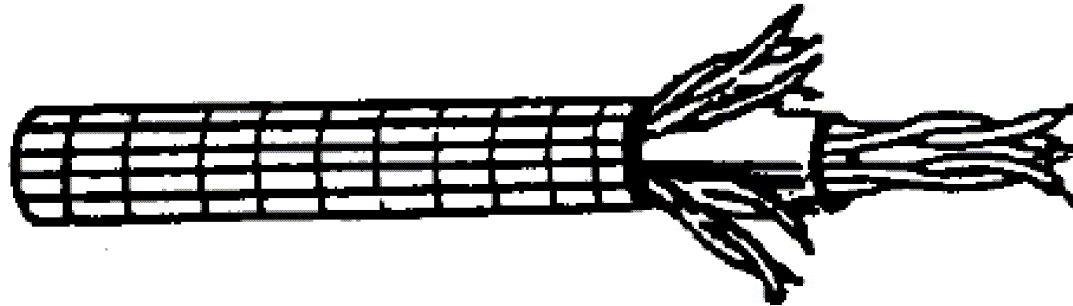
- I cavi STP sono composti tipicamente da due coppie schermate singolarmente da un foglio più uno schermo globale in calza di rame



- È conosciuto anche come cavo di Tipo 1 IBM

Cavo STP

- Il cavo di Tipo 2 IBM è formato da un cavo di Tipo 1 IBM con l'aggiunta di quattro coppie UTP al di fuori del foglio ma all'interno della calza. È stato ideato per il cablaggio “avanzato” degli edifici, con le due coppie STP per la trasmissione dei dati e le rimanenti quattro coppie UTP per i servizi di fonia



Cavo STP

- Il cavo di Tipo 6 IBM ha la stessa configurazione del Tipo 1 IBM, ma i conduttori hanno un diametro maggiore e quindi caratteristiche elettriche migliori.
- Sono stati ideati per convogliare il flusso di informazioni provenienti dai cavi di Tipo 1 IBM e di Tipo 2 IBM.



Categorie dei cavi ed impieghi

- Attualmente esistono 7 categorie di doppini
 - Categoria 1 (telecommunication), utilizzati per la telefonia analogica
 - Categoria 2 (low speed data), utilizzati per la telefonia digitale e la trasmissione seriale di dati fino 4 Mbps
 - Categoria 3 (high speed data), utilizzati per reti dati caratterizzate da velocità trasmissive non superiori a 10 Mbps
 - Categoria 4 (low loss, high performance data), utilizzati per reti dati caratterizzate da velocità trasmissive non superiori a 16 Mbps
 - Categoria 5 (low loss, extended frequency, high performance data), hanno una banda passante di 100 MHz e sono utilizzati per reti dati caratterizzate da velocità trasmissive non superiori a 100 Mbps

Categorie dei cavi ed impieghi

- Categoria 5e, sono caratterizzati da prestazioni superiori ai cavi di categoria 5, e supportano velocità trasmissive fino a 1 Gbps
 - Categoria 6, hanno una banda passante di 200 MHz e sono utilizzati per reti dati caratterizzate da velocità trasmissive fino a 1 Gbps
 - Categoria 7, sono in fase di sviluppo, e serviranno a supportare comunicazioni a 10 Gbps
- Esistono degli standard internazionali che definiscono le categorie in funzione delle prestazioni dei cavi in frequenza

UTP/FTP: caratteristiche elettriche

Caratteristiche del cavo			Categoria del cavo		
Caratteristiche Elettriche @ 20 °C	Unità di Misura	MHz	3	4	5
Impedenza	Ω	1÷16 1÷20 1÷100	100 +/- 15	100 +/- 15	100 +/- 15
Mutua capacità di ogni coppia	nf / 100 m	0.1	6.57	5.59	5.59
Velocità di Propagazione			0.6 c	0.6 c	0.6 c
massimo valore di Resistenza	Ω / 100 m		9.4	9.4	9.4

UTP/FTP: attenuazione

Caratteristiche del cavo			Categoria del cavo		
Caratteristiche Elettriche @ 20 °C	Unità di Misura	MHz	3	4	5
Attenuazione massima ammessa	dB / 100 m	0.064	0.92	0.75	0.72
		0.256	1.31	1.11	1.05
		0.512	1.84	1.51	1.48
		0.772	2.23	1.87	1.81
		1	2.56	2.13	2.07
		4	5.59	4.27	4.27
		8	8.55	6.25	5.92
		10	9.86	7.23	6.57
		16	13.15	8.88	8.22
		20	-	10.2	9.21
		25	-	-	10.52
		31.25	-	-	11.84
		62.5	-	-	17.11
		100	-	-	22.04

UTP/FTP: diafonia

Caratteristiche del cavo			Categoria del cavo		
Caratteristiche Elettriche @ 20 °C	Unità di Misura	MHz	3	4	5
Near End Crosstalk (NEXT), minimo valore ammesso	dB@100 m	0.150	54	68	74
		0.772	43	58	64
		1	41	56	62
		4	32	47	53
		8	28	42	48
		10	26	41	47
		16	23	38	44
		20	-	36	42
		25	-	-	41
		31.25	-	-	40
		62.5	-	-	35
		100	-	-	32

STP: caratteristiche elettriche

Caratteristiche del cavo			Cavo STP a 150 Ω
Caratteristiche Elettriche @ 20 °C	Unità di Misura	MHz	
Impedenza	Ω	1÷100	150 \pm 15
massima capacità tra una coppia sbilanciata e la terra	pf / 100 m	0.001	100
massima impedenza di trasferimento	m Ω / m	1 10	50 100
Velocità di Propagazione minima			0.6 c
massimo valore di Resistenza	Ω / 100 m		6

STP: attenuazione

Caratteristiche del cavo			Cavo STP a 150 Ω
Caratteristiche Elettriche @ 20 °C	Unità di Misura	MHz	
Attenuazione massima ammessa	dB / 100 m	4	2.2
		8	3.1
		10	3.6
		16	4.4
		20	4.9
		25	6.2
		31.25	6.9
		62.5	9.8
		100	12.3

STP: diafonia

Caratteristiche del cavo			Cavo STP a 150 Ω
Caratteristiche Elettriche @ 20 °C	Unità di Misura	MHz	
Near End Crosstalk (NEXT), minimo valore ammesso	dB@100 m	4	58
		8	54.9
		10	53
		16	50
		20	49
		25	47.5
		31.25	46
		62.5	41
		100	38