



# Il cablaggio del campo

Durante il cablaggio del campo, è essenziale adottare alcuni accorgimenti per evitare errori di comunicazione tra i dispositivi. Tra questi, l'allineamento delle masse, una corretta polarizzazione delle linee e la messa a terra degli schermi.

## Allineamento dei riferimenti

Le tensioni di campo dei dispositivi sono ottenute ciascuna da un proprio alimentatore, isolato rispetto al 230 V di rete. Le linee di comunicazione hanno pertanto riferimenti di zero isolati tra loro, e vanno allineate.

Per le connessioni in 232, single ended, il filo di common è implicito, mentre per il 485 va aggiunto al doppino (fig. 1).

In una connessione 485, va garantito lo stato di mark sulla linea per i ricevitori in ascolto durante gli intervalli di tempo in cui i driver sono tutti in silenzio. Inoltre occorre prevenire l'accumulo di cariche elettrostatiche sul doppino durante i periodi di fermo (ferie, festività).

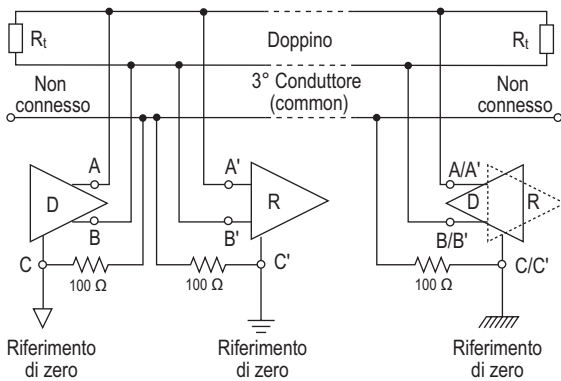


Fig. 1. Conduttore di riferimento tra dispositivi in 485.

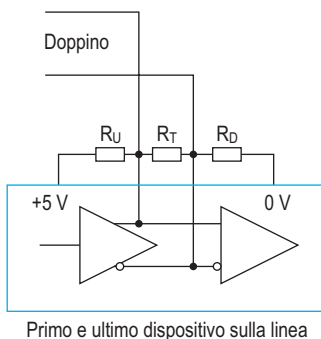


Fig. 2. Conduttore di riferimento tra dispositivi in 485.

La soluzione tipica (fig. 2) impiega un partitore di tre resistenze di basso valore ohmico, che funge contemporaneamente da terminazione ( $Z_{eq} = 120 \Omega$ ), da polarizzazione e da allineamento dei riferimenti di zero.

I valori utilizzati dallo standard Profibus sono:

$R_T = 150 \Omega$	$R_U$	e	$R_D = 390 \Omega$
--------------------	-------	---	--------------------

## Stub di derivazione

Ogni derivazione intermedia da una linea dati, effettuata mediante spezzoni di cavo (*stub*), costituisce un punto di disadattamento dell'impedenza, che aggiunge riflessioni sulla linea. Gli stub vanno quindi evitati, o comunque limitati in lunghezza e numero. È da preferire invece una connessione entra-esce (fig. 3).

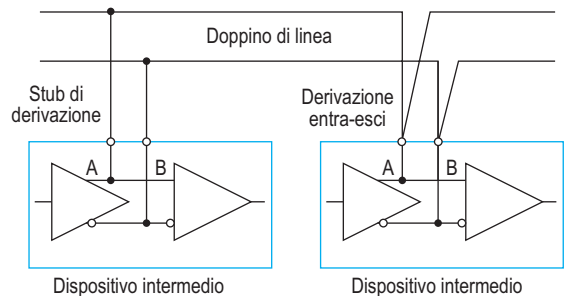


Fig. 3. Stub di derivazione e derivazione entra-esce.

## Schermi per linee dati

Lo schermo è consigliato per ridurre il rumore indotto, ma una sua connessione scorretta a terra può peggiorare la situazione anziché migliorarla, introducendo ulteriori problemi, perché lo schermo stesso può fare da percorso di accoppiamento tra rumore esterno e doppino da proteggere.

Alcune regole da rispettare sono le seguenti:

- il percorso di collegamento a terra dello schermo deve essere il più corto possibile e diretto (non in cascata con altri percorsi), evitando di lasciare codini volanti;
- per cavi corti, tra dispositivi poco distanti, lo schermo va connesso a massa da entrambe le parti;
- per cavi lunghi in applicazioni di bassa frequenza (segnali audio), lo schermo va connesso da una sola parte;

- per cavi lunghi con alte frequenze (encoder, dati), lo schermo stesso fa da antenna se si accorda sulla lunghezza d'onda di qualche armonica; perciò va messo a massa anche all'altro estremo con un condensatore da  $10 \div 100$  nF, 100 V (fig. 4).

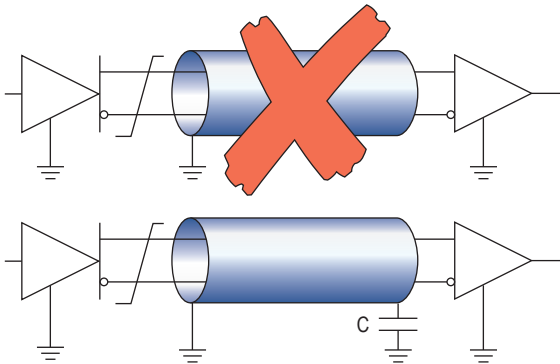


Fig. 4. Collegamento corretto dello schermo per cavi lunghi.

Nei cavi lunghi non è possibile connettere a massa entrambi i terminali dello schermo in modo diretto, poiché le due masse di riferimento (Gnd 1, Gnd 2, fig. 5) possono avere tensioni diverse tra loro (anche fino a 50 V) e provocare un loop di corrente di massa ( $I_g$ ) che percorre lo schermo stesso.

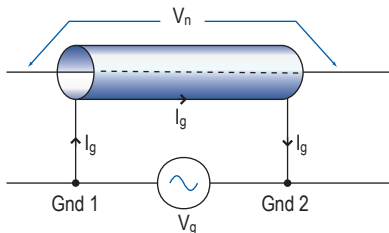


Fig. 5. Loop di corrente nello schermo dovuto a differenze nelle tensioni di terra.

Considerata la bassa resistenza ohmica dello schermo, la corrente di allineamento delle masse raggiunge non pochi ampere e sostiene a sua volta un campo magnetico variabile che induce una tensione di disturbo ( $V_n$ ) sui conduttori interni.

### Bobine di modo comune

In una coppia di conduttori (fig. 6), la presenza di un segnale differenziale ( $v_d$ ) è caratterizzata da una corrente ( $i_d$ ) che percorre uno dei due conduttori e ritorna dall'altro, senza interessare il percorso di terra.

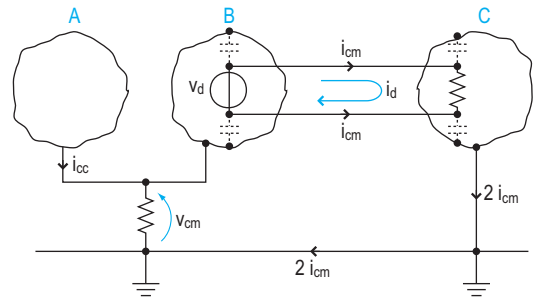


Fig. 6. Collegamento corretto dello schermo per cavi lunghi.

Un cortocircuito ( $i_{cc}$ ) verso terra di uno dei dispositivi appartenenti all'impianto produce, invece, un innalzamento improvviso della tensione di terra per tutti i dispositivi che condividono il medesimo riferimento e genera un disturbo di modo comune ( $v_{cm}$ ) che, a differenza del segnale differenziale, percorre entrambi i conduttori nella medesima direzione ( $i_{cm}$ ) e rientra dal percorso di terra.

Per attenuare l'effetto delle tensioni di modo comune, oltre ad evitare messe a terra comuni, si ricorre a toroidi di ferrite (fig. 7a) nei quali far passare entrambi i conduttori nello stesso verso, con una o più spire.

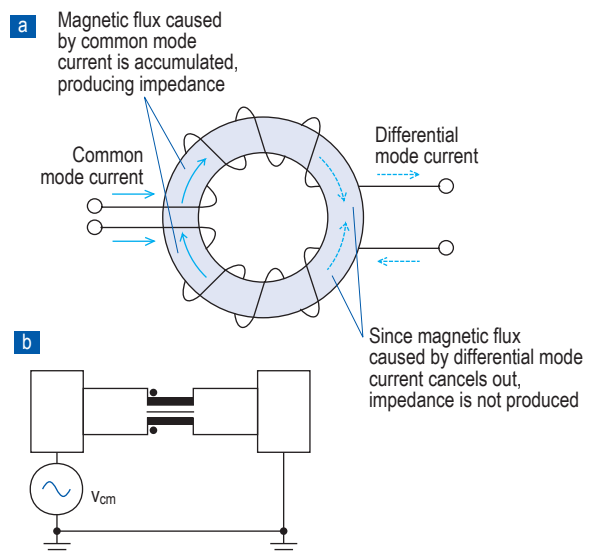


Fig. 7. Inserzione di una bobina di modo comune.

In questo modo, il segnale differenziale non subisce alcuna alterazione perché con correnti di direzione discorde (fig. 7b), mentre le correnti di modo comune, sommando il loro effetto e considerata l'alta frequenza, incontrano un alto valore di induttanza e risultano limitate. L'attenuazione ottenuta è significativa, almeno fino a qualche decina di MHz.

### Protezioni per linee dati

Il rumore condotto sulle linee dati è il rumore che arriva all'apparecchiatura percorrendo i cavi di comunicazione stesi in campo ed è dovuto principalmente ai transitori elettrici indotti da scariche atmosferiche che si disperdono nel terreno (fig. 8). Nonostante i conduttori di interconnessione siano stesi in campo all'interno di canaline metalliche (conduit antischiacciamento), i disturbi transitori raccolti possono assumere energie e tensioni incompatibili con la funzionalità delle apparecchiature connesse e vanno limitati.

Si introducono perciò dei dispositivi di protezione costituiti da una cascata di bipoli non lineari (fig. 9) la cui impedenza è funzione della tensione applicata, quali gli scaricatori a gas e i dispositivi a semiconduttore a effetto valanga (transzorb, o transil).

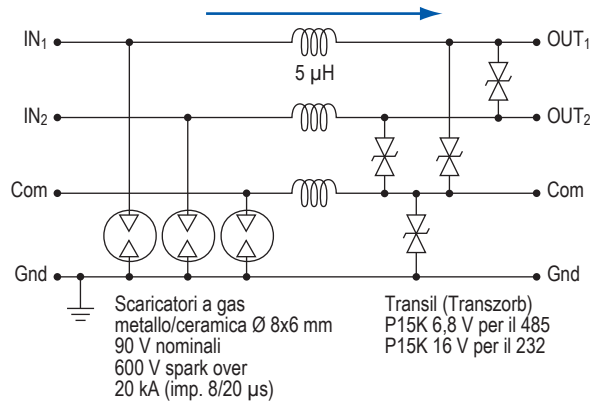


Fig. 9. Struttura di un dispositivo di protezione per linee dati.

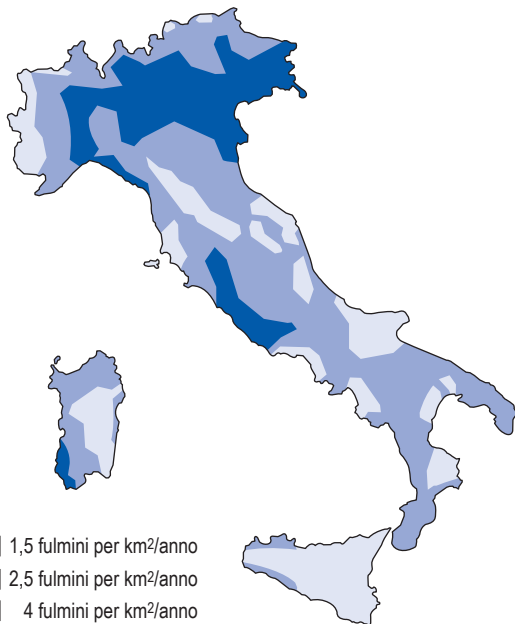


Fig. 8. Densità territoriale per anno dei fulmini a terra.

Gli scaricatori (fig. 10) si basano sulla ionizzazione del gas e sull'arco di scarica che si produce all'interno dello scaricatore stesso quando la tensione ai capi supera la soglia di innesco; essi hanno una tensione di innesco elevata e sono relativamente lenti (< 0,5 µs), ma sono in grado di dissipare alte correnti (20 kA) e, una volta innescato lo scaricatore, presentano un'impedenza estremamente bassa, cioè si comportano come un contatto chiuso in parallelo al circuito.

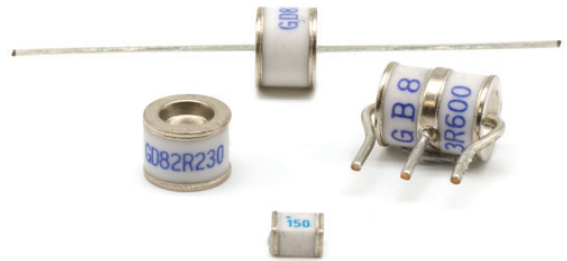


Fig. 10. Gas discharge tube.

I transzorb (fig. 11) sono molto veloci (< 1 ns); durante la conduzione, la tensione ai capi si mantiene praticamente costante, ma hanno una limitata capacità di dissipazione.



Fig. 11. Transzorb.

Una protezione efficace a due stadi prevede perciò un verso di percorrenza fisso, con uno scaricatore a gas sull'ingresso che assorbe la maggior parte dell'energia dell'impulso di sovratensione, un transzorb sull'uscita che taglia ulteriormente l'impulso ad un livello di tensione compatibile con i driver e i receiver di linea, ed una piccola induttanza (5 µH) di disaccoppiamento tra i due, che limita la corrente sul transzorb.

I dispositivi di protezione a tre livelli (fig. 12) aggiungono un VDR intermedio tra lo scaricatore a gas e il transil (fig. 13).

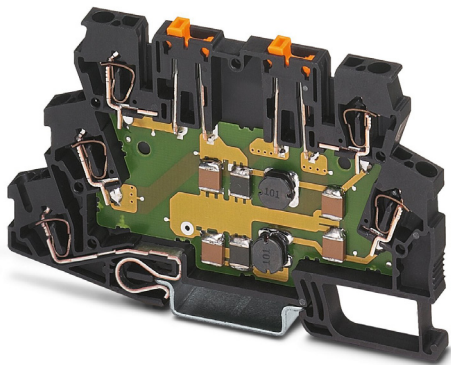


Fig. 12. Dispositivo a tre livelli (Phoenix Contact).

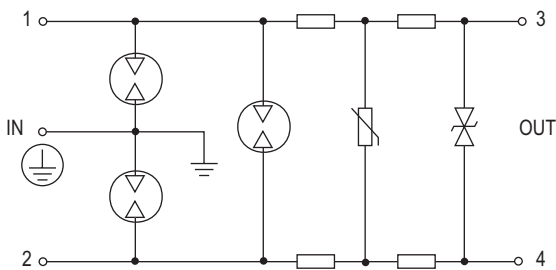


Fig. 13. Rete di protezione a tre livelli.

I parametri più importanti di una protezione sono:

- **tensione statica di intervento** (DC Spark-Over Voltage); tensione massima in uscita dalla protezione, ottenuta applicando al suo ingresso una rampa normalizzata con pendenza 100 V/s;
- **tensione dinamica di intervento** (Impulse Spark-Over Voltage); tensione impulsiva massima in uscita dalla protezione, ottenuta applicando al suo ingresso una rampa normalizzata con pendenza 1 kV/ $\mu$ s;
- **corrente nominale di scarica**; massima corrente di picco sopportabile dalla protezione durante il suo intervento; la misura viene effettuata con riferimento all'impulso normalizzato di corrente 8/20  $\mu$ s (fig. 14);
- **tempo di intervento**; intervallo di tempo che intercorre tra l'istante in cui l'uscita supera il valore della tensione statica di intervento e l'istante in cui l'uscita torna al di sotto del valore stesso (fig. 15).

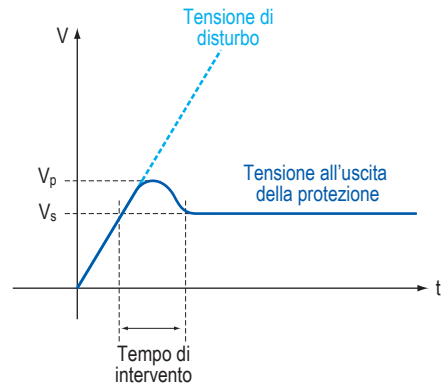


Fig. 14. Andamento della risposta di una protezione.

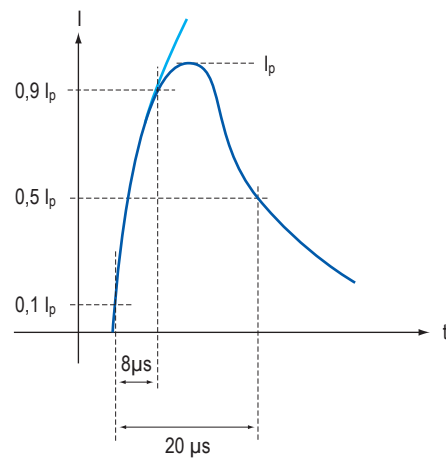
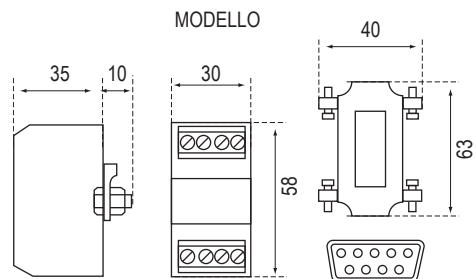


Fig. 15. Impulso di corrente 8/20  $\mu$ s.

In fig. 16 sono riportati i parametri tipici di alcuni dispositivi di protezione per linee in 232 e 485.



Protocollo	RS 232/C	RS 422	RS 485
Tensione nominale di lavoro	12 V	5 V	
<b>Protezione longitudinale (common mode)</b>			
Tensione statica di intervento	90 V		
Corrente nominale di scarica	10 kA		
Tempo di intervento	< 0,5 $\mu$ s		
<b>Protezione trasversale (differenziale)</b>			
Tensione statica di intervento	16 V	7 V	
Corrente nominale di scarica	0,5 kA		
Tempo di intervento	< 1 $\mu$ s		

Fig. 16. Dispositivi di protezione per linee dati.

La disposizione in campo deve rispettare il verso corretto della protezione, con gli ingressi rivolti al campo (fig. 17).

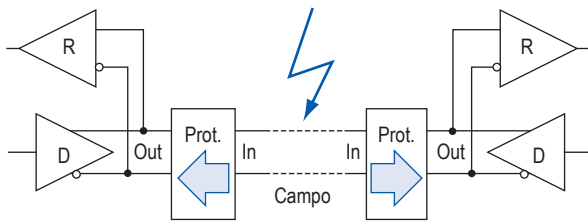


Fig. 17. Disposizione in campo dei dispositivi di protezione.

### Filtri di rete

I filtri di rete (fig. 18) sono utilizzati per proteggere le apparecchiature dai disturbi presenti sulla rete di alimentazione. La presenza di disturbi in rete si nota per il verificarsi di improvvisi malfunzionamenti in apparecchiature che non hanno mai dato problemi, in rotture di condensatori per sovratensioni, in errori di misura, ecc.



Fig. 18. Filtro di rete monofase (SCHAFFNER).

Il circuito interno, a uno o più stadi (fig. 19) è costituito da una serie di filtri LC o a pi greco (CLC), con  $C_x$  per i disturbi differenziali e  $C_y$  per il modo comune. Altre importanti applicazioni, con disturbi in senso inverso, riguardano gli azionamenti in genere.

Le apparecchiature a sinusoide commutata non sufficientemente filtrate (alimentatori switching, inverter, azionamenti, ecc.) irradiano difatti frequenze di rumore e propagano inquinamento sulle linee di alimentazione sotto forma principalmente di rumori condotti che disturbano le altre apparecchiature connesse alla rete.

Un inverter con commutazioni interne a 50 kHz, per esempio, può sostenere armoniche di disturbo con energia significativa fino a 50 MHz.

Di queste, le armoniche di alta frequenza (> 30 MHz) vengono irradiate nell'ambiente (Radio Frequency Interference) all'interno del dispositivo, mentre le armoniche di bassa frequenza sono condotte attraverso i cavi (fig. 20), i quali possono però risultare di lunghezza sufficiente a diventare a loro volta antenne trasmettenti ( $f < 30 \text{ MHz}$ ,  $\lambda/4 > 2,5 \text{ m}$ ).

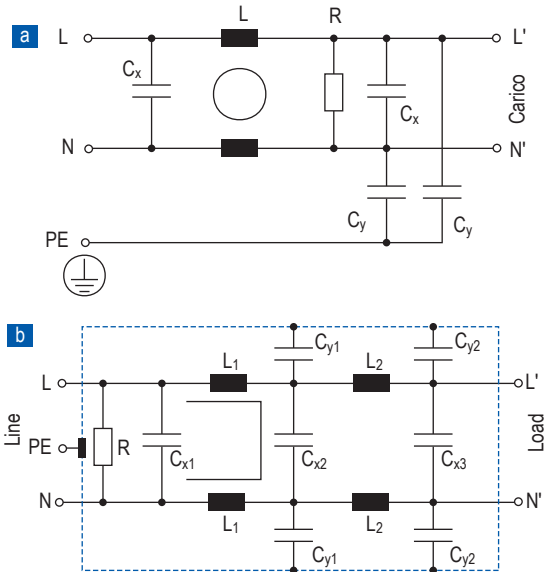


Fig. 19. Circuito interno a uno stadio (a) e a più stadi (b).

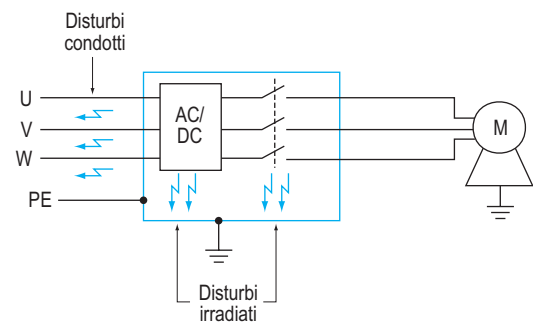


Fig. 20. Disturbi condotti e irradiati.

L'irradiazione in aria interna ha normalmente un campo di azione limitato e per attenuarla è sufficiente dotare le apparecchiature di una custodia metallica messa a terra.

Per il rumore condotto, il costruttore stesso predispone un filtro di disaccoppiamento interno all'inverter, all'ingresso dell'apparecchiatura, ma molto spesso questo non è sufficiente ad attenuare efficacemente i disturbi scaricati in rete ed è necessario intervenire sui cavi, aggiungendo adeguati filtri esterni (fig. 21) che blocchino i disturbi condotti direttamente alla fonte.

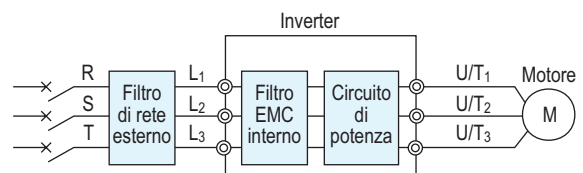
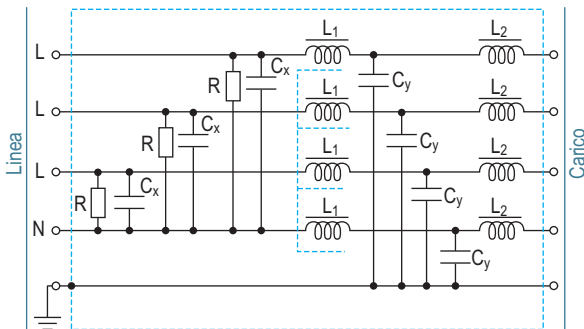


Fig. 21. Filtro di rete esterno e filtro EMC interno.

In **fig. 22** è riportato lo schema interno di un filtro trifase a due stadi, in custodia metallica, per azionamenti AC.



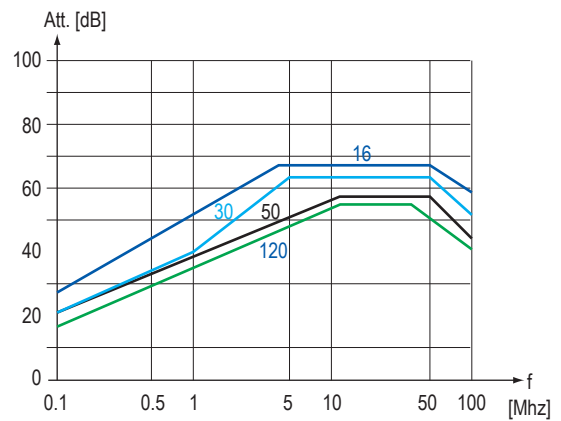
**Fig. 22.** Filtro di rete trifase.

Entrambi gli stadi rappresentano dei filtri passa basso LC che proteggono la linea dai disturbi provenienti dal carico. Il primo stadio scarica i disturbi delle linee direttamente a terra, mentre nel secondo stadio i condensatori  $C_x$  bypassano i disturbi differenziali (con andata e ritorno tra conduttore e neutro), mentre le induttanze  $L_1$ , avvolte sul toroide nel medesimo verso, sopprimono i disturbi di modo comune (che percorrono i conduttori con la medesima direzione) grazie all'alta induttanza contrapposta.

I filtri di rete in commercio possono essere per linea monofase o trifase, a uno o più stadi. Per ciascun modello, l'attenuazione è fornita mediante una famiglia di curve (**fig. 23**), distinte per corrente nominale.

Come si può notare, l'attenuazione è maggiore per i modelli con corrente nominale inferiore (a parità di volume occupato la bobina possiede un maggior numero di spire, perché di sezione inferiore) e si situa tra 5 e 50 MHz.

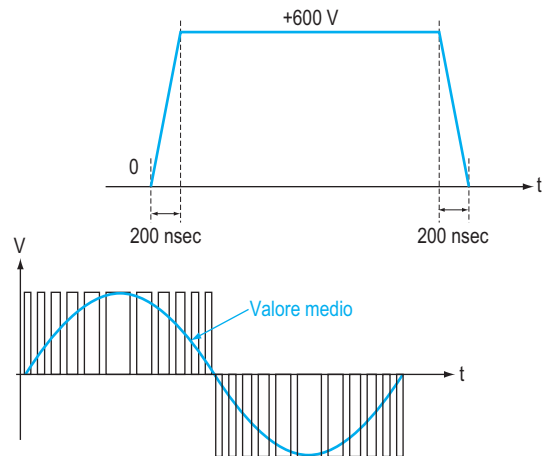
Particolare cura va posta anche ai cavi che collegano il filtro di rete al dispositivo, perché, essendo percorsi da armoniche di frequenza elevata, possono funzionare da antenne di emissione in aria dei disturbi stessi. Il filtro va perciò montato il più vicino possibile all'azionamento, in modo che il cavo sia il più corto possibile. Inoltre, i cavi di entrata e di uscita non devono correre paralleli, per eliminare l'accoppiamento capacitivo e induttivo, e, nel caso, vanno intrecciati e schermati. La messa a terra del filtro deve essere franca e la più diretta possibile.



**Fig. 23.** Attenuazione del filtro di rete.

### Posa del cavo motore

La terna di tensioni sinusoidali SPWM che gli inverter forniscono al motore è composta da impulsi di alcune centinaia di volt (**fig. 24**), con fronti di alcuni  $kV/\mu s$ , emessi con frequenza  $40 \div 50$  kHz.



**Fig. 24.** Impulsi SPWM.

I fronti estremamente ripidi delle tensioni di impulso caricano e scaricano le capacità parassite verso terra sia dei cavi sia degli avvolgimenti del motore (**fig. 25**), provocando la circolazione di significative correnti di dispersione a terra che si propagano come rumore su tutto l'impianto. Inoltre, il cavo stesso che connette l'inverter al motore può rappresentare un'antenna emittente se la sua lunghezza si accorda con una delle armoniche (un cavo da 2,5 m risona a frequenze da 30 MHz).

È quindi di fondamentale importanza sia impiegare motori di buona qualità, con isolamento interno ben fatto, sia realizzare la connessione tra motore e inverter con cavo intrecciato e schermato, con lo schermo posto a massa ad entrambe le estremità (**fig. 26**).

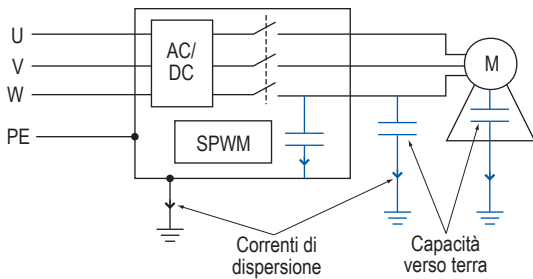


Fig. 25. Correnti di dispersione.

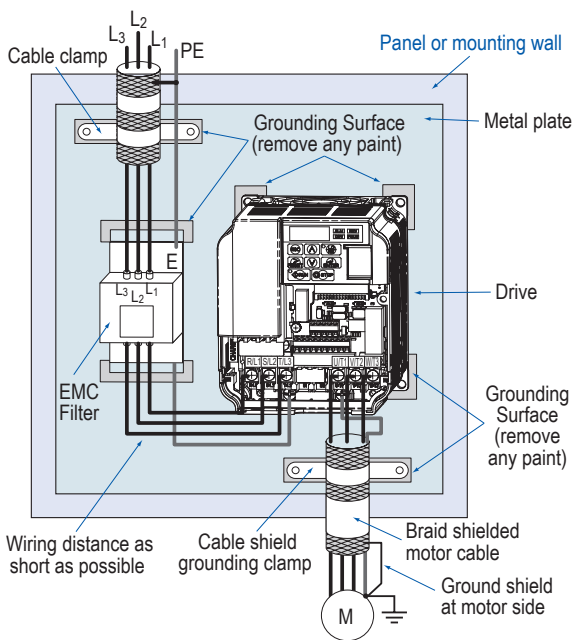


Fig. 26. Connessione di filtri e schermi (OMRON).

La medesima raccomandazione vale anche per il collegamento dell'eventuale resistenza di frenatura. La messa a terra non deve essere realizzata a torciglione (fig. 27a), ma a 360° (fig. 27b), mediante molle fissate al telaio, avendo cura di rimuovere la vernice nell'area di contatto.

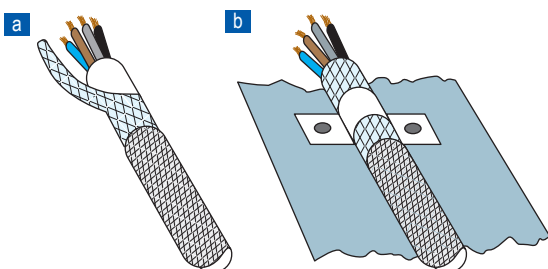


Fig. 27. Messa a terra a torciglione (a) e a 360° (b).

I costruttori raccomandano di posare il cavo motore almeno a 30 cm dai cavi di segnale (encoder o altro) e per non più di 1 m di lunghezza, in modo da evitare problemi di disturbi.

### Il contenitore

Il contenitore metallico dell'apparecchiatura, opportunamente messo a terra rappresenta una solida protezione alle scariche elettrostatiche (ESD, ElectroStatic Discharge). Il contatto elettrico tra le superfici metalliche deve essere garantito (viti filettate) e la guarnizione della portella va metallizzata con vernici conduttive (non ci si può fidare della continuità elettrica delle cerniere).

In questo modo la scarica ESD non ha alcuna possibilità di accoppiarsi con il circuito interno, il quale si solleva da massa assieme al suo contenitore (fig. 28).

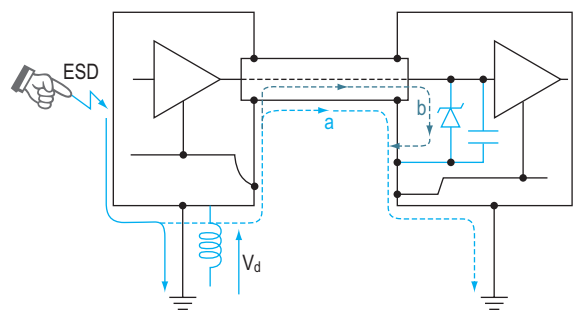


Fig. 28. Contenitore sottoposto a disturbi ESD.

Questo però significa che il disturbo di massa (V<sub>d</sub>) si trasforma tutto in disturbo di modo comune per un eventuale dispositivo collegato in qualche modo al primo. Se il collegamento tra i due è effettuato con cavo schermato connesso a terra da entrambe le parti (fig. 28a), il problema non si pone; in caso contrario, è bene porre su tutti i conduttori di segnale un transil (fig. 28b) o un piccolo condensatore di bypass verso terra subito all'ingresso, per evitare che lo spezzone di conduttore interno faccia da antenna. Parecchi connettori standard metallici sono già provvisti di filtri EMI incorporati posti su ciascuno dei pin, altrimenti vanno disposti sullo stampato in prossimità delle saldature (fig. 29).

Per i driver seriali, la protezione alle ESD è solitamente realizzata con un diodo veloce limitatore (TVS, Transient Voltage Suppressor) e una piccola resistenza in serie (fig. 30).

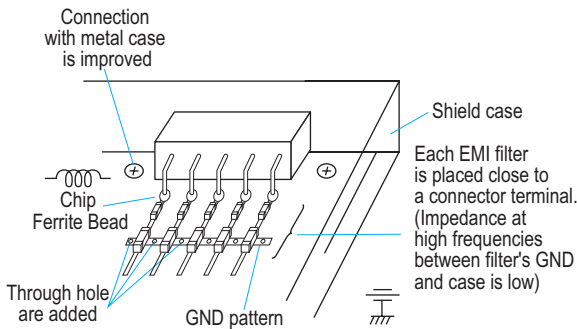


Fig. 29. Ferriti e filtri EMI in prossimità del connettore.

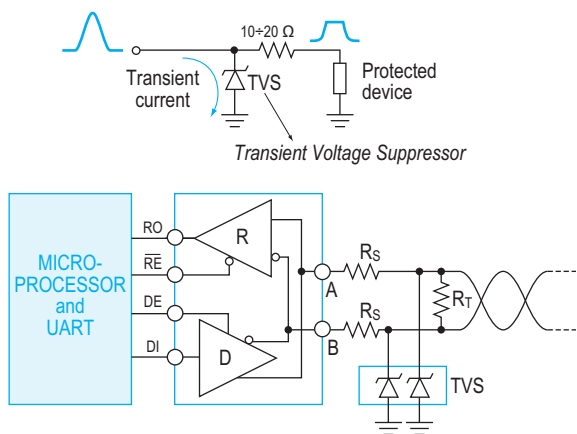


Fig. 30. Protezione alle ESD per driver seriali.

Driver per linee seriali (RS 232, 422, 485) con protezione integrata (fig. 31) sono disponibili presso tutti i costruttori, per ESD a ±15 kV, HBM (Human Body Model).

Un secondo importante problema dei contenitori è relativo alle fessure e alle finestre presenti nella struttura, necessarie per il passaggio dei cavi e dei dispositivi di manovra, per la ventilazione o per alloggiare il display (fig. 32).

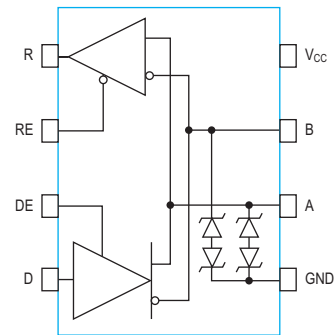


Fig. 31. Transceiver SN75LBC184 con protezione ESD interna.

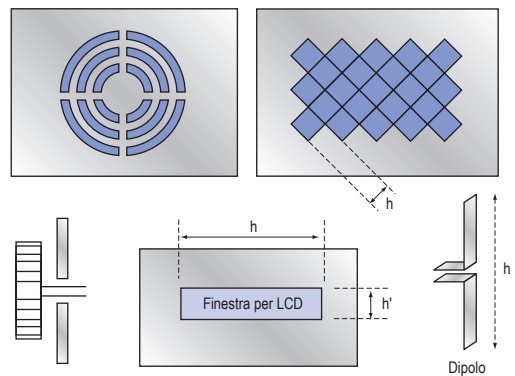


Fig. 32. Fessure nel contenitore e dipolo equivalente.

Purtroppo, una fessura in un piano metallico si comporta come un dipolo della stessa lunghezza e larghezza della fessura e diventa un percorso efficace per quelle frequenze rispetto alle quali una delle sue dimensioni è pari a  $\lambda/2$ . In tal caso, l'energia elettromagnetica di frequenza:

$$f = \frac{c}{2h}$$

passa attraverso l'apertura senza alcuna attenuazione. Sono necessarie quindi vernici conduttive sulle guarnizioni e schermature interne di secondo livello.



**ESERCIZIO A**

Un segnale logico e uno analogico, entrambi schermati ( $C_p = 30 \text{ pF/ft}$ ), hanno in comune un tratto di collegamento a massa lungo 60 cm, il cui modello elettrico vale  $R = 0,1 \Omega$ ,  $L = 1 \mu\text{H}$  (fig. 33).

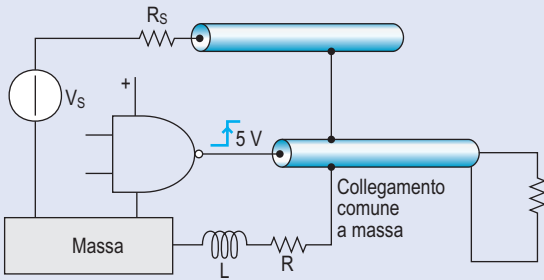


Fig. 33. Collegamento a massa comune per i due schermi.

Indicare le ripercussioni sul segnale analogico dovute alle rapide variazioni del segnale digitale da 5 V.

**SOLUZIONE**

Ogni cavo presenta un condensatore parassita tra conduttore e schermo:

$$C = 30 \frac{\text{pF}}{\text{ft}} \cdot \frac{0,6 \text{ m}}{0,3 \text{ m/ft}} = 60 \text{ pF}$$

Considerando la presenza di questo condensatore, tra conduttore e massa si forma un circuito RLC con resistenza critica:

$$R_0 = 2 \cdot \sqrt{\frac{L}{C}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{10^{-6}}{60 \cdot 10^{-12}}} = 258 \Omega$$

Il fronte da 5 V in uscita al circuito logico, che si chiude a massa attraverso lo schermo, provoca sullo schermo stesso uno spike ad andamento oscillatorio smorzato di frequenza uguale a circa:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}} = 20,5 \text{ MHz}$$

che solleva anche lo schermo del conduttore di segnale. Si ottiene un miglioramento introducendo una struttura di massa single-point o, meglio ancora, alimentando separatamente la logica (più ricca di spike) e l'analogica, collegando poi le masse dei due alimentatori in un solo punto.

**ESERCIZIO B**

Un cavo schermato lungo 30 m, con resistenza dello schermo  $0,033 \Omega/\text{m}$  e mutua induttanza tra conduttore e schermo  $M = 1,8 \mu\text{H}/\text{m}$ , è utilizzato per trasportare un segnale a bassa impedenza, verso un convertitore a 12 bit con fondo scala 10 V (fig. 34).

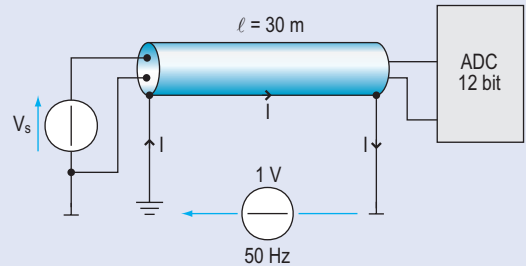


Fig. 34. Schermo collegato ad entrambe le estremità.

Poiché la calza è stata connessa a massa ad entrambi gli estremi, supponendo che tra le due masse esista una tensione di rumore di 1 V, con frequenza  $f = 50 \text{ Hz}$ , calcolare l'entità del rumore di disturbo generato dalla presenza della corrente di terra nello schermo.

**SOLUZIONE**

Corrente nello schermo:

$$I = \frac{1 \text{ V}}{0,033 \Omega/\text{m} \cdot 30 \text{ m}} = \frac{1 \text{ V}}{1 \Omega} = 1 \text{ A}$$

Tensione indotta nel conduttore interno:

$$\begin{aligned} V_n &= \omega \cdot M \cdot I \\ &= 2\pi \cdot 50 \cdot 1,8 \frac{\mu\text{H}}{\text{m}} \cdot 30 \text{ m} \cdot 1 \text{ A} = 17 \text{ mV} \end{aligned}$$

Considerato che:

$$1 \text{ LSB} = \frac{10 \text{ V}}{2^{12}} = 2,44 \text{ mV}$$

il rumore dovuto alla corrente di terra incide sulla risoluzione del sistema per circa 7 LSB.

**ESERCIZIO 1**

Un cavo schermato lungo 20 m, con resistenza dello schermo  $0,02 \Omega/\text{m}$  e mutua induttanza tra conduttore e schermo  $M = 2 \mu\text{H}/\text{m}$ , è utilizzato per trasportare un segnale a bassa impedenza, verso un convertitore a 10 bit con fondo scala 5 V. Poiché la calza è stata connessa a massa ad entrambi gli estremi, supponendo che tra le due masse esista una tensione di rumore di 2 V, con frequenza  $f = 50 \text{ Hz}$ , calcolare l'entità del rumore di disturbo generato dalla presenza della corrente di terra nello schermo.

[Ris.:  $\approx 13 \text{ LSB}$ ]