

Disturbi e schermature

Introduzione

Cause di degrado di un segnale:

non si può eliminare

- il **rumore**, un contributo legato alla fisica del moto dei portatori di carica nei dispositivi, descritto da leggi statistiche;
 - Filtraggio
 - Adeguato progetto dell'elettronica
- i **disturbi**, dovuti ad accoppiamenti elettromagnetici o condotti con segnali provenienti da altri dispositivi.
 - Filtraggio selettivo
 - Adeguato progetto delle connessioni elettriche
 - Schermatura

Tipologie di disturbi

● disturbi condotti

- tipicamente dovuti a correnti che scorrono in conduttori comuni

● accoppiamenti capacitivi

→ dovuti a capacità parassite
↳ variazioni di tens. → indur. correnti

quando non si va verso mass, o disturbi noi
↑ A.I.

● accoppiamenti induttivi

→ campi in sp. var. → correnti var. → indur. tensione

- dovuti a campi magnetici variabili che inducono tensioni

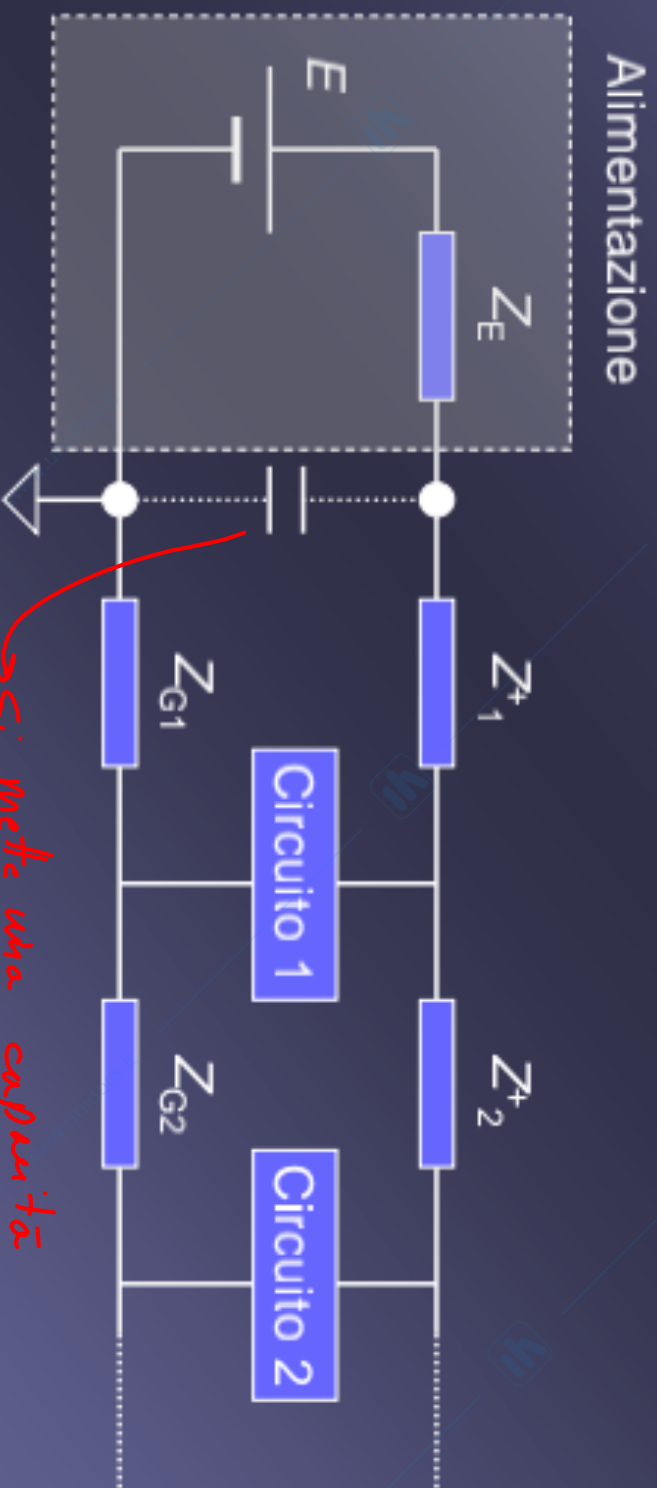
● accoppiamenti per radiazione

- dovuti alla propagazione di campi elettromagnetici

→ fine verso della pot. attiva e non della reattiva come induttivi e condensatori.
questo tipo di disturbi si dividono in antenne

Disturbi condotti

- Due circuiti con impedenze o tratti di conduttore in comune possono interferire tra di loro, in quanto **la corrente in un circuito può generare una tensione sull'altro**.
- Tipicamente questi tratti di conduttore in comune riguardano le **alimentazioni** e le **connessioni di massa**.



→ Si mette una capacità (100 pF) (100 nF) (1000 pF)

Induttanza di un filo

- Le impedenze in gioco sono tipicamente dei banali fili, la cui componente induttiva però cresce di importanza all'aumentare della frequenza

- Per stimare un ordine di grandezza di questa tipologia di disturbi, consideriamo l'induttanza L per unità di lunghezza l di un filo a sezione circolare di diametro d e la sua resistenza R

$$\frac{L}{l} \approx 2 \left(\ln \frac{4l}{d} - 1 + \frac{\mu_r}{4} + \frac{0.778d}{2l} \right) \text{ nH/cm}$$

$$R = \frac{1}{\sigma} \frac{l}{\pi d^2 / 4}$$

- Regola "a spanne": l'induttanza di una connessione è dell'ordine di **10 nH/cm**

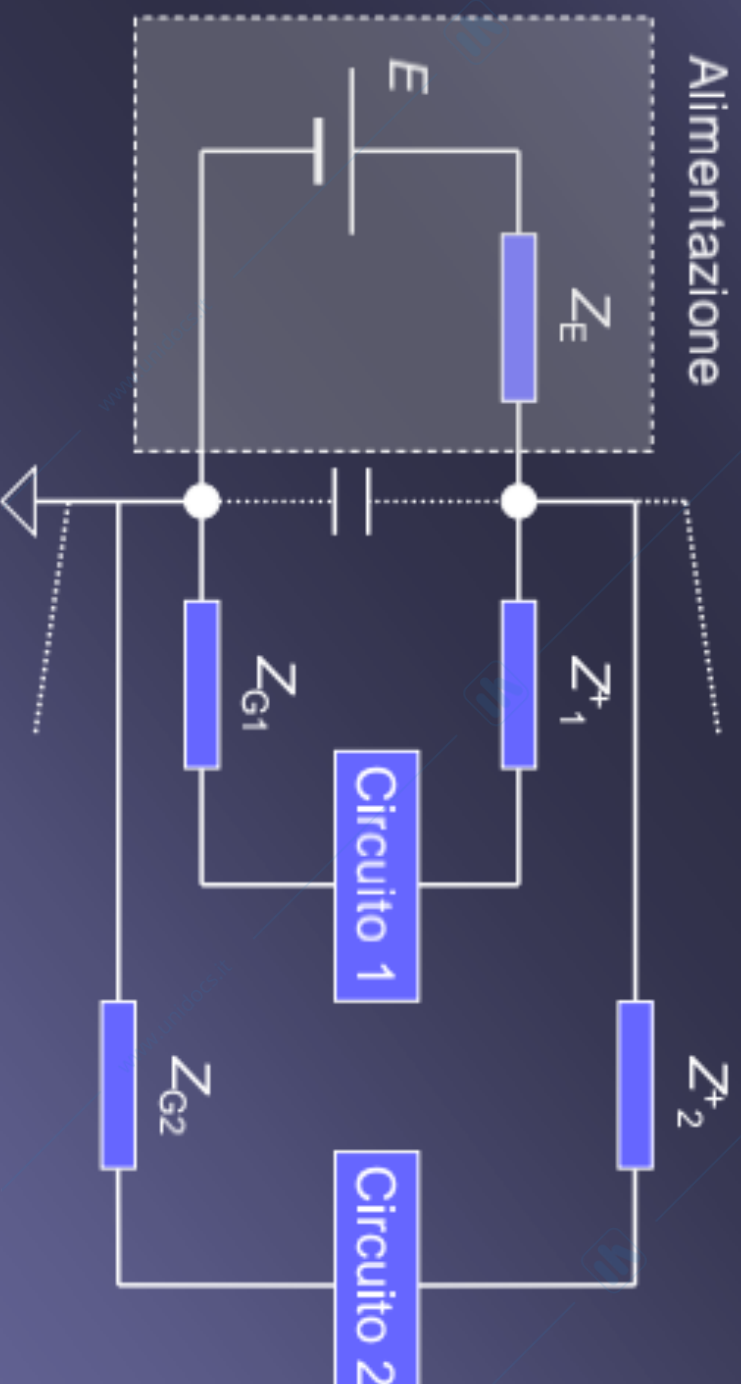
- Per un filo di rame ($\mu_r=1$, $\sigma = 58 \cdot 10^6$ S/m) di diametro 1 mm e lunghezza 20 cm, otteniamo $L \cong 240$ nH, mentre la sua resistenza vale $R \cong 4.4$ m Ω . Il valore di impedenza del filo, ad esempio alla frequenza di 10 MHz, vale

$$|Z| = |R + j\pi fL| = \sqrt{(4.4 \cdot 10^{-3})^2 + (\pi \cdot 10^7 \cdot 240 \cdot 10^{-9})^2} \cong 7.5 \Omega$$

- Questo significa che se il circuito precedente ha un transistoro di corrente con frequenza di 10 MHz e ampiezza ad esempio di 10 mA, (un'onda quadra, con tempo di salita di circa 35 ns), sulle alimentazioni del circuito 2 **compare un picco di tensione (spike) di ampiezza $V = |Z \cdot I| \cong 75$ mV.**

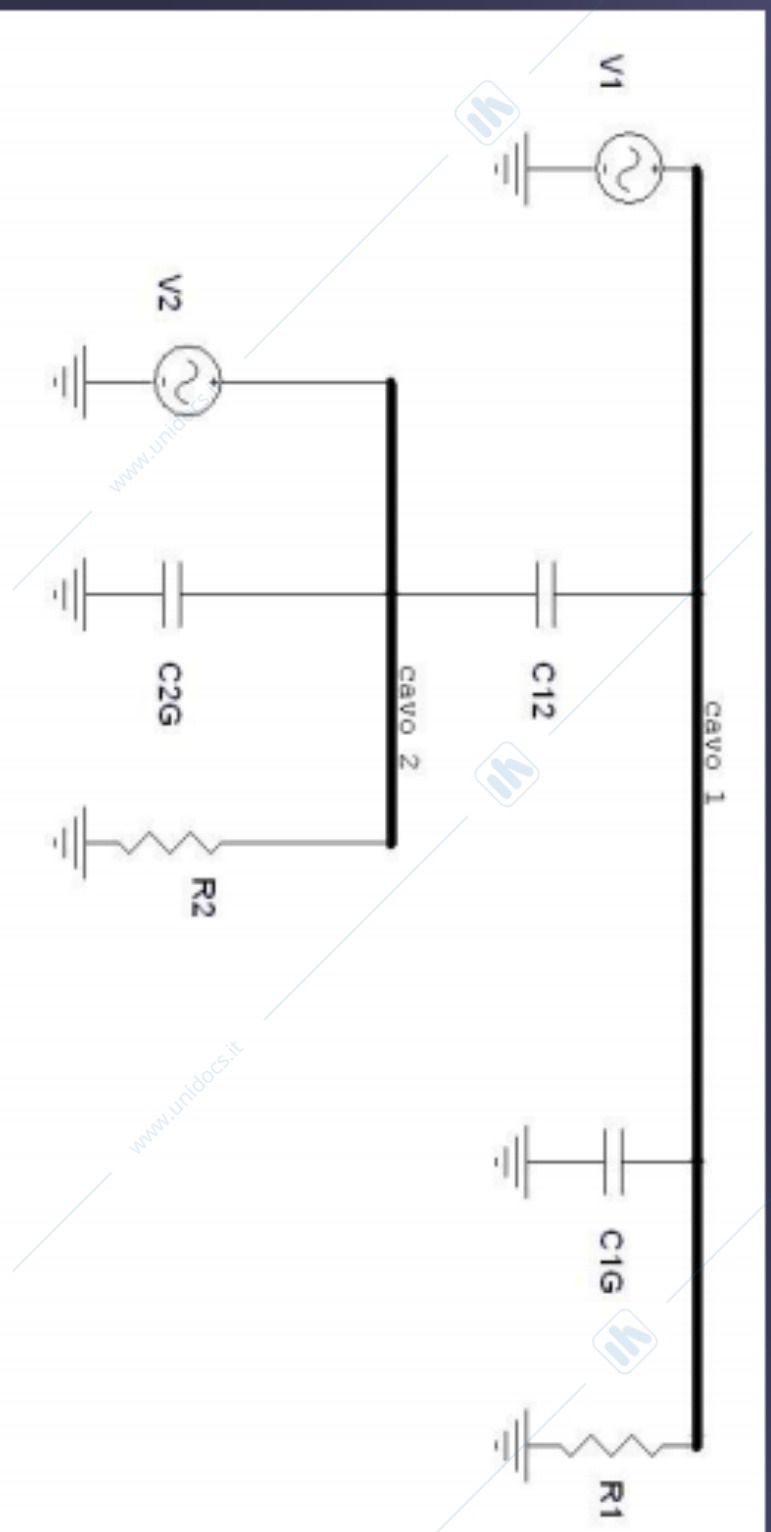
Disturbi condotti

- La connessione corretta per minimizzare questa tipologia di disturbi è **a stella**
- è necessario **separare accuratamente** le alimentazioni di circuiti che potrebbero disturbarsi, ad esempio la **parte analogica** e la **parte digitale**.



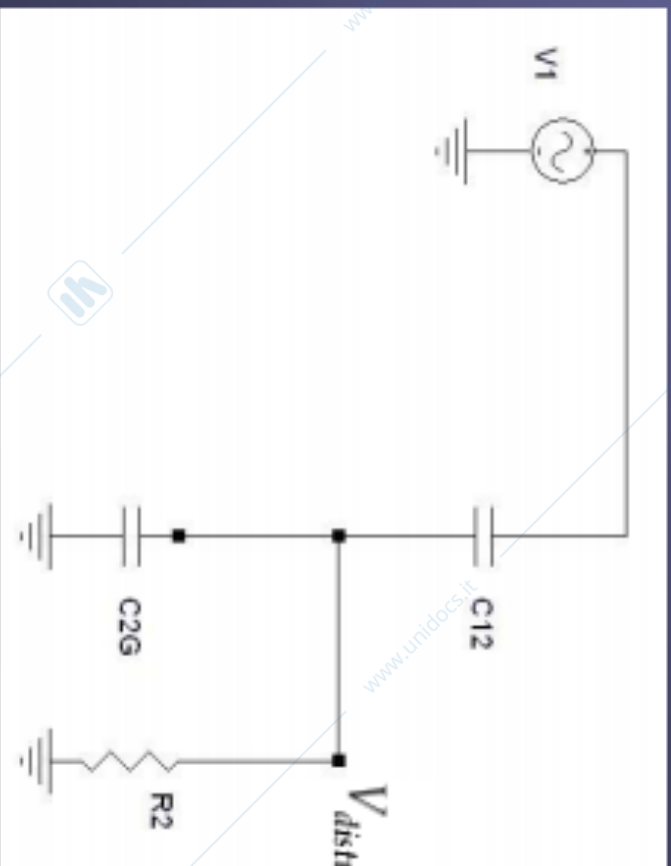
Accoppiamento capacitivo

- Accoppiamento di tipo capacitivo: c'è una **capacità parassita** tra due cavi e perciò si ha un **accoppiamento del campo elettrico**, la cui **variazione induce una corrente nel circuito disturbato**
- Esempio : due conduttori affacciati.
 - Ogni cavo presenta una capacità parassita verso massa, C_{1G} e C_{2G} , oltre a una capacità mutua fra i cavi, C_{12}



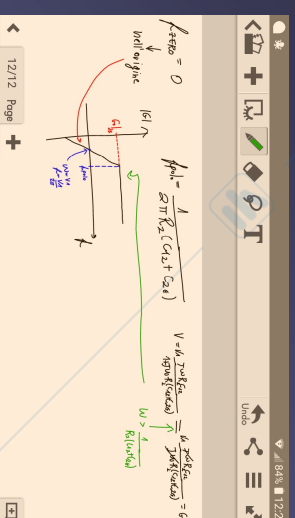
Accoppiamento capacitivo

- La tensione di disturbo ai capi del resistore R_2 dipende dalla tensione V_1 ripartita attraverso i condensatori C_{12} e C_{2G}



$$V_{\text{disturbo}} = V_1 \frac{j\omega R_2 C_{12}}{1 + j\omega R_2 C_{\text{eq}}}$$

$$C_{\text{eq}} = C_{2G} + C_{12}$$



- Il trasferimento è perciò quello tipico di un filtro **passa-alto** (detto **cross-talk** capacitivo).
- frequenza di **corner**

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_2 C_{\text{eq}}}$$

Accoppiamento capacitivo

- L'entità del disturbo decresce al diminuire della capacità di accoppiamento tra i fili C_{12}
 - si può ridurre **aumentando la distanza tra i cavi** o variando la geometria del sistema.
- Una ulteriore soluzione per minimizzare il disturbo può essere quella di **aumentare C_{2G}** ; ma questa scelta implica una **diminuzione della banda** del circuito 2, pertanto spesso non è una via praticabile.
- **Schermatura**
- L'accoppiamento capacitivo induce un **disturbo di corrente**, per cui è particolarmente **dannoso per circuiti ad alta impedenza** (grandi valori di R_2 , ad esempio l'ingresso di un amplificatore di tensione), mentre può essere spesso meno importante per circuiti a bassa impedenza (ad esempio adattati a 50Ω).
- La **capacità mutua** per unità di lunghezza l , tra due conduttori a sezione circolare di raggio r posti a distanza d , vale

$$C_{12} = \frac{2\pi\epsilon}{l \operatorname{arcosh} \left[\frac{(2d)^2 - 2r^2}{2r^2} \right]}$$

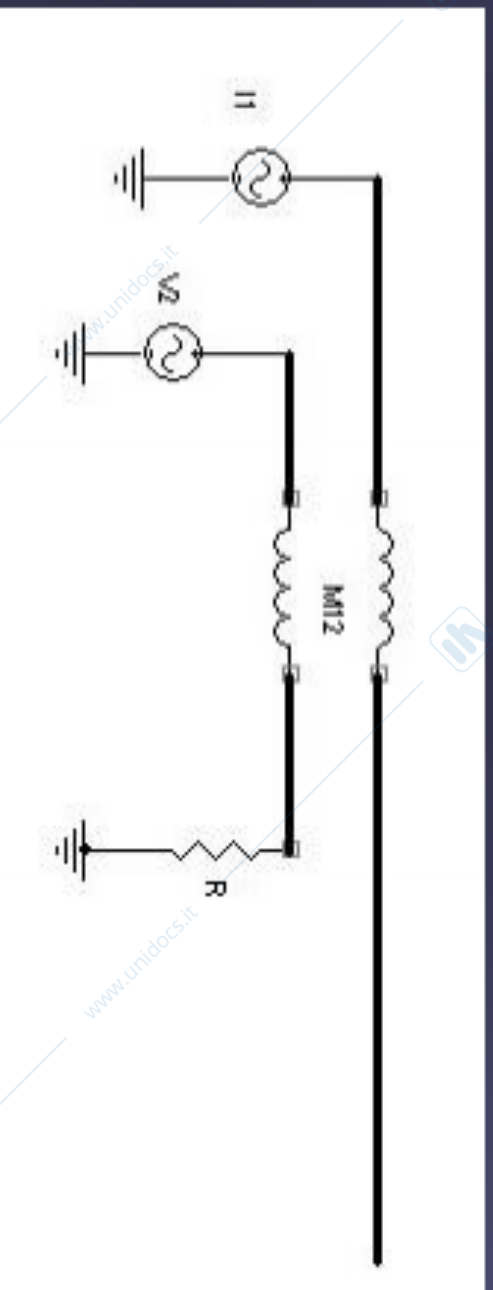
ORDINE DI
GRANDINEZZA

- la capacità di un cavo vale all'incirca **100 pF/m**

Accoppiamento induttivo

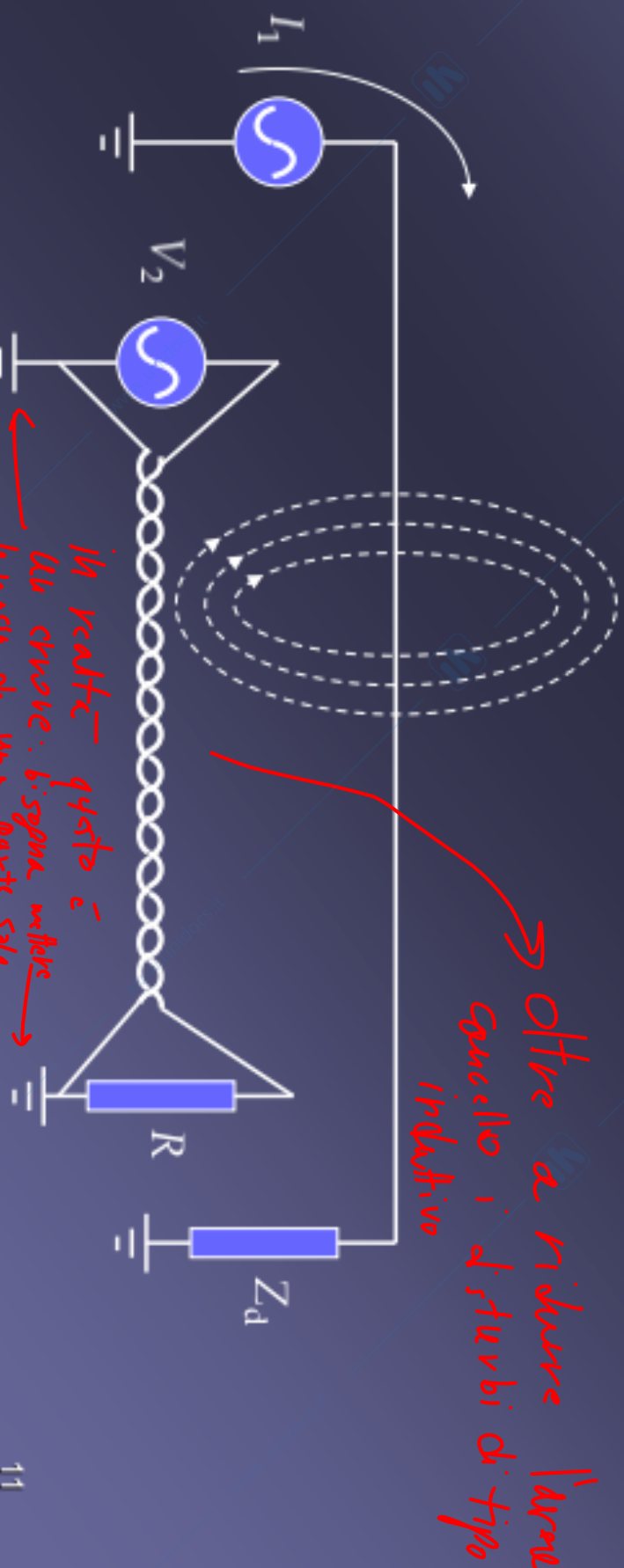
- Nasce quando in un circuito chiuso scorre una **corrente**, perciò si produce un **flusso magnetico** che si concatena a causa di una **mutua induttanza** su un altro circuito, inducendo un **disturbo in tensione**.
- Consideriamo un generico accoppiamento: un conduttore percorso da una corrente I_1 agisce da generatore di disturbo per un secondo circuito, attraverso una mutua induttanza M_{12} .
- La tensione di disturbo che si genera ai capi dell'induttore del circuito 2, e che perciò è in serie alla sorgente di tensione V_2 di questo circuito, è pari a:

$$V_{\text{disturbo}} = j\omega M_{12} I_1$$



Accoppiamento induttivo

- Conviene rendere il più piccolo possibile il parametro M_{12}
 - dipende fortemente dalla disposizione geometrica dei conduttori.
 - l'indicazione di massima è di porre i fili o le piste il **più distante possibile e possibilmente perpendicolari** tra loro.
- **Intrecciare i conduttori** del circuito da proteggere
 - spire adiacenti concatenino flussi di intensità comparabile ma con verso opposto, portando a un accoppiamento totale praticamente nullo.
 - buona **immunità ai disturbi di tipo induttivo**;
 - soluzione è molto usata nella pratica (doppino telefonico, RS-485, USB).

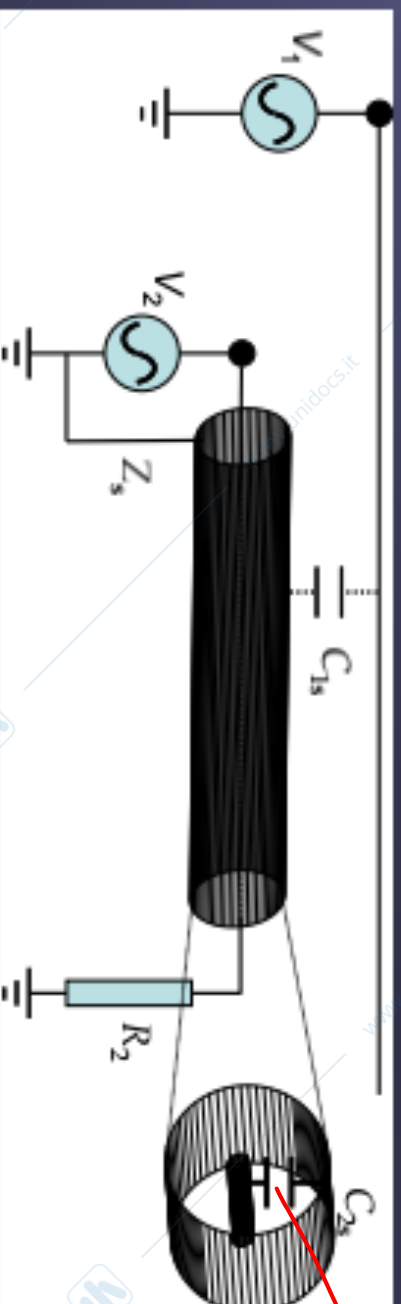


Accoppiamento per radiazione

- Gli accoppiamenti di tipo capacitivo ed induttivo sono stati studiati ricorrendo all'ipotesi semplificativa di **campo vicino**, (dimensioni geometriche $\ll \lambda$).
- Esempio $f = 1 \text{ MHz} \rightarrow \lambda = c / f \approx 300 \text{ m}$ (c è la velocità della luce nel vuoto).
- Per frequenze superiori alle decine di MHz è facile trovarsi in un **regime di radiazione**, in cui l'onda elettromagnetica si propaga, portando con sé un trasferimento di potenza (al contrario del regime di campo vicino in cui i campi sono solo reattivi).
- I **circuiti elettronici** in questo caso possono essere visti come delle **antenne**, più o meno efficienti, che ricevono o emettono segnali elettromagnetici radiati, che per i circuiti stessi rappresentano dei disturbi.
- Un metodo usato nel calcolo dell'emissione irradiata da un filo è basato sull'uso delle equazioni dei campi generati da un dipolo elettrico.
- Una **regola generale** per diminuire i disturbi radiati è sempre quella di **diminuire le lunghezze dei conduttori** (e quindi le dimensioni dei circuiti), diminuendo così l'efficienza delle antenne parassite.

Schermature

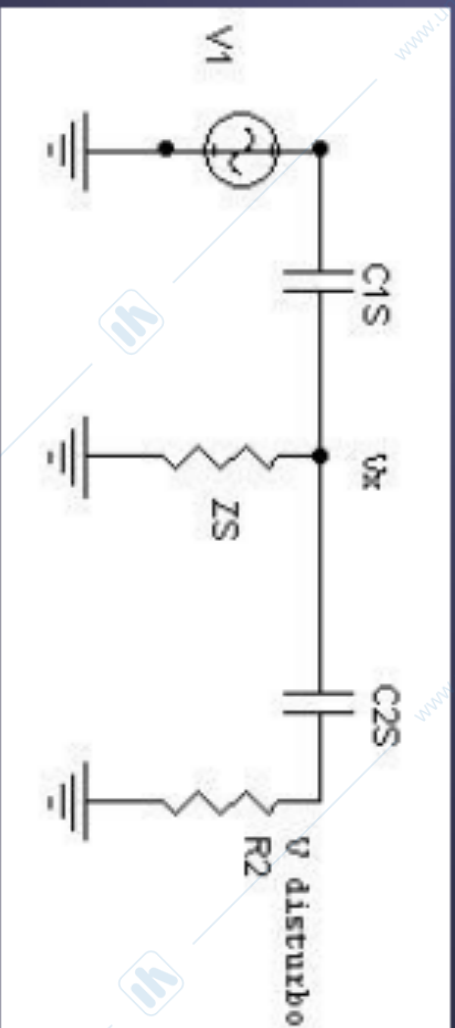
- Per diminuire gli accoppiamenti -> **cavi e conduttori schermati.**
- Essi sono costituiti da un **cavo avvolto da uno schermo**, formato tipicamente da una maglia metallica data dall'intreccio di molti fili.



- Ponendo la calza dello schermo a massa, si riesce idealmente a disaccoppiare i circuiti 1 e 2, cioè a fare in modo che la tensione generata dal primo non influenzi quella del secondo, in quanto l'accoppiamento capacitivo cade interamente sullo schermo, che va a massa con impedenza nulla, quindi non esibisce tensioni causate dalle correnti indotte.

Schermature accoppiamento capacitivo

- Nel caso reale lo schermo è connesso a massa con una sua impedenza Z_s , che dipende sia dalla resistenza che dall'induttanza dello schermo stesso.
- È necessario inoltre considerare l'accoppiamento dello schermo sia con il circuito disturbante che con quello disturbato. Schematizziamo quindi con C_{1s} la capacità tra schermo e circuito disturbante e con C_{2s} la capacità tra lo schermo e il conduttore contenuto.



$$Z_s \ll R_2 + \frac{1}{j\omega C_{2s}}$$



$$V_x \approx V_1 \frac{Z_s}{Z_s + \frac{1}{j\omega C_{1s}}}$$

$$V_{\text{disturbo}} = V_x \frac{R_2}{R_2 + \frac{1}{j\omega C_{2s}}} \approx V_1 \frac{R_2}{R_2 + \frac{1}{j\omega C_{2s}}} \frac{Z_s}{Z_s + \frac{1}{j\omega C_{1s}}}$$

→ ad alte frequenze → la C_{2s} diminuisce e diventa + alla H_{inf} della Z_s (impedenza bassa dello schermo)

- Se l'impedenza dello schermo è trascurabile

V_x e quindi V_{disturbo} tendono ad essere nulle

$$Z_s = R_s + j\omega L_s \ll \frac{1}{j\omega C_{1s}}$$

- Va precisato che è bene **porre lo schermo a massa da un solo lato**

non si riesce più a schermare

Schermature accoppiamento induttivo

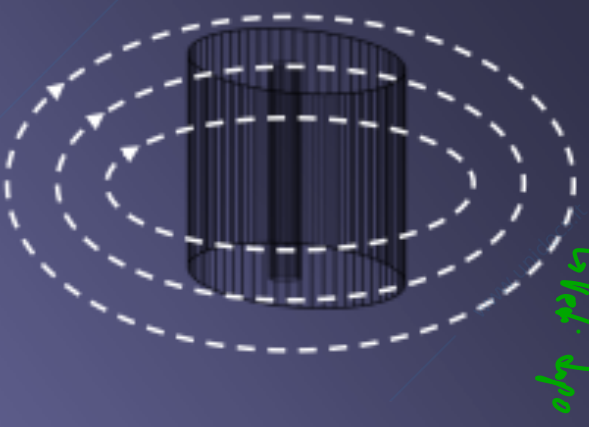
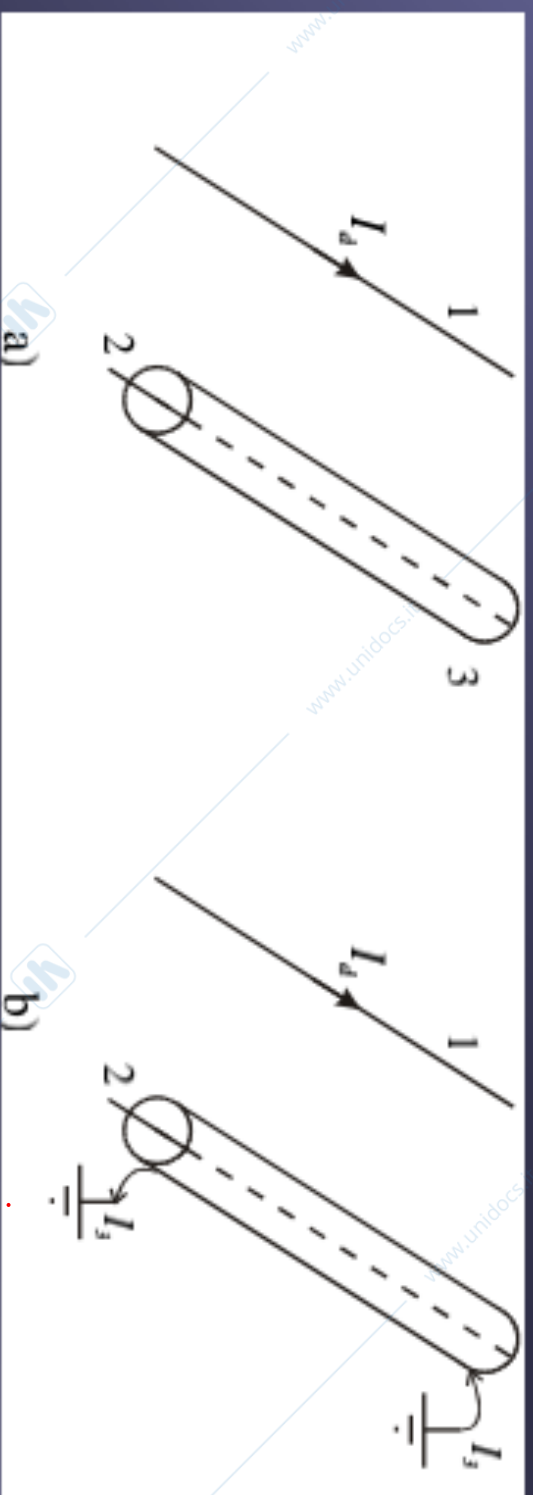
→ Normalmente in caso di accoppiamento induttivo si indovino solo i fili

La schermatura più

grin di uncin

l'ind. dipo

- Effetto di uno schermo in caso di accoppiamento induttivo, tra un conduttore non schermato (cavo 1) percorso da corrente ed un conduttore (cavo 2) con schermo (3)



- Poiché un tubo cilindrico (lo schermo) percorso da corrente non crea campo magnetico al suo interno, tutte le linee di campo generate dallo schermo circondano anche il conduttore 2.
- Pertanto M_{23} tra il conduttore 2 e lo schermo coincide con l'autoinduttanza L_3 dello schermo stesso

Schermature: accoppiamento induttivo

- Considerando trascurabile il flusso generato dalla corrente in 1 all'interno dello schermo (diametro dello schermo piccolo rispetto alla distanza tra i conduttori 1 e 2), si ottiene anche che la mutua induttanza tra conduttore 1 e schermo è all'incirca uguale alla mutua induttanza tra conduttore 1 e conduttore 2: $M_{13} \cong M_{12}$

- Se 2 e 3 sono tra loro non raccordati avremo sui due conduttori delle tensioni indotte V_{20} e V_{30} proporzionali alle loro mutue induttanze con il conduttore 1 e alla corrente I_d , in particolare

$$V_{20} = j\omega M_{12} I_d$$

$$V_{30} = j\omega M_{13} I_d$$

- Se gli estremi dello schermo vengono collegati entrambi a massa, risulterà che la tensione ai capi dello schermo deve essere nulla, per cui

$$j\omega M_{13} I_d - (R_3 + j\omega L_3) I_3 = 0$$

- avendo supposta nulla l'impedenza del circuito di terra ed essendo R_3 ed L_3 resistenza e autoinduttanza dello schermo.

- Su 2, cavo schermato, si avrà pertanto una tensione indotta

$$V_2 = j\omega M_{12} I_d - j\omega M_{23} I_3$$

- ove come già detto $M_{23} = L_3$.

Schermature: accoppiamento induttivo

- Per sostituzione si ottiene quindi la tensione di disturbo sul cavo schermato

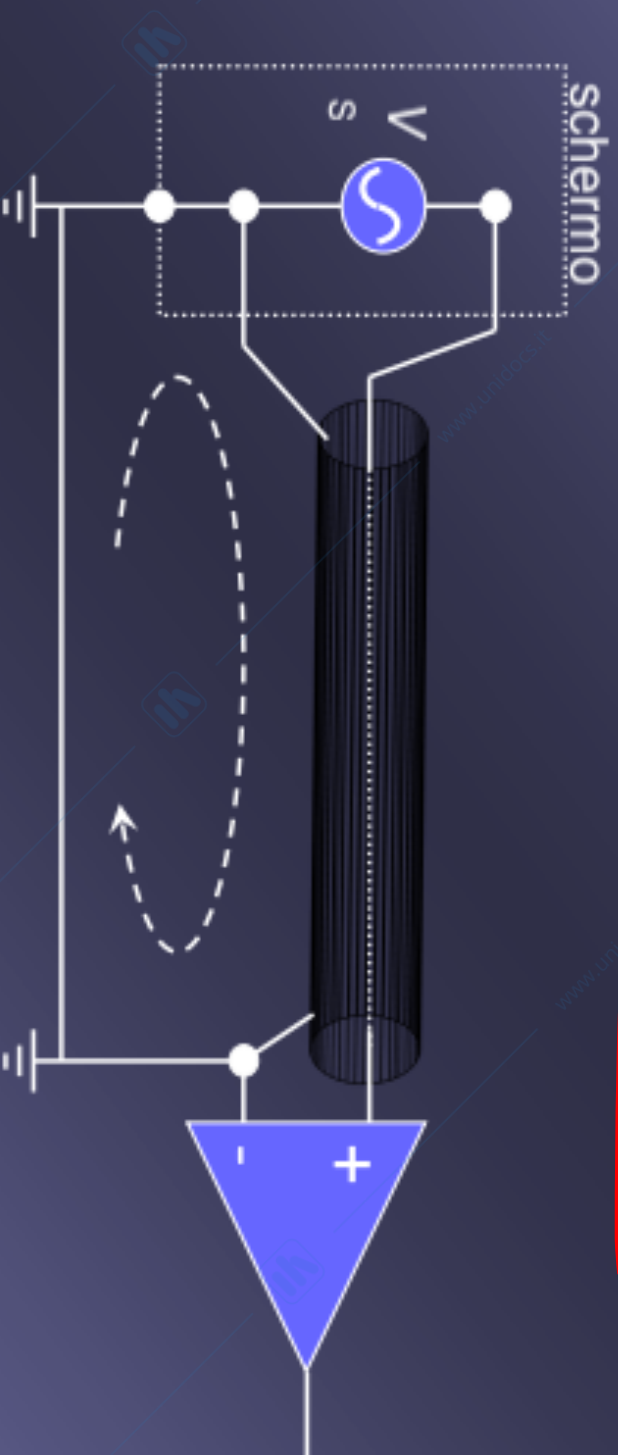
$$V_2 = j\omega M_{12} I_d \left(1 - \frac{j\omega M_{13} M_{23} / M_{12}}{R_3 + j\omega L_3} \right) =$$

$$= j\omega M_{12} I_d \left(1 - \frac{j\omega L_3}{R_3 + j\omega L_3} \right) = V_{20} \left(\frac{1}{1 + j\omega \frac{L_3}{R_3}} \right)$$

- V_{20} = tensione che ci sarebbe sul conduttore 2 senza schermo
- La **schermatura** ha il comportamento di un sistema del primo ordine **passa-alto** con pulsazione di taglio $\omega_c = R_3 / L_3$ (~10 KHz).
- Il valore di V_2 cresce con ω fino al valore asintotico $|V_{2\infty}| = M_{12} |I_d| R_3 / L_3$
- Per ridurre V_2 si può
 - **diminuire** M_{12} , (come già si faceva in assenza di schermo),
 - introdurre uno **schermo di materiale ferromagnetico**, ad alta permeabilità
 - abbassare ω_c **aumentando la sezione della calza** (riduzione di R_3) e/o accrescendone l'autoinduttanza con l'aggiunta di una calza ad alta permeabilità

Collegamenti di massa

- Oltre ai disturbi condotti, una **scorretta messa a massa** di un circuito può portare ad accoppiamenti (tipicamente induttivo) chiamati "**giri di massa**".
 - percorsi chiusi di connessione a massa**: questi percorsi formano delle maglie (di solito di grande area) con cui si possono accoppiare i campi magnetici variabili, che inducono una forza elettromotrice all'interno della maglia di massa e quindi una corrente. Questa corrente a sua volta può generare altre tensioni indotte all'interno del circuito e conseguentemente disturbi.

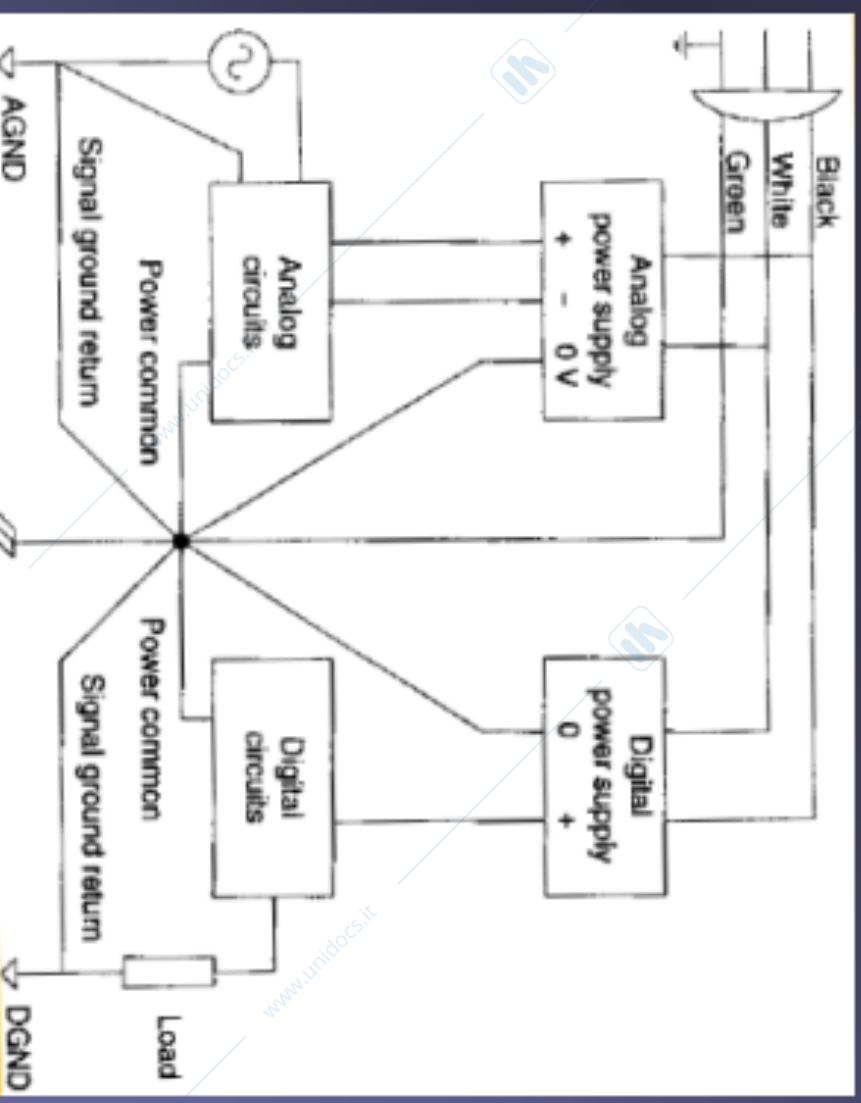


- Un **esempio tipico** di giro di massa:
 - Il generatore è chiuso in un contenitore, che deve essere messo a terra per motivi di sicurezza.
 - Errata connessione a terra sia dal lato generatore che la dato ricevitore.
 - Questo anello ha un'area spesso considerevole

Corretta connessione a massa

- Oltre agli accoppiamenti induttivi, i problemi derivanti dai giri di massa riguardano anche la possibilità che le varie masse non siano esattamente allo stesso potenziale.
 - particolarmente fastidiosa in quanto il percorso di massa è normalmente a bassa impedenza, per cui anche piccole variazioni di tensione possono indurre elevate correnti, che quindi inducono intensi campi magnetici di disturbo.
- Per evitare questi problemi di "giri di massa", è buona norma **connettere gli schermi a terra solo da un lato**
- Oltre ai giri di massa è necessario **evitare** anche i **disturbi di tipo condotto**
- tipologia "a stella"
 - un unico punto di messa a massa

- **due separate alimentazioni** e due separati ritorni di massa (*Analog Ground* e *Digital Ground*)
- Ogni circuito è quindi connesso alla terra con una connessione a stella attraverso **conduttori a bassa impedenza**



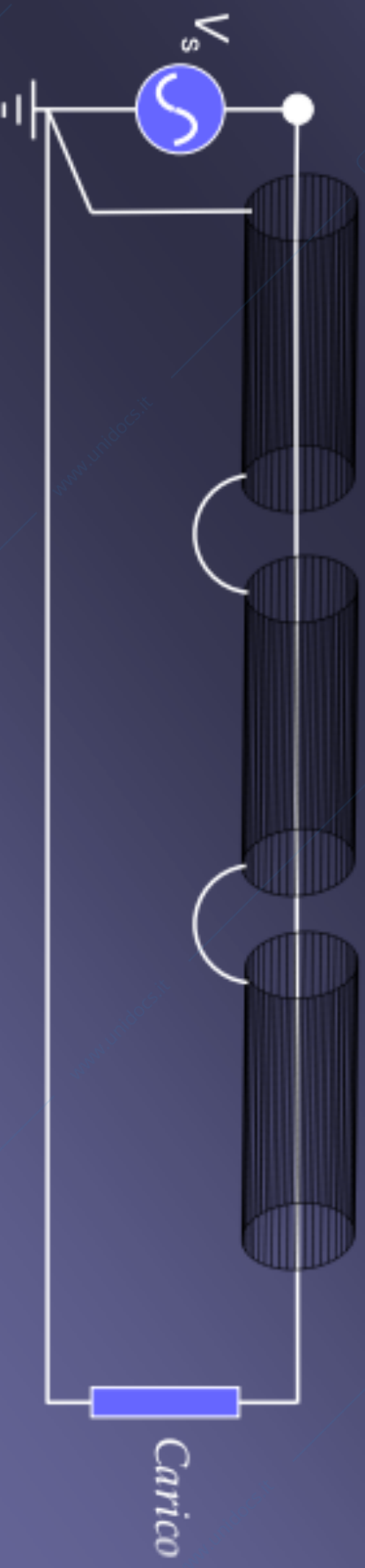
Connessione di uno schermo

- Di norma lo schermo deve essere **connesso al potenziale di riferimento** (normalmente massa) del generatore di segnale



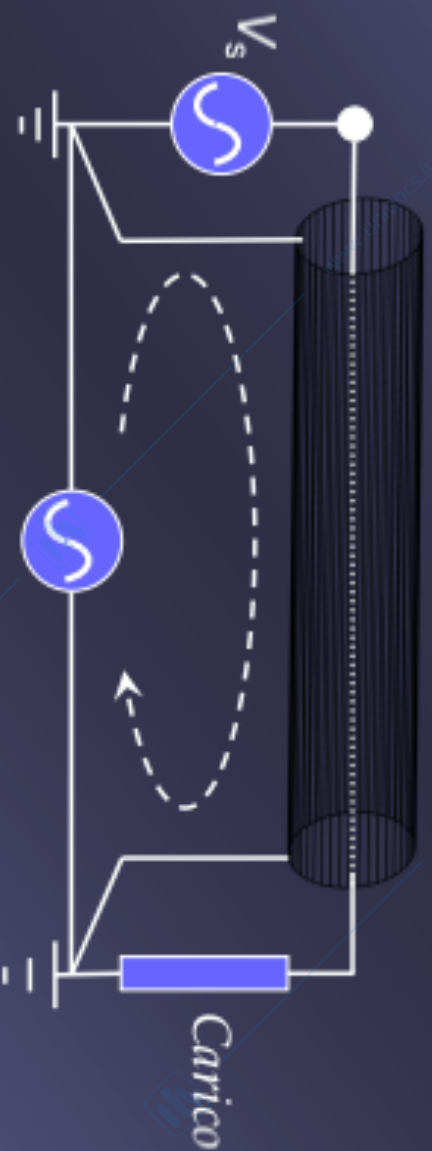
10 schermo
 si attacca
 da una
 parte solo
 alla massa
 di massa

- Nel caso di più spezzoni di schermo, la connessione deve essere effettuata in serie, con un solo collegamento iniziale alla massa



Connessione di uno schermo

- Se si hanno più segnali da trasmettere, ciascuno schermo deve essere connesso direttamente al potenziale di riferimento del corrispondente segnale, per evitare che lo schermo esibisca un segnale rispetto al proprio conduttore.
- Tipicamente non bisogna connettere entrambe le terminazioni dello schermo a terra. L'eventuale differenza di potenziale tra le terre differenti causerebbe una corrente nello schermo (giro di massa)



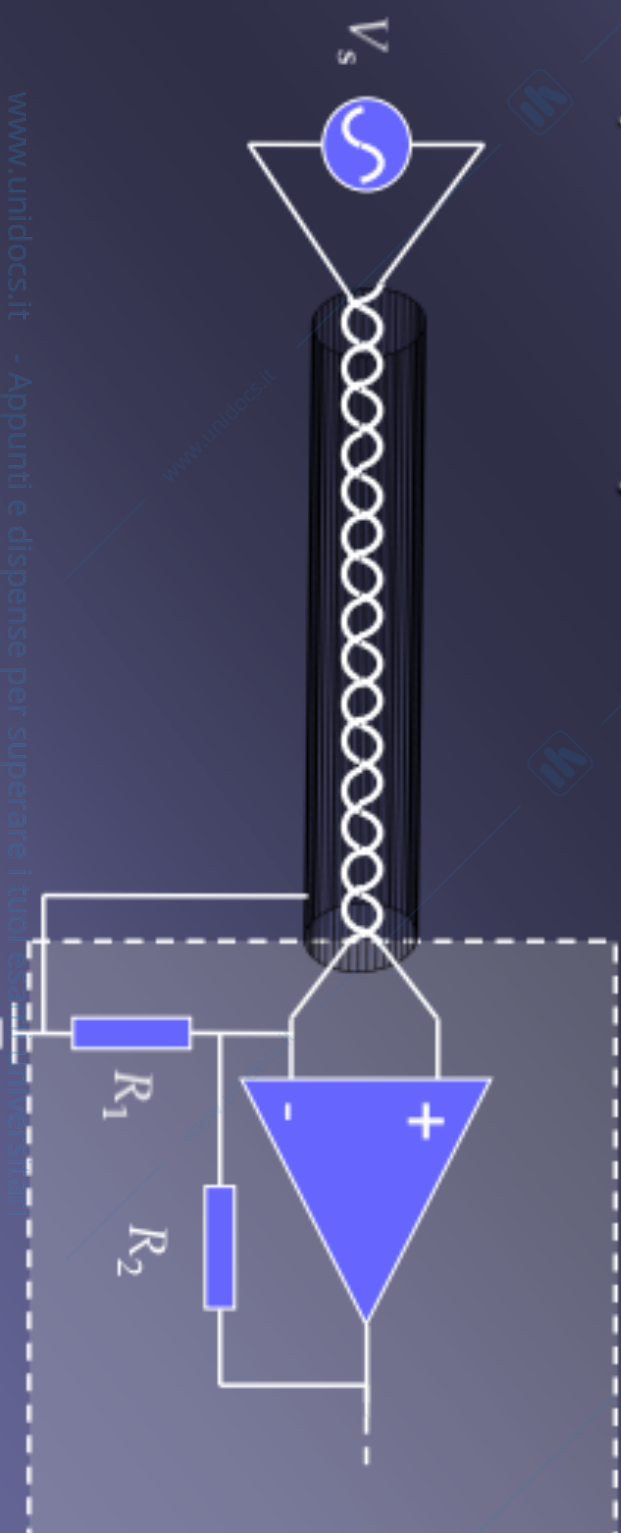
- Ricordando però che uno schermo è efficace contro i campi magnetici solo se in esso può scorrere una corrente, è possibile connettere il secondo estremo dello schermo a terra tramite un condensatore. In questo modo si evitano giri di massa, inoltre lo schermo ai disturbi induttivi resta valido, dato che comunque la schermatura ai campi magnetici è valida solo per alte frequenze

Connessione di uno schermo

- Tipicamente una buona soluzione per la trasmissione di segnali a basse frequenze (fino a circa 10 MHz) è l'utilizzo di una **coppia di cavi intrecciati**, con uno **schermo messo a massa da un solo lato**, preferibilmente il lato del generatore di segnale

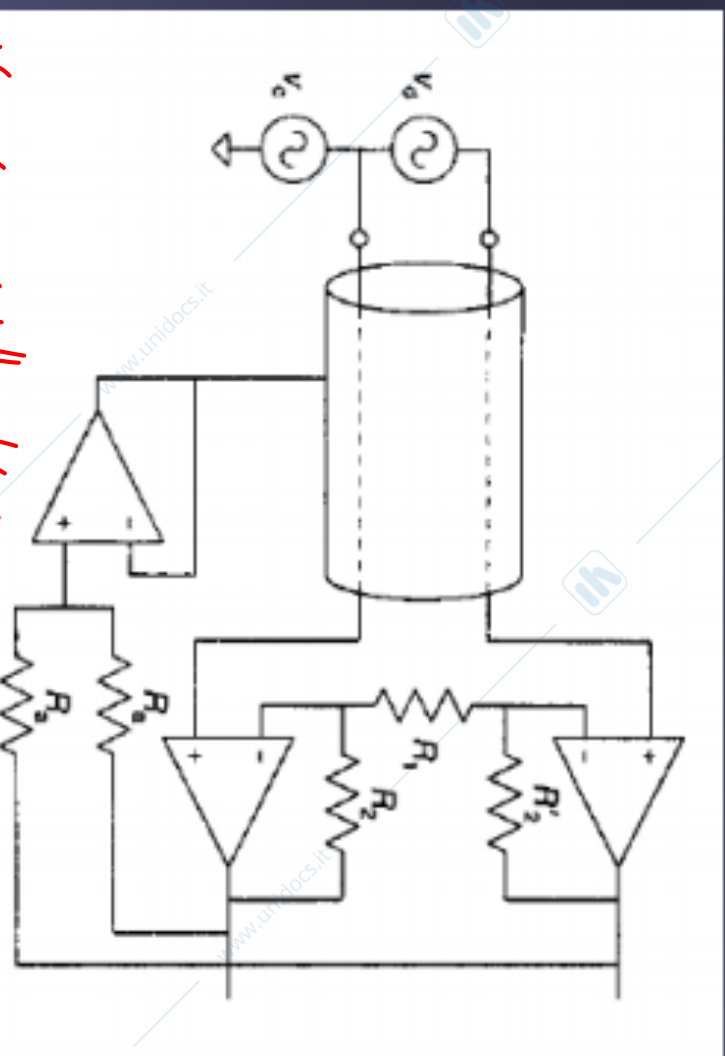
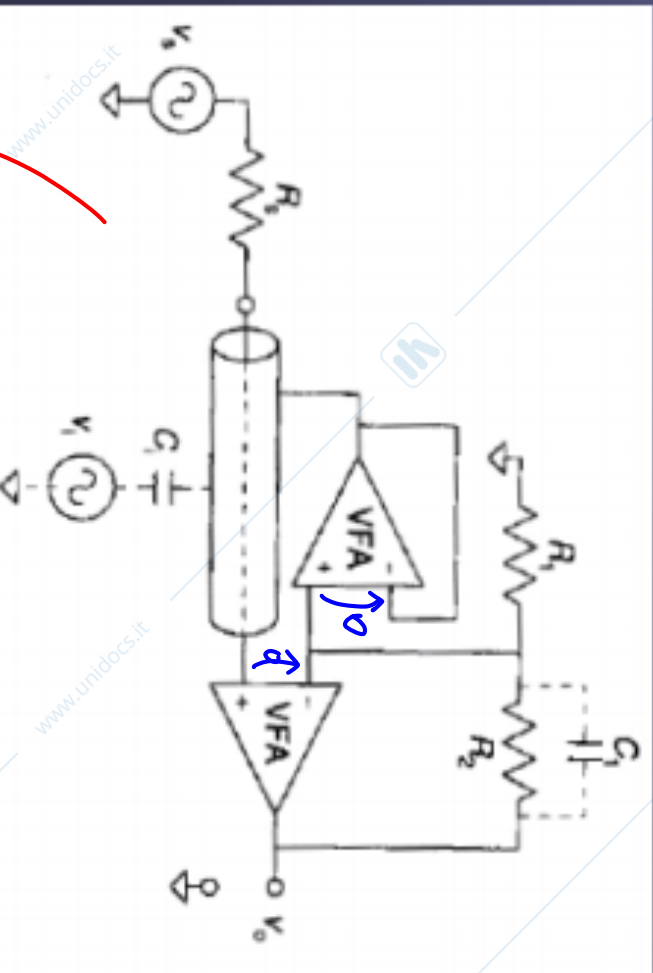


- La connessione dello schermo al lato di lettura del segnale è invece consigliabile quando si ha a disposizione un generatore *floating* (non vincolato a potenziali fissi).



Guardie

- La schermatura elettrica, oltre all'aumento dei costi economici, comporta anche dei costi circuitali.
- La capacità tra il conduttore schermato e lo schermo è infatti abbastanza elevata, data la loro prossimità.
- Lo schermo implica una capacità in parallelo che può generare un filtraggio passa-basso, in funzione dell'impedenza del generatore di segnale.
- La tecnica di guardia consiste nel connettere lo schermo a un potenziale uguale al modo comune del segnale schermato, utilizzando un amplificatore a bassa impedenza



di tensione e di schermo. La tensione v_s con quella del filo \rightarrow non ci sono variazioni