Lezione 14

Crosstalk con Cavi Schermati

Stefano Selleri
Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni
Università di Firenze

Sommario della Lezione

- Introduzione
- Linea Schermata
- Esempio
- Effetto della connessione a massa
- Schermi per tutti!

Introduzione

Ok

Abbiamo fatto tutti i nostri conti, con modello semplificato o completo e abbiamo visto che l'accoppiamento è ***troppo elevato***…

C'è effettivamente interferenza tra le due linee

che facciamo?

Diamine, si prova a

Inserire uno schermo

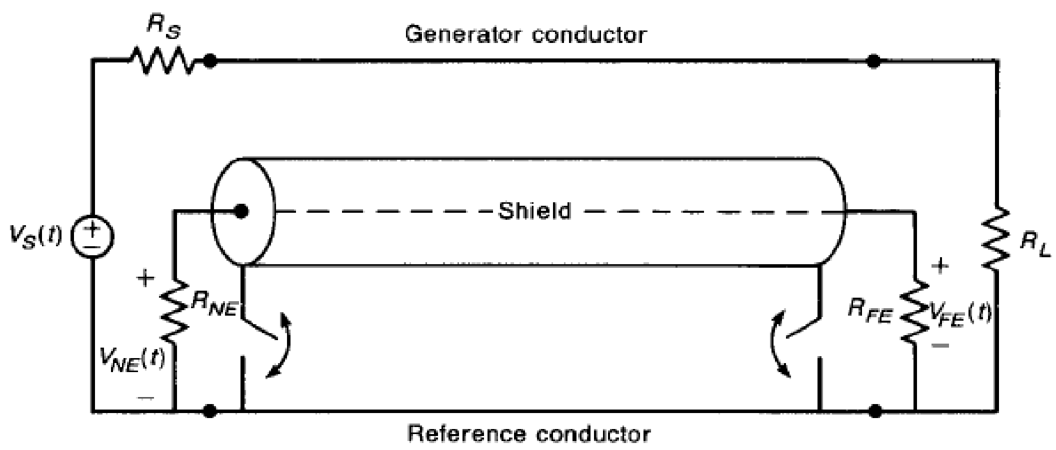
O si passa al

Doppino ritorto

Linea Schermata

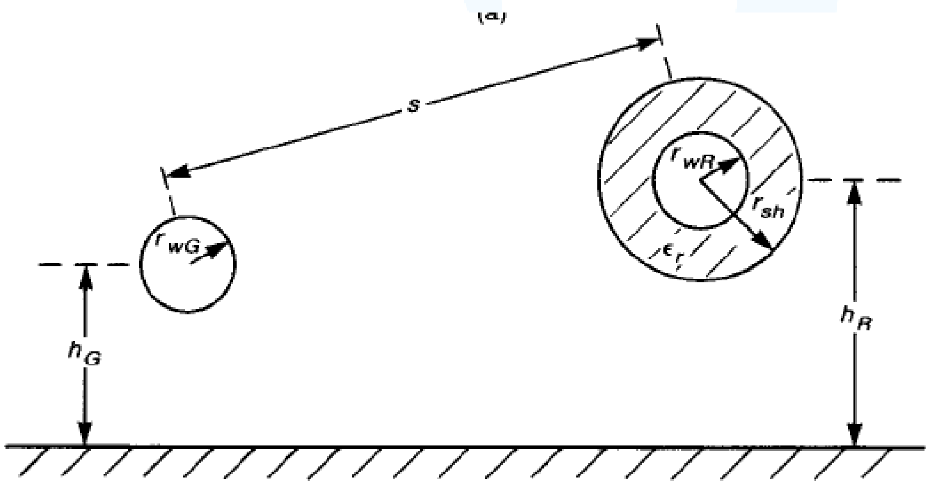
Possiamo pensare di schermare il generatore, per ridurne l'emissione, o schermare il recettore, per ridurne la suscettibilità.

Consideriamo di schermare il recettore



Linea Schermata

Consideriamo, come caso esemplificativo, quello di due fili su un piano di massa, di cui uno, il recettore, schermato



Linea Schermata

Il calcolo della resistenza per unità di lunghezza dei cavi non comporta particolari difficoltà

Quella dello schermo è più delicata poiché dipende fortemente dalle caratteristiche costruttive.

Se si tratta di uno schermo di fili intrecciati la sua resistenza per unità di lunghezza può essere approssimata con il parallelo di tutte le resistenze di ogni singolo filo:

$$R_{SH} = \frac{R_b}{BW \cos\theta_w}$$

Resistenza per unità di lunghezza dello schermo

Resistenza per unità di lunghezza del singolo filo

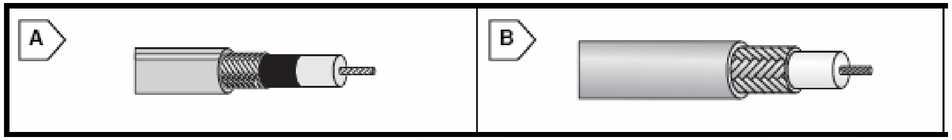
Numero di fasci di fili

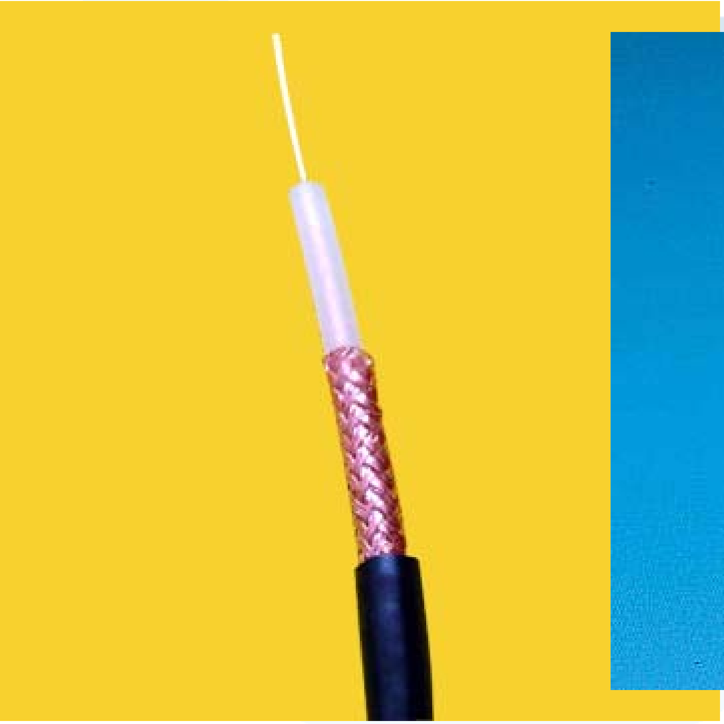
Fili per fascio

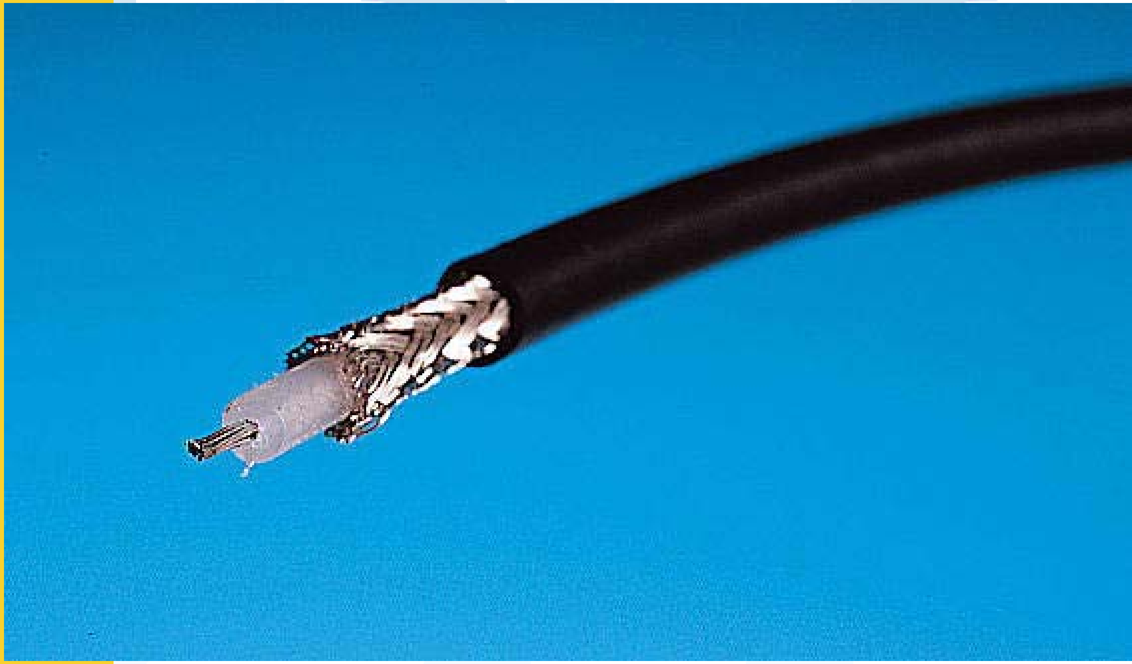
Angolo di “intreccio”

Compatibilità Elettromagnetica II A. A. 2008-09
S. Selleri - Laboratorio di Elettromagnetismo Numerico
Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni – Università di Firenze

Linea Schermata







Linea Schermata

In altri casi si utilizza uno schermo continuo, tubolare o a foglia d'alluminio avvolta.

In questo caso la resistenza per unità di lunghezza dello schermo può essere approssimata da quella di un cavo pieno con un effetto pelle molto pronunciato:

$$R_{SH} = \frac{1}{\sigma 2\pi r_S t_S}$$

Resistenza per unità di lunghezza dello schermo

Conducibilità

Raggio schermo

Spessore schermo

Linea Schermata

Linea Schermata

L’autoinduzione della linea sorgente è quella, nota:

$$L_G \cong \frac{\mu}{2\pi} \ln\left(\frac{2h_G}{r_{wG}}\right)$$

Quella dello schermo ha sostanzialmente la stessa forma

$$L_{SH} \cong \frac{\mu}{2\pi} \ln\left(\frac{2h_R}{r_S + t_S}\right)$$

Raggio interno dello schermo!

Anche l’autoinduzione della linea vittima resta quella nota!

$$L_R \cong \frac{\mu}{2\pi} \ln\left(\frac{2h_R}{r_{wR}}\right)$$

Infatti il riferimento per il cavo recettore resta il piano di massa e ***non*** lo schermo

Linea Schermata

La mutua induzione tra Generatore e Schermo è essenzialmente quella tra due fili

$$L_{m_{GS}} \cong \frac{\mu}{2\pi}\ln\left(\frac{s_2}{s}\right) = \frac{\mu}{4\pi}\ln\left(\frac{s^2-(h_R-h_G)^2+(h_R+h_G)^2}{s^2}\right) = \frac{\mu}{4\pi}\ln\left(1+\frac{4h_R h_G}{s^2}\right)$$

Questa è anche la mutua induttanza fra Generatore e Recettore, se i fili sono sufficientemente lontani e lo schermo è sufficientemente vicino al recettore.

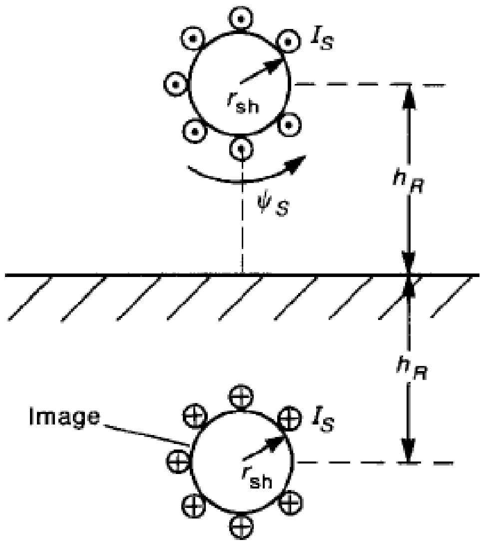
$$L_{m_{GR}} = L_{m_{GS}} = \frac{\mu}{4\pi}\ln\left(1+\frac{4h_R h_G}{s^2}\right)$$

La mutua induzione fra Recettore e Schermo è quella più interessante

Linea Schermata

Concettualmente, se immaginiamo lo schermo percorso da corrente possiamo valutare il flusso concatenato col recettore o viceversa.

Trattandosi di uno schermo molto vicino al recettore si ha:



Quindi il flusso è essenzialmente quello dell’autoinduzione dello schermo!

$$L_{m_{RS}} = L_{SH} = \frac{\mu}{2\pi}\ln\left(\frac{2h_R}{r_S + t_S}\right)$$

Linea Schermata

Quest'osservazione è di vitale importanza perché ci permetterà di utilizzare lo schermo per annullare l'accoppiamento induttivo!

Le capacità sono invece calcolabili tramite le relazioni fondamentali tra le matrici delle induttanze e quelle delle capacità.

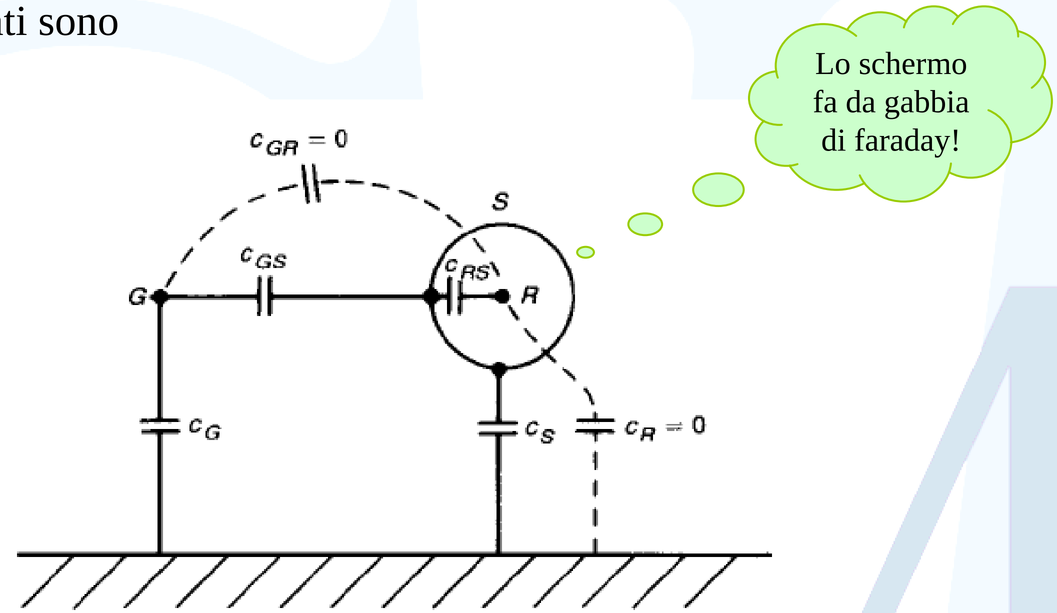
Come al solito trascuriamo ogni possibile isolante intorno ai fili, ***tranne*** l'isolante tra recettore e schermo, che riempie tutto lo spazio.

Questo porta a:

$$C_{m_{RS}} = \frac{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_r}{\ln\left(\frac{r_S}{r_{wR}}\right)}$$

Linea Schermata

Le altre capacità presenti sono

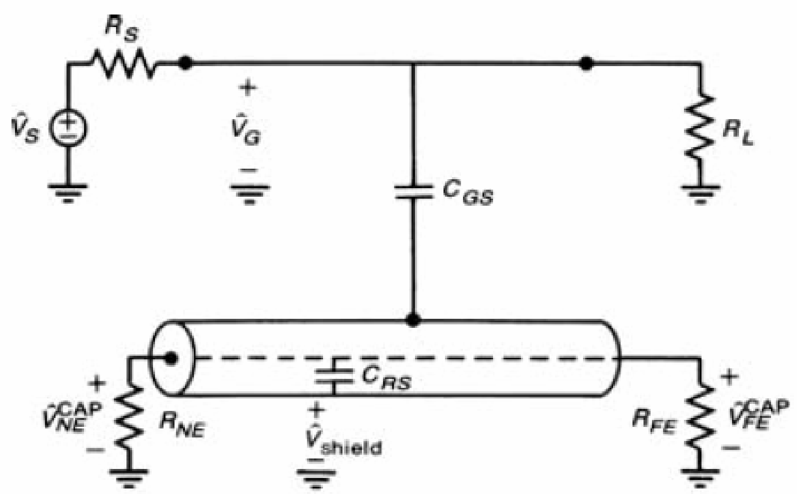


$$\begin{bmatrix} C_G + C_{m_{GS}} & -C_{m_{GS}} \\ -C_{m_{GS}} & C_S + C_{m_{GS}} \end{bmatrix} = \mu_0 \varepsilon_0 \begin{bmatrix} L_G & L_{GS} \\ L_{GS} & L_{SH} \end{bmatrix}^{-1}$$

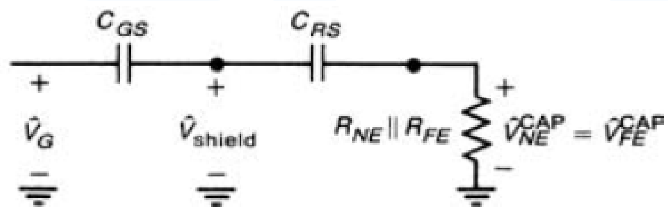
Linea Schermata

Il sistema è divenuto ora una linea a ***quattro conduttori*** la cui soluzione analitica è alquanto complessa, ma che può ancora essere trattato analiticamente per linee corte e poco accoppiate.

Con schermo flottante, il circuito equivalente per i soli accoppiamenti capacitivi è:



Linea Schermata



Serie delle capacità

$$V_{NE}^{CAP} = V_{FE}^{CAP} = \frac{j\omega \dfrac{R_{NE} R_{FE}}{R_{NE} + R_{FE}} \dfrac{C_{RS} C_{GS}}{C_{RS} + C_{GS}}}{1 + j\omega \dfrac{R_{NE} R_{FE}}{R_{NE} + R_{FE}} \dfrac{C_{RS} C_{GS}}{C_{RS} + C_{GS}}} V_{G_{dc}}$$

Parallelo delle resistenze

Linea Schermata

Se le frequenze sono molto basse il denominatore è circa 1 e si ha

$$V_{NE}^{CAP} = V_{FE}^{CAP} \cong j\omega \frac{R_{NE} R_{FE}}{R_{NE} + R_{FE}} \frac{C_{RS} C_{GS}}{C_{RS} + C_{GS}} V_{G_{dc}}$$

Dove ovviamente è

$$V_{G_{dc}} = \frac{R_L}{R_L + R_S} V_S$$

L'accoppiamento capacitivo è quindi identico a quello di una coppia di fili non schermati dove il valore della capacità di accoppiamento sia dato dalla serie delle capacità sorgente-schermo e dchermo-recettore.

Di conseguenza l'accoppiamento capacitivo cresce di 20dB/decade esattamente come per i cavi non schermati.

Linea Schermata

Inoltre, per come è fatto lo schermo,

$$C_{RS} \gg C_{GS}$$

Per cui

$$\frac{C_{RS}C_{GS}}{C_{RS}+C_{GS}} \cong C_{GS}$$

Che, se lo schermo è vicino al recettore e lontano dalla sorgente…

$$\frac{C_{RS}C_{GS}}{C_{RS}+C_{GS}} \cong C_{GS} \cong C_{RG}$$

Quindi l'accoppiamento capacitivo non cambia in maniera sostanziale per la presenza dello schermo

Linea Schermata

A meno che…

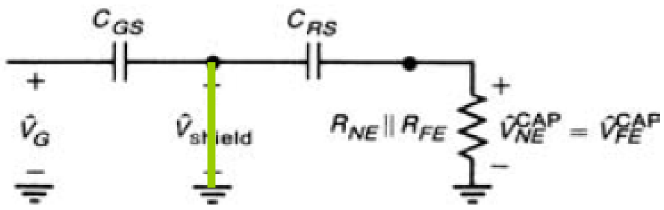
Lo schermo non sia a massa a entrambe le estremità

Questo implica

$$V_{SH} = 0$$

E di conseguenza

$$V_{NE}^{CAP} = V_{FE}^{CAP} = 0$$



Linea Schermata

Lo schermo, una gabbia di Faraday, elimina quindi l'accoppiamento capacitivo solo se è a potenziale di riferimento (0)

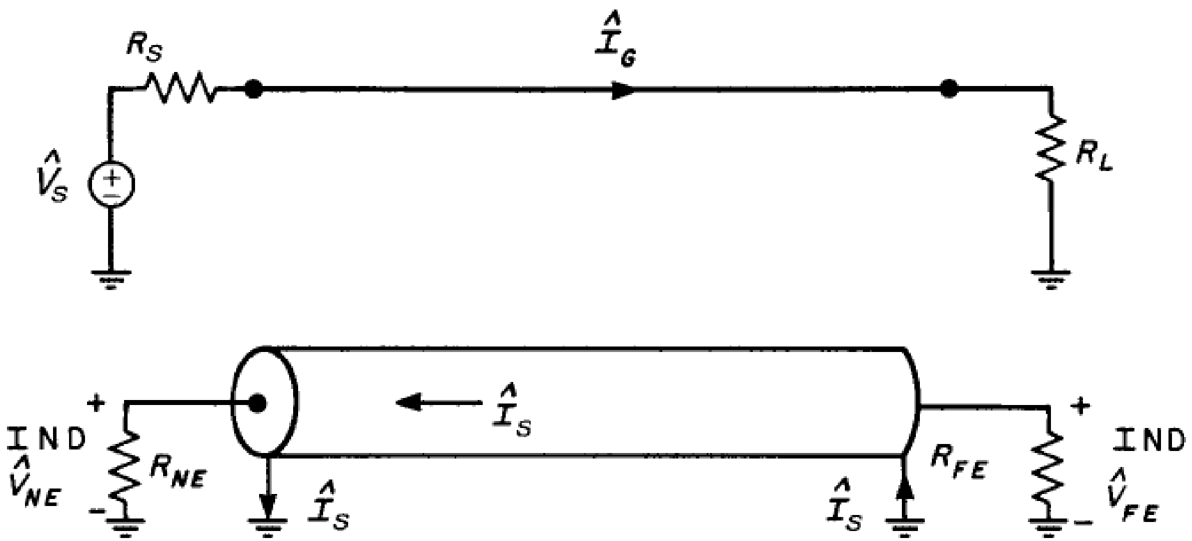
Se la linea è corta mettere a massa le estremità dello schermo garantisce con ragionevole certezza che tutto lo schermo sia a potenziale 0

Se la linea è lunga questo non è più vero ed è opportuno assicurare un collegamento al conduttore di riferimento almeno ogni decimo di lunghezza d'onda.

Linea Schermata

Passiamo all’accoppiamento induttivo.

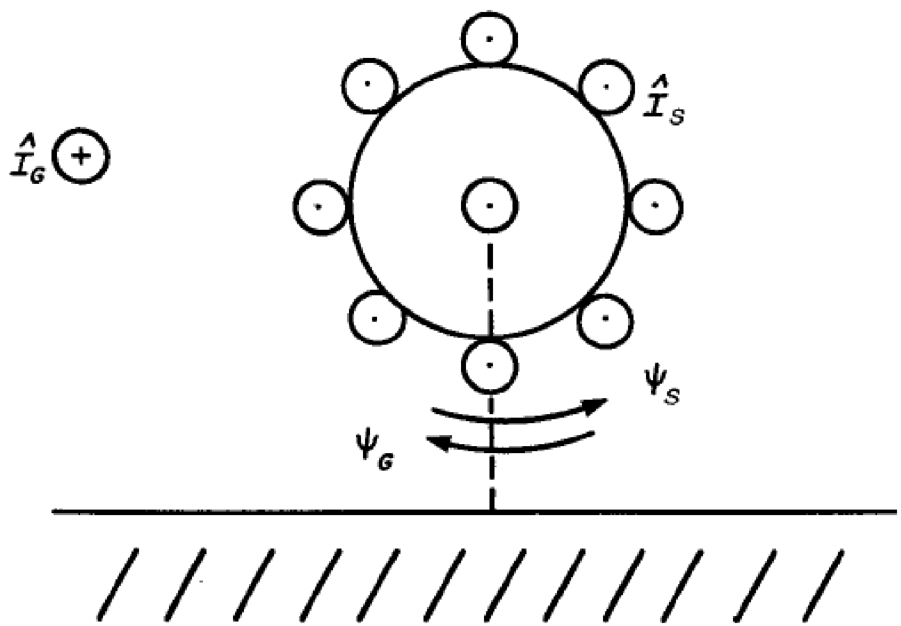
Siccome lo schermo doveva essere a massa a entrambe le estremità per annullare l’accoppiamento capacitivo, partiamo da questa stessa configurazione



Linea Schermata

Il flusso generato dal generatore che si concatena con lo schermo genera una forza contro elettro motrice sul circuito schermo-riferimento.

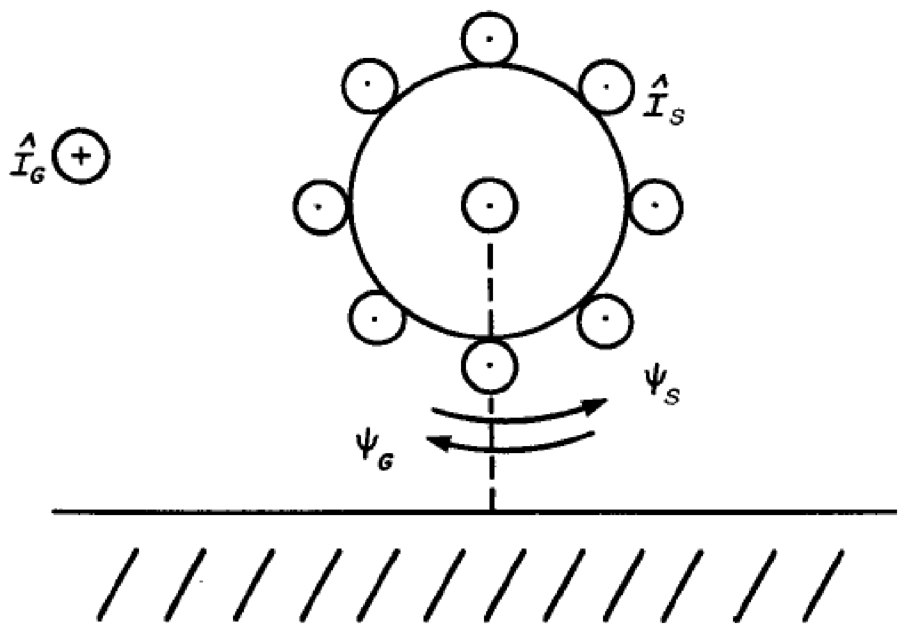
L'impedenza di questo circuito è nulla perché le estremità dello schermo sono a massa.



Linea Schermata

Questo fa si che sul circuito di schermo fluisca una corrente tale da generare un flusso eguale e opposto che cancella quello indotto dal generatore.

Il circuito del recettore vede, di conseguenza, un flusso totale teoricamente nullo.

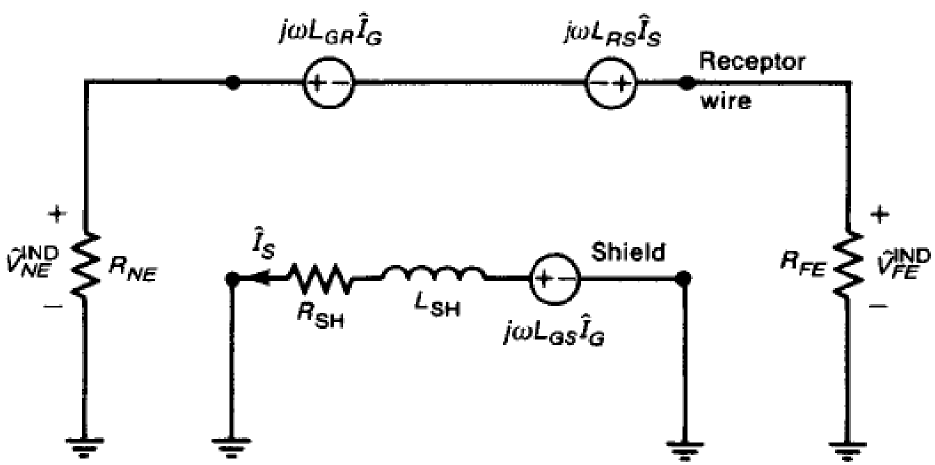


Linea Schermata

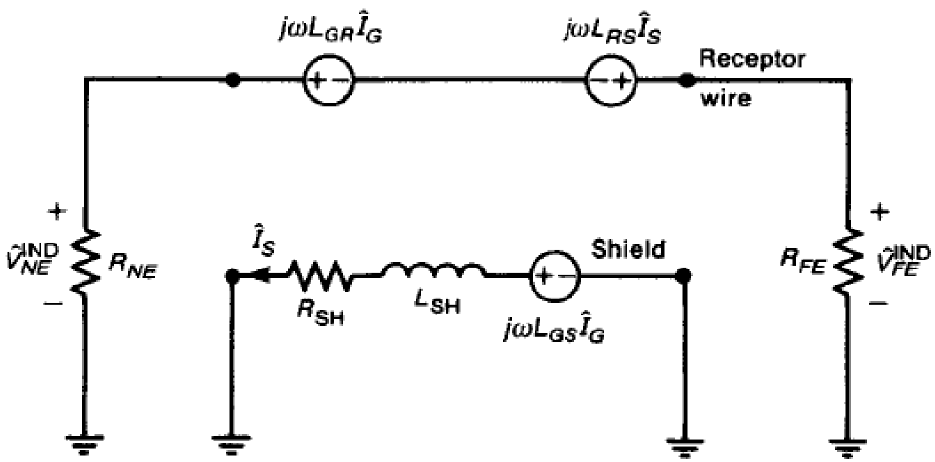
Evidentemente se lo schermo non è a massa a ***entrambe*** le estremità questo non è possibile.

Per eliminare l'accoppiamento capacitivo su linee corte poteva anche essere sufficiente il mettere lo schermo a massa da un lato, ma per l'accoppiamento induttivo no.

Vediamo di quantificare queste correnti.



Linea Schermata



Sullo schermo si induce un generatore di tensione controllato in corrente pari a

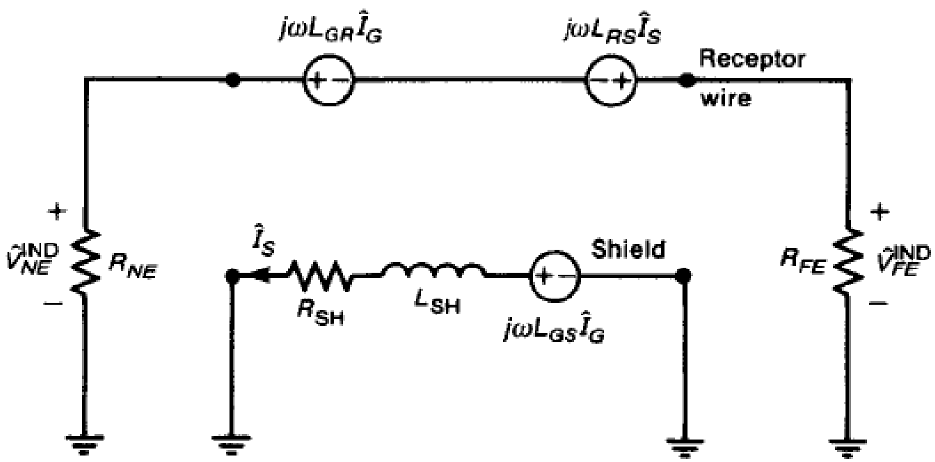
$$j\omega L_{GS} l I_G$$

Essendo l la lunghezza del filo

Sul recettore si induce ancora un generatore di tensione controllato in corrente pari a

$$j\omega L_{GR} l I_G$$

Linea Schermata



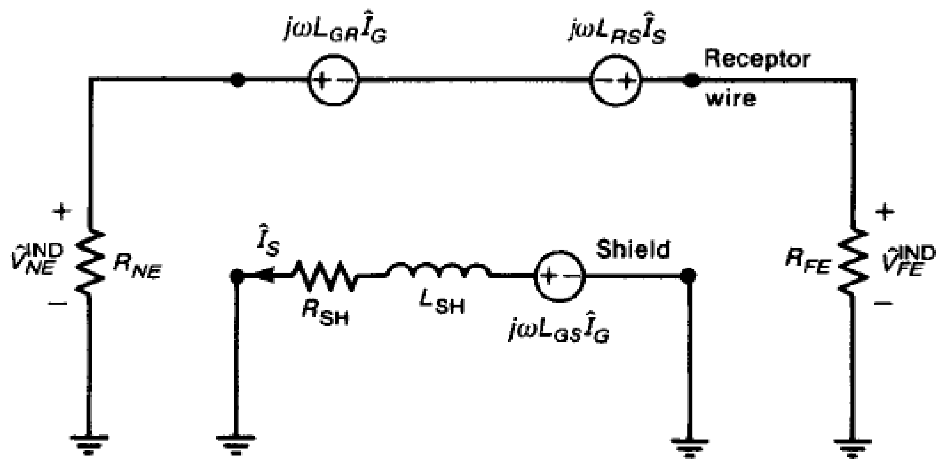
A questi fenomeni si somma il generatore di tensione indotto sul recettore dalla corrente che fluisce sullo schermo

$$j\omega L_{RS} l I_S$$

Sul recettore si induce ancora un generatore di tensione controllato in corrente pari a

$$j\omega L_{GR} l I_G$$

Linea Schermata



Ma la corrente sullo schermo è

$$I_S = \frac{j\omega L_{GS} l}{R_{SH} l + j\omega L_{SH} l} I_G = \frac{j\omega L_{GS}}{R_{SH} + j\omega L_{SH}} I_G$$

Mentre sul recettore vi è

$$V_{NE}^{IND} = \frac{R_{NE}}{R_{NE} + R_{FE}} j\omega (L_{GR} l I_G - L_{RS} l I_S)$$

Linea Schermata

Sostituendo nell'ultima il valore della corrente sullo schermo

$$V_{NE}^{IND} = \frac{R_{NE}}{R_{NE} + R_{FE}} j\omega \left(L_{GR} l I_G - L_{RS} l \frac{j\omega L_{GS} l}{R_{SH} l + j\omega L_{SH} l} I_G\right)$$

$$V_{NE}^{IND} = \frac{R_{NE}}{R_{NE} + R_{FE}} \frac{j\omega R_{SH} L_{GR} + \omega^2 (L_{GS} L_{RS} - L_{GR} L_{SH})}{R_{SH} + j\omega L_{SH}} l I_G$$

Ma avevamo ipotizzato

$$L_{GR} = L_{GS}$$
$$L_{RS} = L_{SH}$$

Quindi

$$V_{NE}^{IND} = \underbrace{\frac{R_{NE}}{R_{NE} + R_{FE}} j\omega L_{GR} l}_{\text{Accoppiamento induttivo in assenza di schermo}} \underbrace{\frac{R_{SH}}{R_{SH} + j\omega L_{SH}}}_{\text{effetto dello schermo}} I_G$$

Linea Schermata

In tensione

$$V_{NE}^{IND} = \underbrace{\frac{R_{NE}}{R_{NE}+R_{FE}} j\omega L_{GR} l}_{\text{Accoppiamento induttivo in assenza di schermo}} \underbrace{\frac{R_{SH}}{R_{SH}+j\omega L_{SH}}}_{\text{effetto dello schermo}} \frac{1}{R_S+R_L} V_G$$

e

$$V_{FE}^{IND} = -\underbrace{\frac{R_{FE}}{R_{NE}+R_{FE}} j\omega L_{GR} l}_{\text{Accoppiamento induttivo in assenza di schermo}} \underbrace{\frac{R_{SH}}{R_{SH}+j\omega L_{SH}}}_{\text{effetto dello schermo}} \frac{1}{R_S+R_L} V_G$$

L’effetto dello schermo è quindi quello di abbattere l’accoppiamento induttivo di un fattore

$$SF = \frac{R_{SH}}{R_{SH}+j\omega L_{SH}}$$

Se definiamo ***frequenza di intervento dello schermo***

$$f_{SH} = \frac{R_{SH}}{2\pi L_{SH}} \quad \Rightarrow \quad SF = \frac{1}{1+j\dfrac{f}{f_{SH}}}$$

Linea Schermata

Quindi

$$SF = \begin{cases} 1 & f < f_{SH} \\ \dfrac{R_{SH}}{j\omega L_{SH}} & f > f_{SH} \end{cases}$$

Linea Schermata

Possiamo quindi distinguere tre casi:

- Schermo non a massa a entrambi i lati

$$R_{SH} \to \infty$$

$$V_{NE}^{IND} = j\omega \left\{ \frac{R_{NE}}{R_{NE}+R_{FE}} \frac{L_{GR} l}{R_S + R_L} \right\} V_S$$

$$V_{FE}^{IND} = j\omega \left\{ -\frac{R_{FE}}{R_{NE}+R_{FE}} \frac{L_{GR} l}{R_S + R_L} \right\} V_S$$

- Schermo a massa a entrambi i lati con

$$f < f_{SH}$$

$$V_{NE}^{IND} = j\omega \left\{ \frac{R_{NE}}{R_{NE}+R_{FE}} \frac{L_{GR} l}{R_S + R_L} \right\} V_S$$

$$V_{FE}^{IND} = j\omega \left\{ -\frac{R_{FE}}{R_{NE}+R_{FE}} \frac{L_{GR} l}{R_S + R_L} \right\} V_S$$

Linea Schermata

- Schermo a massa a entrambi i lati con

$$f > f_{SH}$$

$$V_{NE}^{IND} = j\omega\left\{\frac{R_{NE}}{R_{NE}+R_{FE}}\frac{L_{GR}l}{R_S+R_L}\frac{R_{SH}}{j\omega L_{SH}}\right\}V_S = \frac{R_{NE}}{R_{NE}+R_{FE}}\frac{L_{GR}l}{R_S+R_L}\frac{R_{SH}}{L_{SH}}V_S$$

$$V_{FE}^{IND} = j\omega\left\{-\frac{R_{FE}}{R_{NE}+R_{FE}}\frac{L_{GR}l}{R_S+R_L}\frac{R_{SH}}{j\omega L_{SH}}\right\}V_S = -\frac{R_{FE}}{R_{NE}+R_{FE}}\frac{L_{GR}l}{R_S+R_L}\frac{R_{SH}}{L_{SH}}V_S$$

In quest’ultimo caso ***scompare la dipendenza con la frequenza***.

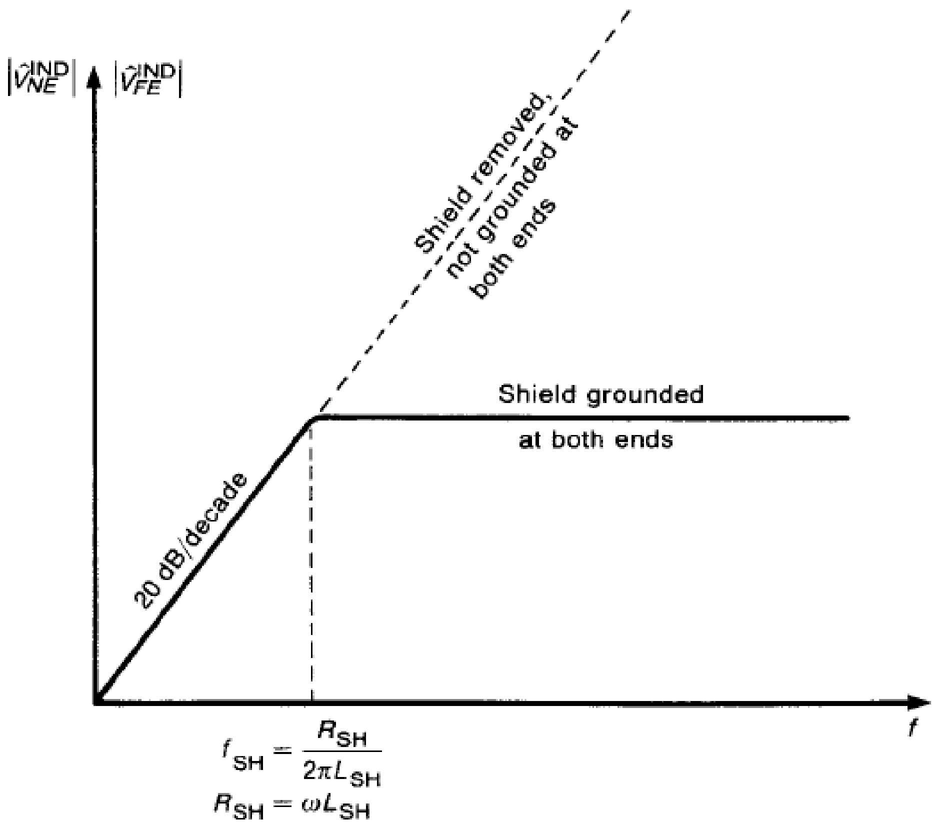
La spiegazione fisica è che, a bassa frequenza, la corrente dal generatore trova due percorsi di richiusura in parallelo, uno attraverso lo schermo e uno attraverso il recettore.

A bassa frequenza quello attraverso il recettore risulta a impedenza minore.

A alta frequenza risulta a impedenza minore quello attraverso lo schermo.

Linea Schermata

Ovvero



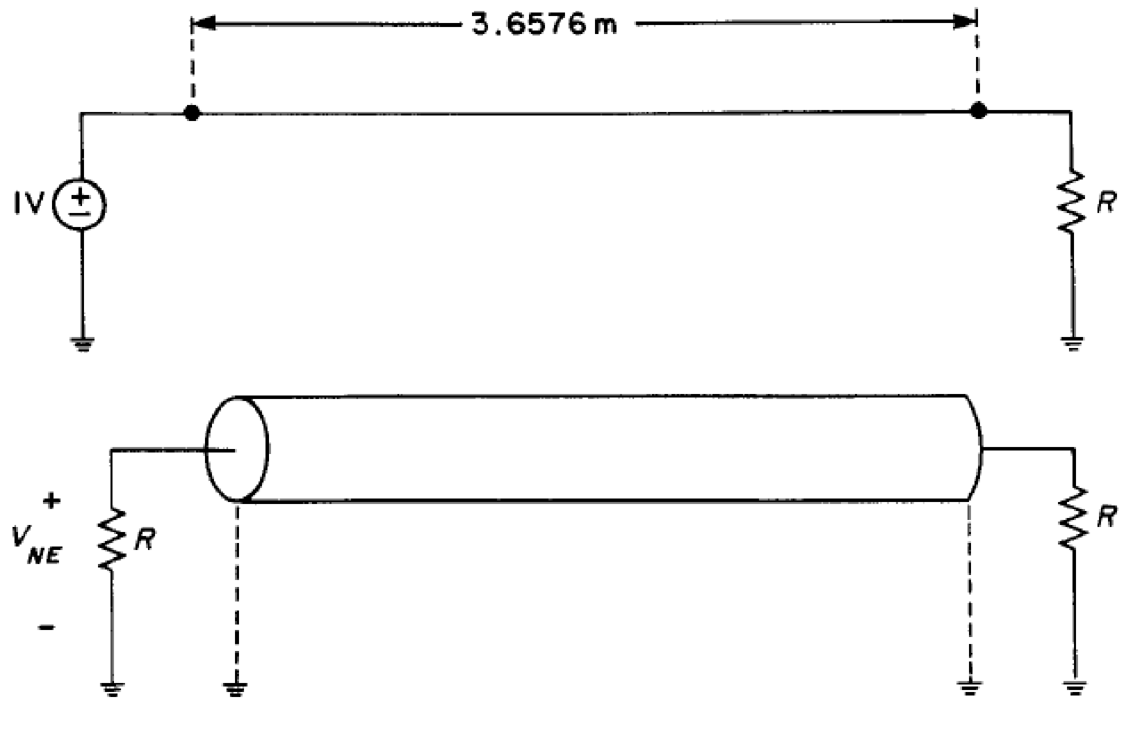
Linea Schermata

Morale

Se lo schermo è a massa almeno a un estremo l’accoppiamento capacitivo è zero, se è a massa a entrambi gli estremi l’accoppiamento induttivo ne è influenzato solo per frequenze maggiori di quella di intervento

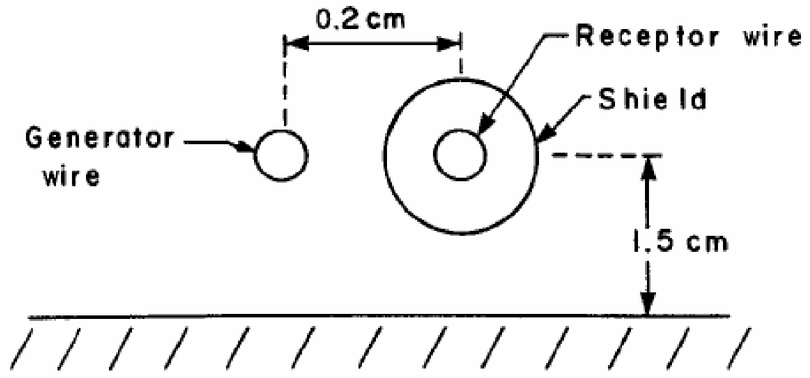
Esempio

Consideriamo il circuito in figura, la linea è lunga 3.6576m e i conduttori sono 1.5cm sopra il piano di massa. Le terminazioni saranno o 50Ω o 1kΩ



Esempio

La sezione sia



La separazione fra generatore e recettore, di soli 2mm è dovuta al solo isolante dei cavi.

Il generatore sia un monofilo di calibro 20.

Il recettore sia un filo calibro 22 di 7x30. L'isolante interno allo schermo si a teflon (ε_r=2.1), il raggio dello schermo sia di 2.5 mils con θ_w =30°, B=16 e W=4.

Nel complesso

Esempio

La sezione sia

$$R_{SH} = \frac{1}{\sigma \pi r_{filo}^2 BW \cos\theta_w} l = 89.8 m\Omega$$

Inoltre

$$L_G l \cong \frac{\mu}{2\pi} \ln\left(\frac{2h_G}{r_{wG}}\right) l = 3.15 \mu H$$

$$L_R l \cong \frac{\mu}{2\pi} \ln\left(\frac{2h_R}{r_{wR}}\right) l = 3.19 \mu H$$

$$L_{RS} l = L_{SH} l \cong \frac{\mu}{2\pi} \ln\left(\frac{2h_R}{r_S + t_S}\right) l = 2.48 \mu H$$

$$L_{m_{GR}} l = L_{m_{GS}} l = \frac{\mu}{4\pi} \ln\left(1 + \frac{4h_R h_G}{s^2}\right) l = 1.98 \mu H$$

Esempio

E

$$C_{m_{RS}} l = \frac{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_r}{\ln\left(\frac{r_S}{r_{wR}}\right)} l = 503.6\, pF$$

Mentre l'inversione della matrice delle induttanze porta a

$$C_{m_{GS}} l = \frac{L_{GS}}{c_0^2 (L_G L_S - L_{GS}^2)^2} l = 76.3\, pF$$

La frequenza dello schermo è

$$f_{SH} = \frac{R_{SH}}{2\pi L_{SH}} = 5.8 kHz$$

Esempio

In assenza dello schermo l'induttanza mutua generatore recettore non cambia, mentre la capacità mutua diviene

$$C_{m_{GR}} l = \frac{L_{GR}}{c_0^2 (L_G L_S - L_{GR}^2)^2} l = 48.2\, pF$$

Esempio

Nel caso di bassa impedenza (50Ω)

$$\frac{V_{NE}}{V_S} = j\omega\left[M_{NE}^{IND} + M_{NE}^{CAP}\right]$$

$$\frac{V_{FE}}{V_S} = j\omega\left[M_{FE}^{IND} + M_{FE}^{CAP}\right]$$

Con

Se lo schermo ***non è*** a massa [caso 00]

$$M_{NE}^{CAP} = M_{FE}^{CAP} \cong \frac{R_{NE}R_{FE}}{R_{NE}+R_{FE}} \frac{C_{RS}C_{GS}}{C_{RS}+C_{GS}} \frac{R_L}{R_S+R_L} = \frac{50\times 50}{50+50} \frac{C_{RS}C_{GS}}{C_{RS}+C_{GS}} \frac{50}{50} \cong \frac{50}{2} C_{GS}$$

Se lo schermo ***è*** a massa [casi 10, 01, 11]

$$M_{NE}^{CAP} = M_{FE}^{CAP} = 0$$

Esempio

E con

Se lo schermo ***non è*** a massa completa [casi 00, 10, 01]

$$M_{NE}^{IND} = \frac{R_{NE}}{R_{NE} + R_{FE}} \frac{L_{GR}}{R_S + R_L} = \frac{50}{50+50} \frac{L_{GR}}{50} \cong \frac{L_{GR}}{100}$$

$$M_{FE}^{IND} = -\frac{R_{FE}}{R_{NE} + R_{FE}} \frac{L_{GR}}{R_S + R_L} = \frac{50}{50+50} \frac{L_{GR}}{50} \cong -\frac{L_{GR}}{100}$$

Se lo schermo ***è*** a massa completa[11]

$$M_{NE}^{IND} = \frac{R_{NE}}{R_{NE} + R_{FE}} \frac{L_{GR}}{R_S + R_L} SF = \frac{50}{50+50} \frac{L_{GR}}{50} SF \cong \frac{L_{GR}}{100} SF$$

$$M_{FE}^{IND} = -\frac{R_{FE}}{R_{NE} + R_{FE}} \frac{L_{GR}}{R_S + R_L} SF = \frac{50}{50+50} \frac{L_{GR}}{50} SF \cong -\frac{L_{GR}}{100} SF$$

$$SF = \begin{cases} 1 & f < f_{SH} \\ \dfrac{R_{SH}}{j\omega L_{SH}} & f > f_{SH} \end{cases}$$

Compatibilità Elettromagnetica II A. A. 2008-09
S. Selleri - Laboratorio di Elettromagnetismo Numerico
Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni – Università di Firenze

Esempio

E con

[00]

$$\frac{V_{NE}}{V_S} = j\omega\left[\frac{L_{GR}}{100} + 25C_{GS}\right]$$

$$\frac{V_{FE}}{V_S} = j\omega\left[-\frac{L_{GR}}{100} + 25C_{GS}\right]$$

[01,10]

$$\frac{V_{NE}}{V_S} = j\omega\left[\frac{L_{GR}}{100}\right]$$

$$\frac{V_{FE}}{V_S} = j\omega\left[-\frac{L_{GR}}{100}\right]$$

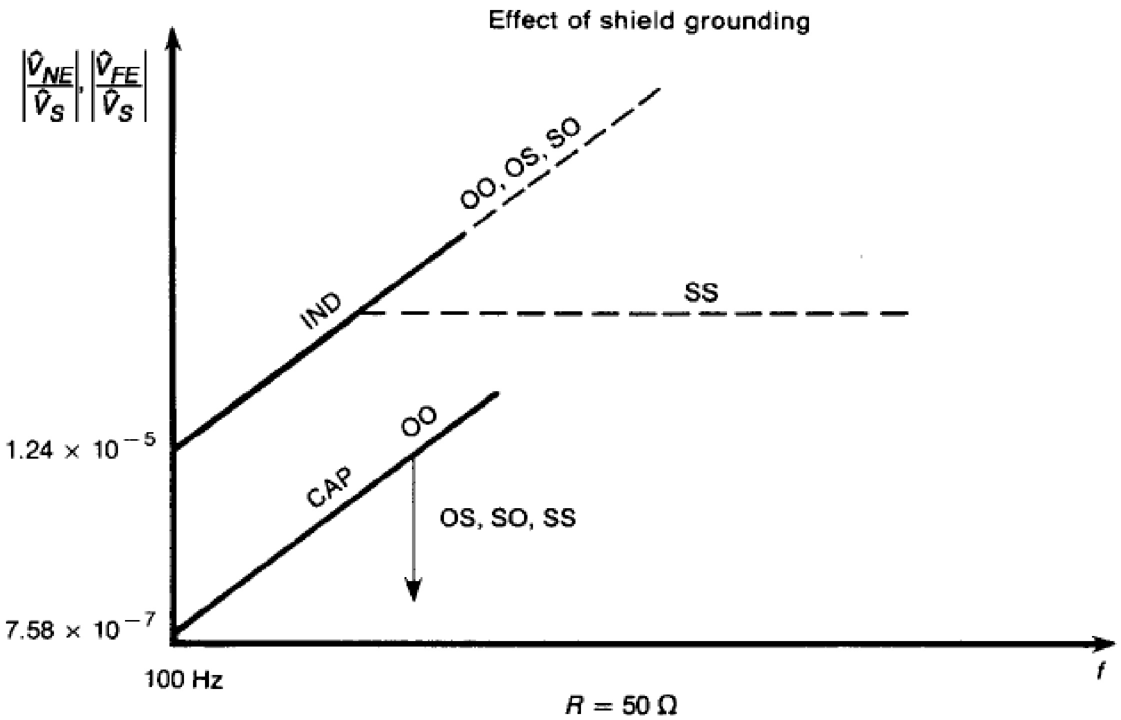
[11]

$$\frac{V_{NE}}{V_S} = j\omega\left[\frac{L_{GR}}{100} SF\right]$$

$$\frac{V_{FE}}{V_S} = j\omega\left[-\frac{L_{GR}}{100} SF\right]$$

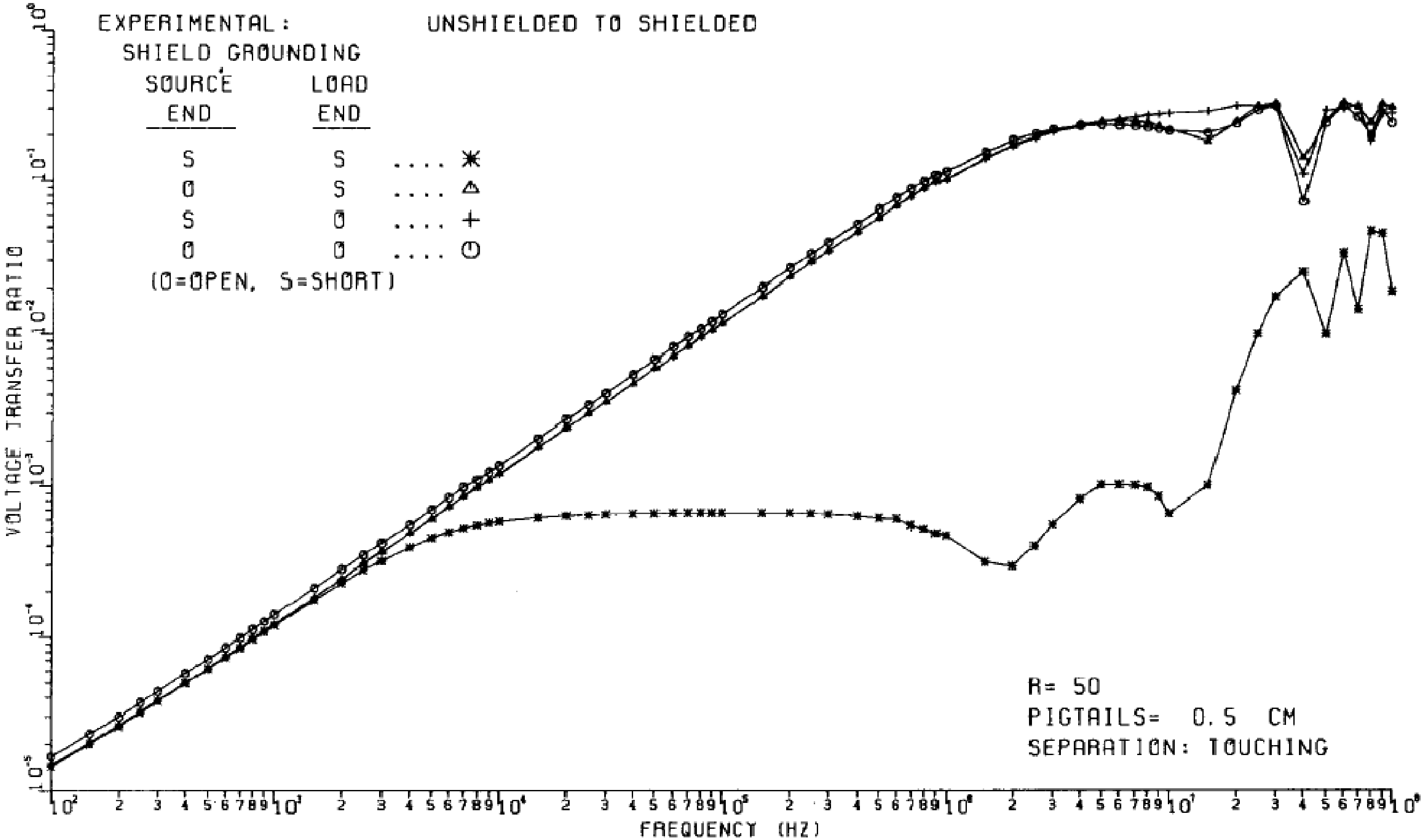
Esempio

Nel caso di bassa impedenza domina l'accoppiamento induttivo e la teoria dice:



Esempio

Le misure!



(a)

Compatibilità Elettromagnetica II A. A. 2008-09
S. Selleri - Laboratorio di Elettromagnetismo Numerico
Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni – Università di Firenze

Esempio

Nel caso di alta impedenza (1kΩ)

$$\frac{V_{NE}}{V_S} = j\omega\left[M_{NE}^{IND} + M_{NE}^{CAP}\right]$$

$$\frac{V_{FE}}{V_S} = j\omega\left[M_{FE}^{IND} + M_{FE}^{CAP}\right]$$

Con

Se lo schermo ***non è*** a massa [caso 00]

$$M_{NE}^{CAP} = M_{FE}^{CAP} \cong \frac{R_{NE}R_{FE}}{R_{NE}+R_{FE}}\frac{C_{RS}C_{GS}}{C_{RS}+C_{GS}}\frac{R_L}{R_S+R_L} = \frac{1000\times 1000}{1000+1000}\frac{C_{RS}C_{GS}}{C_{RS}+C_{GS}}\frac{1000}{1000} \cong \frac{1000}{2}C_{GS}$$

Se lo schermo ***è*** a massa [casi 10, 01, 11]

$$M_{NE}^{CAP} = M_{FE}^{CAP} = 0$$

Esempio

E con

Se lo schermo ***non è*** a massa completa [casi 00, 10, 01]

$$M_{NE}^{IND} = \frac{R_{NE}}{R_{NE}+R_{FE}}\frac{L_{GR}}{R_S+R_L} = \frac{1000}{1000+1000}\frac{L_{GR}}{1000} \cong \frac{L_{GR}}{2000}$$

$$M_{FE}^{IND} = -\frac{R_{FE}}{R_{NE}+R_{FE}}\frac{L_{GR}}{R_S+R_L} = \frac{1000}{1000+1000}\frac{L_{GR}}{1000} \cong -\frac{L_{GR}}{2000}$$

Se lo schermo ***è*** a massa completa[11]

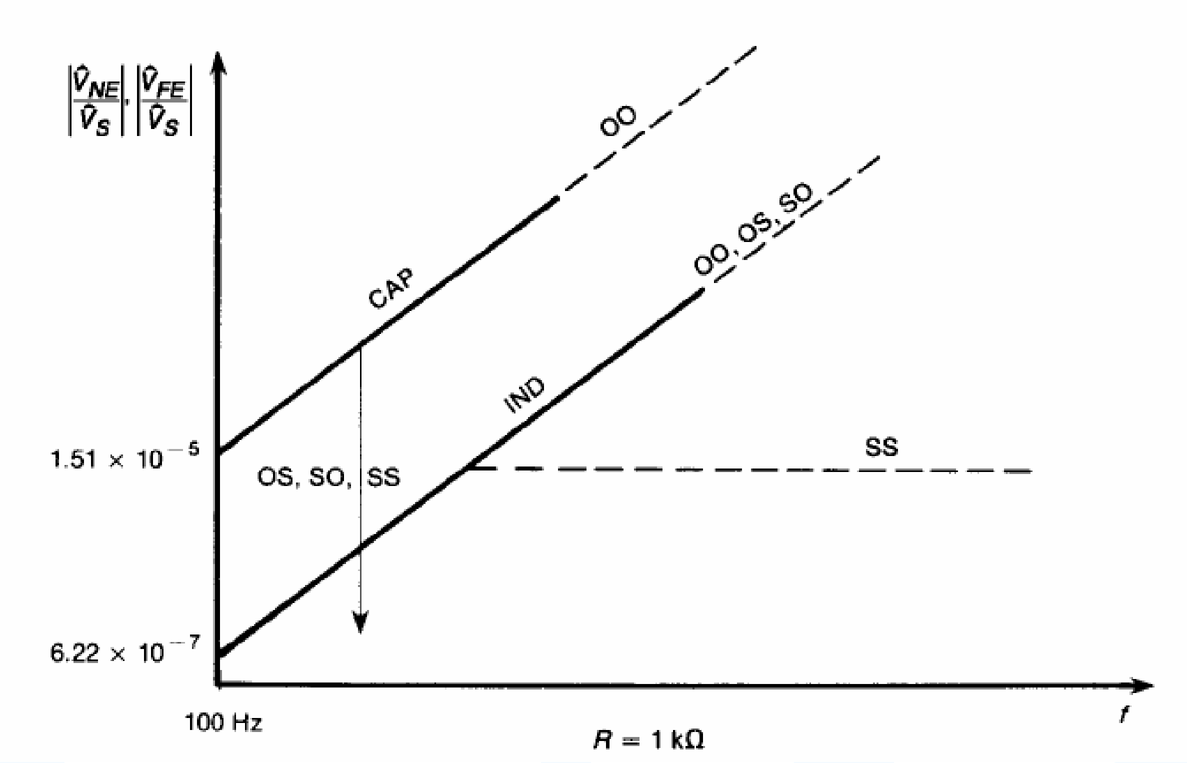
$$M_{NE}^{IND} = \frac{R_{NE}}{R_{NE}+R_{FE}}\frac{L_{GR}}{R_S+R_L}SF = \frac{1000}{1000+1000}\frac{L_{GR}}{1000}SF \cong \frac{L_{GR}}{2000}SF$$

$$M_{FE}^{IND} = -\frac{R_{FE}}{R_{NE}+R_{FE}}\frac{L_{GR}}{R_S+R_L}SF = \frac{1000}{1000+1000}\frac{L_{GR}}{1000}SF \cong -\frac{L_{GR}}{2000}SF$$

$$SF = \begin{cases} 1 & f < f_{SH} \\ \dfrac{R_{SH}}{j\omega L_{SH}} & f > f_{SH} \end{cases}$$

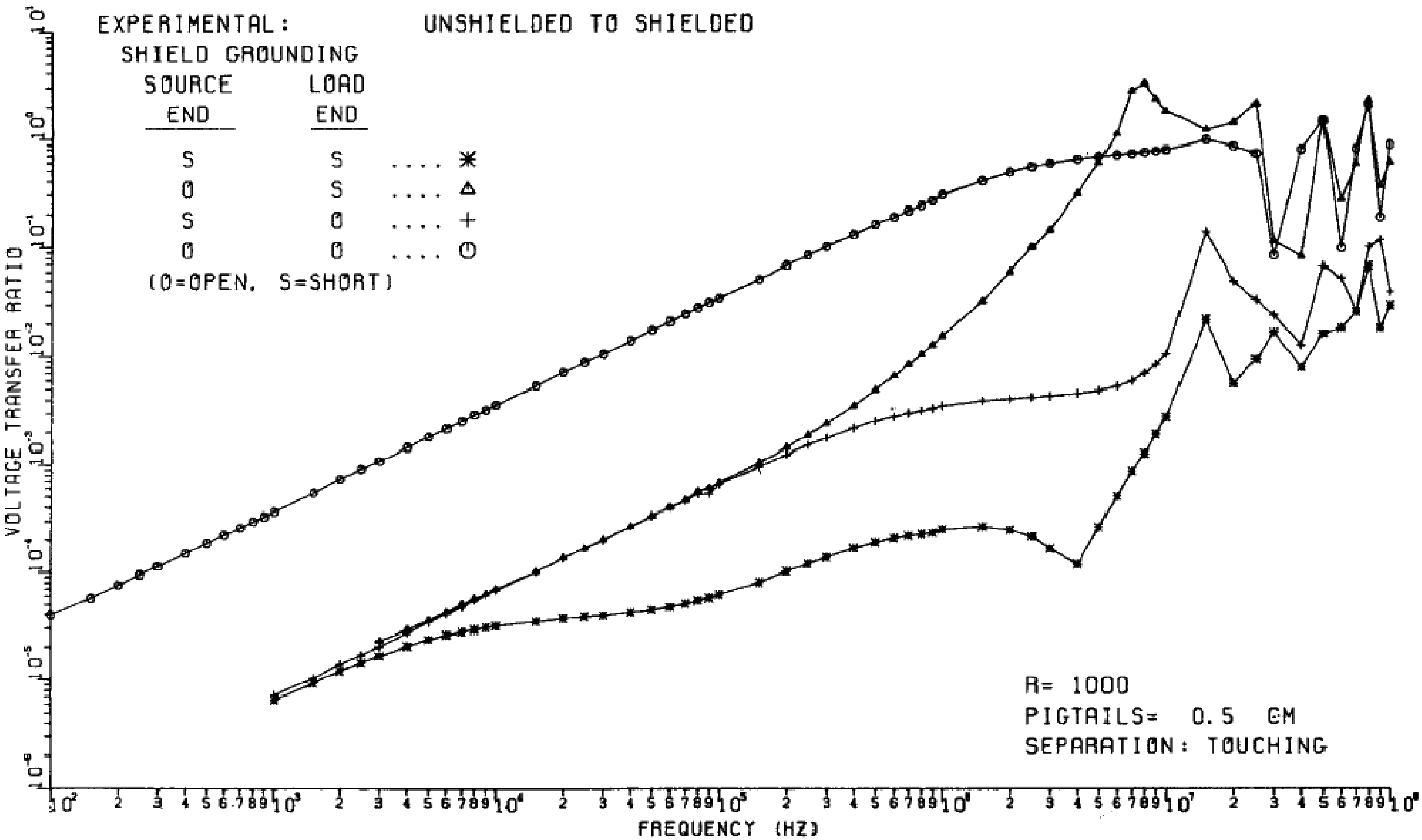
Esempio

Nel caso di alta impedenza domina l'accoppiamento capacitivo e la teoria dice:



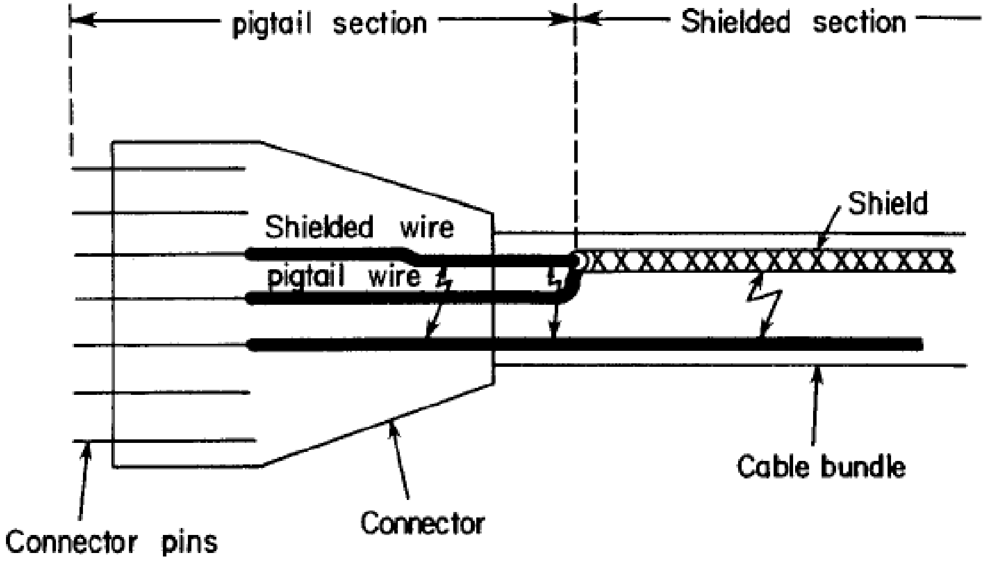
Esempio

Le misure!



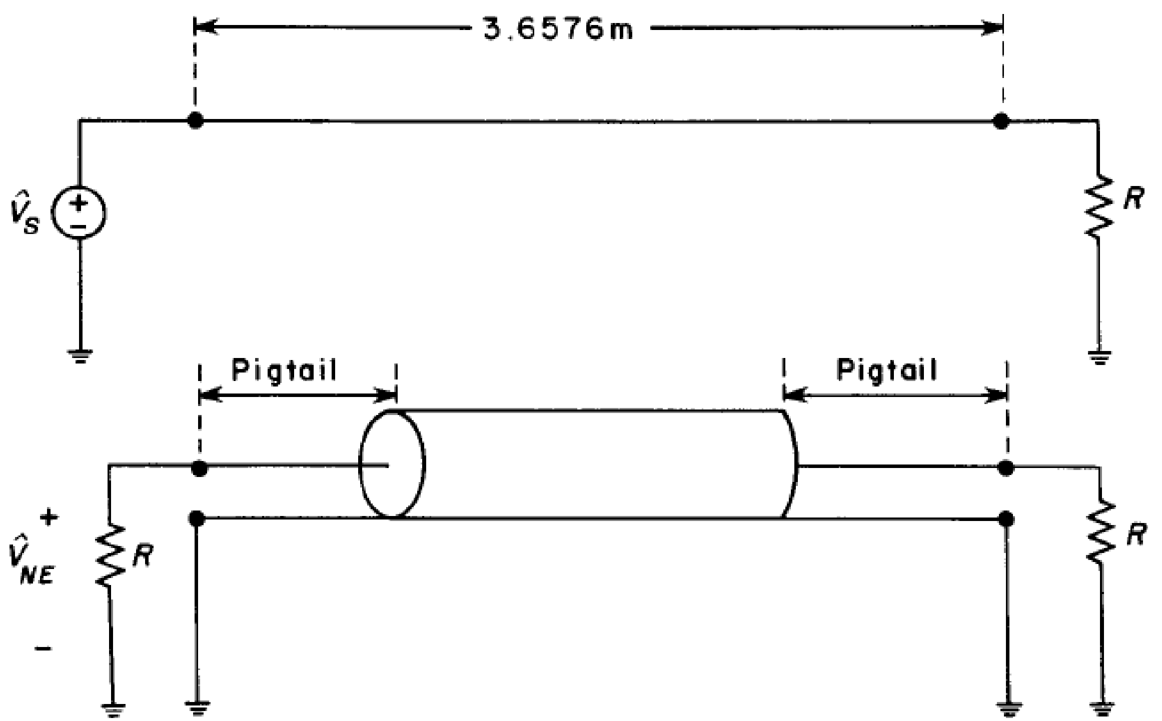
Effetto della connessione a massa

Lo schermo si collega a massa con un filo detto ***pigtail*****.**



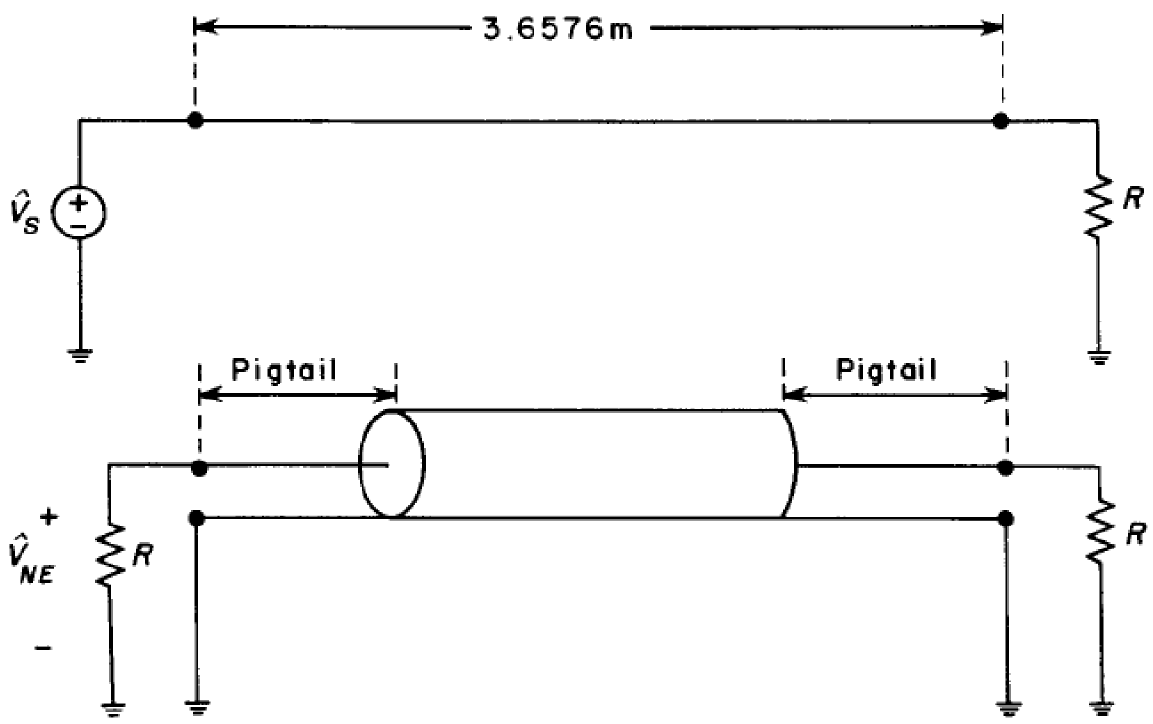
Effetto della connessione a massa

L'effetto è quello di avere una linea multiconduttore con due brevi tratti non schermati



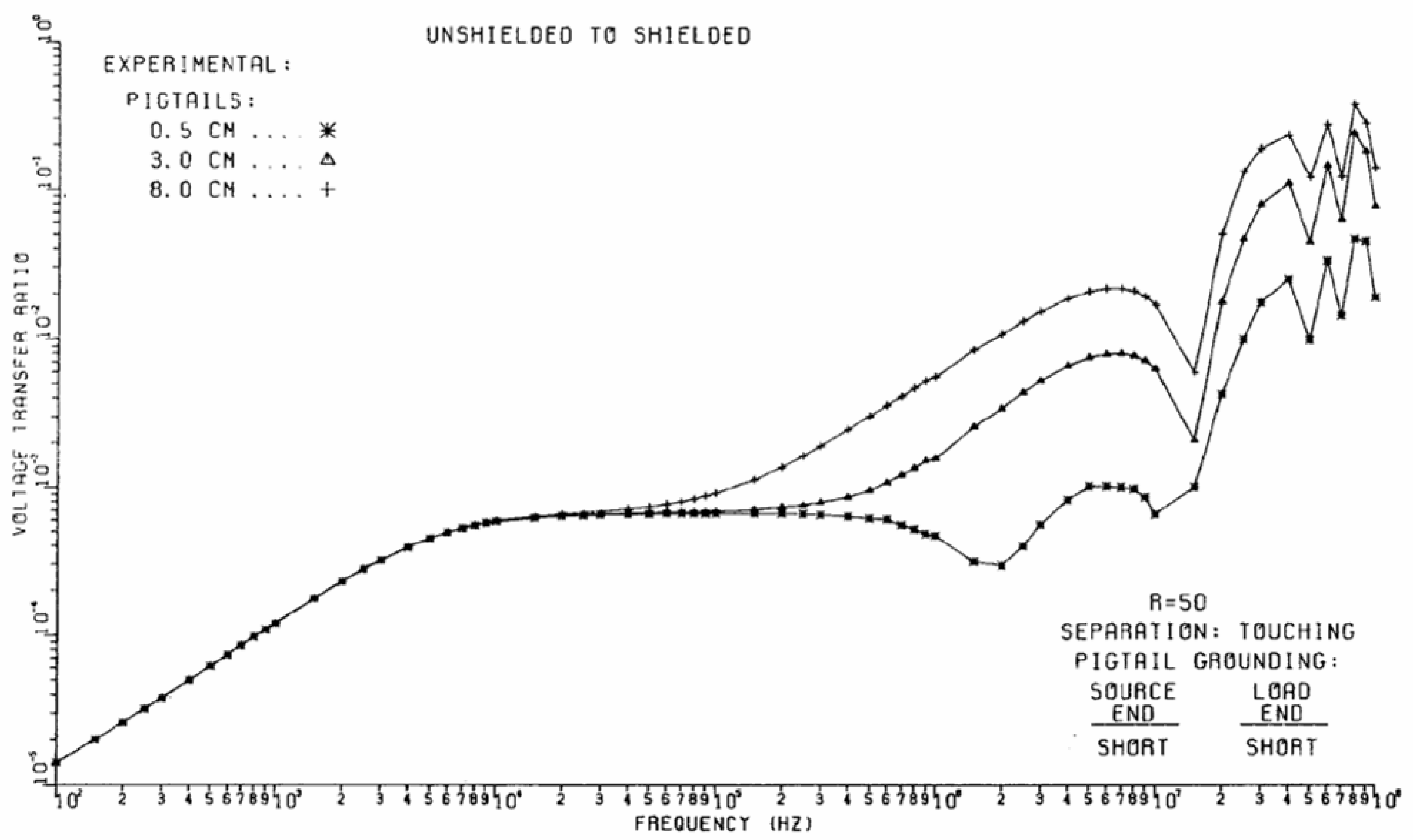
Effetto della connessione a massa

L'effetto è quello di avere una linea multiconduttore con due brevi tratti non schermati



Effetto della connessione a massa

Misure al variare della lunghezza dei pigtails (bassa impedenza)



Effetto della connessione a massa

E se volessimo schermare ***entrambi*** i conduttori?

Con la corretta messa a massa gli effetti capacitivi sono completamente eliminati

Gli effetti induttivi godono di un ***doppio schermaggio***

$$V_{NE,FE}^{IND} = \underbrace{V_{NE,FE}^{IND}}_{\text{Senza alcuno schermo}} \underbrace{\frac{R_{SHG}}{R_{SHG} + j\omega L_{SHG}}}_{\text{effetto dello schermo "G"}} \underbrace{\frac{R_{SHR}}{R_{SHR} + j\omega L_{SHR}}}_{\text{effetto dello schermo "R"}} V_G$$

Oltre la frequenza dello schermo si ha quindi

$$V_{NE,FE}^{IND} = \underbrace{V_{NE,FE}^{IND}}_{\text{Senza alcuno schermo}} \underbrace{\frac{R_{SHG}}{\omega L_{SHG}}}_{\text{effetto dello schermo "G"}} \underbrace{\frac{R_{SHR}}{\omega L_{SHR}}}_{\text{effetto dello schermo "R"}} V_G$$

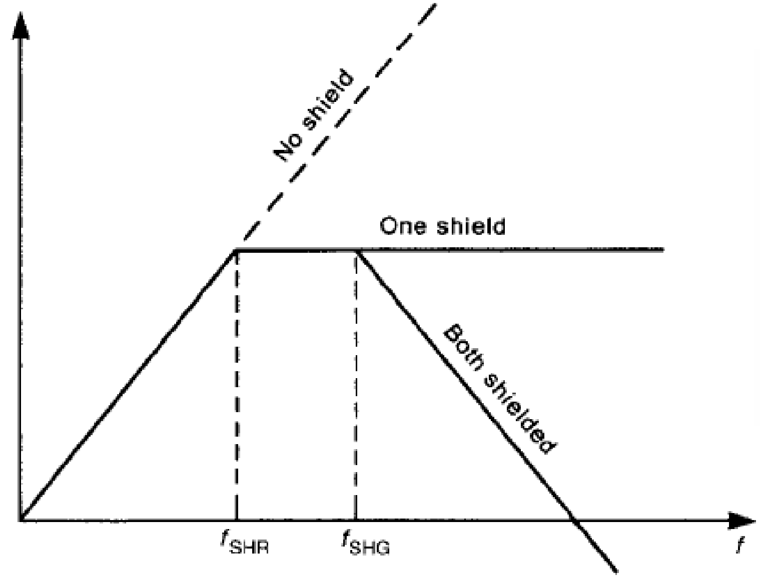
Che porta a perdere 20dB/decade!

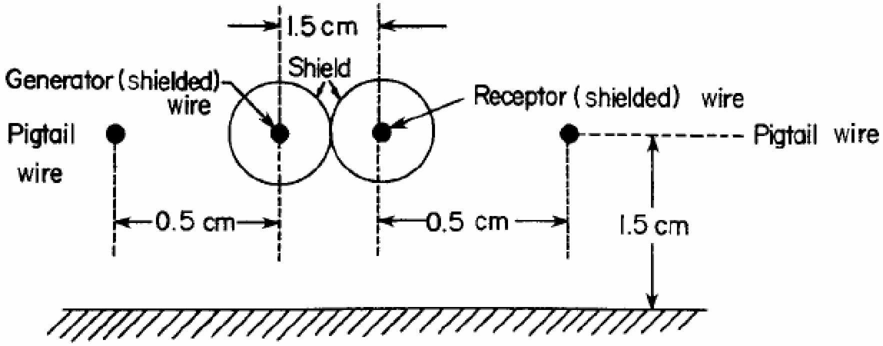
Effetto della connessione a massa

E se volessimo schermare ***entrambi*** i conduttori?

Con la corretta messa a massa gli effetti capacitivi sono completamente eliminati

Gli effetti induttivi godono di un ***doppio schermaggio***





Compatibilità Elettromagnetica II A. A. 2008-09
S. Selleri - Laboratorio di Elettromagnetismo Numerico
Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni – Università di Firenze

Effetto della connessione a massa

Sperimentalmente