

# Appunti di Compatibilità Elettromagnetica

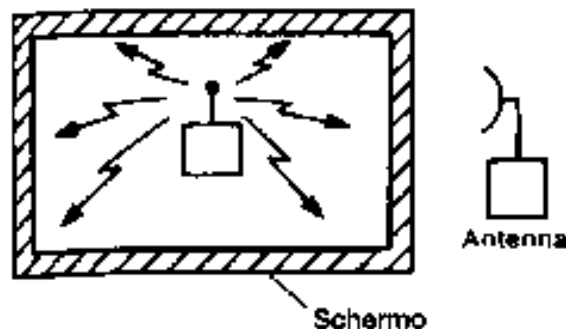
## Concetti generali sulle schermature

Introduzione .....	1
<i>Efficienza di schermatura</i> .....	2
<i>Importanza della schermatura dei cavi che attraversano lo schermo</i> ....	3
<i>Importanza delle aperture: principio di Babinet</i> .....	5
<i>Considerazioni generali</i> .....	6
Calcolo dell'efficienza di schermatura.....	6
<i>Principali meccanismi di schermatura</i> .....	9

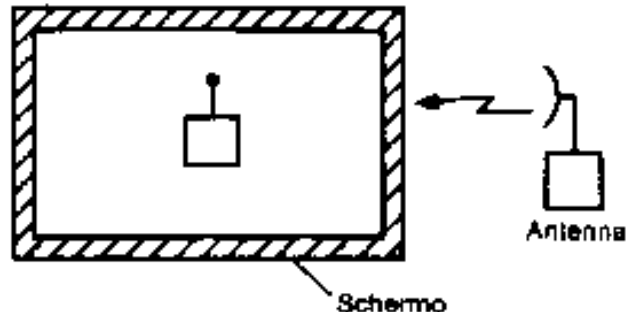
### INTRODUZIONE

Ci occupiamo della **schermatura** dei circuiti elettronici. Il termine **schermo** indica un contenitore metallico che racchiude completamente una *apparecchiatura elettronica*. I compiti di uno schermo sono due, duali tra loro:

- il primo compito, schematizzato nella prossima figura, è quello di *impedire alle emissioni dell'apparecchiatura di irradiarsi all'esterno del contenitore*, in modo sia da non compromettere il soddisfacimento alle norme sulle emissioni irradiate sia da impedire all'apparecchiatura di causare interferenze con altri apparecchi elettronici:



- il secondo compito, proposto nella figura seguente, è invece quello di *impedire alle emissioni radiate esterne all'apparecchiatura di accoppiarsi con i dispositivi elettronici interni*, causando così interferenze al loro funzionamento<sup>1</sup>:



Quindi, in generale, uno schermo è concettualmente una barriera alla trasmissione dei campi elettromagnetici. In effetti, questa definizione, data la sua generalità, può essere applicata anche alle **emissioni condotte**, ossia alle *correnti di disturbo* che si propagano attraverso i *cavi* che collegano tra loro le varie apparecchiature di un sistema o che collegano le singole apparecchiature alla rete di distribuzione dell'energia: un eventuale **filtro** posto in serie a tali cavi, al fine appunto di attenuare o eliminare del tutto tali disturbi, potrebbe essere considerato anch'esso come uno schermo.

Ad ogni modo, in questo contesto useremo la nozione di schermo con riferimento semplicemente ad una barriera per le **emissioni radiate**.

## Efficienza di schermatura

Il parametro più importante per qualificare uno schermo è la sua **efficienza di schermatura**, per la quale sono possibili due definizioni:

- la prima possibilità è quella di considerare il rapporto tra il modulo del campo elettrico (o magnetico) incidente sullo schermo ed il modulo del campo elettrico (o magnetico) trasmesso attraverso lo schermo;
- in alternativa, si può considerare il rapporto tra il modulo del campo elettrico (o magnetico) incidente sui dispositivi interni senza lo schermo ed il modulo del campo elettrico (o magnetico) incidente sui dispositivi interni in presenza dello schermo.

Quando si calcolano i valori ideali dell'efficienza di schermatura, si possono anche ottenere valori piuttosto grandi di tale parametro, anche dell'ordine di centinaia di dB. Ad esempio, una efficienza di schermatura di 100 dB significa che in presenza dello schermo il campo incidente viene ridotto di un fattore 100.000. Tuttavia, *per ottenere un valore talmente alto di efficienza di schermatura, è necessario che lo schermo racchiuda completamente i dispositivi elettronici e non presenti alcuna via d'accesso dall'esterno, come ad esempio giunture, aperture, fessure*

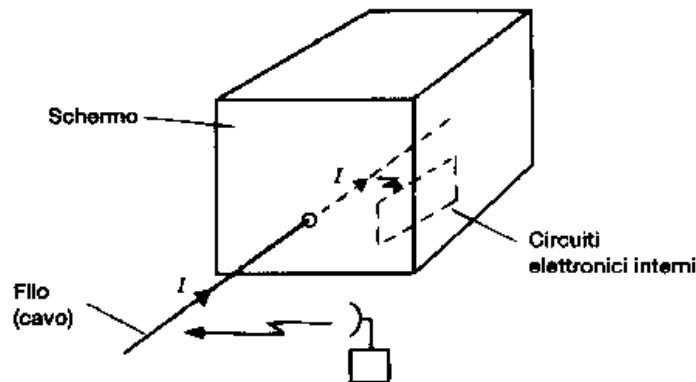
---

<sup>1</sup> Ad esempio, la schermatura può essere usata per ridurre la suscettività ai segnali esterni causati da trasmettitori ad alta potenza, ossia tipicamente da radar o trasmettitori radio e TV.

o *cavi*. Al contrario, qualsiasi via di accesso attraverso lo schermo, se non adeguatamente trattata, può ridurre drasticamente l'efficienza di schermatura.

### Importanza della schermatura dei cavi che attraversano lo schermo

Possiamo fare un esempio concreto molto istruttivo di quanto detto poco fa. Consideriamo uno schermo realizzato tramite una scatola metallica chiusa, in cui però entra un filo (ad esempio quello necessario a portare l'alimentazione ai dispositivi interni oppure quello di collegamento con una periferica esterna), come illustrato nella figura seguente:

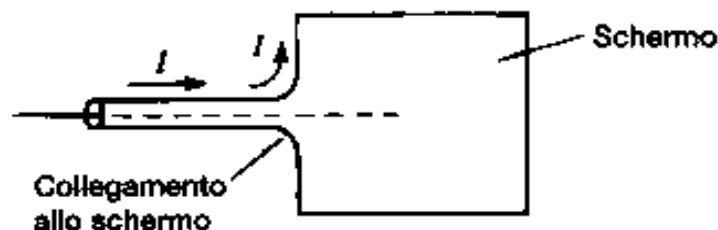


Supponiamo inoltre che una vicina **sorgente elettromagnetica**, ad esempio una antenna, irradii un campo elettromagnetico. Questo campo si accoppia con il filo e induce quindi in esso una corrente  $I$ : questa corrente fluisce liberamente attraverso lo schermo, dato che il filo non presenta alcun filtro di protezione, per cui è in grado di accoppiarsi con i dispositivi interni.

Analogamente, può avvenire anche il processo contrario: un eventuale disturbo generato all'interno dello schermo può accoppiarsi con il filo ed essere quindi convogliato all'esterno, dove è libero di irradiarsi.

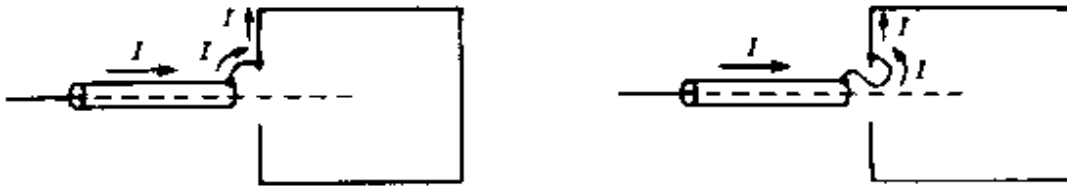
Questi meccanismi di penetrazione del campo annullano di fatto l'efficienza dello schermo. Allora, bisogna prendere dei provvedimenti per preservare tale efficienza:

- uno dei metodi comuni è quello di collocare dei **filtri** sul cavo, in corrispondenza del punto di attraversamento dello schermo;
- un'altra possibilità è invece quella di usare **cavi schermati** con il proprio schermo collegato, per l'intero perimetro, allo schermo dell'apparecchiatura, come illustrato nella figura seguente:



E' importante notare che il collegamento tra i due schermi deve avvenire per l'intero perimetro; infatti, vediamo cosa succede se colleghiamo lo schermo del cavo allo schermo dell'apparecchiatura semplicemente con un altro filo, come indicato nella prossima figura: supponiamo che certi campi esterni abbiano indotto sul cavo delle correnti di disturbo; tramite il filo usato per il collegamento, è

possibile che le correnti presenti sullo schermo del cavo vengano condotte sulla superficie interna dello schermo dell'apparecchiatura:

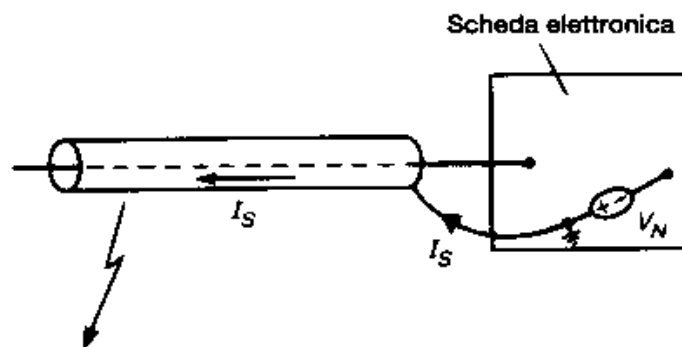


In questa situazione, le correnti indotte sulla superficie interna dello schermo possono ancora una volta irradiarsi ed interferire con i dispositivi elettronici interni.

Vale ovviamente il discorso contrario: se lo schermo del cavo non è collegato per l'intero suo perimetro allo schermo dell'apparecchiatura, le eventuali correnti di disturbo presenti sulla superficie interna di quest'ultimo possono uscire fluendo lungo la superficie esterna dello schermo del cavo e da qui irradiarsi.

Queste sono tipiche situazioni in cui rimuovendo lo schermo posto attorno al cavo di collegamento esterno, si nota una diminuzione delle emissioni irradiate dal cavo stesso, quando invece intuitivamente ci si aspetterebbe il contrario. Sono dunque casi tipici in cui la schermatura viene realizzata nel modo sbagliato, a tal punto da peggiorare la situazione.

In generale, quindi, uno schermo collocato attorno ai fili di un cavo non riduce necessariamente le emissioni irradiate del cavo. Una spiegazione molto semplice di questo fatto si ottiene facendo riferimento alla figura seguente:



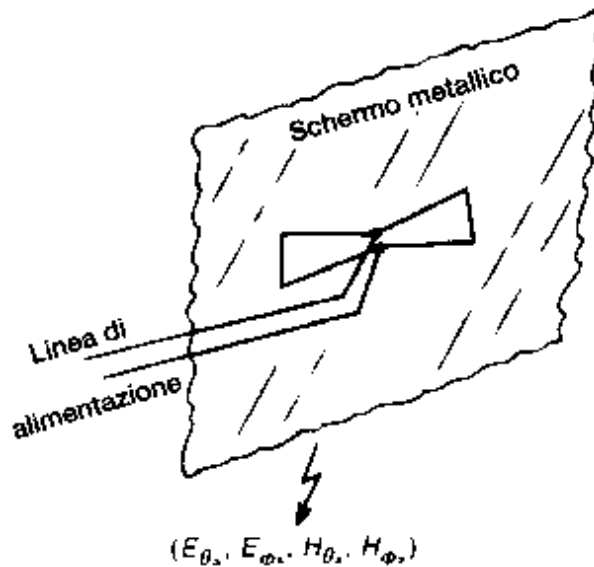
Abbiamo qui uno schermo che racchiude una *scheda elettronica*; attraverso lo schermo viene fatto passare un cavo (ad esempio per l'alimentazione) schermato. Per ottenere una schermatura efficiente nel ridurre le emissioni irradiate del cavo, lo schermo del cavo è stato collegato ad un punto della scheda elettronica a potenziale zero (una massa ideale). Se non ci fosse questo collegamento a massa e se la tensione (indicata in figura con  $V_N$ ) del punto di collegamento del ponticello flessibile dello schermo fosse variabile, avremmo creato una *antenna a monopolo*, costituita appunto dallo schermo del cavo: se la lunghezza dello schermo del cavo è dell'ordine di  $\lambda/4$ , dove  $\lambda$  è la lunghezza d'onda dei segnali di disturbo presenti, lo schermo diventa un vero elemento radiante. Da qui si deduce dunque l'importanza che il punto di collegamento sia a potenziale zero.

Un esempio pratico di quanto appena detto riguarda i cavi di collegamento con le **unità periferiche** (ad esempio una stampante o altro) di un PC; tali cavi sono generalmente lunghi 1.5 metri, che equivale a  $\lambda/4$  per una frequenza di 50 MHz. Su questi cavi si possono frequentemente osservare dei *picchi di risonanza* delle emissioni irradiate dovuti appunto alle correnti di modo comune per frequenze comprese tra 50 MHz e 100 MHz. Se scollegiamo il cavo periferico dall'apparecchiatura, generalmente notiamo la cessazione delle risonanze e quindi delle conseguenti elevate emissioni radiate.

## Importanza delle aperture: principio di Babinet

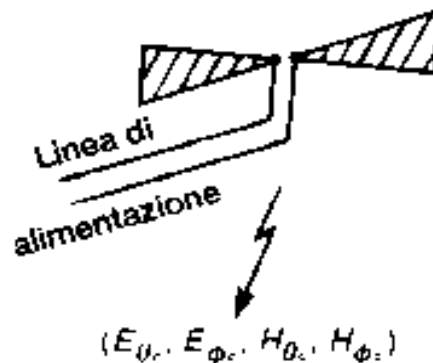
Un'altra comune via di accesso dei disturbi elettromagnetici attraverso uno schermo è costituita dalle **aperture** sulla parete dello schermo stesso: i campi elettrici e magnetici, interni o esterni allo schermo, possono propagarsi attraverso queste aperture e quindi abbattere l'efficienza di schermatura.

Un principio fondamentale che consente di studiare questo fenomeno è il cosiddetto **principio di Babinet**. Per illustrarlo, facciamo riferimento alla figura seguente, in cui è mostrata una fessura aperta all'interno di uno schermo supposto di materiale perfettamente conduttore (conduttività  $\sigma=\infty$ ):



Come si vede, si è supposto che due punti opposti della fessura siano collegati ad una linea di trasmissione, che trasporta un generico segnale di eccitazione. In tal modo, si è ottenuta una cosiddetta **antenna ad apertura**, la quale costituisce perciò un elemento radiante. Utilizzando un generico sistema di riferimento polare (cioè in coordinate  $r, \theta, \phi$ ), sappiamo che, in zona lontana<sup>2</sup>, i campi elettrico e magnetico mancano della componente radiale (cioè lungo  $r$ ): indichiamo allora con  $E_{\theta_s}, E_{\phi_s}$  le componenti del campo elettrico irradiato in zona lontana e con  $H_{\theta_s}, H_{\phi_s}$  le componenti del campo magnetico, irradiato sempre in zona lontana.

Adesso consideriamo la struttura complementare a questa, illustrata nella figura seguente:



<sup>2</sup> Ricordiamo che, per qualsiasi sorgente, il campo elettromagnetico irradiato **in zona lontana** risulta avere approssimativamente le caratteristiche di un'onda piana uniforme, per la quale cioè i vettori  $E$  ed  $H$  sono ortogonali tra loro ed ortogonali alla direzione di propagazione ed i loro moduli sono legati dalla impedenza caratteristica del vuoto.

Abbiamo ottenuto questa struttura sostituendo lo schermo con lo spazio libero e la fessura con un conduttore perfetto ( $\sigma=\infty$ ) di forma identica alla fessura. Usando la stessa linea di trasmissione e lo stesso tipo di eccitazione di prima, indichiamo con  $E_{\theta c}$ ,  $E_{\varphi c}$ ,  $H_{\theta c}$ ,  $H_{\varphi c}$  le componenti del campo elettromagnetico irradiato sempre in zona lontana.

Sulla base di queste premesse, il **principio di Babinet** dice che i campi lontani irradiati dalle due strutture sono legati dalle seguenti espressioni:

$$\begin{cases} E_{\theta s} = H_{\theta c} \\ E_{\varphi s} = H_{\varphi c} \end{cases} \quad \begin{cases} H_{\theta s} = -\frac{E_{\theta c}}{\eta_0^2} \\ H_{\varphi s} = -\frac{E_{\varphi c}}{\eta_0^2} \end{cases}$$

*Queste uguaglianze mostrano dunque che le aperture possono irradiare esattamente come delle antenne i cui elementi radianti abbiano le loro stesse dimensioni e quindi mostrano l'importanza delle aperture nei problemi di schermatura delle apparecchiature.*

## Considerazioni generali

*Tutte le considerazioni appena fatte non devono portare a credere che una schermatura possa eliminare completamente le emissioni irradiate da una apparecchiatura o, dualmente, proteggere completamente tale apparecchiatura da emissioni provenienti dall'esterno.* Ci sono numerosi esempi di prodotti elettronici che, pur non utilizzando alcuna schermatura, riescono comunque a soddisfare le norme sulle emissioni radiate e condotte.

Ad esempio, le *macchine da scrivere elettroniche*, per problemi sia di costo sia, evidentemente, di impossibilità a realizzare un rivestimento metallico continuo senza aperture, non possono usufruire di schermature, ma soffrono comunque del problema delle emissioni radiate, in quanto hanno frequenze di temporizzazione dell'ordine di 10 MHz e più, per cui possono presentare problemi di accoppiamenti non voluti: sono dunque tipici casi in cui la riduzione delle emissioni radiate non può servirsi delle schermature.

Al contrario, i calcolatori (sia quelli domestici sia quelli di grandi dimensioni) utilizzano contenitori metallici e tutte le possibili vie di accesso attraverso tali contenitori vengono opportunamente trattate, in modo da assicurare la necessaria efficienza dello schermo.

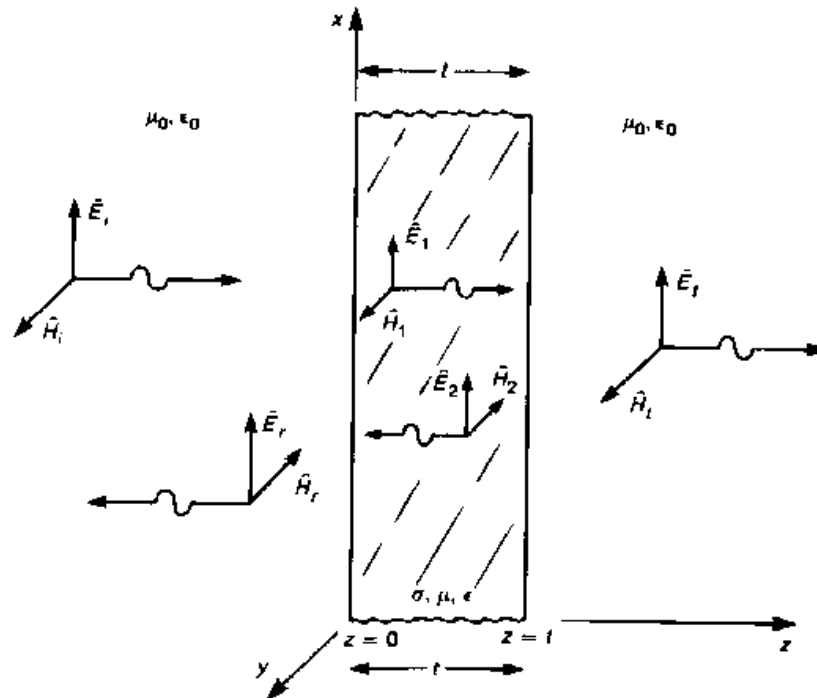
## CALCOLO DELL'EFFICIENZA DI SCHERMATURA

Vogliamo ora occuparci in modo più quantitativo dello studio dell'efficienza di schermatura, la cui definizione qualitativa è stata invece data nei precedenti paragrafi.

Per ottenere una definizione quantitativa, consideriamo una barriera metallica con le seguenti caratteristiche:

- spessore  $t$ ;
- conduttività  $\sigma$ ;
- permittività relativa  $\epsilon_r$ ;
- permeabilità relativa  $\mu_r$ .

Supponiamo che su tale barriera incida un'onda elettromagnetica, come schematizzato nella figura seguente (dove è visualizzata la sezione della barriera stessa):



Abbiamo qui adottato un riferimento cartesiano con l'asse  $z$  trasversale alla barriera ed il piano  $[x,y]$  parallelo. Abbiamo inoltre supposto, per semplicità, che sia a destra sia a sinistra della barriera sia presente il vuoto (quindi con parametri  $\epsilon_0$  e  $\mu_0$ ).

L'incidenza dell'onda (supposta piana uniforme) costituita dai campi  $\vec{E}_i, \vec{H}_i$  genera, come è noto, un'onda riflessa ed un'onda trasmessa in corrispondenza della prima discontinuità, ossia in corrispondenza della interfaccia sinistra della barriera: l'onda riflessa torna indietro (verso sinistra), mentre l'onda trasmessa si propaga attraverso la barriera. Quest'onda trasmessa arriva poi in corrispondenza della seconda discontinuità, costituita dalla interfaccia destra della barriera; qui abbiamo nuovamente riflessione e trasmissione: mentre l'onda riflessa continua a propagarsi nella barriera (ma questa volta verso sinistra), l'onda trasmessa penetra nel mezzo a destra della barriera.

Naturalmente, l'onda riflessa torna indietro verso la prima discontinuità, dove il meccanismo si ripete identico. Allora, possiamo esprimerci individuando, come fatto in figura, *quattro onde complessive* (oltre quella incidente):

- $\vec{E}_r, \vec{H}_r$  è l'onda che, complessivamente, torna indietro nel mezzo da cui proviene l'onda incidente  $\vec{E}_i, \vec{H}_i$ ;
- $\vec{E}_1, \vec{H}_1$  è l'onda complessiva che, all'interno della barriera, si propaga da sinistra verso destra;
- $\vec{E}_2, \vec{H}_2$  è invece l'onda complessiva che, sempre all'interno della barriera, si propaga da destra verso sinistra;
- infine,  $\vec{E}_t, \vec{H}_t$  è l'onda complessiva che risulta trasmessa a destra della barriera.

Con queste posizioni, possiamo allora definire l'efficienza di schermatura, come il rapporto (espresso in dB) tra il modulo del campo elettrico incidente sullo schermo ed il modulo del campo elettrico trasmesso attraverso lo schermo:

$$SE = 20 \log_{10} \left| \frac{\vec{E}_i}{\vec{E}_t} \right|$$

Notiamo subito che si tratta di un numero positivo, dato che il campo incidente è sicuramente maggiore del campo che riesce a superare la barriera<sup>3</sup>. Ad esempio, una efficienza di schermatura di 120 dB indicherebbe che l'intensità del campo trasmesso si è ridotta di un fattore  $10^6$  rispetto all'intensità del campo incidente.

Se invece vogliamo esprimerci in termini di campo magnetico, allora scriveremo banalmente che

$$SE = 20 \log_{10} \left| \frac{\vec{H}_i}{\vec{H}_t} \right|$$

Se il campo incidente è un'onda piana incidente uniforme (ad esempio perché le sorgenti sono sufficientemente lontane) e data l'ipotesi di avere un mezzo di propagazione uguale da entrambe le parti della barriera, allora le due definizioni appena fornite sono identiche, visto che i campi elettrico e magnetico sono legati tra loro dalla impedenza intrinseca del mezzo.

Al contrario, in presenza di campi vicini e/o di mezzi diversi dalle due parti della barriera, le due definizioni non sono assolutamente equivalenti.

In generale, la definizione più usata è quella che coinvolge il campo elettrico, per cui anche noi faremo riferimento ad essa.

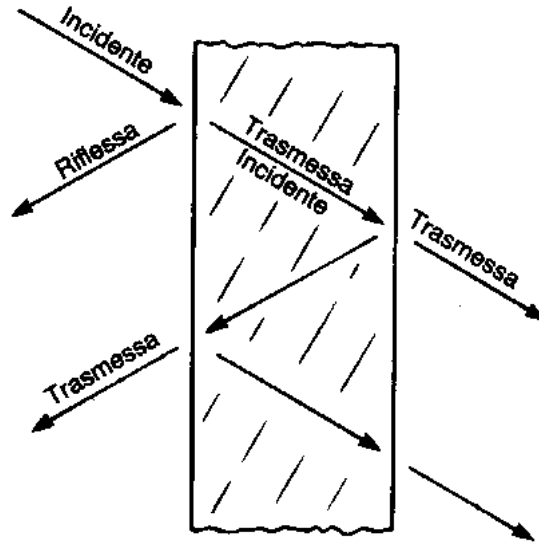
---

<sup>3</sup> Talvolta, si preferisce considerare il rapporto inverso, ossia campo trasmesso su campo incidente: in questo caso, il valore numerico di SE è lo stesso ma di segno negativo.



## Principali meccanismi di schermatura

Sono molti i fenomeni che contribuiscono a ridurre il campo elettromagnetico in seguito all'attraversamento di una barriera di materiale conduttore. A tal proposito, possiamo considerare il seguente diagramma:



Come detto in precedenza, l'onda incidente sulla interfaccia di sinistra subisce il fenomeno della riflessione e della trasmissione: il rapporto tra onda riflessa ed onda incidente corrisponde, per definizione, al **coefficiente di riflessione**  $\rho$  della superficie considerata, mentre il rapporto tra onda trasmessa ed onda incidente corrisponde, sempre per definizione, al **coefficiente di trasmissione**  $\tau$  della stessa superficie:

$$\rho_1 = \frac{E_{\text{rifl},1}}{E_{\text{inc},1}} \quad \tau_1 = \frac{E_{\text{trasm},1}}{E_{\text{inc},1}}$$

Il fatto che una frazione  $\rho_1$  del campo incidente non oltrepassi la barriera costituisce la cosiddetta **perdita per riflessione** ed è quindi il primo meccanismo di riduzione del campo incidente.

L'onda trasmessa  $E_{\text{trasm},1} = \tau_1 \cdot E_{\text{inc},1}$  si propaga invece attraverso lo spessore dello schermo. Essendo quest'ultimo costituito da un mezzo conduttivo, l'ampiezza dell'onda viene attenuata secondo un fattore  $e^{-\alpha z}$ , dove  $\alpha$  è la costante di attenuazione del materiale e  $z$  la direzione ortogonale alla barriera. Questa attenuazione prende il nome di **perdita per assorbimento**.

Di solito, lo schermo è costituito da un materiale buon conduttore, nel qual caso la costante di attenuazione  $\alpha$  non è altro che l'inverso della **profondità di penetrazione per effetto pelle**, indicata con  $\delta$  <sup>(4)</sup>:

$$\alpha = \frac{1}{\delta} \longrightarrow \text{fattore di attenuazione: } e^{-\alpha z} = e^{-\frac{1}{\delta} z}$$

Quindi, le ampiezze dei campi, nel loro attraversamento della barriera, sono attenuate del fattore  $e^{-z/\delta}$ . Per valutare quanto valga questa attenuazione in corrispondenza della seconda interfaccia, bisogna evidentemente conoscere lo spessore  $t$  della barriera considerata: infatti, l'attenuazione complessiva è  $e^{-t/\delta}$ , per cui, qualora risulti  $t \gg \delta$  (cioè uno spessore molto maggiore della profondità

<sup>4</sup> Ricordiamo che questo parametro è funzione della frequenza di lavoro

di penetrazione per effetto pelle), l'onda trasmessa attraverso la prima interfaccia arriva alla seconda interfaccia fortemente attenuata.

Ad ogni modo, quest'onda rappresenta adesso un'onda incidente sulla interfaccia di destra ed incide dalla parte del mezzo metallico: una frazione di quest'onda viene riflessa, secondo un coefficiente  $\rho_2$ , mentre la rimanente frazione  $\tau_2$  si trasmette attraverso l'interfaccia nel mezzo a destra della barriera.

La frazione  $\rho_2$  che riflessa si propaga indietro nella barriera, tornando a colpire (questa volta da destra e provenendo quindi da un mezzo metallico) l'interfaccia di sinistra. Ancora una volta, una frazione di quest'onda è trasmessa attraverso l'interfaccia di sinistra e va quindi a sommarsi al **campo riflesso totale**  $\vec{E}_r, \vec{H}_r$  nel mezzo di sinistra, mentre la parte rimanente viene riflessa e torna a propagarsi verso destra, sommandosi così al campo totale  $\vec{E}_1, \vec{H}_1$  che si propaga nella barriera da sinistra verso destra.

Questa frazione viene nuovamente attenuata dallo spessore dello schermo e poi torna al colpire l'interfaccia di destra, dove abbiamo ancora riflessione e trasmissione: la porzione trasmessa va a sommarsi al **campo trasmesso totale**  $\vec{E}_t, \vec{H}_t$  nel mezzo a destra dell'interfaccia, mentre la porzione riflessa va a sommarsi al campo totale  $\vec{E}_2, \vec{H}_2$  che si propaga nella barriera da destra verso sinistra.

Il meccanismo continua in questo modo, ma è chiaro che le successive frazioni di campo riflesso e trasmesso sono progressivamente attenuate durante la loro propagazione all'interno della barriera. Se lo schermo è stato progettato in modo che, alla frequenza prevista per il campo incidente, il suo spessore sia molto più grande della profondità di penetrazione per effetto pelle, queste continue e ripetute riflessioni sulle superfici interne della barriera sono di poca importanza.

Quindi, le **riflessioni e trasmissioni multiple** possono essere generalmente trascurate quando, alla frequenza prevista per il campo incidente, lo spessore della barriera è molto più grande della profondità di penetrazione per effetto pelle; in queste condizioni, possiamo considerare solo la riflessione e la trasmissione iniziali sulle interfacce di sinistra e di destra.

Ad ogni modo, l'espressione più generale dell'efficienza di schermatura, in base alla definizione  $SE = 20 \log_{10} \left| \frac{\vec{E}_i}{\vec{E}_t} \right|$ , può essere suddivisa nella somma (che diventa un prodotto se ci esprimiamo in unità naturali) di tre termini, rappresentativi rispettivamente della **perdita per riflessione**, **perdita per assorbimento** e **perdita per riflessioni multiple**:

$$SE_{dB} = R_{dB} + A_{dB} + M_{dB}$$

Una cosa importante da osservare è la seguente: *le ripetute riflessioni alle interfacce producono campi che si sommano al campo iniziale trasmesso attraverso l'interfaccia di destra; questo significa che questo meccanismo peggiora l'efficienza di schermatura, il che comporta che il termine  $M_{dB}$  sia negativo, al contrario invece di  $R_{dB}$  e  $A_{dB}$  che sono sempre positivi, in quanto la riflessione iniziale e l'assorbimento contribuiscono sempre a migliorare l'efficienza di schermatura.*

Il passo successivo è quello di determinare in modo quantitativo questi singoli fattori, in modo da comprendere quali parametri (ad esempio la frequenza di lavoro o lo spessore della barriera o le costanti caratteristiche del materiale da cui è costituita) contribuiscano ad aumentarne o diminuirne i rispettivi valori. Questo tipo di analisi va inoltre condotto in due distinte situazioni:

- in primo luogo, bisogna ipotizzare che il campo elettromagnetico incidente sia prodotto da una sorgente sufficientemente lontana dallo schermo, in modo da attribuire a tale campo le caratteristiche del campo lontano, ossia sostanzialmente quelle (locali) delle onde piane uniformi;
- viceversa, la seconda situazione è quella in cui il campo è generato da una sorgente vicina allo schermo, nel qual caso l'ipotesi di onda piana uniforme non è più consistente.

Conducendo il proprio studio in queste due situazioni, si giunge alle seguenti conclusioni:

- in presenza di sorgenti lontane (onde piane uniformi), la perdita per riflessione costituisce il meccanismo di schermatura predominante alle basse frequenze, mentre invece la perdita per assorbimento è il meccanismo predominante alle alte frequenze;
- in presenza di sorgenti vicine, invece, la situazione è diversa a seconda che si considerino **sorgenti di campo elettrico** (cioè sorgenti, come ad esempio il dipolo elettrico elementare, il cui campo irradiato in zona vicina è caratterizzato da una impedenza d'onda  $Z_w = E_\theta / H_\phi$  maggiore dell'impedenza intrinseca del vuoto  $\eta_0$ ) oppure **sorgenti di campo magnetico** (cioè sorgenti, come ad esempio il dipolo magnetico elementare, il cui campo irradiato in zona vicina è caratterizzato da una impedenza d'onda minore di  $\eta_0$ ):
  - \* per sorgenti vicine di campo elettrico, la situazione risulta, con una certa approssimazione, inalterata rispetto al caso dell'onda piana: la perdita per riflessione predomina in bassa frequenza, mentre quella per assorbimento predomina in alta frequenza;
  - \* per sorgenti vicine di campo magnetico, invece, è la perdita per assorbimento a prevalere a tutte le frequenze, con la differenza, però, rispetto al campo elettrico, che essa risulta molto piccola in bassa frequenza. Per questo motivo è necessario pensare ad altri metodi per schermare i **campi magnetici vicini in bassa frequenza**.  
Esistono in particolare due metodi di schermatura da questo tipo di campi: le **deviazione del flusso magnetico** attraverso materiale a basso valore di riluttanza e la **generazione di flusso magnetico contrario** (sfruttando la legge di Faraday).

Autore: **SANDRO PETRIZZELLI**  
e-mail: [sandry@iol.it](mailto:sandry@iol.it)  
sito personale: <http://users.iol.it/sandry>  
succursale: <http://digilander.iol.it/sandry1>