

Lezione 10

Aperture negli Schermi

Stefano Selleri

Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni
Università di Firenze



Sommario della Lezione

❖ Introduzione

❖ Passacavi

❖ Aperture

Introduzione

Qualsiasi apertura, voluta o meno, dello schermo ne degrada notevolmente le proprietà.

È però sempre necessario avere aperture nello schermo:

- ❖ Passaggio di cavi
- ❖ Sportelli di accesso
- ❖ Griglie di ventilazione

Introduzione

È inoltre importante rilevare come, in campo vicino e a bassa frequenza le dimensioni dello schermo e la sua forma assumono un ruolo non secondario.

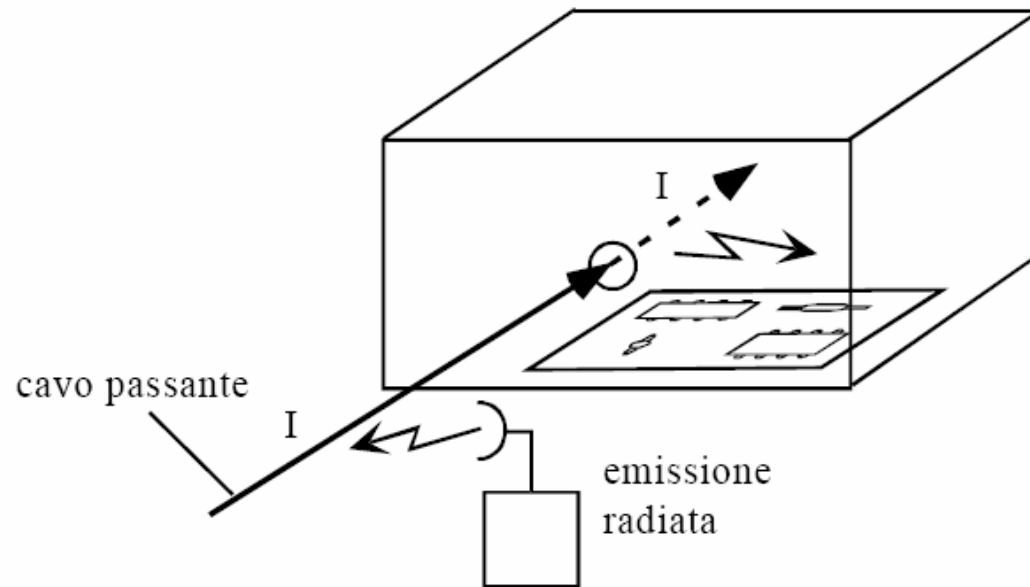
Eventuali risonanze esterne (Lo schermo presenta percorsi comparabili con la lunghezza d'onda) o interne (il campo penetrato nello schermo si trova a tutti gli effetti in una cavità risonante) possono degradare le capacità schermanti.

Se si è a bassa frequenza è ipotizzabile risolvere il problema completo per via numerica

È comunque possibile ricavare delle linee guida generali su basi teoriche.

Passacavi

Consideriamo come prima cosa un cavo che passi da un'apertura nello schermo.



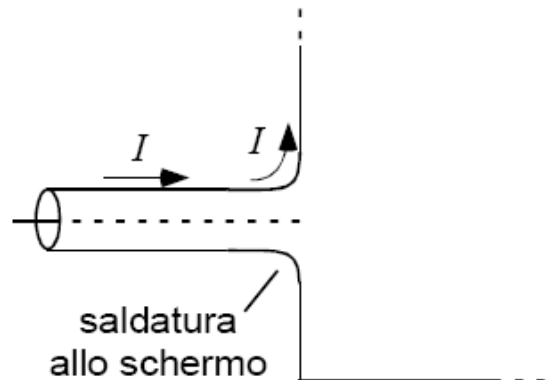
Un segnale radiato da una sorgente vicina o meno si può accoppiare con il cavo, che funge da antenna. Le correnti indotte possono quindi entrare nel dispositivo

Dualmente, un disturbo generato internamente può uscire via cavo e irradiarsi all'esterno.

Passacavi

Se il cavo è un cavo coassiale il segnale scorre sull'anima interna, mentre gli eventuali disturbi scorrono esternamente alla calza.

Saldando perfettamente e completamente la calza allo schermo queste correnti di disturbo fluiscono dall'esterno della calza all'esterno dello schermo, lasciando intatto l'apparato.



Connettori

I Connettori per cavi coassiali standard sono BNC, C, F, N, SMA e TNC



Connettore **BNC**
Per cavi a 50 o 75 Ω ,
Per segnali fino a 4 o 2 GHz



Connettori **C**
Simili, ma a
tenuta stagna

Connettori



Connettore F
75Ω, TV satellitare etc,
economico e poco
affidabile



Connettore N
Uno dei primi sviluppati, originariamente fino a 1GHz,
attualmente regge anche fino a 11-18GHz

Connettori



Connettore SMA
50 Ω , fino a 18GHz



Connettore TNC
50 Ω , fino a 11GHz

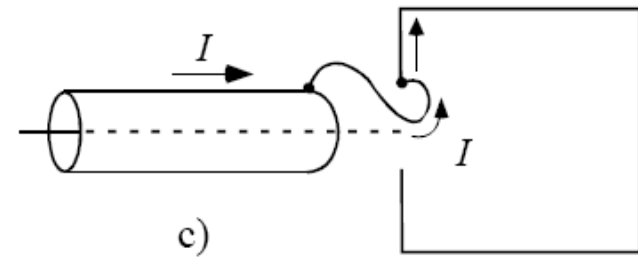
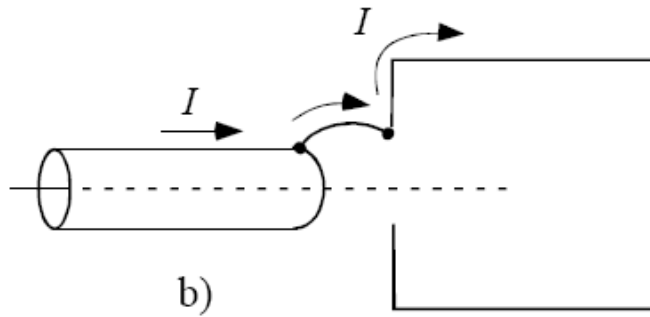
Connettori

La bontà del connettore e la capacità di salire in frequenza dipende da:

- ❖ Collegamento dell'anima: La discontinuità del cavo deve essere minima in modo da non generare una zona a impedenza caratteristica così diversa da provocare un coefficiente di riflessione misurabile
- ❖ Contatto della calza: Per garantire che le correnti di disturbo restino all'esterno

Quest'ultimo punto è critico. Nei connettori più economici la calza viene scoperta, attorcigliata per un breve tratto e saldata al connettore esterno (smontate il vostro cavo TV) formando un *pigtail*.

Pigtail



Nel caso migliore il Pig-tail lascia scoperta una parte di anima.

Nel caso peggiore può portare le correnti di disturbo all'interno dello schermo.

Pigtail

Cavi di alimentazione, o cavi che trasportano segnali a bassa frequenza, o che trasportano segnali bilanciati possono beneficiare dall'introduzione di un nucleo di ferrite.

Questo, chiuso intorno al cavo, con anche una sola spira, genera un percorso a alta riluttanza per le correnti di modo comune.

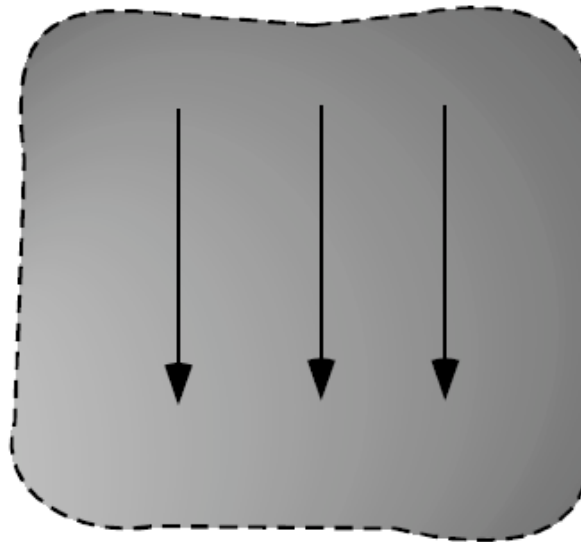


2 sterline su
eBay

Aperture

Mentre l'effetto dei fori passacavi è dipendente dalla frequenza nella misura in cui ne dipende l'accoppiamento col cavo, per quanto riguarda le aperture semplici è la loro dimensione nei confronti della lunghezza d'onda che ne domina il comportamento.

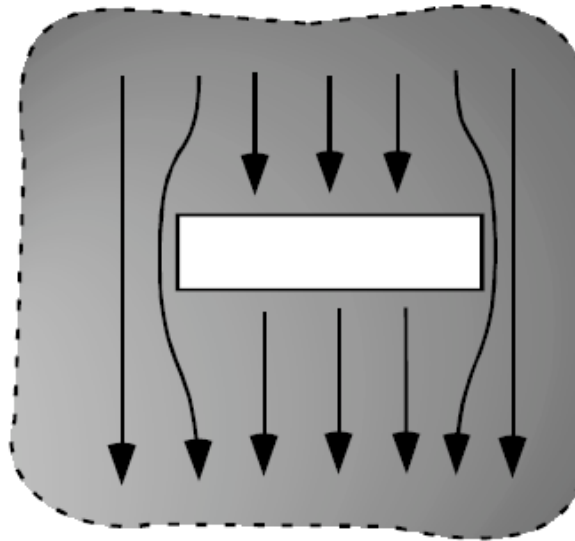
Su uno schermo continuo si inducono, in presenza del disturbo, delle correnti che fluiscono sulla sua parte esterna.



Aperture

L'apertura "taglia" queste correnti, che sono deviate e che portano ad un accumulo di carica ai bordi dell'apertura.

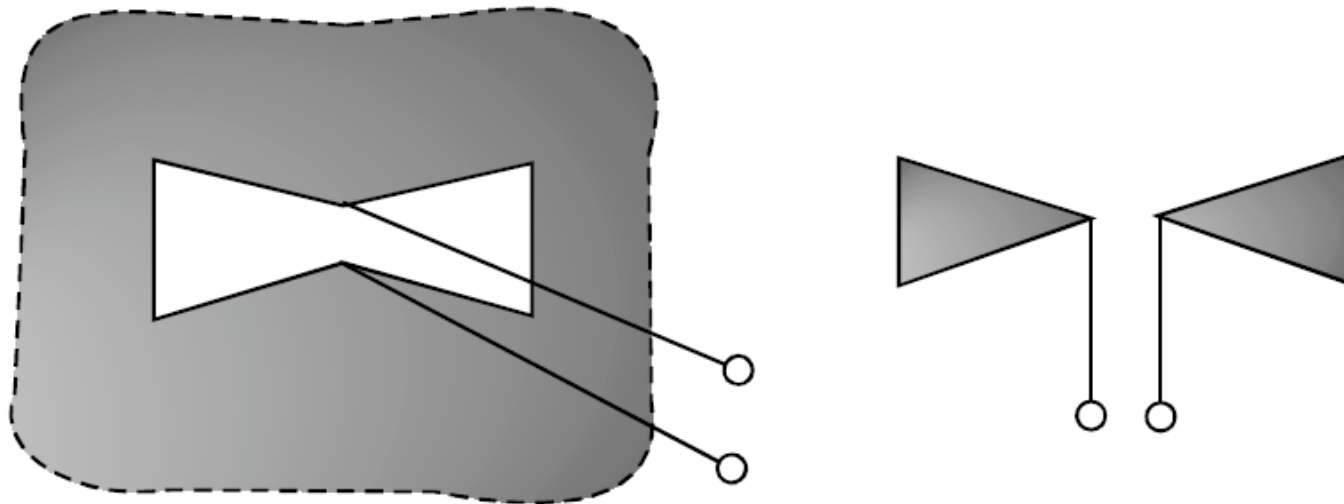
Questa carica, a radiofrequenza, genera un campo elettrico a radiofrequenza sull'apertura il quale, con il teorema di equivalenza, può essere visto come una distribuzione di correnti magnetiche che irradiano sia *dentro* sia *fuori* dallo schermo.



Se l'apertura è grande il principio di equivalenza si può applicare l'approssimazione *Kirchhoff* e considerare il campo sull'apertura pari al campo incidente imperturbato.

Aperture

Più in dettaglio, il *principio di Babinet* ci dice che un'apertura irradia lo stesso campo che irradia la relativa antenna complementare



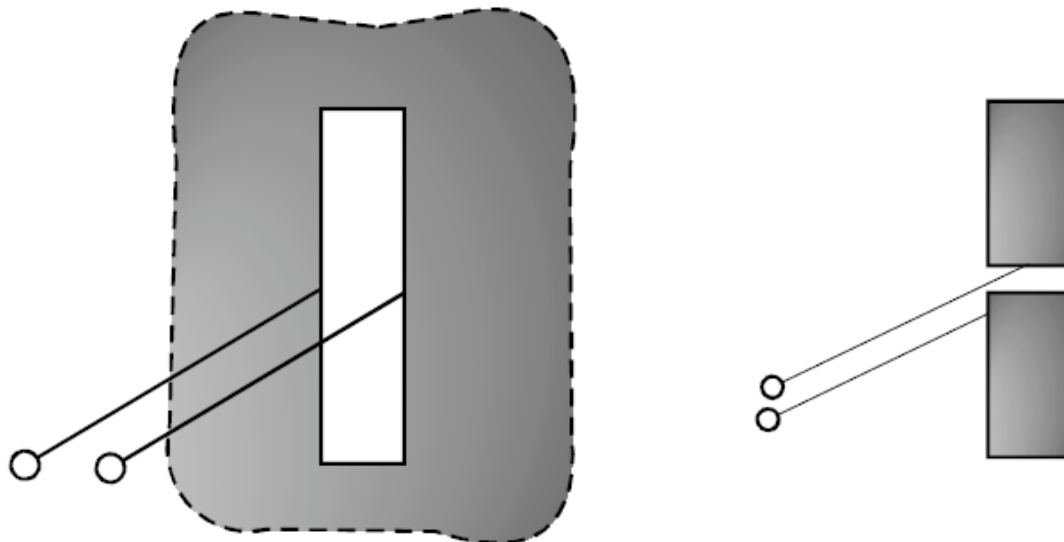
Se si considerano le relazioni [a = apertura, c = complementare]:

$$E_{\theta}^{(a)} = H_{\theta}^{(c)} \quad H_{\theta}^{(a)} = \frac{E_{\theta}^{(c)}}{\zeta_0^2}$$

$$E_{\phi}^{(a)} = H_{\phi}^{(c)} \quad H_{\phi}^{(a)} = \frac{E_{\phi}^{(c)}}{\zeta_0^2}$$

Aperture

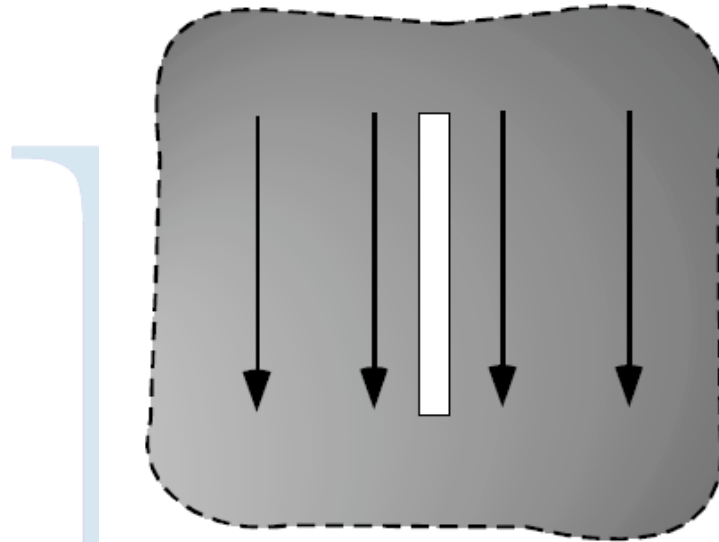
Di conseguenza, una slot sottile rettangolare si comporta in maniera analoga a un dipolo



E la sua irradiazione è massima quando la lunghezza dell'apertura è mezza lunghezza d'onda.

Aperture

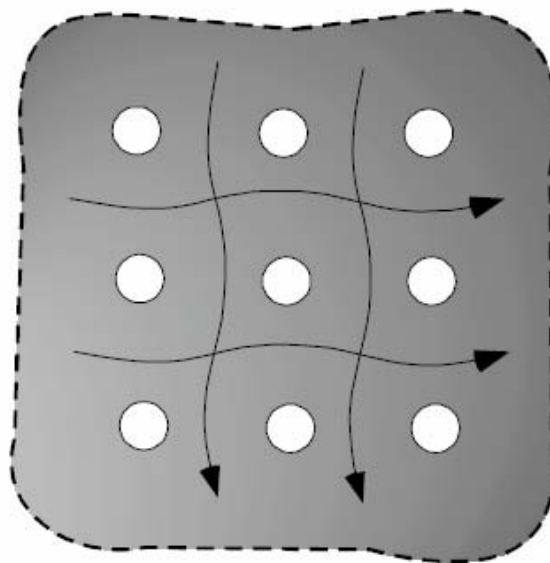
Se le correnti fluiscono parallelamente alla fessura esse sono pochissimo perturbate e lo schermo funziona



Non si sa però a priori la direzione delle correnti di disturbo! Quindi si deve sempre considerare il caso peggiore.

Aperture

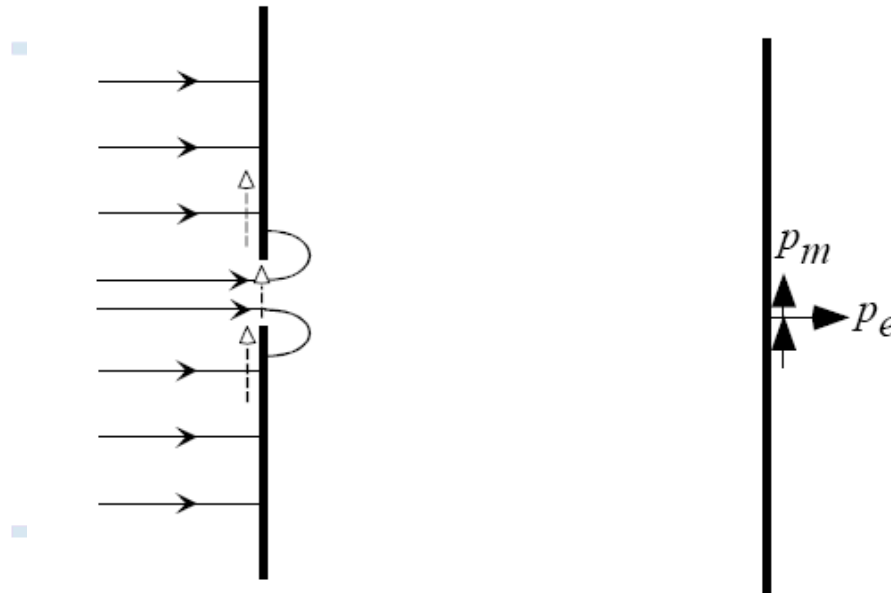
Se l'apertura deve essere di un'area minima (per esempio per la ventilazione dell'apparato) è bene fare tante piccole aperture piuttosto che una sola grossa apertura



Aperture

L'apertura è *piccola* se è piccola rispetto alla lunghezza d'onda.

In questo caso il teorema di equivalenza si applica nell'approssimazione di *Bethe*, che dice che il campo sull'apertura è pari al campo incidente in assenza di apertura



In altre parole sullo schermo il campo elettrico è tutto perpendicolare e quello magnetico tutto tangente, in assenza di foro.

In presenza di foro e in approssimazione di Bethe questo campo è presente al di là dello schermo (integro) su un'area corrispondente al foro.

Aperture

Il campo elettrico non nullo perpendicolare allo schermo corrisponde a un dipolo elettrico corto di momento \mathbf{p}_e

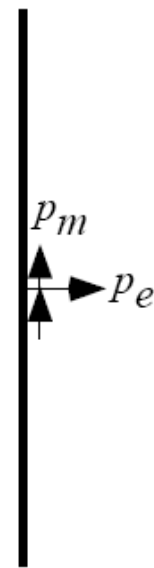
Il campo magnetico non nullo tangente allo schermo corrisponde a un dipolo magnetico corto di momento \mathbf{p}_m

$$\mathbf{p}_e = \varepsilon \alpha_e \mathbf{E}^i(0) = \varepsilon \alpha_e E_z^i \hat{\mathbf{z}};$$

$$\mathbf{p}_m = -[\boldsymbol{\alpha}]_m \mathbf{H}_t^i(0) = -\begin{bmatrix} \alpha_{mx} & \\ & \alpha_{my} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H_x^i \\ H_y^i \end{bmatrix} = -\alpha_{mx} H_x^i \hat{\mathbf{x}} - \alpha_{my} H_y^i \hat{\mathbf{y}}$$

I coefficienti α o *polarizzabilità* (elettrica o magnetica) dipendono da forma e dimensione dell'apertura. La matrice $-\boldsymbol{\alpha}_m$ è diagonale solo se l'apertura è simmetrica.

I campi $\mathbf{E}^i(0), \mathbf{H}_t^i(0)$ sono i campi incidenti al centro dell'apertura quando lo schermo è continuo.



Aperture

I coefficienti α sono valutabili analiticamente per aperture semplici, e numericamente per molti altri tipi di aperture:

Forma	α_e	α_{mx}	α_{my}
Cerchio (raggio R)	$\frac{2}{3}R^3$	$\frac{4}{3}R^3$	$\frac{4}{3}R^3$
Ellisse stretta ($w \ll \ell$)	$\frac{1}{3}\pi w^2 \ell$	$\frac{1}{3} \frac{\pi \ell^3}{\ln(4\ell/w) - 1}$	$\frac{1}{3}\pi w^2 \ell$

Aperture

In termini approssimati, l'efficacia schermante di uno schermo sottile (spessore t) con un foro di dimensione massima d [e lo schermo è sottile se $d > t$) è

$$SE_{dB} = 20 \log_{10} \left(\frac{\lambda}{2d} \right)$$

Che è tanto minore quanto più grande è il foro

Nel caso di n aperture identiche a distanza minore di mezza lunghezza d'onda, è

$$SE_{dB} = 20 \log_{10} \left(\frac{\lambda}{2d} \right) - 10 \log_{10}(n)$$

Aperture

Se però l'apertura è in uno schermo spesso entra in gioco un ulteriore termine di attenuazione legato al fatto che i campi si propagano in una struttura guidante a cut-off.

Nel caso di un apertura quadrata di lato d la frequenza di cutoff del modo m,n è

$$f_{c_{m,n}} = \frac{1}{2\pi} \frac{k_{t_{m,n}}}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\left(\frac{m\pi}{d}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{d}\right)^2} = \frac{c}{2\pi d} \sqrt{m^2 + n^2}$$

Il primo modo è il TE 1,0, per il quale

$$f_{c_{m,n}} = \frac{c}{2d}$$

Se il modo è in cut-off allora la sua costante di attenuazione è

$$\alpha_{m,n} = \sqrt{k_t^2 - k_0^2} = \omega \sqrt{\varepsilon_0 \mu_0} \sqrt{\left(\frac{f_{c_{m,n}}}{f}\right)^2 - 1}$$

Aperture

Nell'ipotesi in cui la frequenza di cutoff sia molto minore della frequenza del disturbo:

$$\alpha_{m,n} = \frac{\omega}{c} \sqrt{\left(\frac{f_{c_{m,n}}}{f}\right)^2 - 1} \cong \frac{\omega}{c} \frac{f_{c_{m,n}}}{f} = \frac{2\pi f_{c_{m,n}}}{c}$$

Ma considerando che la frequenza di cut-off più bassa è quella del primo modo:

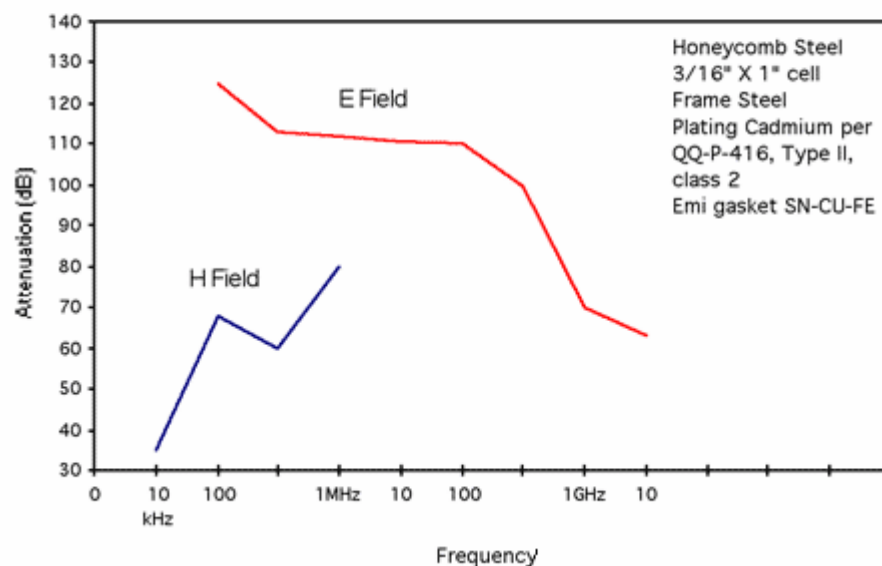
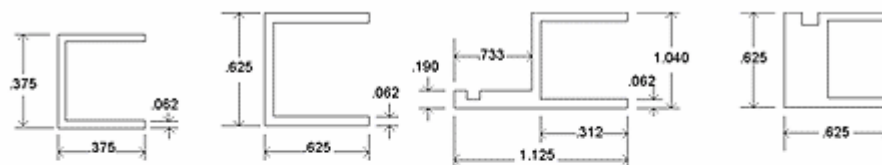
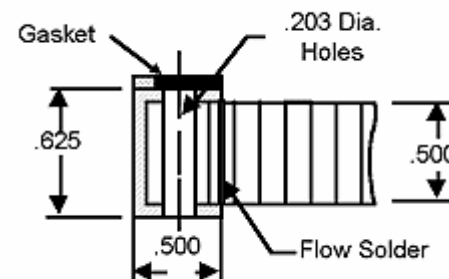
$$\alpha_{1,0} \cong \frac{2\pi}{c} \frac{c}{2d} = \frac{\pi}{d}$$

L'attenuazione del segnale, se esso percorre una lunghezza l nella guida in cut off, è:

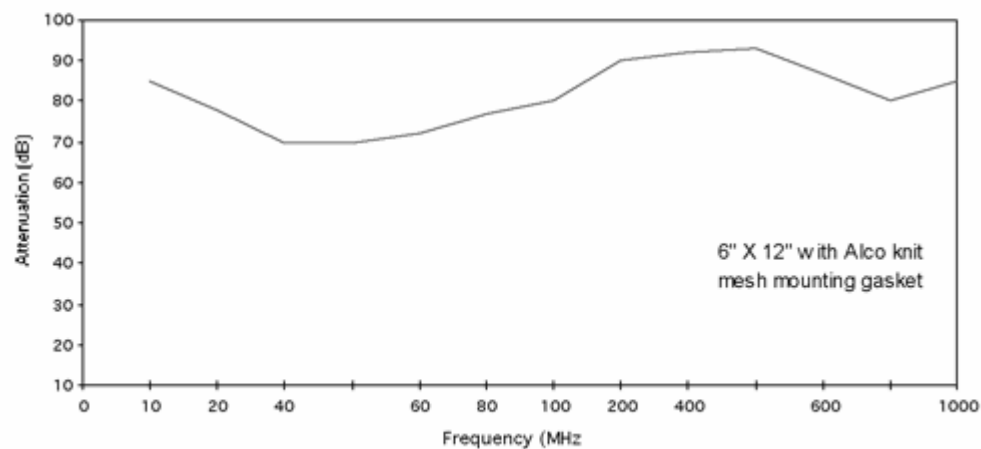
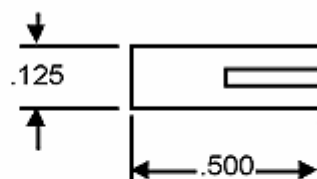
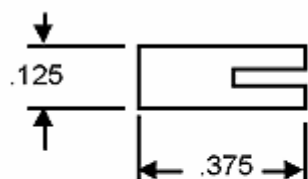
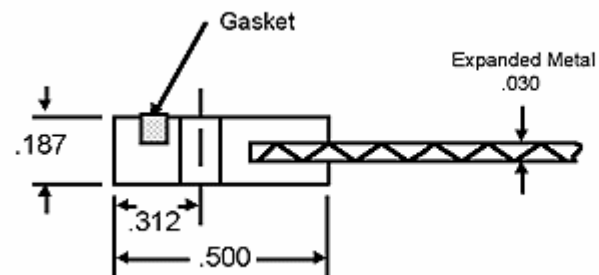
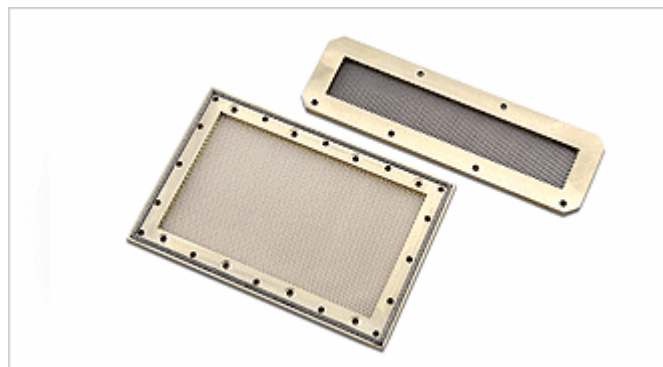
$$A_{dB} = 20 \text{Log}_{10} e^{\alpha_{1,0} l} = \alpha_{1,0} l 20 \text{Log}_{10} e = 27.3 \frac{l}{d}$$

Questo termine va a migliorare l'efficacia di schermaggio di uno schermo forato

Aperture



Aperture



Aperture

Può comunque essere necessario avere una grande apertura. In particolare per la manutenzione del sistema.

Questa apertura è normalmente chiusa da un coperchio. La chiusura deve essere a prova EMI.

È infatti già stato visto come non è tanto l'area dell'apertura quanto la sua dimensione più lunga a dominare la degradazione delle capacità schermanti.

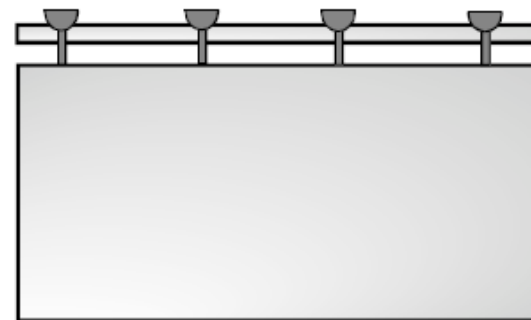
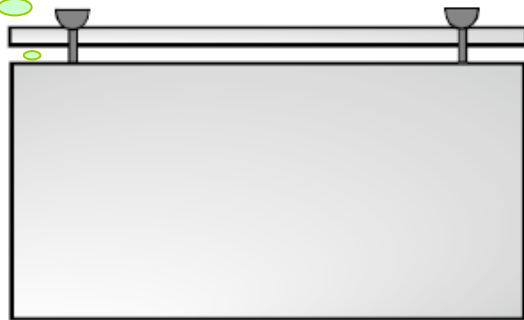
È quindi necessario rendere il contatto coperchio/schermo il più continuo possibile lungo tutto il perimetro.

Aperture

Il metodo più semplice è quello di posizionare numerose viti.

Questo crea contatto elettrico buono tra schermo e coperchio in corrispondenza di ogni vite, lasciando le fessure lunghe quanto l'interdistanza tra vite e vite.

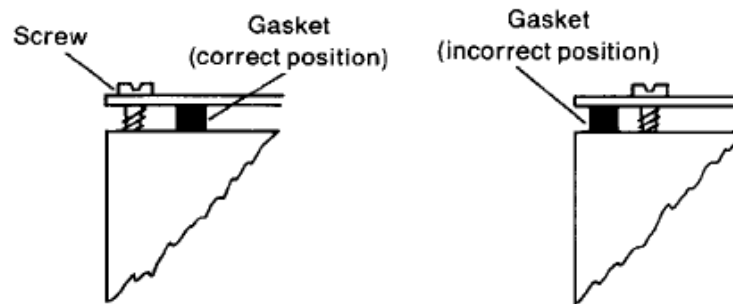
Qui niente vernice!!!



Aperture

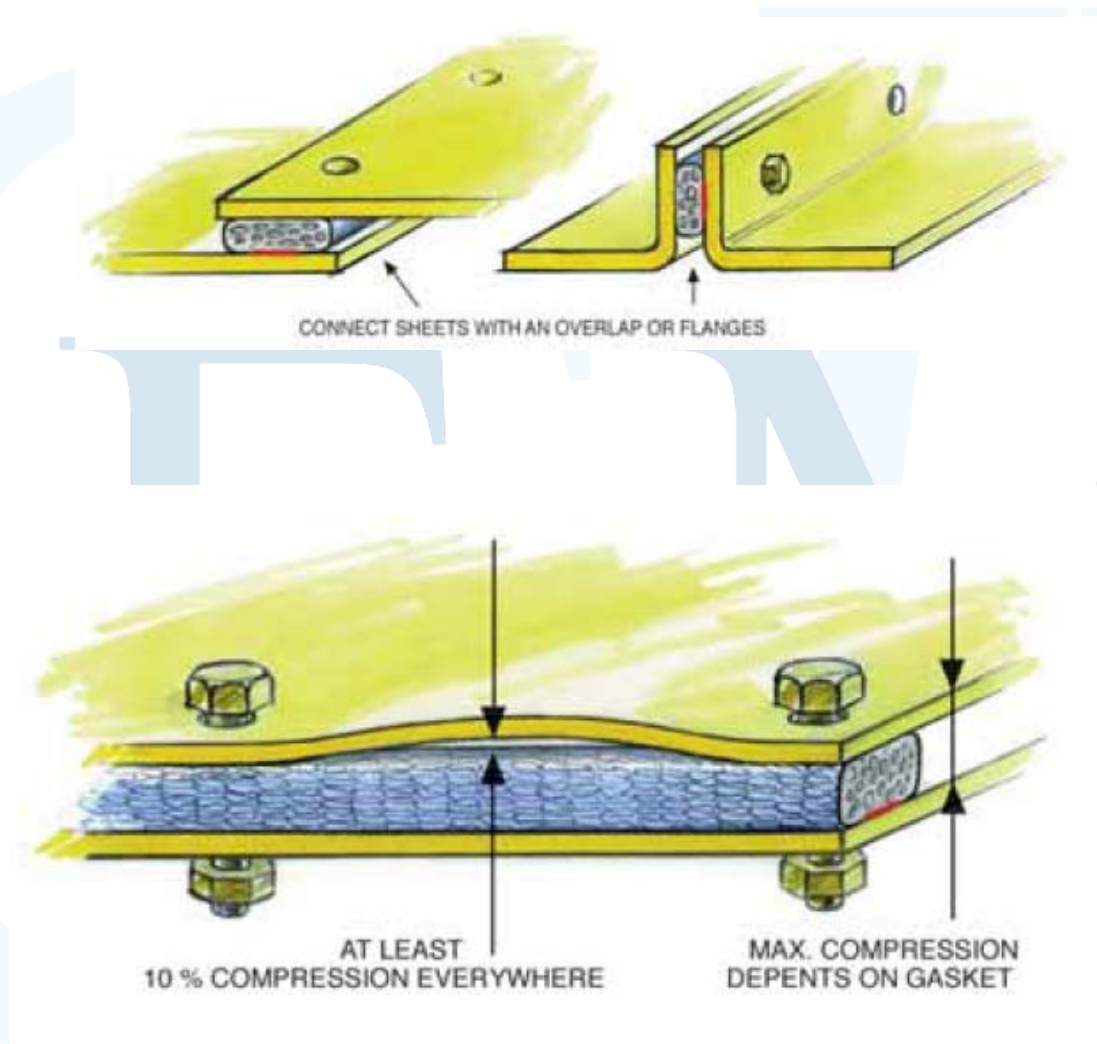
Inoltre, per migliorare il contatto elettrico possono venire usate delle guarnizioni in gomma conduttiva.

Sebbene la loro conducibilità non sia quella di un buon conduttore la loro elasticità garantisce un contatto elettrico molto buono in ogni punto del coperchio, una volta che le viti sono state ben strette.

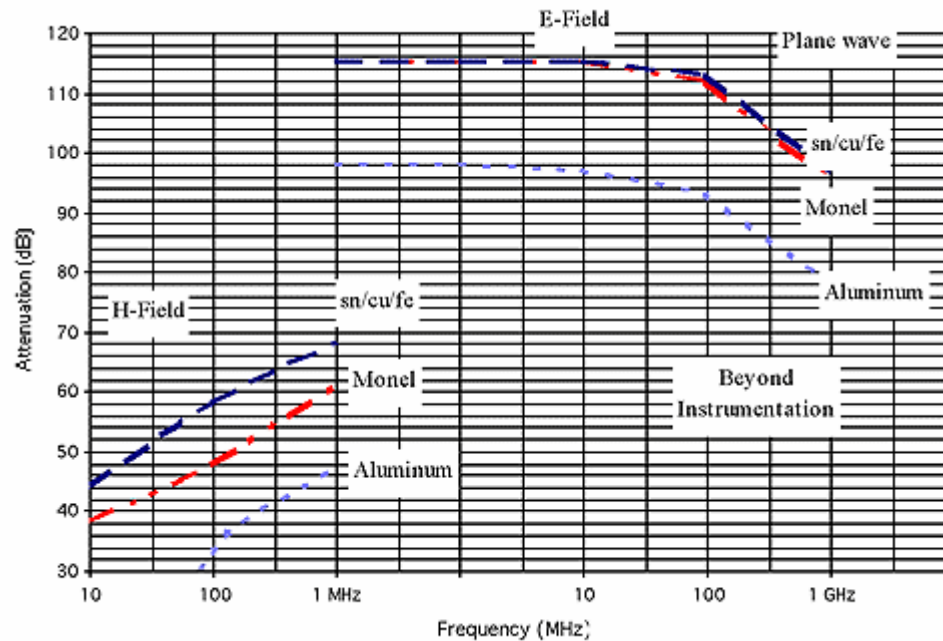
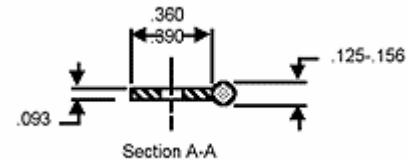
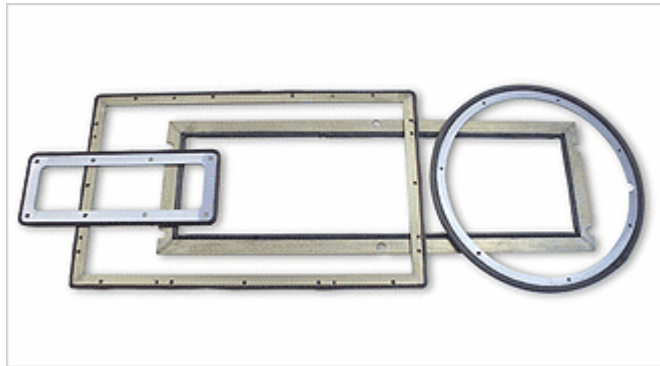


La guarnizione deve stare interna rispetto alle viti, altrimenti la radiazione elettromagnetica potrebbe penetrare dalla fessura che vi è tra il bullone e il suo foro, soprattutto se vengono usate rondelle autobloccanti.

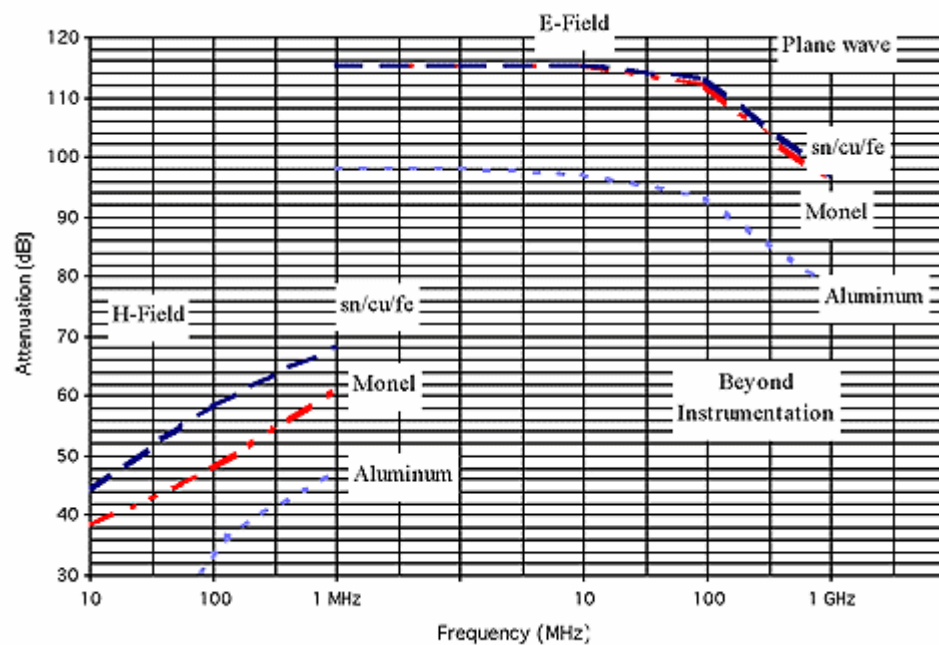
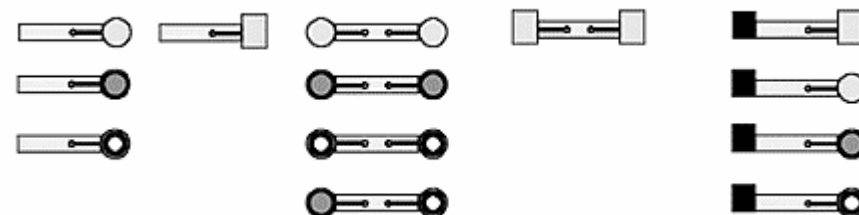
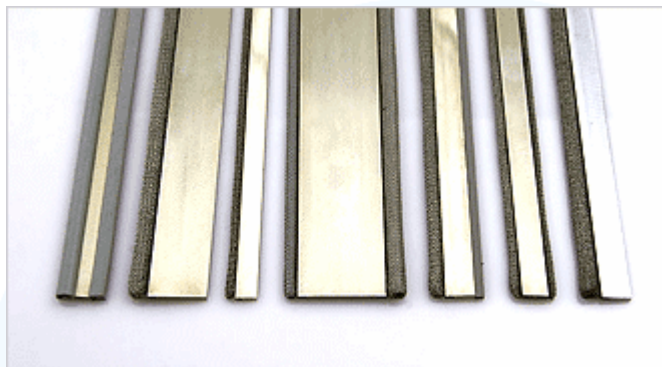
Aperture



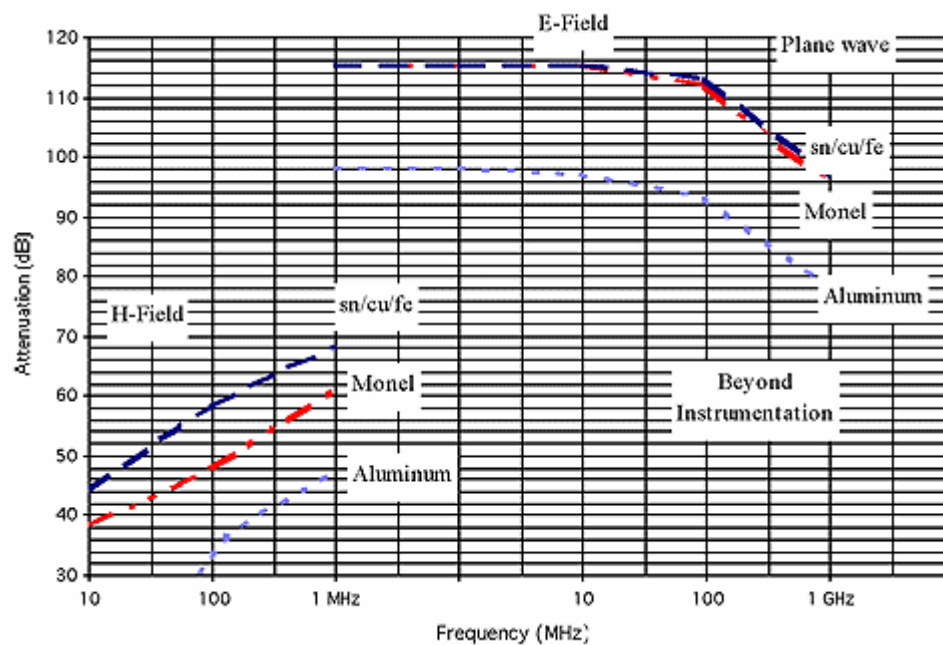
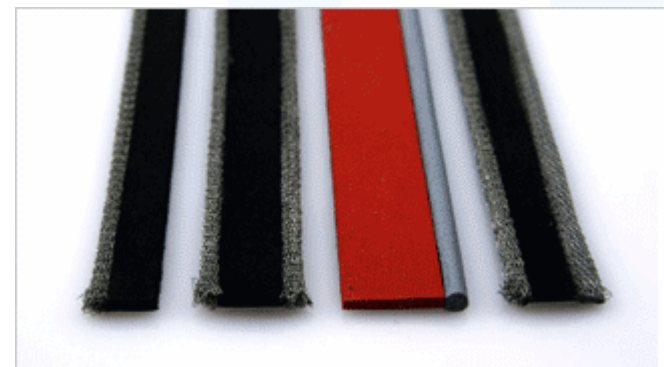
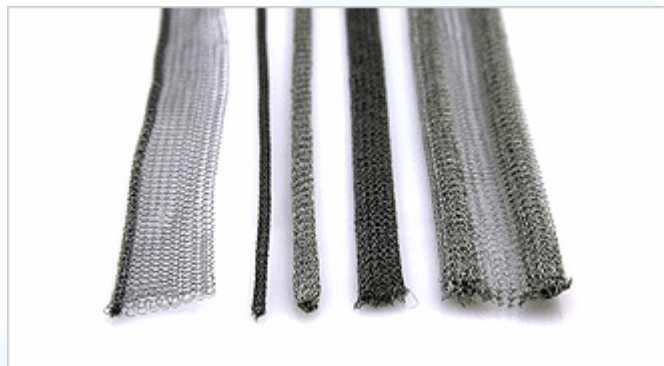
Aperture



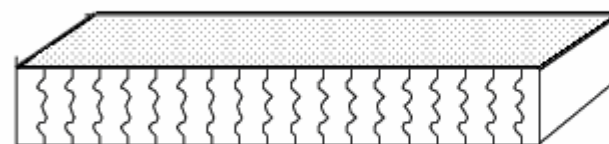
Aperture



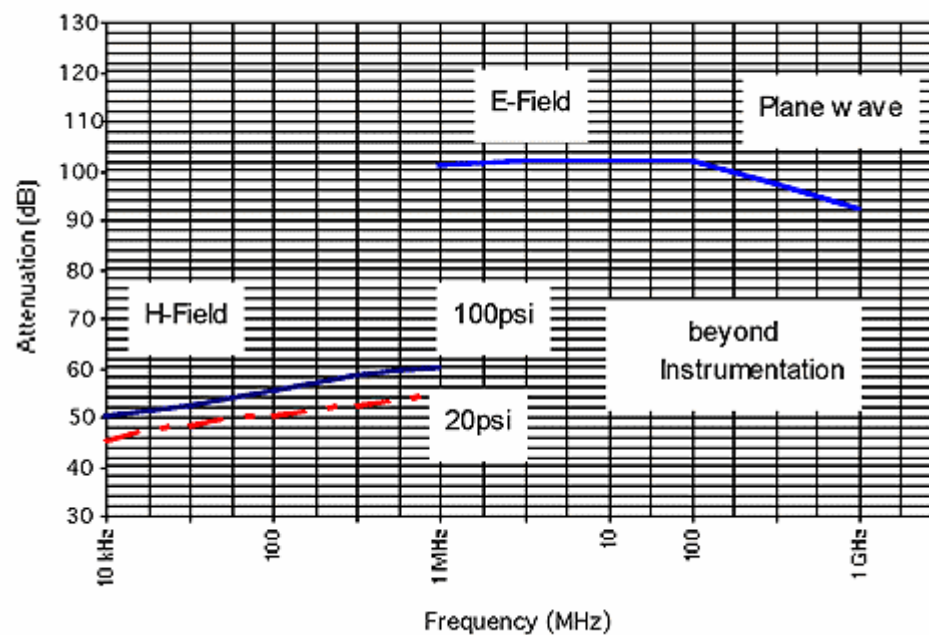
Aperture



Aperture



Various profiles available



Aperture

Le calze metalliche sono buone conduttrici ma possono avere problemi di contatto per una non perfetta elasticità,

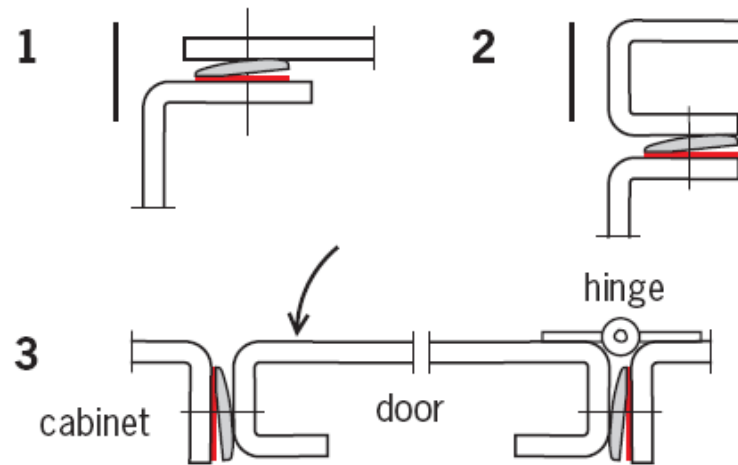
Gli elastomeri conduttrici hanno una migliore elasticità, e quindi un miglior contatto, ma peggiore conducibilità, inoltre le caratteristiche si degradano col tempo

Inoltre entrambe queste soluzioni possono deteriorarsi rapidamente se lo sportello deve venire aperto e chiuso sovente (per esempio una porta d'accesso a una camera anecoica).

Aperture

Un'altra tecnica è quella di garantire il contatto elettrico tramite un sistema a *dita* e *coltello*.

In questo sistema lo sportello entra a pressione in un alloggiamento contornato da *dita* elastiche che assicurano il contatto elettrico



Ovvero, in una versione a caratteristiche migliori, una lama di coltello solidale con lo sportello si incunea tra due serie di dita poste sul frame



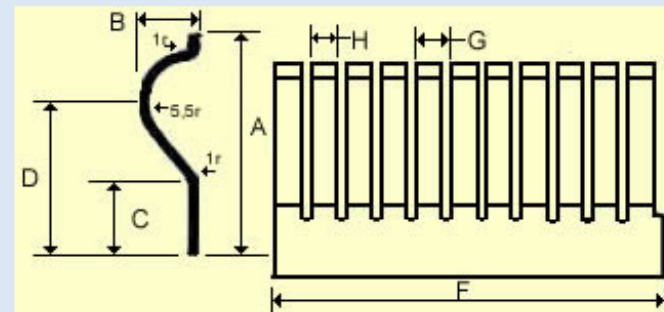
Aperture



Aperture

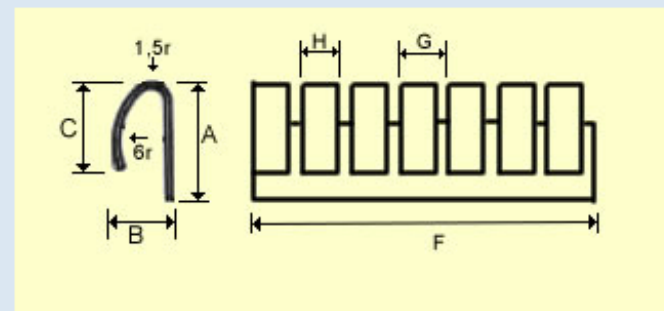
Contact Finger 2701

Part Number	A	B	C	D	F	G	H
2701-01	24,5	6,5	8,0	17,0	500	4,0	3,0
2701-02	27,7	6,6	-	-	10m	9,5	8,7
2701-03	42,4	10,4	-	-	7m	12,7	11,7



Contact Finger 2702

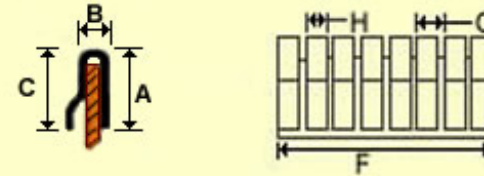
Part Number	A	B	C	F	G	H
2702-01	3,3	1,8	2,5	304	1,5	1,0
2702-02	3,3	2,3	2,5	304	3,2	2,0
2702-03	7,1	3,3	6,4	406	3,4	2,3
2703-04	7,1	3,3	6,4	406	3,7	2,8
2703-05	7,1	5,1	4,8	406	3,4	2,3
2702-06	9,7	4,8	7,3	406	4,8	3,6
2702-07	12,2	7,1	8,9	406	4,8	3,2
2702-08	16,0	11,2	10,4	406	3,4	2,2



Aperture

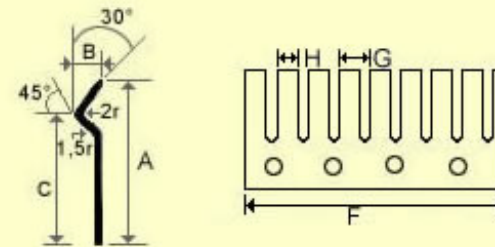
Contact Finger 2703

Part Number	A	B	C	D	F	G	H
2703-01	5,0	2,6	6,5	-	406	1,5	0,5



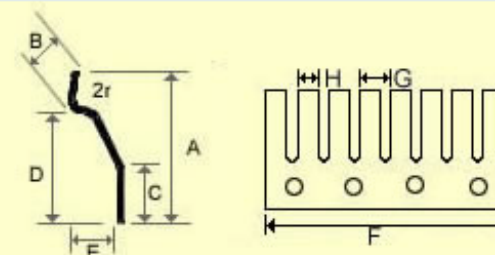
Contact Finger 2704

Part Number	A	B	C	F	G	H
2704-01	30,0	3,0	25,0	500	4,0	3,0



Contact Finger 2705

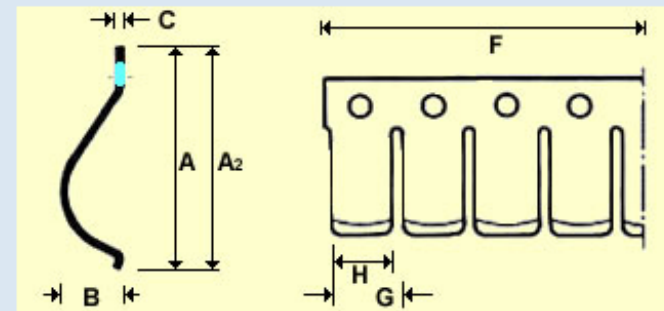
Part Number	A	B	C	D	E	F	G	H
2705-01	29,1	3,0	10,0	23,5	7,0	500	4,0	3,0
2705-02	27,5	3,0	10,0	22,0	9,0	500	4,0	3,0



Aperture

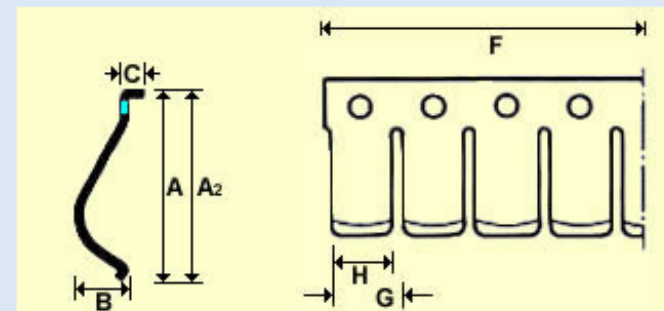
Door Finger 2801

Part Number	A	A2	B	C	Ø	F	G	H
2801-01	27,7	32,5	6,4	0,1	3,6	503	9,5	8,5
2801-02	39,5	48,3	10,3	0,2	3,6	503	12,7	11,7



Door Finger 2802

Part Number	A	A2	B	C	Ø	F	G	H
2802-01	25,7	30,5	6,4	2,0	3,6	503	9,5	8,5



Aperture

Se invece l'apertura proprio non deve essere aperta....

Conductive adhesive 3980

Shieldokit 3980 creates an electrically and thermally conductive connection between components. One of the applications is EMI shielding. The glue can cure at room temperature and has excellent filling properties. The thickness is like peanut butter, therefore uneven surfaces can be filled

The product consists of a 80% silver-filled two-component epoxy-based glue. It is pasty and can glue metals (copper, aluminium, stainless steel, brass, etc.), ceramics and most plastics.



Ordering information

Shieldokit
Conductive Glue.
50 grams package.
Part number: 3980

Curing

Temperature	Time
21°C	30 hours
50°C	3 hours
80°C	2 hours
100°C	1 hour
200°C	10 min

Specifications

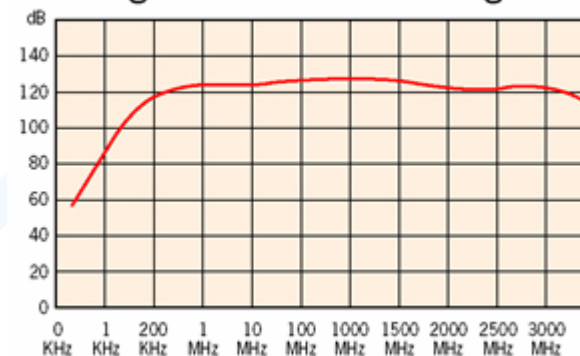
Silver Content	± 80%
Surface Resistance	0.5 Ohm/sq.cm
Specific Resistance	0.0025 Ohm/cm
Shelf Life	6 months (cool and dry)
Shear Strength	10-13 N/sq.mm
Temperature (cont.)	150°C
Temperature (brief)	200°C

Aperture

Camera schermata



Shielding Performance Prefab Cage



Aperture

Camera schermata da campo...



Shielding Performance Tents

