

**ALLEGATO I - POSSIBILI INTERVENTI DI RIDUZIONE DEL CAMPO ELETTROMAGNETICO (CEM)  
ASSOCIABILE A CABINE MT/BT**

**Premessa**

Per l'esposizione ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici a frequenza industriale, si deve far riferimento alla Legge 22 febbraio 2001, n. 36 "Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici" pubblicata nella Gazzetta Ufficiale n. 55 del 7 marzo 2001 ed al Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 8 luglio 2003 "Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti." Pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 200 del 29 agosto 2003.

Nel presente Allegato non vengono considerati i campi elettrici generati dalle cabine elettriche in quanto non sono significativi ai fini dell'esposizione ad essi della popolazione.

Si evidenzia che le schermature ai campi magnetici dovrebbero essere prese in considerazione soltanto dopo aver adottato tutti i provvedimenti descritti al punto a) dei metodi di mitigazione.

**Metodi di mitigazione dei campi magnetici generati da cabine elettriche**

Alla luce e sulla base di esperienze tecniche riportate nella relativa letteratura si può dire, in sintesi, che i principali metodi di mitigazione dei campi magnetici associabili a cabine MT/BT sono, in ordine di efficacia, i seguenti.

- a) Agire sulla configurazione e sulla componentistica della cabina attraverso:
- l'allontanamento delle sorgenti di campo (quadri e relativi collegamenti al trasformatore) dai muri della cabina confinanti con l'ambiente esterno ove si vuole ridurre il campo. In particolare, l'attenzione maggiore dovrebbe essere rivolta ai collegamenti in bassa tensione tra trasformatore e quadri BT e tra questi ultimi e le linee uscenti, essendo tali componenti quelli interessati dalle correnti più elevate;
  - l'avvicinamento delle fasi dei collegamenti e, ove possibile, l'utilizzazione per tali collegamenti di cavi cordati;
  - l'ottimizzazione della disposizione delle fasi nel caso di collegamenti realizzati con più cavi unipolari per fase collegati in parallelo tra loro;
  - l'utilizzazione di unità modulari compatte.

Al fine di ottimizzare la configurazione della cabina, si tenga presente il diverso contributo alla produzione di campi magnetici dovuti ai singoli componenti della cabina stessa.

Ad esempio, negli impianti molto vecchi i collegamenti tra trasformatore e quadro di bassa tensione sono generalmente realizzati in piattina di rame nudo e con geometria "larga". Un intervento che abbatta notevolmente il campo magnetico è quello di sostituire tali conduttori con cavi posati possibilmente in cunicoli o a pavimento, al centro della cabina. Un'ulteriore considerevole riduzione si ottiene se si utilizzano cavi cordati.

*Nota -Il campo magnetico nell'intorno di cavi avvolti ad elica è inferiore a quello dovuto agli stessi cavi non avvolti ed è tanto minore quanto più è piccolo il passo d'elica.*

Anche i circuiti di media tensione non dovrebbero essere trascurati, in particolare quelli che collegano le linee MT ai relativi scomparti di cabina. Infatti, questi circuiti (nel caso di collegamento in "entra-esce" della cabina alla rete) sono percorsi da una corrente che può essere dello stesso ordine di grandezza di quelle dei circuiti di bassa tensione. Una consistente riduzione del campo magnetico può essere ottenuto impiegando per questi collegamenti dei cavi tripolari cordati invece che cavi unipolari.

Meno importanti, dal punto di vista della produzione di CEM, sono invece i collegamenti tra il trasformatore ed il relativo scomparto del quadro MT; in questo caso infatti la corrente è solamente di qualche decina di ampere e, generalmente, il percorso dei cavi interessa la parte più interna della cabina.

Infine, per quanto riguarda i trasformatori in olio, quando vengano impiegati, la presenza della cassa di ferro rende trascurabili i flussi dispersi nell'ambiente circostante; il campo magnetico misurato sulla parete esterna adiacente al trasformatore è sostanzialmente imputabile ai cavi MT o BT che si collegano ai suoi terminali. Per questo motivo è consigliabile allontanare comunque il trasformatore dalla parete e posizionarlo in modo che i passanti di media tensione (correnti basse) siano rivolti verso la parete della cabina ed i passanti di bassa tensione (correnti più intense) siano invece rivolti verso il centro della cabina stessa.

#### b) Utilizzare schermi

Come si è visto, gli interventi sulla configurazione consentono di ottenere considerevoli riduzioni del campo magnetico. Tuttavia tali accorgimenti, che sono facili da effettuare in fase progettuale, sono talvolta difficili (o addirittura impossibili) da realizzare su cabine esistenti e possono essere anche particolarmente costosi.

Nei casi in cui non sia possibile intervenire sulla configurazione di cabina, oppure quando tale intervento non consente di raggiungere l'obiettivo prefissato, si può ricorrere all'utilizzazione di schermi parziali o totali.

La schermatura può essere parziale, limitata cioè alle principali sorgenti di campo magnetico (cavi, quadri, trasformatore) o al limite ad alcune pareti, oppure totale, ovvero estesa all'intera cabina.

La schermatura parziale consiste nell'avvolgere le principali sorgenti di campo con schermi ferromagnetici se si vuole ridurre il campo nelle immediate vicinanze dello schermo, oppure conduttori se si vogliono ottenere migliori risultati anche a distanze maggiori. L'accoppiamento dei due tipi di schermo rappresenta la soluzione tecnica per risolvere i casi più difficili. Infatti, la geometria complessa dei circuiti di cabina, e quindi la presenza contemporanea di campi con componenti significative sia verticali che orizzontali, impone talvolta di dover ricorrere a schermature combinate (con materiali conduttori e ferromagnetici).

Nel caso di fasci di cavi, la schermatura può essere effettuata con profilati sagomati ad U di adeguato spessore. In questo caso lo schermo per essere efficace deve avere uno spessore di qualche millimetro; ciò conferisce per altro allo schermo buone proprietà meccaniche che lo rendono anche utilizzabile, se opportunamente sagomato, come struttura portante dei cavi da schermare.

La schermatura totale di una parete può essere effettuata mettendo in opera lastre di materiale conduttore o ferromagnetico o di entrambi i tipi.

In alcuni casi pratici sono stati ottenuti dei buoni risultati impiegando lamiera di acciaio commerciale di spessore 3-5 mm. A questo riguardo si evidenzia che gli acciai normalmente in commercio non sono caratterizzati da valori di permeabilità e conducibilità definiti, per cui la loro efficacia schermante può essere anche molto diversa da caso a caso. Per ovviare a questo inconveniente si possono utilizzare materiali ferromagnetici a permeabilità controllata, oppure materiali conduttori che hanno un comportamento ben definito ed una buona efficienza schermante.

In definitiva, la scelta del tipo di schema (sagoma, dimensioni, materiale) dipende molto dalle caratteristiche delle sorgenti e dal livello di mitigazione di campo magnetico che si vuole raggiungere. Per agevolare tale scelta progettuale appare quindi fondamentale ed indispensabile farla precedere da una fase propedeutica di caratterizzazione della cabina, attraverso la quale individuare i livelli di campo magnetico più significativi, descriverne la distribuzione spaziale in termini sia di intensità che di orientamento ed associare ad essi i componenti di cabina che verosimilmente ne rappresentano le sorgenti primarie.

### **Comportamento e caratteristiche degli schermi ferromagnetici**

I materiali ferromagnetici, avendo una permeabilità più elevata di quella dell'aria, offrono una via preferenziale al campo magnetico, in questo modo sottraggono linee di flusso dalla zona intorno alla sorgente da schermare. La loro efficienza schermante è pertanto elevata nelle immediate vicinanze dello schermo mentre diminuisce all'aumentare della distanza dallo schermo stesso. Data la bassa frequenza dei campi qui considerati, per ottenere uno schermo efficiente è spesso necessaria una notevole quantità di materiale ferromagnetico (nel caso di lamiere di acciaio comune) e ciò determina solitamente pesi molto elevati. L'impiego di materiali ferromagnetici è quindi da preferire per aree di dimensioni ridotte e nel caso in cui sia importante ottenere l'effetto di mitigazione nelle zone più vicine alla sorgente.

La loro efficienza schermante dipende poi da diversi parametri; in particolare:

- Essa migliora con l'aumentare della permeabilità magnetica relativa del materiale impiegato.
- Lo spessore è poco influente nel caso si utilizzi acciaio comune. Infatti l'efficienza non varia significativamente se si usano lamiere di spessore compreso fra 5 e 10 mm. Per spessori inferiori a 2 mm invece l'efficienza si riduce in modo apprezzabile.
- Quanto più elevata è la conducibilità tanto migliore è l'efficienza schermante in quanto l'effetto aggiuntivo dovuto alle correnti indotte fornisce un contributo non trascurabile.
- L'efficienza di uno schermo magnetico è inoltre tanto maggiore quanto maggiore è la sua estensione e quanto più avvolge la sorgente di campo magnetico. Non va però trascurato l'effetto di concentrazione di campo lungo i bordi dello schermo dove il campo stesso può essere anche maggiore di quello iniziale.
- L'efficienza migliora col diminuire della distanza sorgente – schermo.

L'orientamento del campo inducente è importante: uno schermo ferromagnetico di forma piana reagisce solo alla componente del campo magnetico ad esso parallela. Pertanto diventa fondamentale, ai fini dell'efficienza dello schermo, studiarne accuratamente la posizione e la sagoma, oltre che la dimensione.

### **Comportamento e caratteristiche degli schermi conduttori**

Gli schermi conduttori agiscono invece attraverso un meccanismo totalmente diverso. In essi vengono indotte delle correnti parassite che a loro volta danno origine ad un campo magnetico che si oppone a quello inducente. L'impiego di materiali conduttori è particolarmente indicato quando si desidera ottenere significative riduzioni di campo non solo nelle immediate vicinanze della sorgente ma anche a distanze maggiori.

La loro efficienza schermante dipende poi da diversi parametri; in particolare:

Spessore ed efficienza di uno schermo conduttore sono legati tra di loro da una legge che, fino a certi valori di spessore, è lineare. Va comunque tenuto conto che una volta raggiunto lo spessore coincidente con la profondità di penetrazione delle correnti parassite (pari a circa 9 mm per il rame e 12 mm per l'alluminio), l'aumento dello spessore non comporta alcun miglioramento dell'efficienza schermante, ma solo un peso aggiuntivo dello schermo.

L'efficienza è tanto migliore quanto più elevata è la conducibilità. In teoria si dovrebbe pertanto preferire il rame all'alluminio; tuttavia, tenendo presente che la minore

efficienza dello schermo di alluminio può essere compensata da un maggior spessore dello schermo stesso, va valutata, caso per caso, la convenienza di impiegare l'uno o l'altro materiale.

L'efficienza di uno schermo conduttore è inoltre tanto maggiore quanto maggiore è la sua estensione. Determinante, comunque, è la possibilità pratica di estendere lo schermo in modo da avvolgere le linee di campo magnetico della principale sorgente.

L'efficienza aumenta col diminuire della distanza sorgente – schermo e con il miglioramento della continuità elettrica tra le varie parti elementari che lo costituiscono (per esempio saldatura piuttosto che connessione elettrica in treccia di rame).

L'orientamento del campo inducente è altrettanto importante. Uno schermo conduttore di forma piana reagisce infatti solo alla componente del campo magnetico ad esso normale. Pertanto diventa fondamentale, ai fini dell'efficienza dello schermo, studiare accuratamente la posizione e la sagoma, oltre che la dimensione.

### **Confronto tra schermi conduttori e schermi ferromagnetici**

La scelta del tipo di schermo dipende soprattutto dall'attenuazione del campo magnetico che si vuole ottenere e da altri fattori che influenzano i criteri di progettazione, quali il peso, le dimensioni e la facilità di posa in opera, il costo. Inoltre, la forma finale dello schermo può essere limitata da difficoltà pratiche di costruzione e spesso è possibile utilizzare solo una parte di quanto progettato. Questo problema sorge di solito quando l'apparecchiatura elettrica da schermare è già installata.

Al fine di definire alcune caratteristiche generali riguardanti i parametri che influenzano l'efficienza schermante, vengono qui ripresi alcuni risultati di studi illustrati nella letteratura tecnica. È stato studiato il problema attraverso il modello illustrato in Fig. II. Questo schema comprende un sistema trifase con neutro e quattro elementi schermanti (indicati con S1, S2, S3 ed S4). Le configurazioni degli schermi prese in esame sono state le seguenti:

- a) configurazione piana (presenza del solo elemento S1),
- b) configurazione a "forma di U" (utilizzando gli elementi S1, S2 e S3),
- c) configurazione a "scatola" (considerando tutti e 4 gli elementi schermanti).

Gli elementi schermanti sono costituiti da materiale conduttore o da materiale ferromagnetico. Per quanto riguarda lo schermo conduttore è stata considerata una conducibilità di circa 36 MS/m che simula le proprietà elettriche dell'alluminio puro. Per gli schermi ferromagnetici si è assunto una permeabilità relativa di alcune centinaia, facendo riferimento alla permeabilità iniziale della lega Fe-Si a cristalli non orientati (N.O.).

Sono stati considerati i seguenti parametri geometrici: distanza  $d$  fra la sorgente e lo schermo nel "range" di qualche centimetro; spessore  $s$  dello schermo nel "range" di qualche millimetro. Va sottolineato che lo spessore considerato si riferisce a schermi posizionati direttamente nell'intorno della sorgente, dove il volume del materiale è limitato. Ovviamente, nel caso di una schermatura su scala più ampia, lo spessore del foglio ferromagnetico è necessariamente più limitato.

Per ogni configurazione è stata calcolata la densità di flusso magnetico lungo le linee 1 e 2 di Fig. II.

Tutti i risultati sono stati normalizzati per il valore massimo di induzione ottenuto, lungo la linea di calcolo considerata, in assenza di schermo.

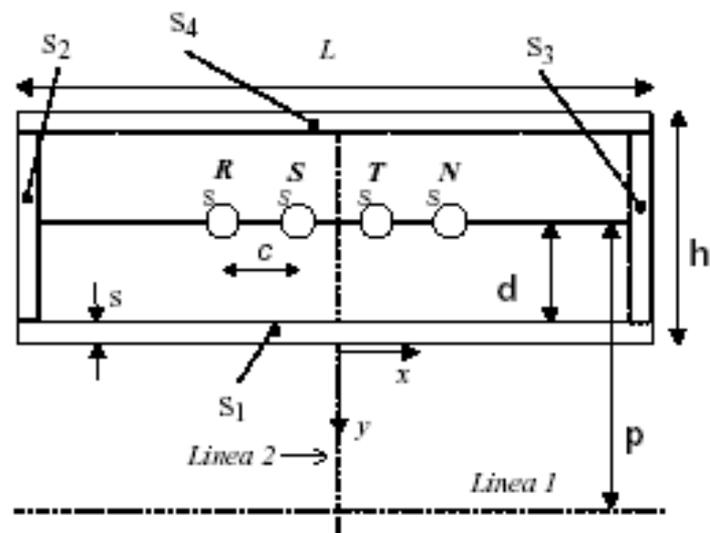
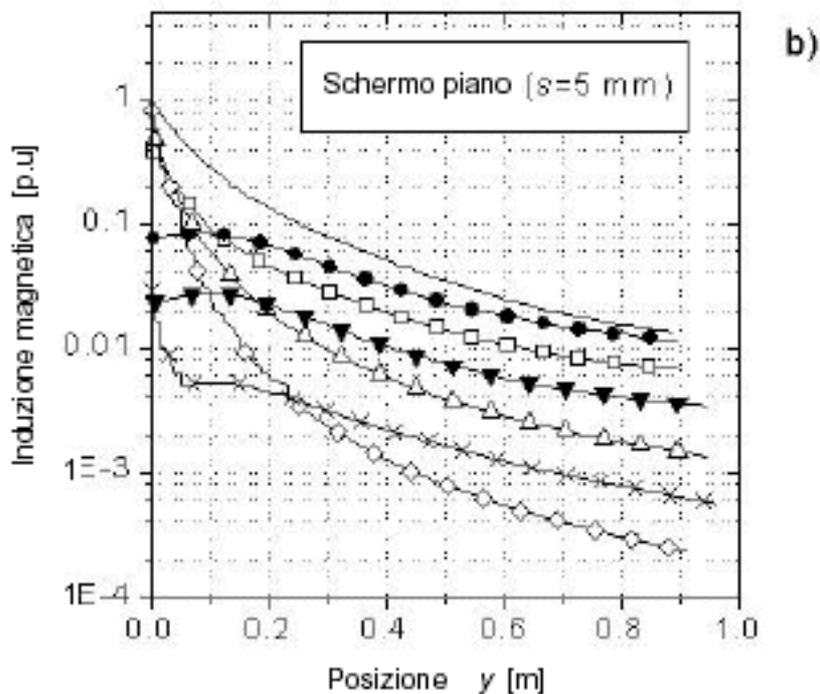
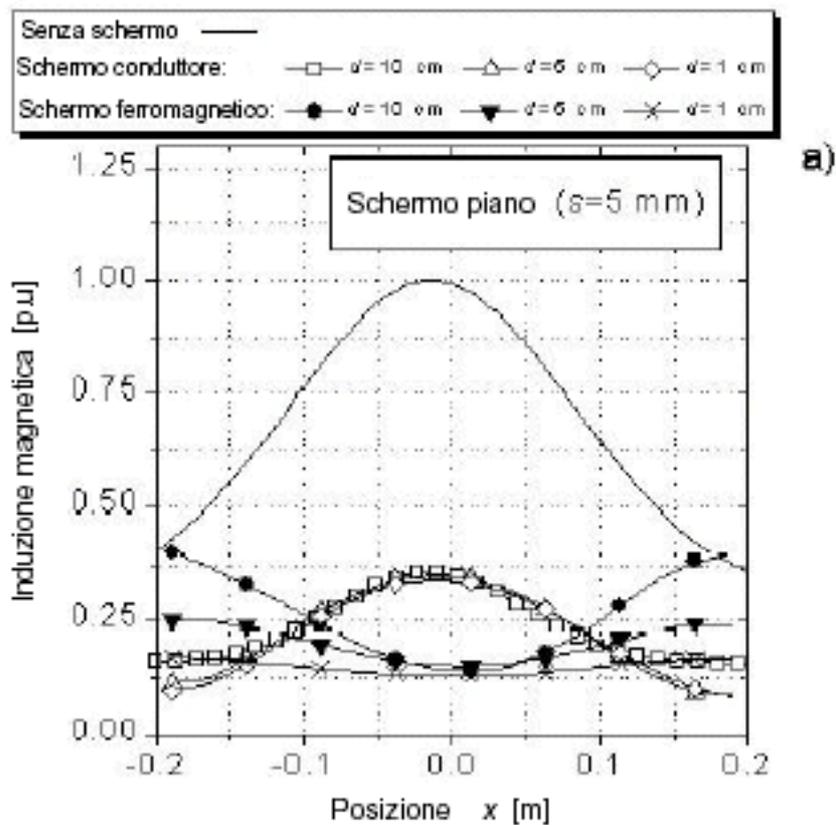


Fig. 11 – Modello utilizzato nello studio ( $c = 30 \text{ mm}$ ;  $p = 15 \text{ cm}$ ;  $L = 36 \text{ cm}$ ).

In Fig. 12 è riportato l'effetto della distanza  $d$  fra i conduttori e lo schermo piano, avendo fissato lo spessore dello schermo ( $s = 5 \text{ mm}$ ). Nel caso di materiale ferromagnetico il valore massimo della densità di flusso magnetico si raggiunge in prossimità dei bordi dello schermo; al decrescere della distanza  $d$  questi valori massimi si riducono (Fig. 12a); al contrario il parametro  $d$  non influenza, in modo apprezzabile, il valore della densità di flusso nella zona dietro lo schermo conduttore. L'andamento dei flussi lungo la linea 2 (ortogonale allo schermo) è illustrato nella Fig. 12b: da essa si nota che:

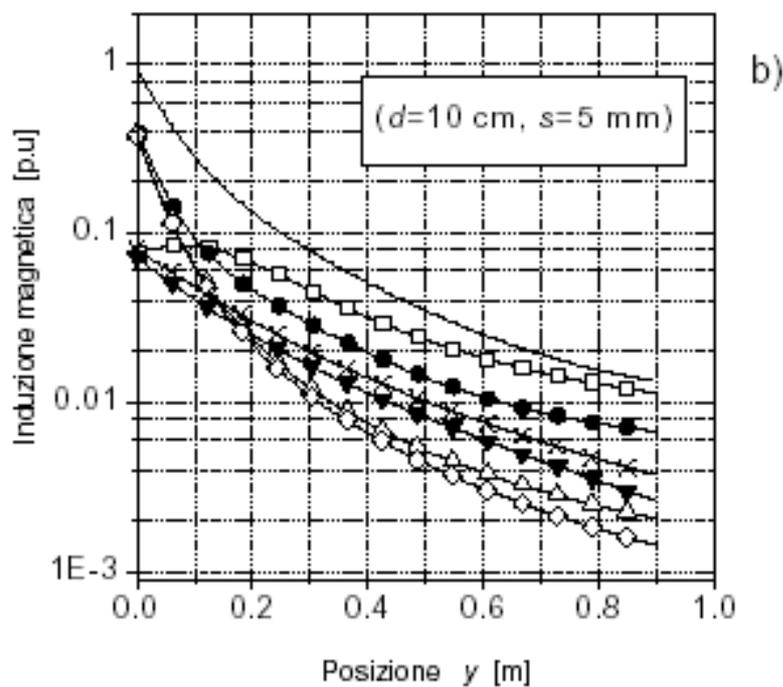
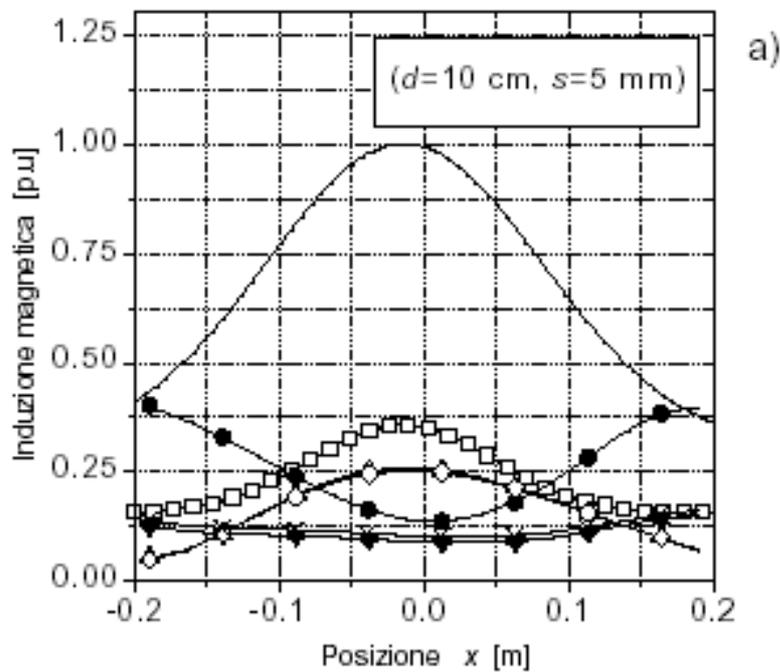
- nelle immediate vicinanze dello schermo (circa 10 cm), l'efficienza schermante dei materiali ferromagnetici è migliore di quella dei materiali conduttori;
- con il progressivo allontanamento dallo schermo (oltre ai 20 cm) i materiali conduttori hanno una efficienza migliore di quelli ferromagnetici.
- l'efficienza degli schermi (sia conduttori che ferromagnetici) decresce quando la distanza  $d$  aumenta.

Infine, in Fig. 13 viene mostrato l'effetto della sagoma dello schermo avendo fissato lo spessore ( $s = 5 \text{ mm}$ ) e la distanza fra conduttori e schermo ( $d = 10 \text{ cm}$ ). Da essa si può notare che lo schermo "ad U" e quello chiuso a "scatola", sia in materiale ferromagnetico che conduttore, sono le configurazioni più efficienti dal punto di vista della mitigazione del campo magnetico.



- a) Induzione magnetica lungo la linea 1 (posta ad una distanza  $P = 15$  cm dal piano di giacenza dei conduttori);
- b) Induzione magnetica lungo la linea 2.

Fig. 12 - Effetto della distanza  $d$  sull'efficienza di uno schermo piano ( $s = 5$  mm):



- a) Induzione magnetica lungo la linea 1 (posta ad una distanza  $P = 15$  cm dal piano di giacenza dei conduttori),  
 b) Induzione magnetica lungo la linea 2.

Fig. I3 - Effetto della sagoma dello schermo sull'efficienza degli schermi ( $s = 5$  mm,  $d = 10$  cm)