

Verifica sperimentale della schermatura dei campi magnetici a 50Hz

A cura di:

Cappellazzo Luca

Con la collaborazione di:

Dott. Ing. Roberto Piccin

EUROCEMIS - Ponzano Veneto (TV)

piccin@eurocemis.it

INDICE

1 INTRODUZIONE	Pag.5
1.1 Scopo della relazione	Pag.5
1.2 Descrizione materiale utilizzato per la schermatura	Pag.5
1.3 Strumentazione utilizzata	Pag.6
2 LEGISLAZIONE ESISTENTE RIGUARDANTE I LIMITI DI ESPOSIZIONE DELLA POPOLAZIONE ALLE ONDE ELETTROMAGNETICHE	Pag.7
2.1 Legislazione internazionale	Pag.7
2.2 Legislazione italiana	Pag.8
3 INFORMAZIONI TECNICHE E CENNI TEORICI	Pag.9
3.1 Introduzione: campo magnetico generato da linee elettriche	Pag.9
3.2 Algoritmo di calcolo per il campo magnetico emesso da linee elettriche	Pag.10
3.3 Caratteristiche dei materiali schermanti utilizzati	Pag.12

4 SVOLGIMENTO DELLA PROVA	Pag.14
4.1 Composizione dell'intera prova	Pag.14
4.2 Procedura di misura	Pag.16
5 RISULTATI OTTENUTI	Pag.16
5.1 Prova con 2 conduttori	Pag.17
5.1.1 Tabella del calcolo teorico dell'induzione magnetica senza schermatura	Pag.17
5.1.2 Grafico dell'andamento dell'induzione magnetica tra i valori calcolati ed i valori rilevati	Pag.17
5.1.3 Tabella delle rilevazioni dell'induzione magnetica con e senza schermatura	Pag.18
5.1.4 Grafico dell'andamento dell'induzione magnetica con e senza schermatura	Pag.18
5.1.5 Grafico del fattore di attenuazione percentuale	Pag.19
5.2 Prova con 1 conduttore	Pag.20
5.2.1 Tabella del calcolo teorico dell'induzione magnetica senza schermatura	Pag.20
5.2.2 Grafico dell'andamento dell'induzione magnetica tra i valori calcolati ed i valori rilevati	Pag.20
5.2.3 Tabella delle rilevazioni dell'induzione magnetica con e senza schermatura	Pag.21

5.2.4 Grafico dell'andamento dell'induzione magnetica con e
senza schermatura Pag.21

5.2.5 Grafico del fattore di attenuazione percentuale Pag.22

6 CONCLUSIONI Pag.23

1 INTRODUZIONE

1.1 SCOPO DELLA RELAZIONE

Lo scopo del lavoro, focalizzato sulla frequenza industriale a 50 Hz, è lo studio del comportamento di lastre magnetico-conduttive, comunemente reperibili sul mercato, usate come schermatura di campi magnetici generati da linee elettriche. I risultati di un'analisi sperimentale, eseguita con un *setup* di laboratorio specificatamente realizzato per tale studio, sono stati confrontati con le soluzioni di un modello numerico al fine di ottenere una migliore comprensione dei fenomeni fisici che sono alla base della mitigazione e al fine di validare i modelli numerici previsionali dell'efficienza schermante.

1.2 DESCRIZIONE MATERIALE UTILIZZATO PER LA SCHERMATURA

Per lo svolgimento della prova sono state utilizzate due lastre di spessore 0.8mm con dimensione di 2m di lunghezza e 1m di larghezza ciascuna, una puramente conduttrice, alluminio, ed una ferromagnetica, ferro.

Queste lastre schermano il campo magnetico creato dalla corrente passante per un cavo di tipo NO7V-K, non propagante l'incendio che rispetta la normativa CEI 20-22/3 del 1987, di sezione 6mm² e di diametro di circa 5mm.

1.3 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Per la realizzazione delle misure sono stati utilizzati i seguenti strumenti:



- Datalogger PMM8053 SN:0220J90703
- Sonda di campo magnetico ed elettrico EHP50B frequency range 5Hz to 100kHz SN:0110J90905
- Cavetto in fibra ottica



- Pinza amperometrica HIOKI modello 3280-10 SN:100121591

2 LEGISLAZIONE ESISTENTE RIGUARDANTE I LIMITI DI ESPOSIZIONE DELLA POPOLAZIONE ALLE ONDE ELETTROMAGNETICHE

2.1 LEGISLAZIONE INTERNAZIONALE

I limiti di base e i livelli di riferimento per i campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici nel campo di frequenza 0-300 GHz sono attualmente regolati, a livello europeo, dalla raccomandazione CE N°519 del 12/07/1999:

“Raccomandazione del Consiglio del 12 Luglio 1999, relativa alla limitazione dell’esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici da 0 Hz a 300 GHz”.

Tab a: Livelli di riferimento per i campi elettrici, magnetici, ed elettromagnetici (0 Hz÷300 GHz, valori efficaci) stabiliti dalla raccomandazione CE del 1999.

Intervallo di frequenza	Int. di campo elettrico (V/m)	Int. di campo magnetico (A/m)	Induzione magnetica (μ T)	Densità di potenza ad onda piana equivalente (W/m ²)
0-1 Hz	-	$3,2 \times 10^4$	4×10^4	-
1-8 Hz	10.000	$3,2 \times 10^4/f^2$	$4 \times 10^4/f^2$	-
8-25 Hz	10.000	$4.000/f$	$5.000/f$	-
0,025-0,8 kHz	250/f	4/f	5/f	-
0,8-3 kHz	$250/f$	5	6,25	-
3-150 kHz	87	5	6,25	-
0,15-1 MHz	87	$0,73/f$	$0,92/f$	-
1-10 MHz	$87/f^{1/2}$	$0,73/f$	$0,92/f$	-
10-400 MHz	28	$28 \cdot 0,073$	0,092	2
400-2.000 MHz	$1,375 \times f^{1/2}$	$0,0037 \times f^{1/2}$	$0,0046 \times f^{1/2}$	$f/200$
2-300 GHz	61	0,16	0,20	10

2.2 LEGISLAZIONE ITALIANA

Il 14 febbraio 2001 è stata approvata la Legge Quadro n° 36 sulla protezione di lavoratori e popolazione dalle esposizioni ai Campi Elettrici, Magnetici ed Elettromagnetici (frequenze comprese tra 0 e 300 GHz).

Per la frequenza di rete (50 Hz), il Decreto attuativo di tale Legge è stato emanato il giorno 8 luglio 2003 (Gazzetta Ufficiale del 29 agosto 2003); i limiti sono di 100 μT per l'Induzione Magnetica e 5 kV/m per il Campo Elettrico per permanenze inferiori a 4 ore giornaliere; di 10 μT per l'Induzione Magnetica e 5 kV/m per il Campo Elettrico per permanenze uguali o superiori a 4 ore giornaliere in edifici già esistenti e di 3 μT per l'Induzione Magnetica e 5 kV/m per il Campo Elettrico per permanenze uguali o superiori a 4 ore giornaliere in edifici da costruirsi.

In alcune Regioni d'Italia sono poi presenti delle Leggi Regionali. Si cita la Legge della Regione Veneto n° 27 del 30-06-1993 "Prevenzione dei danni derivanti dai Campi Elettromagnetici da elettrodotti", la quale fissa i seguenti limiti:

Il Campo Elettrico misurato all'esterno delle abitazioni e dei luoghi di abituale prolungata permanenza, a 1.5 m da terra, non deve superare il valore di 0.5 kV/m e l'Induzione Magnetica non deve superare il valore di 0.2 μT .

3 INFORMAZIONI TECNICHE E CENNI TEORICI

3.1 INTRODUZIONE: CAMPO MAGNETICO GENERATO DA LINEE ELETTRICHE

Un qualsiasi conduttore percorso da corrente genera intorno a sé un *campo magnetico*.

Poiché la corrente può variare nell'arco della giornata, della settimana o dell'anno a seconda della richiesta di energia da parte dell'utenza, anche l'intensità del campo magnetico varia di conseguenza.

La disposizione geometrica dei conduttori nello spazio e la loro distanza reciproca, l'altezza dei conduttori e la distanza del punto di valutazione da essi hanno influenza sul campo magnetico.

Nel caso di un solo conduttore rettilineo (vedi figura 1.0) le linee di forza del campo magnetico prodotto sono circonferenze concentriche, poste su piani perpendicolari all'asse del filo; il loro verso, che dipende dal senso di percorrenza della corrente, è stabilito dalla regola del *cavatappi*.

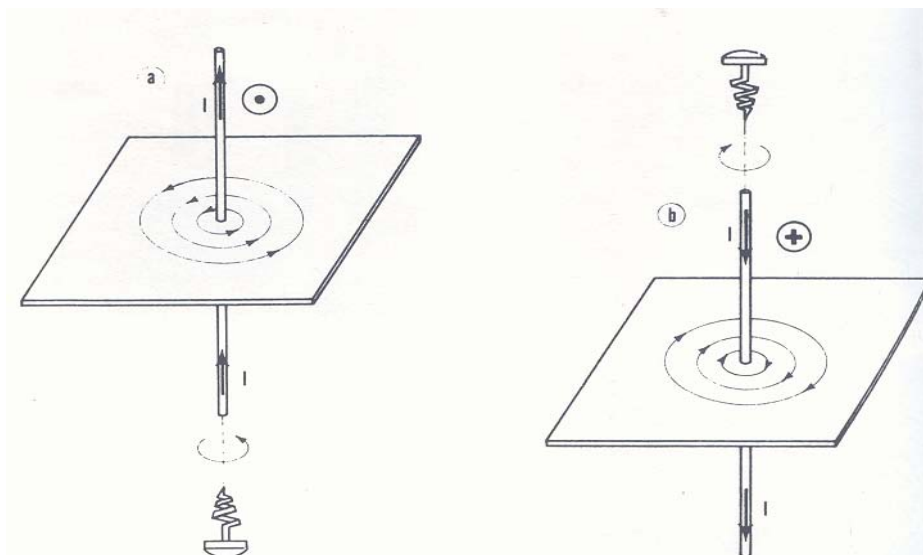


Figura 1.0: Campo magnetico prodotto da un conduttore percorso da corrente; il verso delle linee di forza è quello in cui occorre girare il cavatappi per farlo avanzare nel senso della corrente.

Considerando due conduttori rettilinei e paralleli percorsi da correnti in senso contrario le linee di forza avranno il seguente andamento (vedi figura 1.1).

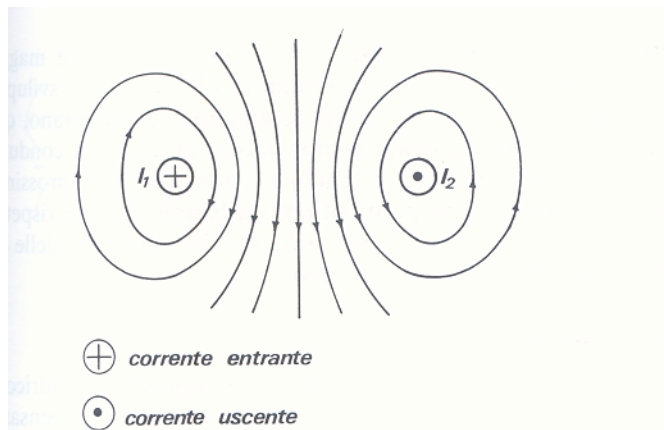


Figura 1.1: Campo magnetico prodotto da due conduttori rettilinei percorsi da corrente in senso contrario.

3.2 ALGORITMO DEL CALCOLO PER IL CAMPO MAGNETICO EMESSO DA LINEE ELETTRICHE

Attraverso alcuni semplici e rapidi algoritmi possiamo valutare con approssimazione accettabile il valore del vettore induzione magnetica in punti posti a distanza r dalla sorgente.

Questo può essere di particolare importanza nelle valutazioni a priori, ad esempio quando si voglia valutare la variazione di induzione dovuta a modifiche o potenziamento degli impianti, o a una ricollocazione delle tratte, e la conseguente entità di una schermatura.

Si faccia attenzione al fatto che nelle formule che seguono, l'induzione magnetica B viene misurata in microtesla (μT), le correnti I in Ampère (A), le distanze r in metri (m). Naturalmente B e I vanno intesi come valori efficaci.

- INTENSITA' DI CAMPO MAGNETICO PER UN CONDUTTORE SINGOLO

$$H = I / (2\pi r) \quad [\text{A/m}]$$

- INDUZIONE MAGNETICA PER UN CONDUTTORE SINGOLO

L'induzione generata da un conduttore rettilineo di lunghezza infinita, percorso dalla corrente I , decresce in ragione inversa alla distanza, secondo l'espressione:

$$B = \mu_0 \cdot H = (\mu_0 \cdot I) / (2\pi r) \quad [\text{N}/(\text{A} \cdot \text{m}) = \text{T}]$$

μ_0 = Permeabilità magnetica del vuoto = $4\pi 10^{-7} \text{ [N/A}^2]$

Dove esprimendo $\mu_0/2\pi$ uguale a $0.2 \cdot 10^{-6}$, possiamo riscrivere l'espressione di induzione magnetica come:

$$B = 0.2 \cdot (I/r) \quad [\mu\text{T}]$$

- INDUZIONE MAGNETICA IN UNA COPPIA DI CONDUTTORI

Nel caso di una coppia di conduttori rettilinei e paralleli, percorsi da corrente in opposizione di fase (ad esempio la rete di alimentazione domestica, dove i conduttori sono separati da una distanza d piccola rispetto alla distanza di osservazione r) l'induzione B diminuisce come l'inverso del quadrato della distanza r :

$$B = 0.2 \cdot (I \cdot d) / r^2 \quad [\mu\text{T}]$$

d = Distanza tra i conduttori

3.3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI SCHERMANTI UTILIZZATI

Le proprietà schermanti dei materiali sono caratterizzate considerando l'efficienza di schermatura definita dal rapporto dei valori di campo magnetico in assenza ed in presenza dello schermo: (*Shielding factor*) $SF=B_o/B_s$. L'efficienza di schermatura per uno schermo piano e infinito può essere espressa come la somma dei tre coefficienti R, B ed A i quali tengono conto rispettivamente della riflessione (R,B) e dell'assorbimento (A).

A frequenza industriale l'efficienza di schermatura dipende essenzialmente dal coefficiente A.

Sono disponibili due modalità di schermatura che utilizzano rispettivamente l'alta permeabilità dei materiali ferromagnetici (*flux shunting*) e la conducibilità di materiali conduttori (*eddy currents cancellation*).

Il sistema "*eddy currents cancellation*" è predominante nell'utilizzo di lamine di materiale conduttore come l'alluminio o il rame. Il campo magnetico esterno crea per induzione una corrente parassita la quale genera un campo magnetico che tende a ostacolare il campo esterno. Questo sistema risulta efficace quando il campo magnetico esterno incide lo schermo con un angolo elevato.

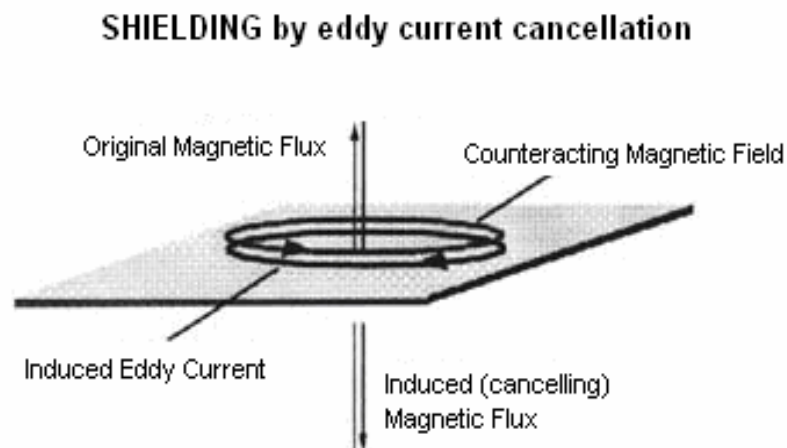


Figura 1.2: Eddy currents cancellation

L'utilizzo di materiali ferromagnetici risulta efficace quando le linee di flusso del campo magnetico incidono lo schermo con angolo piccolo (parallelo). L'alta permeabilità del ferro e di altri materiali appositamente costruiti (Mu Metal, Sckudotech) crea un effetto di canalizzazione dei campi magnetici deviandoli dal loro naturale "percorso".

I materiali più indicati sono quelli con elevatissima permeabilità magnetica; in base al rapporto costo benefici, anche il ferro risulta adatto per queste applicazioni.

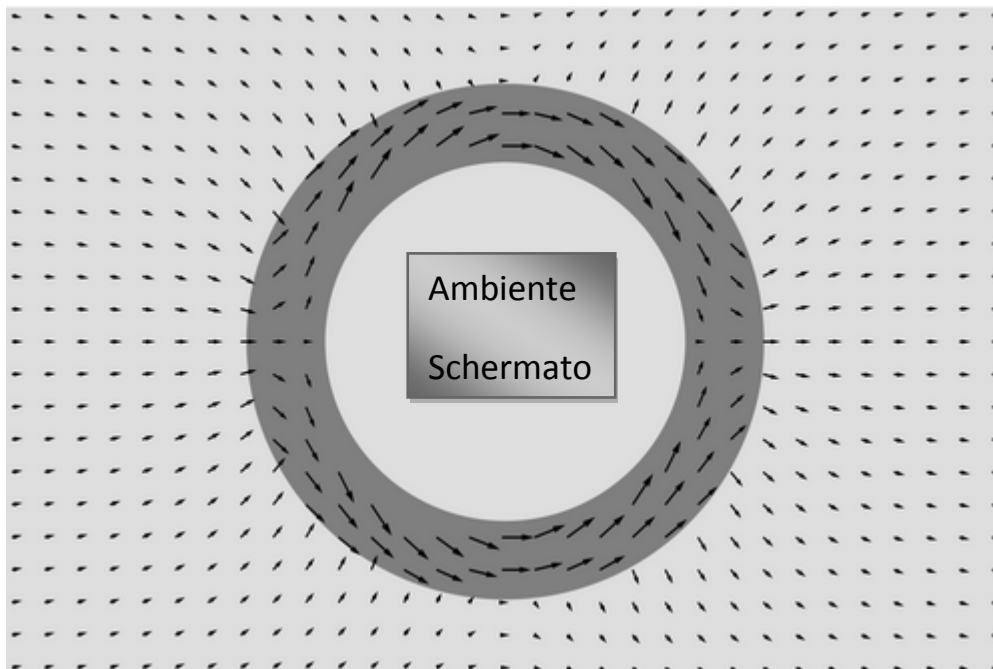


Figura 1.3: effetto dei materiali ferromagnetici sul campo di induzione magnetica.

Tab b: *Tabella delle caratteristiche dei materiali usati come schermatura.*

Materiale	Conducibilità elettrica σ [S/m]	Permeabilità relativa
Ferro	$1 \cdot 10^7$	5000-180000
Alluminio	$3,8 \cdot 10^7$	/

4 SVOLGIMENTO PROVA

4.1 COMPOSIZIONE DELL'INTERA PROVA

In questa esperienza è stato studiato, a 230 V, il comportamento dell'induzione magnetica di un singolo conduttore (Fase) e di una coppia di conduttori (Fase + Neutro) attraversati ad una corrente di circa 16A.

Per avere tale corrente è stato applicato un carico formato da 4 stufe inserite tra loro in parallelo di potenza: 1°stufa formata da 2 moduli da 750 W ciascuno; 2°e 3° stufa formate da un modulo da 750 W; 4° stufa formata invece da un modulo da 600 W, per un totale di 3,6 kW.

I conduttori sono appoggiati a terra distanti tra loro 10cm, la lastra invece poggia su uno spessore di legno alto 4cm da terra ed è disposta parallelamente ai conduttori (vedi figura 2.0). La sonda di campo magnetico è fissata ad un supporto mobile che scorre in verticale, e perpendicolarmente ai conduttori, su un'asta graduata da un'altezza minima di 26cm (si considerano sempre altezze rispetto terra) e con uno step di 5cm fino a raggiungere un'altezza di 106cm (vedi figura2.1).

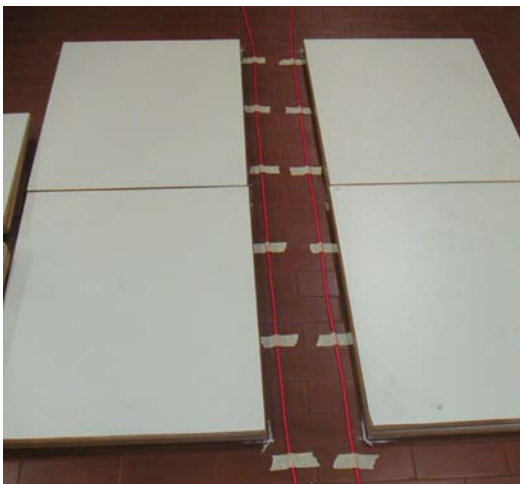


Figura 2.0: Coppia di conduttori con affianco lo spessore di legno su cui appoggia la lastra schermante.

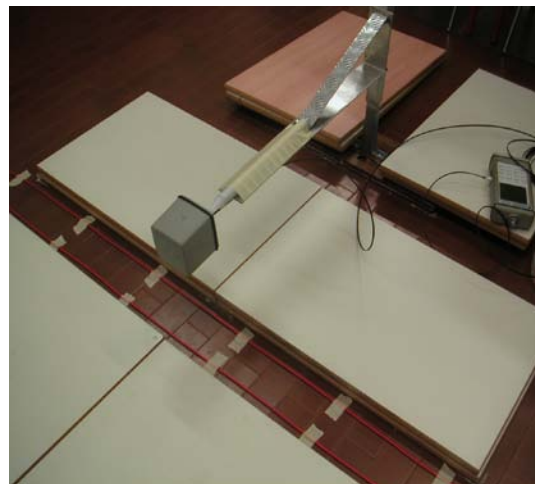


Figura 2.1: Sonda di campo magnetico che scorre perpendicolarmente ai conduttori.

Nella prova con un solo conduttore il filo è sempre appoggiato a terra e posto equidistante dagli spessori di legno (vedi figura 2.2).

La sonda lavora nello stesso modo della prova precedente.

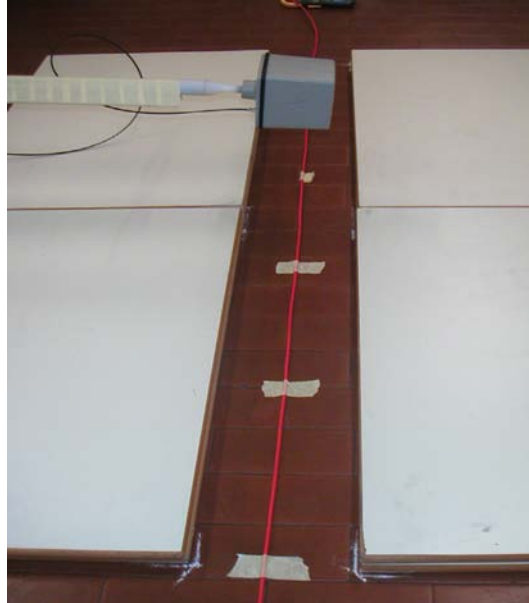


Figura 2.2: Singolo conduttore con sonda di campo magnetico che scorre perpendicolarmente ad esso.

Come si vede dalla figura 2.3 la sonda è posizionata al centro delle diagonali del rettangolo della lastra schermante.

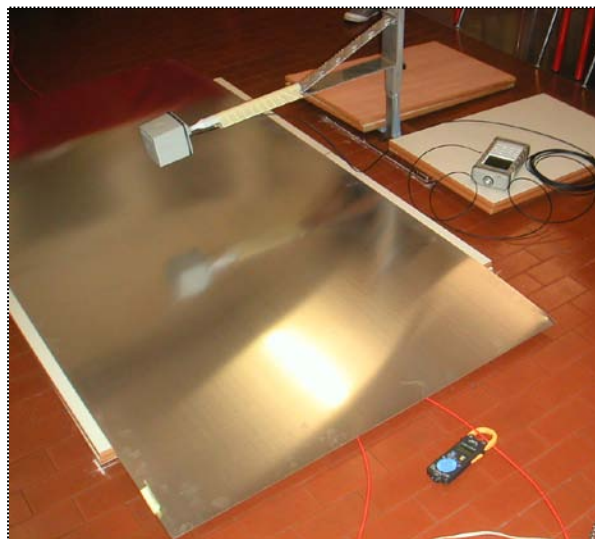


Figura 2.3: Lastra schermante e sonda che si muove perpendicolarmente al centro di essa.

4.2 PROCEDURA DI MISURA

Per la misurazione dell'induzione magnetica con e senza lastre si è partiti da un'altezza minima di 0.26m e si è scelto di allontanare la sonda dal conduttore con intervalli di 0.05m, per le prime rilevazioni, e di 0.10m quando il valore B cominciava a diventare lineare, fino ad un'altezza di 1.06m.

Prima di misurare l'efficacia schermante (RF%) (vedi formula sotto), si è testata la metodologia proposta in questo lavoro confrontando il campo magnetico nella vicinanza di una linea monofase usando due metodi: il primo metodo consisteva nel calcolare il campo magnetico applicando l'equazione mentre il secondo consisteva nel misurare il campo magnetico senza l'uso di nessuna schermatura.

Quindi successivamente sono state rifatte le misure con le lastre schermanti, prima ferro e poi alluminio. Tutto ciò è stato ripetuto in una prima prova prendendo in esame due conduttori (5.1) e in quella successiva considerando solo un conduttore (5.2).

5 RISULTATI OTTENUTI

Di seguito si riporteranno i valori di induzione magnetica calcolati/misurati e si confronterà il loro andamento con la distanza dal conduttore in esame. Inoltre per valutare l'efficacia della lastra schermante, il fattore di riduzione di campo magnetico (RF%) è definito come:

$$RF\% = 100 * ((B_o - B) / B_o)$$

Dove B_o è l'intensità di campo magnetico in qualsiasi punto dello spazio dove lo scudo schermante non è presente, e B è l'intensità di campo magnetico nello stesso punto dove lo scudo è presente. Se a causa dello scudo, il campo magnetico è ridotto, il valore del fattore di riduzione sarà positivo, ma se c'è un incremento del campo magnetico, questi valori dovrebbero essere negativi.

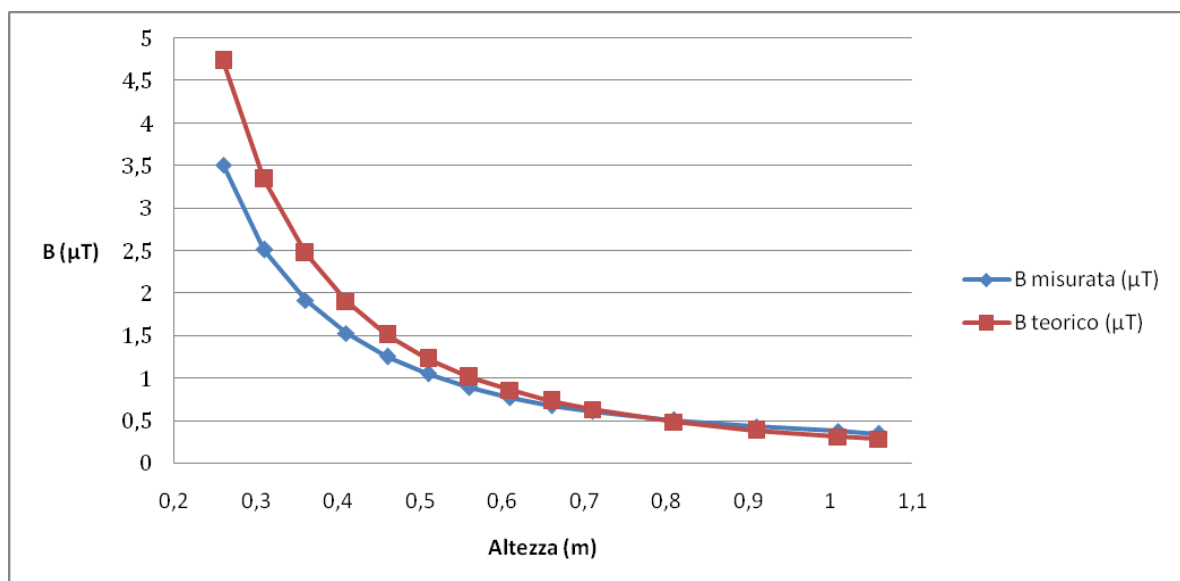
5.1 PROVA CON DUE CONDUTTORI

5.1.1 TABELLA DEL CALCOLO TEORICO DELL'INDUZIONE MAGNETICA SENZA SCHERMATURA

La formula dell'induzione usata è: $B=0.2*(I*d)/r^2$ [μT]

Altezza (m)	Corrente (A)	B teorico (μT)	B misurata (μT)
0,26	16	4,733	3,511
0,31	16,05	3,34	2,516
0,36	16,04	2,475	1,919
0,41	16,01	1,904	1,527
0,46	16	1,512	1,256
0,51	15,98	1,228	1,053
0,56	15,96	1,017	0,894
0,61	15,98	0,858	0,774
0,66	15,96	0,732	0,682
0,71	15,98	0,634	0,611
0,81	15,98	0,487	0,507
0,91	16,02	0,386	0,431
1,01	16,01	0,313	0,377
1,06	16,01	0,287	0,343

5.1.2 GRAFICO DELL'ANDAMENTO DELL'INDUZIONE MAGNETICA TRA I VALORI CALCOLATI E I VALORI RILEVATI

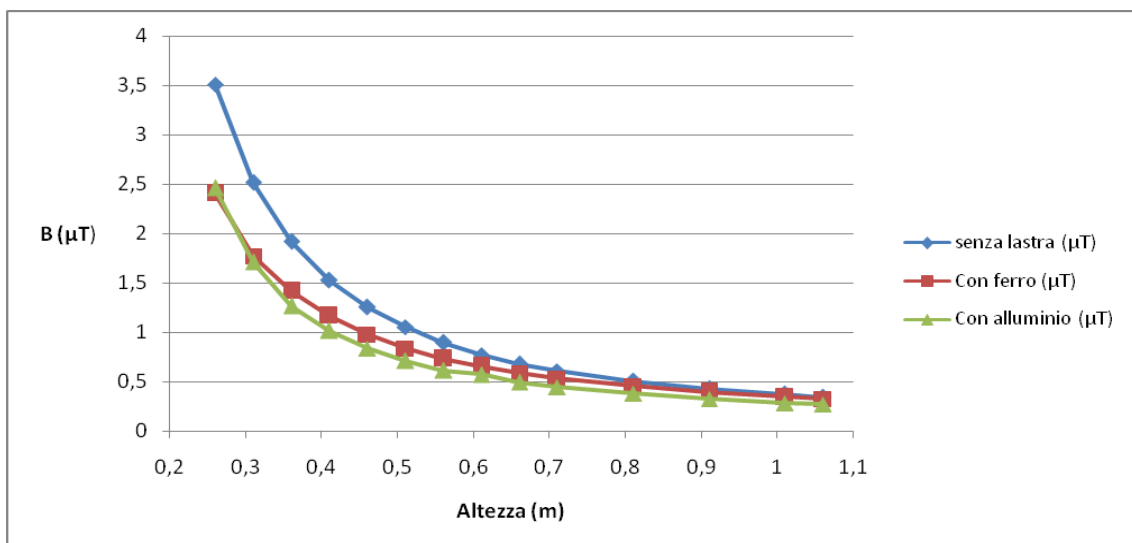


Si può notare come il B teorico si differenzi da quello misurato soprattutto a distanze ravvicinate ai conduttori (fino a 0.36m), ma alzandoci d'altezza le due curve sono molto simili.

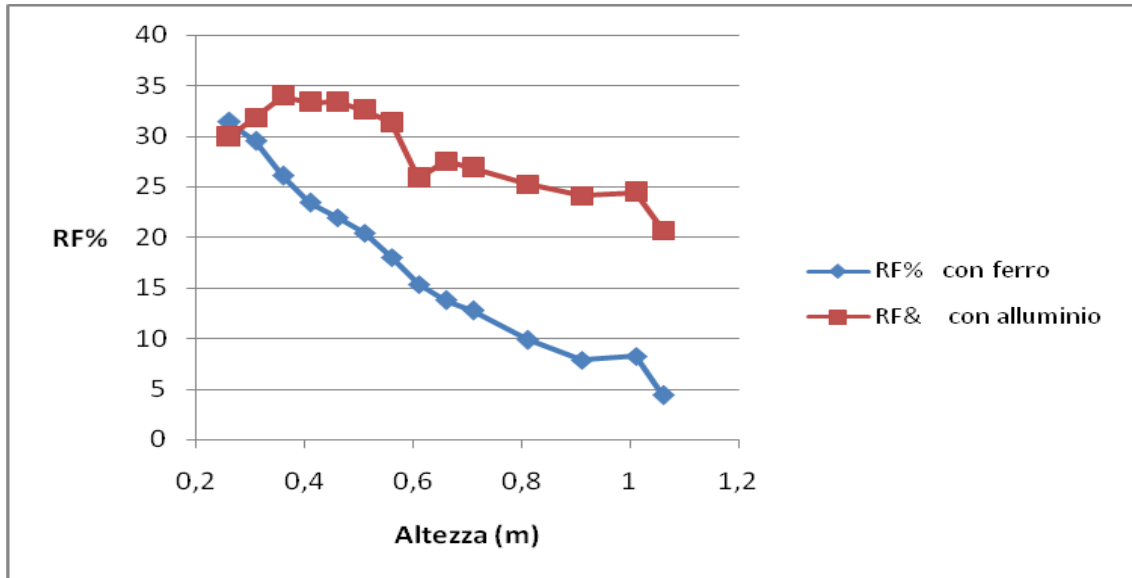
5.1.3 TABELLA DELLE RILEVAZIONI DELL'INDUZIONE MAGNETICA CON E SENZA SCHERMATURA

Altezza (m)	senza lastra (μT)	Con ferro (μT)	Con alluminio (μT)	RF% con ferro	RF& con alluminio
0,26	3,511	2,409	2,462	31,39	29,88
0,31	2,516	1,773	1,714	29,53	31,88
0,36	1,919	1,419	1,268	26,06	33,92
0,41	1,527	1,169	1,018	23,44	33,33
0,46	1,256	0,98	0,837	21,97	33,36
0,51	1,053	0,838	0,71	20,42	32,57
0,56	0,894	0,733	0,614	18,01	31,32
0,61	0,774	0,655	0,574	15,37	25,84
0,66	0,682	0,588	0,494	13,78	27,57
0,71	0,611	0,533	0,447	12,77	26,84
0,81	0,507	0,457	0,379	9,86	25,25
0,91	0,431	0,397	0,327	7,89	24,13
1,01	0,377	0,346	0,285	8,22	24,40
1,06	0,343	0,328	0,272	4,37	20,70

5.1.4 GRAFICO DELL'ANDAMENTO DELL'INDUZIONE MAGNETICA CON E SENZA SCHERMATURA



5.1.5 GRAFICO DEL FATTORE D'ATTENUAZIONE PERCENTUALE



Dal grafico si ricavano le seguenti indicazioni:

- Valore medio di attenuazione del ferro = 17.4%
- Valore minimo di attenuazione del ferro = 4.4%
- Valore massimo di attenuazione del ferro = 31.4%

- Valore medio di attenuazione dell'alluminio = 28.6%
- Valore minimo di attenuazione dell'alluminio = 20.7%
- Valore massimo di attenuazione dell'alluminio = 33.9%

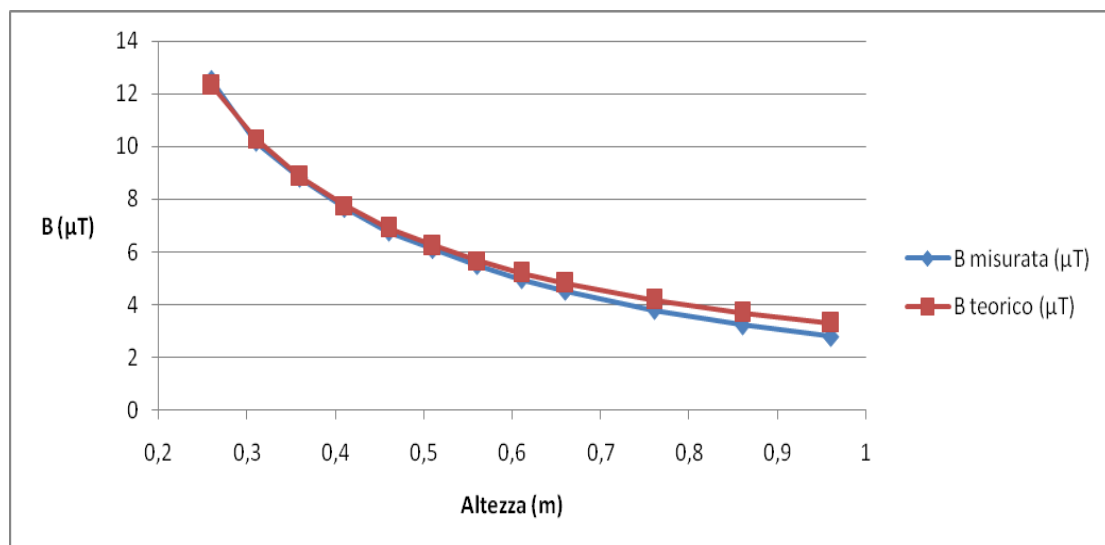
5.2 PROVA CON UN CONDUTTORE

5.2.1 TABELLA DEL CALCOLO TEORICO DELL'INDUZIONE MAGNETICA SENZA SCHERMATURA

La formula dell'induzione usata è: $B=0.2*(I/r)$ [μT]

Altezza (m)	Corrente (A)	B teorico (μT)	B misurata (μT)
0,26	16	12,307	12,5
0,31	15,95	10,29	10,18
0,36	15,94	8,855	8,81
0,41	15,92	7,765	7,663
0,46	15,91	6,917	6,774
0,51	15,92	6,243	6,106
0,56	15,9	5,678	5,493
0,61	15,9	5,213	4,962
0,66	15,9	4,818	4,526
0,76	15,89	4,181	3,786
0,86	15,85	3,686	3,224
0,96	15,84	3,3	2,786

5.2.2 GRAFICO DELL'ANDAMENTO DELL'INDUZIONE MAGNETICA TRA I VALORI CALCOLATI ED I VALORI RILEVATI

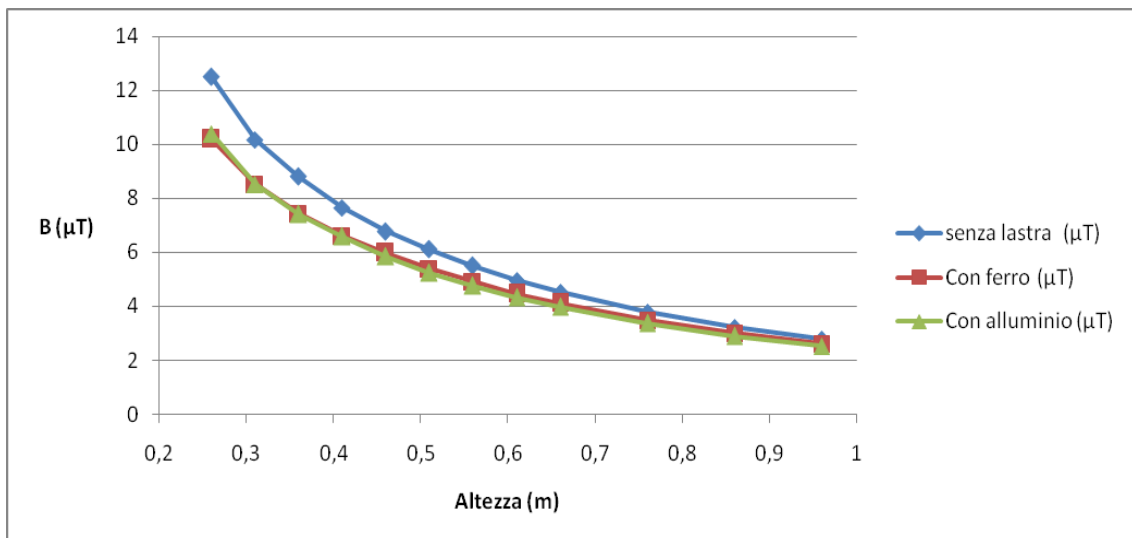


In questo caso avendo un campo magnetico creato da un solo conduttore i valori di B , calcolato e misurato, sono molto simili.

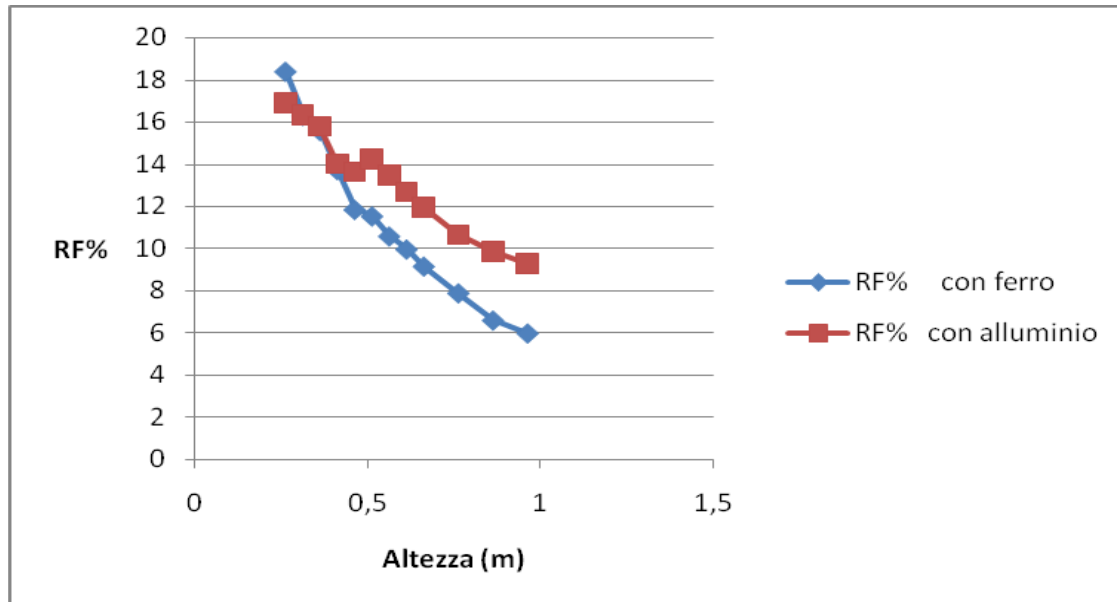
5.2.3 TABELLA DELLE RILEVAZIONI DELL'INDUZIONE MAGNETICA CON E SENZA SCHERMATURA

Altezza (m)	senza lastra (μT)	Con ferro (μT)	Con alluminio (μT)	RF% con ferro	RF% con alluminio
0,26	12,5	10,2	10,39	18,40	16,88
0,31	10,18	8,52	8,521	16,31	16,30
0,36	8,81	7,436	7,421	15,60	15,77
0,41	7,663	6,61	6,591	13,74	13,99
0,46	6,774	5,971	5,852	11,85	13,61
0,51	6,106	5,401	5,238	11,55	14,22
0,56	5,493	4,911	4,755	10,60	13,44
0,61	4,962	4,467	4,334	9,98	12,66
0,66	4,526	4,111	3,986	9,17	11,93
0,76	3,786	3,487	3,383	7,90	10,64
0,86	3,224	3,011	2,907	6,61	9,83
0,96	2,786	2,619	2,528	5,99	9,26

5.2.4 GRAFICO DELL'ANDAMENTO DELL'INDUZIONE MAGNETICA CON E SENZA SCHERMATURA



5.2.5 GRAFICO DEL FATTORE D'ATTENUAZIONE PERCENTUALE



Dal grafico si ricavano le seguenti indicazioni:

- Valore medio di attenuazione del ferro = 11.5%
- Valore minimo di attenuazione del ferro = 6.0%
- Valore massimo di attenuazione del ferro = 18.4%

- Valore medio di attenuazione dell'alluminio = 13.2%
- Valore minimo di attenuazione dell'alluminio = 9.3%
- Valore massimo di attenuazione dell'alluminio = 16.9%

6 CONCLUSIONI

Per quanto concerne il campo magnetico le prestazioni di un dispositivo schermante dipendono da:

- Scelta del materiale
- Spessore dello schermo
- Distanza schermo-sorgente

Dall'attività eseguita in laboratorio si possono fare le seguenti considerazioni:

- E' stato dimostrato che una lastra di materiale schermante non costoso, come il ferro o l'alluminio, può essere usata per schermare il campo magnetico creato da una linea di potenza monofase.
- I valori teorici generati da una linea monofase sono molto vicini a quelli effettivamente misurati in questa esperienza.
- Le misure realizzate evidenziano che con l'uso di una lastra di materiale ferromagnetico ad alta permeabilità magnetica come il ferro, spessore 0,8mm posto ad un'altezza di 4cm dalla sorgente, il valore di campo magnetico viene ridotto approssimativamente di un fattore del 17% con picco maggiore, all'incirca 31%, ad altezza ravvicinata. Usando la lastra di materiale puramente conduttore come l'alluminio, sempre spessore 0.8mm posto ad un'altezza di 4cm, il valore di campo magnetico viene ridotto approssimativamente di un fattore del 29% con picco maggiore, all'incirca 34%, ad altezza ravvicinata.
- Degno di nota il comportamento del ferro che, alla distanza più ravvicinata (0.26m), risulta avere più attenuazione rispetto l'alluminio, ma allontanandoci dalla sorgente tende ad avere un fattore di attenuazione minore a quello dell'alluminio, che ha un andamento più costante.
- Con questa prova sperimentale si può notare anche la differenza di campo magnetico generato da un singolo conduttore e da due conduttori paralleli distanti 10cm. Dai dati raccolti si evidenzia il maggior livello di induzione magnetica creata da un solo conduttore, di conseguenza possiamo dire che nel caso di due conduttori percorsi da correnti inverse i rispettivi campi magnetici, in parte, si compensano.
- Da quanto misurato il valore medio di attenuazione del ferro, in questo caso, è circa dell'11-12% con picco massimo, ad altezza ravvicinata, del 18%; mentre per quanto riguarda l'alluminio il suo valore medio di

attenuazione è di circa il 13% con picco massimo, ad altezza ravvicinata, del 17%.

- Anche in questa prova il ferro inizialmente (a 0.26m) attenua di più dell'alluminio, ma allontanandoci dalla sorgente l'alluminio reagisce meglio al campo magnetico avendo un fattore di attenuazione medio maggiore a quello del ferro.
- Come possiamo notare dai dati ottenuti e dalle considerazioni fatte, le lastre hanno maggiore forza schermante nel caso di due conduttori paralleli.

Complessivamente i risultati sperimentali evidenziano il miglior comportamento della lastra in alluminio che, a fronte di un ridotto costo d'acquisto, di relativa leggerezza e di una buona facilità di lavorazione, permette di ottenere sensibili attenuazioni dei campi magnetici.