

# Campi magnetici a bassa frequenza (50 Hz) in ambiente lavorativo. Gli uffici: individuazione, principali sorgenti e contromisure

G. Grandi<sup>1</sup>, A. Santi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Università degli Studi di Bologna - Dip. di Ingegneria Elettrica

<sup>2</sup> Ausilio S.r.l. - Igiene Industriale ed Ambientale

## Introduzione

Recenti scoperte ed indagini epidemiologiche inerenti le alterazioni provocate dai campi magnetici a bassa frequenza sull'uomo, per esposizioni di lungo periodo (vedi Appendice), hanno portato ad una estrema sensibilizzazione dell'opinione pubblica, grazie anche alla grande enfasi che i *mass media* hanno riservato a tali problematiche. Tutto ciò ha suggerito una enorme riduzione dei valori di campo magnetico "di attenzione" rispetto a quelli considerati pericolosi per esposizioni di breve periodo. A titolo esemplificativo, si pensi che la normativa italiana prevede attualmente valori limite di 100  $\mu\text{T}$  (microTesla) per quanto concerne gli effetti di breve periodo [1], mentre si parla di alcuni microTesla o addirittura di frazioni di microTesla (come previsto da alcune normative regionali [2]) come valore di soglia prudenziale per prevenire gli effetti di lungo periodo (\*) [3].

Gli effetti di lungo periodo sono legati ad esposizioni prolungate, nel senso sia di una parte significativa della giornata, sia di una parte significativa di giorni nel mese e di mesi nell'anno.

Gli ambienti di lavoro sono certamente luoghi di attenzione per quanto concerne una potenziale esposizione prolungata. In particolare, i lavoratori esposti per ragioni "non professionali" sono in tutto e per tutto assimilati alla popolazione per quanto concerne la normativa italiana. E' utile infatti ricordare la definizione di lavoratori esposti per ragioni professionali [4]: "tutti coloro che, operando nel settore della costruzione, esercizio, manutenzione, ecc. degli impianti, devono essere a conoscenza dei rischi legati all'esposizione ai campi elettromagnetici e sono periodicamente sottoposti a controlli sanitari in ottemperanza al D.Lgs. 626/94".

Un caso tipico di lavoratori potenzialmente esposti per ragioni "non professionali" è costituito dagli impiegati e da tutti coloro che svolgono mansioni di ufficio. La recente proliferazione di personal computer ha creato un certo allarmismo in molti addetti in quanto i monitor a tubo catodico, a tutt'oggi di gran lunga i più diffusi, costituiscono una sorta di cartina tornasole per i campi magnetici a bassa frequenza. Si ha infatti che, già in presenza di campi dell'ordine di 1  $\mu\text{T}$ , l'immagine del monitor presenta un fastidioso "sfarfallio" e, salendo con i valori del campo, addirittura una marcata deformazione. Ciò è dovuto ad una interazione (battimento) tra il campo magnetico esterno, alla frequenza di 50 Hz, ed il *refresh* (aggiornamento) del monitor, tipicamente a frequenze di 60÷85 Hz.

## Modalità di misura e di calcolo dei campi magnetici

A tutt'oggi sono svariati gli strumenti reperibili sul mercato per la misura dei campi magnetici. Si tratta di apparecchiature portatili che generalmente consentono misure di campo da frazioni di  $\mu\text{T}$  a centinaia di mT. Le sonde di misura sono per lo più isotrope, con la possibilità di individuare sia il valore efficace complessivo che le tre componenti spaziali del campo. La misura dei campi magnetici a 50 Hz risulta piuttosto agevole, in quanto la presenza dell'operatore in prossimità del sensore non altera il valore del campo, così come avviene invece nel caso di campi elettrici.

Per quanto concerne le metodologie di calcolo dei campi magnetici a bassa frequenza, le relazioni che vengono più spesso utilizzate, nel caso di conduttori filiformi di corrente, sono:

Legge della circuitazione magnetica: 
$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = i \quad (1)$$

Legge di Biot-Savart: 
$$\vec{H} = \frac{i}{4\pi} \oint \frac{d\vec{l} \times \hat{r}}{r^2} \quad (2)$$

La relazione (1) consente la determinazione del campo magnetico qualora ne sia qualitativamente nota la distribuzione nello spazio, il che avviene nel caso il problema presenti particolari condizioni di simmetria.

La relazione (2) è molto generale. Consente la determinazione analitica del campo nel caso la geometria del sistema non sia particolarmente complessa, risolvendo analiticamente l'integrale. Qualora la geometria del problema risulti eccessivamente complessa, l'integrale può comunque essere sempre calcolato per via numerica.

Nota(\*) Considerando i valori del campo espressi in microTesla, (1 Tesla = 1 Weber/m<sup>2</sup>) il riferimento è al *campo di induzione magnetica*, solitamente indicato con la lettera **B**, piuttosto che al *campo magnetico* vero e proprio, solitamente indicato con la lettera **H**. Il legame tra **B** ed **H** è espresso, nell'aria, dalla semplice relazione  $\vec{B} = \mu_0 \vec{H}$ , avendo indicato con  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Henry/m la permeabilità magnetica del vuoto.

## Principali sorgenti di campo magnetico

Le sorgenti di campo magnetico possono essere classificate come “interne” o “esterne” al fabbricato dove sono ubicati gli uffici, secondo la seguente tabella:

Sorgenti “interne”	Sorgenti “esterne”
<ul style="list-style-type: none"><li>● Cabine di trasformazione MT/BT nell’edificio</li><li>● Quadri elettrici</li><li>● Cavi e sbarre BT</li><li>● Impianti elettrici di illuminazione e servizio</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>● Cabine di trasformazione MT/BT adiacenti</li><li>● Illuminazione pubblica</li><li>● Elettrodotti</li></ul>

Nel seguito sono riportate, per ciascuna delle sorgenti indicate in tabella, la descrizione ed alcune semplici metodologie per la valutazione preliminare del campo magnetico prodotto nell’ambiente circostante. Il riferimento è al caso di regime sinusoidale permanente, con una rappresentazione delle grandezze in termini di valore efficace (\*\*).

### Cabine di trasformazione MT/BT

Accade talvolta che alcune cabine MT/BT private siano poste all’interno di edifici, o immediatamente a ridosso delle pareti laterali. In alcuni casi i trasformatori sono posti al piano terra ed al piano superiore sono dislocati uffici. Nella cabina sono solitamente alloggiati uno o più trasformatori MT/BT trifase e diversi sistemi di interruttori, sbarre e cavi per le necessarie connessioni elettriche.

Per quanto riguarda i trasformatori, nella tipica configurazione raffreddati in olio con cassone di contenimento, il calcolo del campo magnetico risulta piuttosto complesso ed articolato. Si tratta infatti di valutare la quota parte dei flussi dispersi che fuoriescono dalle pareti del cassone in ferro, che costituisce una vera e propria schermatura per il campo magnetico. Il problema si presenta con una geometria tipicamente tridimensionale, difficilmente schematizzabile e generalizzabile, vista le varie tipologie costruttive, funzioni anche della taglia del trasformatore. E’ possibile caso per caso approntare codici di calcolo più o meno sofisticati, ma l’approccio più seguito è quello delle misure sul posto.

In realtà si può verificare che la maggior parte del campo magnetico presente in prossimità delle cabine è prodotto dal sistema di cavi e sbarre che costituiscono le connessioni del lato BT, essendo per il lato BT molto rilevante il valore delle correnti (tipicamente 100÷2000 A). In tal caso può essere eseguito un calcolo piuttosto dettagliato sulla base della precedente relazione (2). Nella maggior parte dei casi tale calcolo deve essere sviluppato in forma numerica, vista la complessa disposizione geometrica di interruttori, sbarre e cavi.

Nel caso si possano individuare tronconi rettilinei di terne di conduttori complanari di lunghezza apprezzabile (sbarre o cavi unipolari), è possibile pervenire all’espressione semplificata:

terna di conduttori rettilinei complanari:  $B(d \gg h) = 0.2\sqrt{3} \frac{h I}{d^2} \quad [\mu T] \quad (3)$   
(linea trifase)

avendo indicato con “h” la distanza tra i conduttori e con “d” la distanza dal punto considerato. Tale relazione rappresenta una estrapolazione della (2) per  $d \rightarrow \infty$ , ossia per  $d \gg h$ , e verrà analizzata più dettagliatamente nel seguito.

### Cavi e sbarre BT

Sistemi di cavi e sbarre sono utilizzati per il collegamento delle utenze ai quadri elettrici, e dei cavi elettrici alla cabina. La posa dei cavi avviene solitamente in cunicoli e, sempre più frequentemente, sotto pavimenti galleggianti. I valori più elevati di corrente, e quindi di campo magnetico, si riscontrano nelle grosse utenze, che sono tipicamente trifase. Come ben rappresentato dalla relazione (3), il campo è direttamente proporzionale alla distanza tra i conduttori. L’impiego di cavi multipolari, raggruppando questi in modo serrato le tre fasi, comporta quindi una bassissima dispersione di campo magnetico. L’impiego di cavi unipolari, (uno per ciascuna fase), comporta per contro un miglior raffreddamento e più agevoli condizioni di posa, vista la maggior flessibilità dei cavi singoli rispetto a quelli multipli. In questo caso, compatibilmente con problematiche termiche e di sicurezza elettrica, per ridurre le emissioni di campo magnetico, i cavi devono essere ben raggruppati tra loro. Anche l’eventuale conduttore neutro deve essere ravvicinato con le fasi, essendo questi percorso da corrente nel caso frequente vi siano utenze monofasi (fase-neutro) complessivamente squilibrate.

Nota(\*\*) In queste ipotesi è forse utile sottolineare come la contemporanea presenza di più sorgenti comporti valori efficaci complessivi di campo diversi da quelli che si otterrebbero come somma dei valori efficaci del campo prodotti dalle sorgenti prese singolarmente.

Nel caso di utenze monofasi, con riferimento ad una coppia di conduttori rettilinei ad una distanza costante "h", il campo magnetico può essere valutato dalla:

coppia di conduttori rettilinei:  
(linea bifilare)

$$B(d \gg h) = 0.2 \frac{h I}{d^2} \quad [\mu T] \quad (4)$$

Considerazioni analoghe valgono per conduttori a sbarre. Le sbarre, pur essendo portatrici di correnti molto elevate, sono solitamente collocate a distanza dalle zone adibite ad ufficio. I loro effetti sono pertanto mitigati dalla distanza (3). Oltre alla minimizzazione della spaziatura tra le sbarre, per attenuare la dispersione di campo magnetico è possibile in questo caso predisporre schermi ferromagnetici. Tale soluzione risulta solitamente piuttosto onerosa sia dal punto di vista degli ingombri, sia dal punto di vista del costo della realizzazione e della posa in opera.

Quadri elettrici

I quadri elettrici possono costituire una rilevante sorgente di campo magnetico in quanto al loro interno, per poter collocare le varie apparecchiature, vi è un netto distanziamento tra le fasi.

Per valutare in prima approssimazione l'effetto di maglie di corrente (*loop*) in termini di induzione magnetica, basandosi sulla relazione generale (2), è possibile pervenire ad una espressione valida nel caso di spira circolare di raggio "R", ed una distanza  $d \gg R$ :

spira circolare:

$$B(d \gg R) = 0.2 \pi \frac{R^2 I}{d^3} \quad [\mu T] \quad (5)$$

La (4) mostra come il campo sia direttamente proporzionale al quadrato del raggio della spira, quindi in definitiva alla sua area. Per geometrie diverse da quelle circolari, ad es. spire quadrate o rettangolari, è possibile fare riferimento, in prima approssimazione, alla spira circolare equivalente, in termini di parità di area, Ar:

spira qualsiasi, con area = Ar:

$$B(d \gg \sqrt{Ar}) = 0.2 \frac{Ar * I}{d^3} \quad [\mu T] \quad (6)$$

La riduzione dell'emissione in questo caso può essere ottenuta mediante un riassetto dei cablaggi elettrici all'interno del quadro, o mediante interposizione di una o più lastre di ferro con funzionalità di schermo.

Impianti elettrici di illuminazione e servizio

L'impiantistica elettrica presente negli uffici è per molti aspetti simile a quella tipica degli ambienti residenziali. I cablaggi elettrici sono contenuti in apposite canalizzazioni a vista, in tagliole, o coperti da pavimenti galleggianti o contro-soffitti. In questi casi, all'interno di tali condotti, i conduttori sono generalmente molto ravvicinati tra loro, con una conseguente bassissima dispersione di campo magnetico, come si desume dalle relazioni (3) o (4) per  $h \rightarrow 0$ . Eccezione deve essere fatta per gli impianti comandati da interruttori (o deviatori, invertitori): in tal caso può accadere vi siano tratti di canalizzazione comprendenti il solo conduttore di andata (o di ritorno), con una conseguente corrente complessiva  $I_{tot}$  del gruppo di cavi non nulla. Una valutazione del campo in prossimità delle canalizzazioni può essere eseguita sulla base della:

tratto di conduttore rettilineo di lunghezza L:  
(oppure fascio di k conduttori con  
corrente netta complessiva  $I = I_{tot} = \sum I_k$ )

$$B(d \ll L) = 0.2 \frac{I}{d} \quad [\mu T] \quad (7)$$

In questi casi il percorso della corrente forma una più o meno grossa spira che interessa diversi tratti di canalizzazioni tra pareti, pavimenti o soffitti. Assumendo in prima approssimazione la spira sia di forma circolare con raggio R, al suo centro il campo di induzione magnetica può essere valutato con la:

al centro di una spira circolare:

$$B_o = 0.2 \pi \frac{I}{R} \quad [\mu T] \quad (8)$$

Illuminazione pubblica

Molto frequentemente, anche in ambiente urbano, gli impianti di pubblica illuminazione (stradale e/o pedonale), sono costituiti da un sistema di lampioni alimentati con linee aeree, tipicamente bifilari, con i conduttori spazati tra loro da diverse decine di cm. Nel caso in cui tali linee si trovino in prossimità di edifici, il campo magnetico generato dalla corrente di carico può interessare gli ambienti interni, che potranno essere ad uso residenziale e/o lavorativo.

Una valutazione del campo di induzione magnetica può, anche in questo caso, essere ottenuta dalla relazione (4), qualora sia nota la corrente di esercizio dell'impianto.

## Elettrodotti

Per quanto concerne gli elettrodotti, questi costituiscono probabilmente una delle maggiori sorgenti di inquietudine per l'opinione pubblica, visto il loro elevato impatto visivo, anche se quasi sempre non costituiscono la maggiore sorgente di campo magnetico, viste le notevoli distanze in gioco.

Nelle periferie cittadine e nelle zone artigianali, esistono comunque situazioni in cui elettrodotti ed edifici ad uso residenziale e/o lavorativo si trovano a distanze tali per cui il campo magnetico può interessare numerosi individui per considerevoli periodi della giornata. Il riferimento è soprattutto alle linee aeree ad alta tensione, in quanto per tali linee si hanno i più elevati valori di corrente (si può arrivare ad un migliaio di Ampere), ed i conduttori sono tra loro distanziati con spaziatura di diversi metri. Una prima valutazione del campo può essere eseguita mediante la:

$$\text{linea aerea trifase} \quad B(d \gg h) = 0.2 k \frac{h I}{d^2} \quad [\mu T] \quad (9)$$

Il coefficiente "k" e la distanza "h" tra le fasi dipendono dalla geometria con la quale sono disposti i conduttori. Se ad esempio la terna è complanare, caso frequente per le linee a 380 KV, si ha  $k = \sqrt{3}$  e la relazione (9) viene ovviamente a coincidere con la precedente (3).

## Conclusioni

Con questo contributo si è inteso fare il punto sulle più frequenti sorgenti di campo magnetico a bassa frequenza (50 Hz) che interessano gli uffici. In tali ambienti si riscontra infatti la permanenza di lavoratori per una parte significativa della giornata, ma allo stesso tempo non sono apparentemente presenti particolari sorgenti di campo, quali ad esempio impiantistica elettrica di potenza, apparecchiature elettromagnetiche o elettromeccaniche. In questi casi, da un punto di vista normativo, le esposizioni sono considerate "non professionali" ed i lavoratori sono equiparati alla popolazione.

Per ciascuna delle sorgenti considerate, dapprima classificate come "interne" ed "esterne", si è proposta una espressione semplificata che consente la valutazione di massima del campo di induzione magnetica nelle zone di interesse. In questo modo è stato possibile evidenziare l'effetto della distanza e dei principali parametri geometrici dell'impianto, fornendo alcune basilari linee guida per la minimizzazione dei campi dispersi, agendo sulla disposizione dei cablaggi o predisponendo opportune schermature.

## APPENDICE

Andando oltre al dettaglio prettamente tecnico, appare evidente che il punto cruciale risiede nella valutazione degli effetti dei campi magnetici nei confronti della salute. Negli ultimi anni è stata pubblicata una notevole quantità di lavori in materia, con l'obiettivo di poter accertare l'esistenza di un nesso causale tra l'esposizione a campi elettromagnetici e l'insorgenza di patologie. Ci limitiamo in questa sede a ricordare brevemente che gli effetti dei campi magnetici sull'uomo sono sostanzialmente riconducibili a tre categorie:

- *Effetti acuti o a breve termine*: forti correnti indotte. Possono manifestarsi come stimolazioni del sistema nervoso e visivo; sono effetti che comunque si verificano per esposizione a campi molto intensi.
- *Effetti a lungo termine*: presunta insorgenza di patologie a carattere neoplastico.
- *Effetti psicosomatici*: sono considerati per certi aspetti i più diffusi ed i più insidiosi. Consistono prevalentemente in insonnia, inappetenza, sbalzi di umore ed in generale turbe del sistema neuro-vegetativo.

I risultati di tali studi, seppur talvolta contrastanti, sono complessivamente rassicuranti. La stessa Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) afferma che attualmente non c'è alcuna evidenza scientifica convincente per quanto concerne gli effetti cancerogeni.

## BIBLIOGRAFIA (Riferimenti Normativi)

1. **D.P.C.M. 23/4/1992**: "Limiti massimi di esposizione ai campi elettrico e magnetico generati alla frequenza industriale nominale (50 Hz) negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno", pubbl. su G.U. n. 104 del 6/5/1992
2. **L.R. Emilia-Romagna 31/10/2000, n. 30**: "Norme per la tutela della salute e la salvaguardia dell'ambiente dall'inquinamento elettromagnetico", pubbl. su B.U.R. n. 154 del 3/11/2000
3. **Legge Quadro** definitivamente approvata dalla Camera dei Deputati il 14/2/2001: "Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici", in fase di promulgaz. e pubbl. su G.U.
4. **D.M. 10/9/1998, n. 381**: "Regolamento recante norme per la determinazione dei tetti di radiofrequenza compatibili con la salute umana", pubbl. su G.U. n. 257 del 3/11/1998 - Linee guida applicative: Roma, luglio/sett. 1999.