

Campi elettromagnetici ambientali a bassa frequenza

Le nostre abitazioni sono non ionizzanti. I campi hanno effetti a breve termine e a lungo termine (più di 4h al giorno)

Tra le principali sorgenti si hanno le

- linee elettriche aeree
- le stazioni di trasformazione
- applicazioni industriali (quarta elettrific.)

Le persone sono sempre esposte a campi magnetici.

Effetti a breve termine: il campo provoca correnti indotte nel corpo umano. Le correnti non devono produrre danni.

Effetti a lungo termine: sono molto più complicati da studiare.

Un campo statico (0 Hz) può produrre effetti significativi quando il campo è dell'ordine dei Tesla. Si hanno questi campi in luoghi dove si trovano apparecchiature per la risonanza magnetica.

Per coprire gli effetti si suddivide la gente in:

- operatori
- popolazione

Limiti sono 200 mT per un giorno lavorativo e 40 mT in continuo. Applicazioni su cui si possono avere dei problemi: tram e treni). Per i portatori di walk-maker 0,5 mT.

Gli stati definiscono i limiti per i campi elettrici e magnetici minimi a 50-60 Hz.

Velocità dei comp.

Se il campo ha 3 componenti si usa un nuovo valore efficace

$$A_{eff} = \sqrt{A_{x_{eff}}^2 + A_{y_{eff}}^2 + A_{z_{eff}}^2} \quad \text{a dicesi un valore più alto}$$

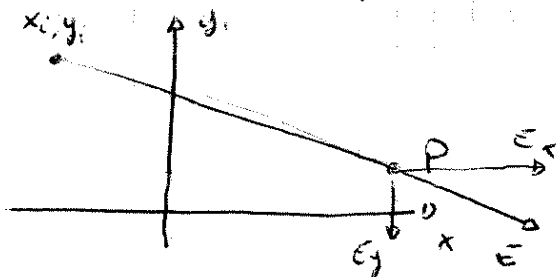
di quello effettivo.

Il campo elettrico è prodotto da un conduttore in tensione. Si dispone lungo una catena. Per calcolarlo si fa riferimento alle cariche immagine.

$$V_i = \frac{1}{2\pi \epsilon_0} q_0 \ln \frac{r_{hi}}{d_i} + \sum_{j=1}^n q_j \ln \frac{D_{ji}'}{D_{ji}}$$

Le norme CEI fornisce le formule con cui calcolare il campo.

Per valutare il campo elettrico



$$\begin{cases} E_x = E \cos \theta \\ E_y = E \sin \theta \end{cases}$$

$$r_i = \sqrt{(x_p - x_i)^2 + (y_p - y_i)^2}$$

$$\begin{cases} r \cos \theta = x_p - x_i \\ r \sin \theta = y_p - y_i \end{cases} \quad \vec{E}_i = \frac{\lambda_i}{2\pi \epsilon_0 r_i} \left[\cos \theta \vec{x} + \sin \theta \vec{y} \right] =$$

$$= \frac{\lambda_i}{2\pi \epsilon_0 r_i} \left[(x_p - x_i) \vec{x} + (y_p - y_i) \vec{y} \right] \quad \lambda_i = \frac{q_i}{l}$$

Questo è il contributo delle sorgenti, dobbiamo sommare il contributo dell'immagine.

In Italia è stato imposto che E ed Im di altezza non sia maggiore di $\frac{5 \text{ kV}}{m}$.

Le verifiche vanno fatte con le correnti medie che pone davanti e imo.

I campi elettrici sono molto elevati nelle stazioni. Il limite max non superabile è $10 \frac{kV}{m}$.

Le linee elettriche in Italia hanno un alto m cui si dice dove si trova una linea. Quando si fanno linee nuove non si cerca di passare tra le linee.

Valutazioni dei camp. magnetici

Per il calcolo del campo magnetico usiamo Biot Savart per linee di lunghezza infinita

Limiti: $100 \mu T$ limite massimo

$10 \mu T$ impianti esistenti

$3 \mu T$ impianti nuovi

È conveniente ~~disporre~~ ^{disporre} i cavi a triangolo per ridurre il campo prodotto (circa -40% rispetto a conduttori in

o o o $B = 0,2 \cdot \sqrt{3} \frac{I \cdot l}{R^2}$ linee).

o o $B = 0,1 \cdot \sqrt{6} \frac{I \cdot l}{R^2}$

Misure di campo

Si possono misurare camp. elett. magnetici con sonde.

• in DC sonde a effetto Hall

• in AC si usano le bobine

Per misurare il campo si possono misurare le 3 componenti o con 3 sonde disposte sulle 3 direzioni.

Con 3 sonde il problema è l'uniformità del campo. Se il campo non è uniforme bisogna usare sonde piccole con sezioni piccoli.

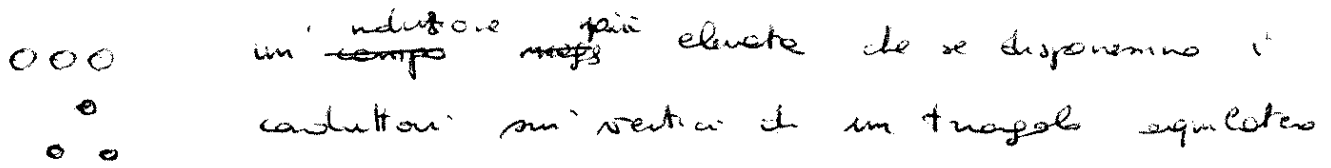
Le misure del campo elettrico si fanno inserendo un condensatore nel cavo e misurando la corrente che passa nel condensatore.

Schermatura

Nei trappi in d.c. il campo è limitato al trappo. se invece è in r.f. il problema è peggiore.

Esistono modi per limitare il campo sistemando opportunamente le sorgenti?

Disposizione dei conduttori: tre conduttori in linea generano



Il campo si riduce anche se si nettano i conduttori più vicini

Ricordare che i limiti italiani di esposizione al campo sono

3 μ T	e	5 kV/m	popolazione italiana
100 μ T		5 kV/m	Europa

Per calcolare il campo si usano queste formule

$$d = \sqrt{d_{AB}^2 + d_{BC}^2 + d_{AC}^2} \quad B = \frac{dI}{5\sqrt{2} r^2}$$

r è la distanza del centro di simmetria.

Se ho ^{se} correnti omopolari ottengo $B = \frac{I_0}{5r} - D$.
 solito I_0 è molto basso. Le correnti omopolari possono avere problemi in bassa tensione.

Un'altra tecnica adottata per ridurre i campi è la cancellazione delle fasi se divide in due le correnti che

$I_0 \otimes \Rightarrow \frac{I}{2} \times 0 \quad 0 \times \frac{I}{2}$ efficienza i conduttori
 linee trifase $\Rightarrow \frac{I}{2} \times 0 \quad 0 \times \frac{I}{2}$ città ma riduzione del campo

In questo caso $B = \frac{2 I d q}{5 r^3}$

$$\begin{matrix} 0 & 0 & 0 \\ a & b & c \end{matrix} \Rightarrow \begin{matrix} I_{c/2} & & 0 & I_{b/2} \\ & & 0 & b \\ I_{b/2} & & & I_{c/2} \end{matrix} \Bigg] s$$

$$B = \frac{\sqrt{3} s^2 I}{10 r^3}$$

sistema 3 fasi

Nel caso 3 fase si ha un conduttore più grande degli altri.

altro metodo per il 3 fase

$$\begin{matrix} I_{c/2} & 0 & 0 \\ 0 & I_{b/2} & 0 \\ 0 & 0 & I_{c/2} \end{matrix} \quad \begin{matrix} I_b \\ I_b/2 \\ I_c/2 \end{matrix} \quad B = \frac{\sqrt{3} s I^2}{5 r^3}$$

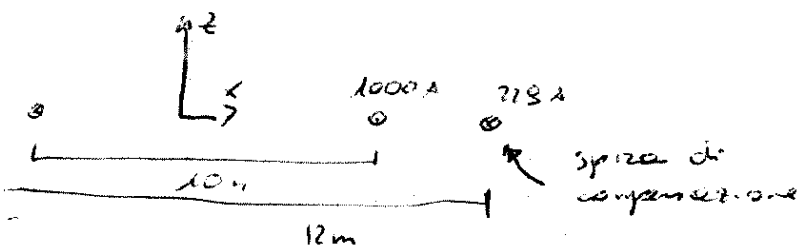
In base tensor con conduttori in parallelo si può usare questo metodo

$$\begin{matrix} I_b & 0 & \leftrightarrow & 0 & I_b' \\ I_b & \uparrow & & 0 & I_b' \\ I_c & 0 & & 0 & I_c' \end{matrix} \Rightarrow \begin{matrix} I_b & 0 & \leftrightarrow & 0 & I_b' \\ I_b & \downarrow & & 0 & I_b' \\ I_c & 0 & & 0 & I_c' \end{matrix}$$

$$B = \frac{2\sqrt{3} d I}{5 r^2} \quad B = \frac{2 d I \sqrt{d^2 + 3s^2}}{5 r^3}$$

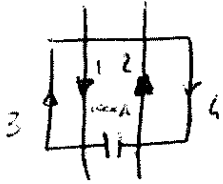
La migliore uniformità di corrente minimizza anche il campo. (Per ridurre ancora di più il campo si dividono i conduttori in sub-conduttori).

Compensazione del campo



il problema è che lo stesso riduce il rendimento del sistema perché a 218 A ponere su un cavo con resistenza.

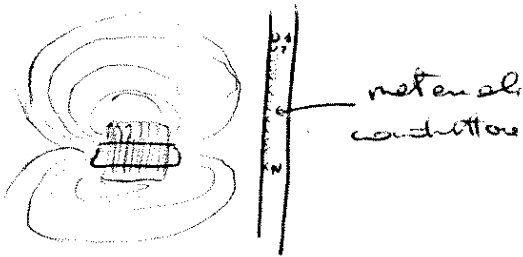
Si può anche chiudere le spire su una capacità. Si ha l'effetto di ridurre ~~notevolmente~~ il campo magnetico.



$$\vec{E}_3 = j\omega [L_{33} I_3 - L_{34} I_4 + L_{31} I_1 + L_{32} I_2]$$

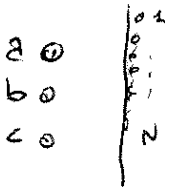
Si possono fare anche compensazioni attive con sensori di campo e sorgenti di potenza.

Si possono fare schermature con materiali ferromagnetici o con un materiale conduttore. Può essere visto come l'unione di infinite spire studiate prima.



$$\vec{E}_1 = j\omega (L_{11} I_1 + L_{12} I_2 + \dots + L_{1N} I_N) + j\omega (L_{12} I_2 + L_{1b} I_b + L_{1c} I_c)$$

$$I_N = -[I_1 + I_2 + \dots + I_{N-1}]$$



$$\begin{cases} \vec{E}_1 - \vec{E}_N = R_1 I_1 - R_N I_N \\ \vec{E}_2 - \vec{E}_N = R_2 I_2 - R_N I_N \\ \vdots \\ \vec{E}_{N-1} - \vec{E}_N = R_{N-1} I_{N-1} - R_N I_N \end{cases}$$

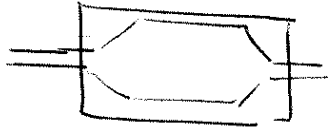
Possibili tipi di schermo.

- piatto —

- a U (o o) □

Fattore di schermatura $S_f = \frac{B_{non\ schermato}}{B_{schermato}} > 1$

Problema dei giunti:



zona in cui
risponde giunti:
i cavi

ridurre il campo.

cavi più essere

l'analisi termica.

nelle zone dei giunti ho
campi elettrici in quanto è necessario
dello spazio per giunte: cavi

Si possono mettere delle bobine
(specie di TA in stato acuto) per

il ~~pot~~ fattore di schenatura in questi

uso ~~altro~~ problema è

fine a ≈ 30 .