



## Seminario:

*"Aspetti tecnici e autorizzativi per l'installazione di cabine secondarie MT/bt nel rispetto dei limiti normativi di esposizione a campi elettromagnetici."*

(Padova –Venerdì 19 giugno 2009)

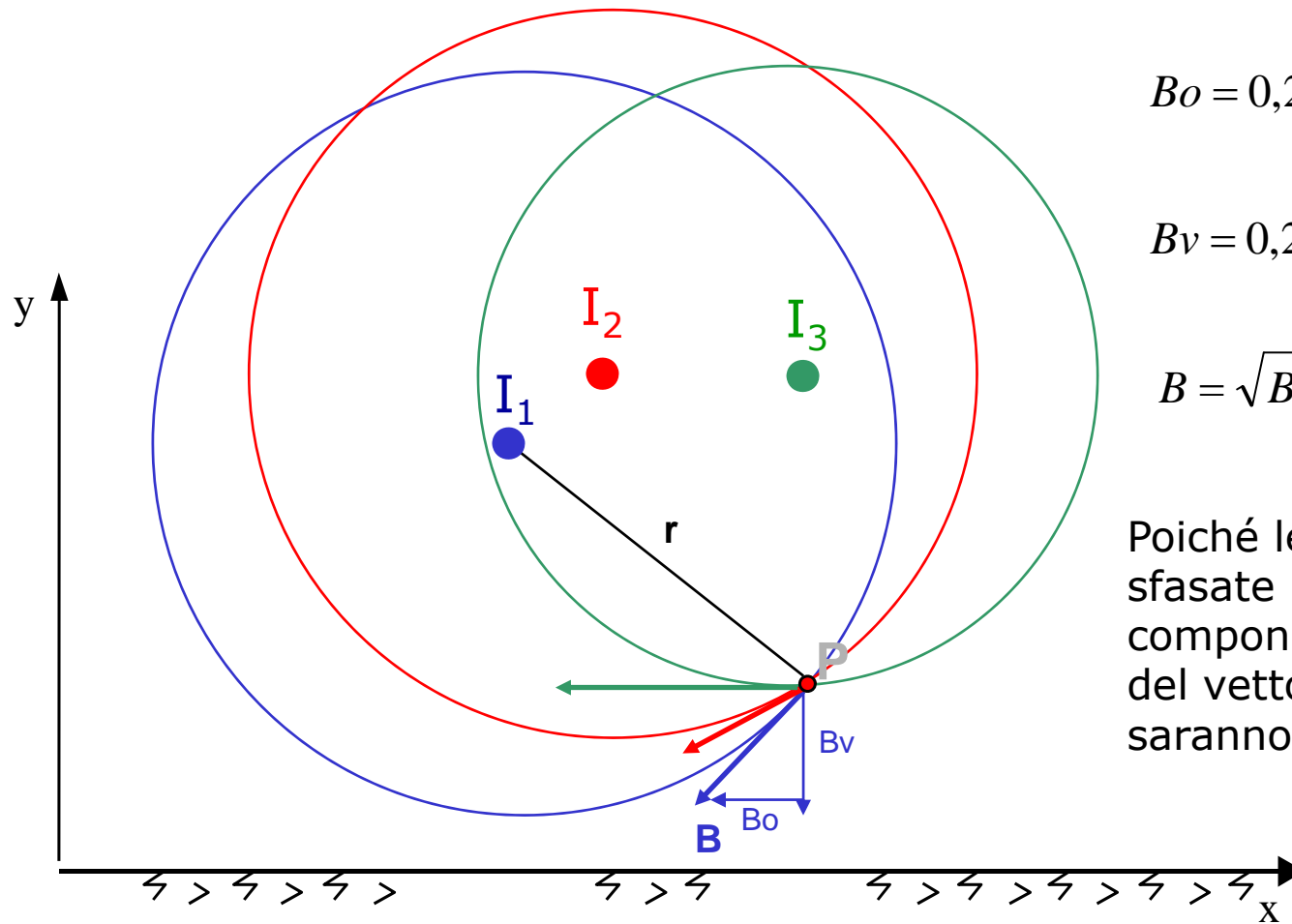
# QUALCHE RIFLESSIONE INTRODUTTIVA

Renato Conti

E-mail: [renato.conti@alice.it](mailto:renato.conti@alice.it)

# Informazioni di base

## Sistema trifase



$$B_0 = 0,2 \sum_i I_i \left[ \frac{y_i - y}{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \right]$$

$$B_v = 0,2 \sum_i I_i \left[ \frac{x - x_i}{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \right]$$

$$B = \sqrt{B_0^2 + B_v^2}$$

Poiché le correnti sono tra di loro sfasate nel tempo anche le componenti orizzontale e verticale del vettore induzione magnetica saranno in genere sfasate.

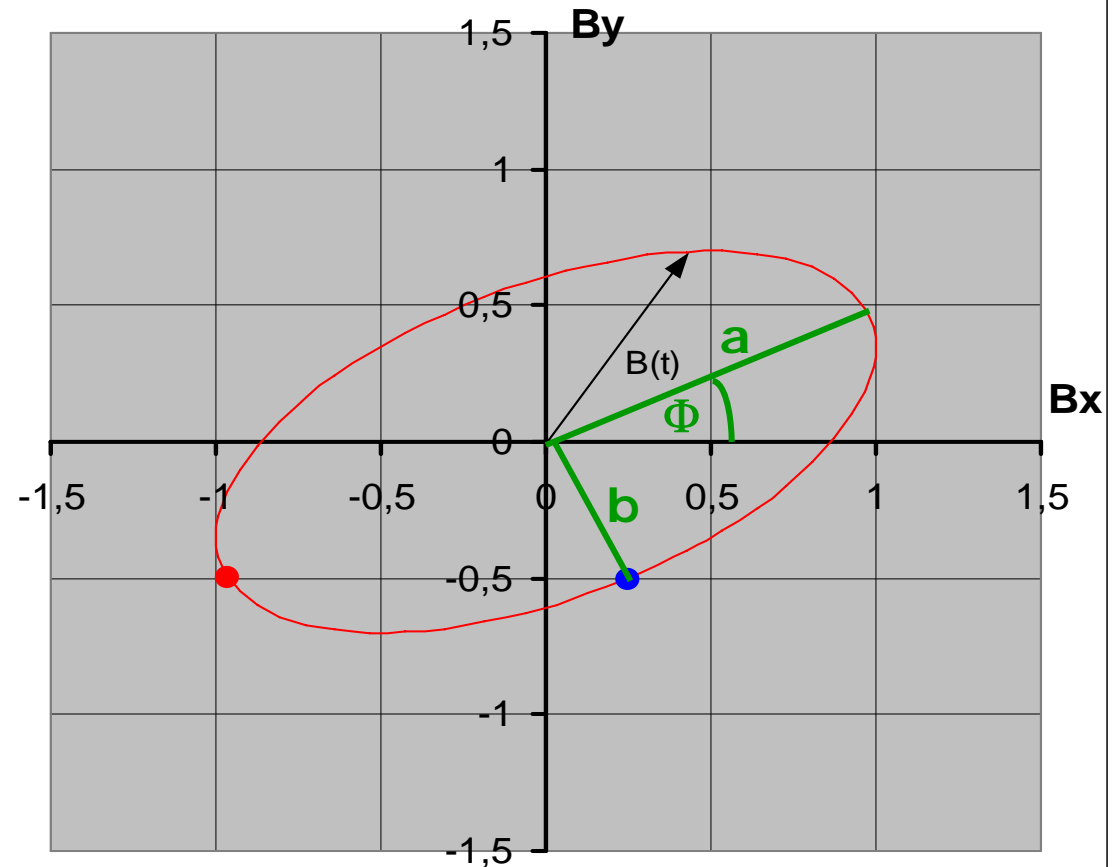
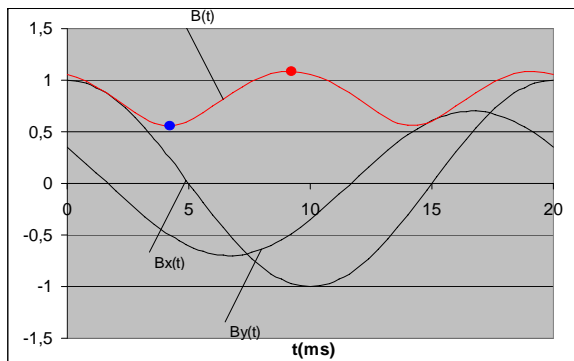
# Informazioni di base

## Possibili tipi di polarizzazione dell'induzione magnetica

### Ellittica

Ampiezza:  $B_x(t) \neq B_y(t)$

Angolo di Fase:  $\phi \neq 0$  e multipli di  $\pi$  [ $\phi \neq n\pi$ ]



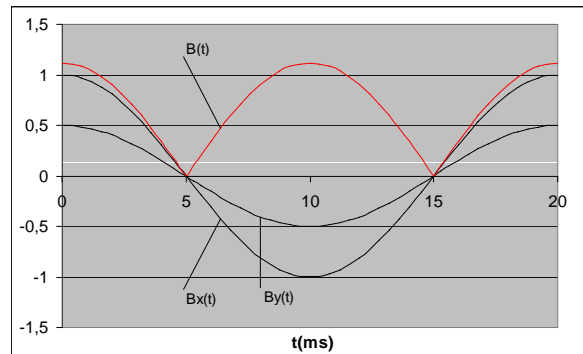
$$B_{x\text{peak}} = 1; B_{y\text{peak}} = 0.7; \phi = 1/3 \pi$$

# Informazioni di base

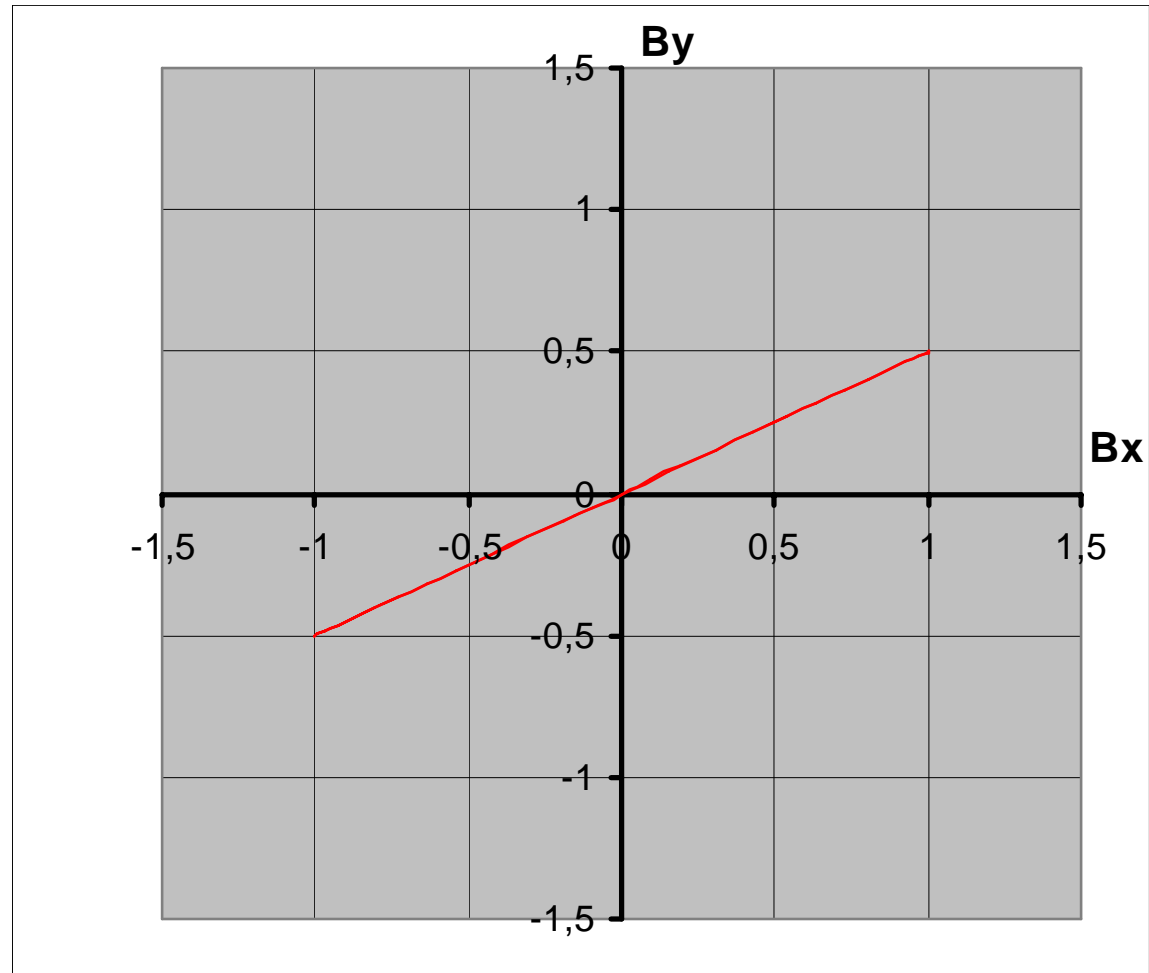
## Possibili tipi di polarizzazione dell'induzione magnetica

### Lineare

Ampiezza:  $B_x(t) \neq B_y(t)$   
Angolo di Fase:  $\phi = 0$  e  
multipli di  $\pi$  [ $\phi = n\pi$ ]



$$B_{x \text{ peak}} = 1; B_{y \text{ peak}} = 0.5; \phi = 0$$



# Informazioni di base

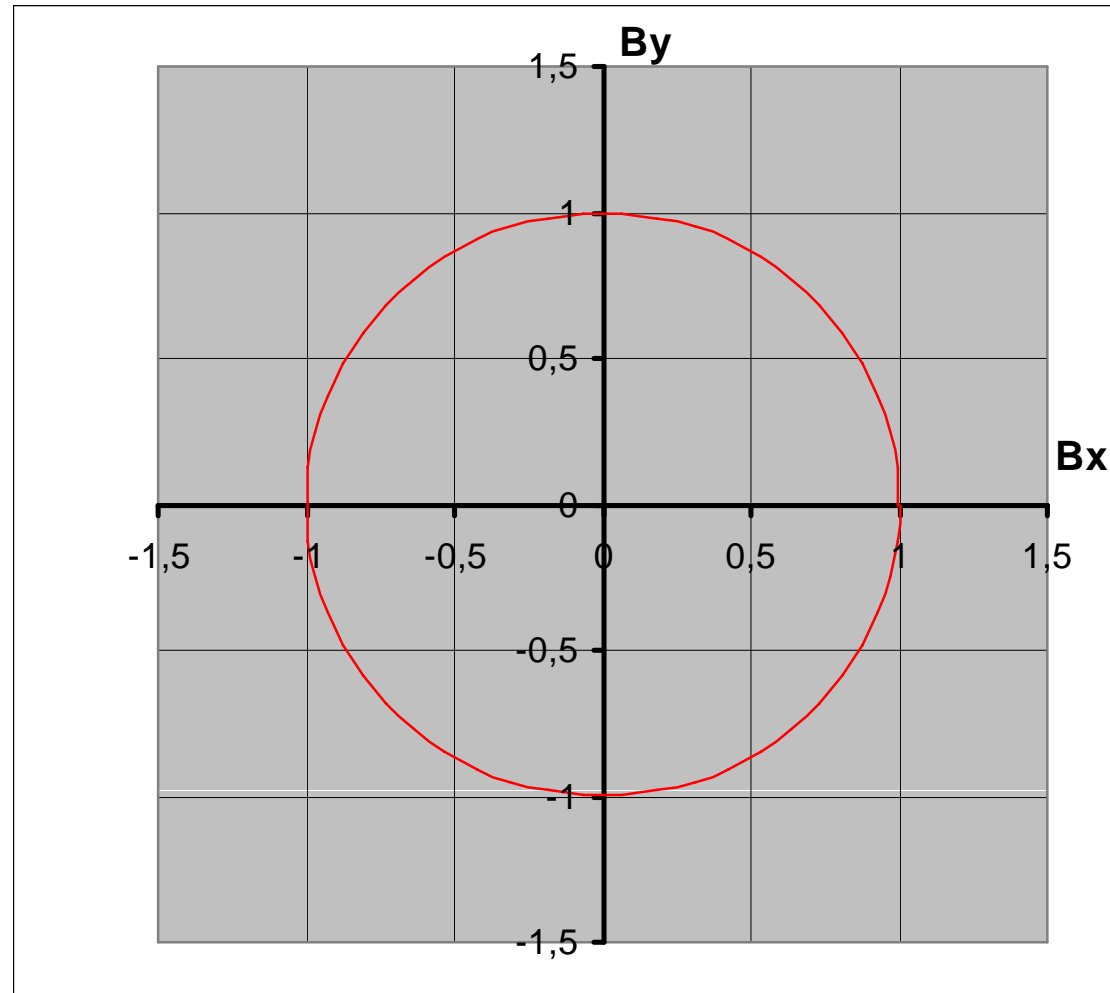
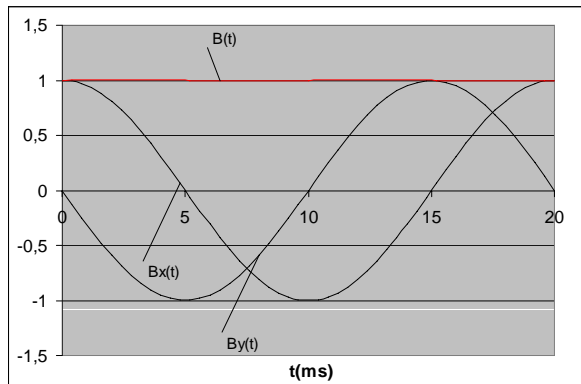
## Possibili tipi di polarizzazione dell'induzione magnetica

### Circolare

Ampiezza:  $B_x(t) = B_y(t)$

Angolo di Fase:  $\Phi =$   
multipli dispari di  $\pi/2$

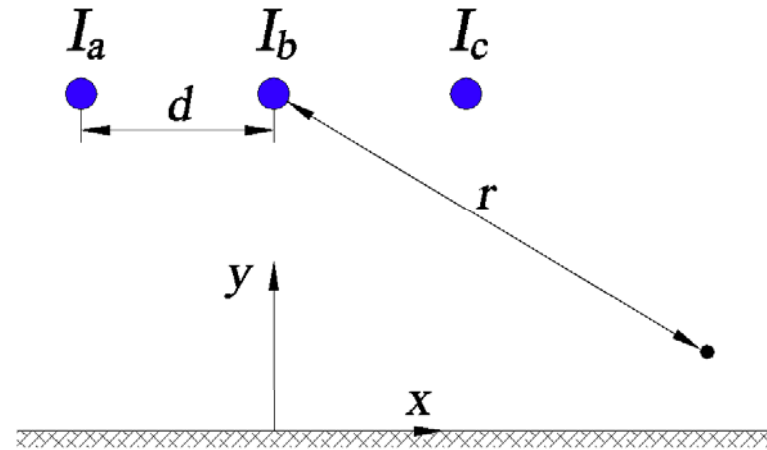
$$[\Phi = [F = (2n+1) \pi/2]$$



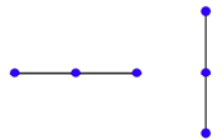
# Informazioni di base

## Intensità del campo magnetico generato da un sistema trifase di conduttori rettilinei e paralleli

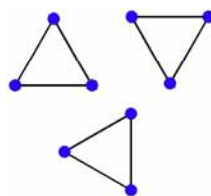
$$H_{eff} = \frac{\sqrt{6} C d}{4\pi r^2} I_{eff}$$



$C = \sqrt{2}$



$C = 1$



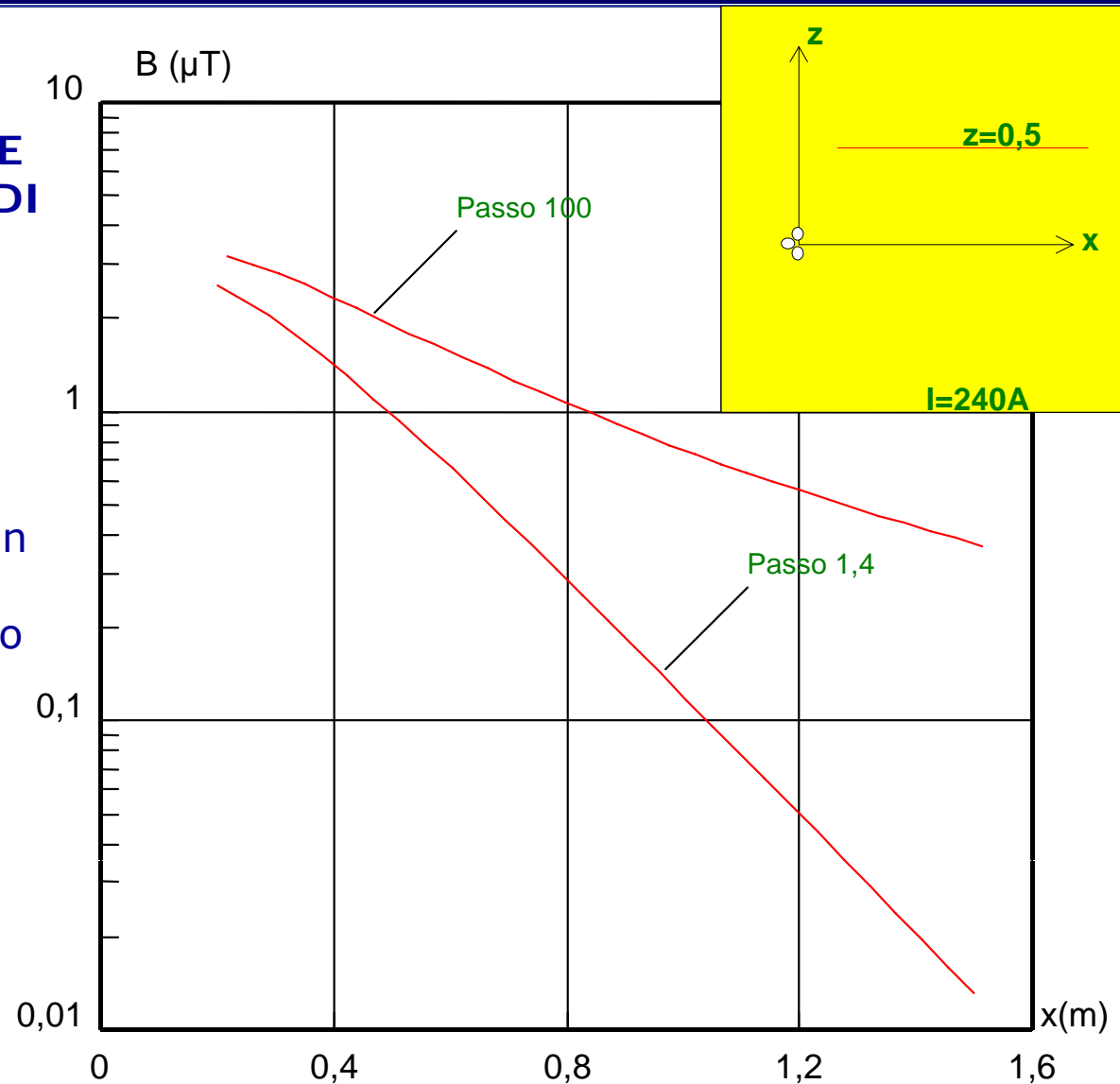
Oltre che dipendere dalla corrente ( $I$ ), il campo magnetico  $H$  e l'associata induzione magnetica  $B$  ( $B = \mu_0 H$ )

- sono proporzionali alla separazione ( $d$ ) tra le fasi;
- dipendono dalla disposizione delle fasi ( $C$ );
- decrescono con l'aumentare della distanza:  $1/r^2$

# Informazioni di base

**I CONDUTTORI DI FASE  
POSSONO ESSERE TRA DI  
LORO PARALLELI O  
AVVOLTI AD ELICA**

Confronto tra il profilo laterale del campo magnetico associabile ad un cavo aereo precordato e quello che sarebbe prodotto dallo stesso cavo se i conduttori non fossero avvolti ad elica.



## Cabine di distribuzione (MT/BT)

- Come è noto, le cabine di distribuzione (MT/BT) sono costituite da **trasformatori**, da **quadri di media e bassa tensione [MT e BT]** e dalle loro connessioni (**cavi, sbarre**).
- Nelle cabine poste all'interno di edifici la disposizione dei componenti elettrici non è standard ma varia caso per caso in quanto dipende:
  - ✓ **dalla forma e dalle dimensioni del locale che viene messo a disposizione per ospitare la cabina stessa,**
  - ✓ **da problemi connessi con le operazioni di manutenzione che richiedono, ad esempio, che vengano rispettate certe distanze tra i vari componenti.**
- Gli stessi componenti possono poi avere, a parità di potenza nominale, caratteristiche di ingombro diverse a seconda del tipo di isolamento impiegato.

*I livelli di induzione magnetica associabili a tali cabine risentono quindi di questi aspetti logistici oltre che dipendere, ovviamente, dal numero e dalla potenza dei trasformatori in essa installati, nonché dalle variazioni temporali del carico.*

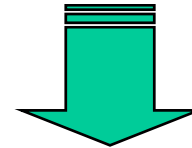


# LE PRESCRIZIONI DI LEGGE

**Decreto 8 luglio 2003**

**Valore di attenzione 10  $\mu$ T**  
(per impianti esistenti)

**Obiettivo di qualità 3  $\mu$ T**



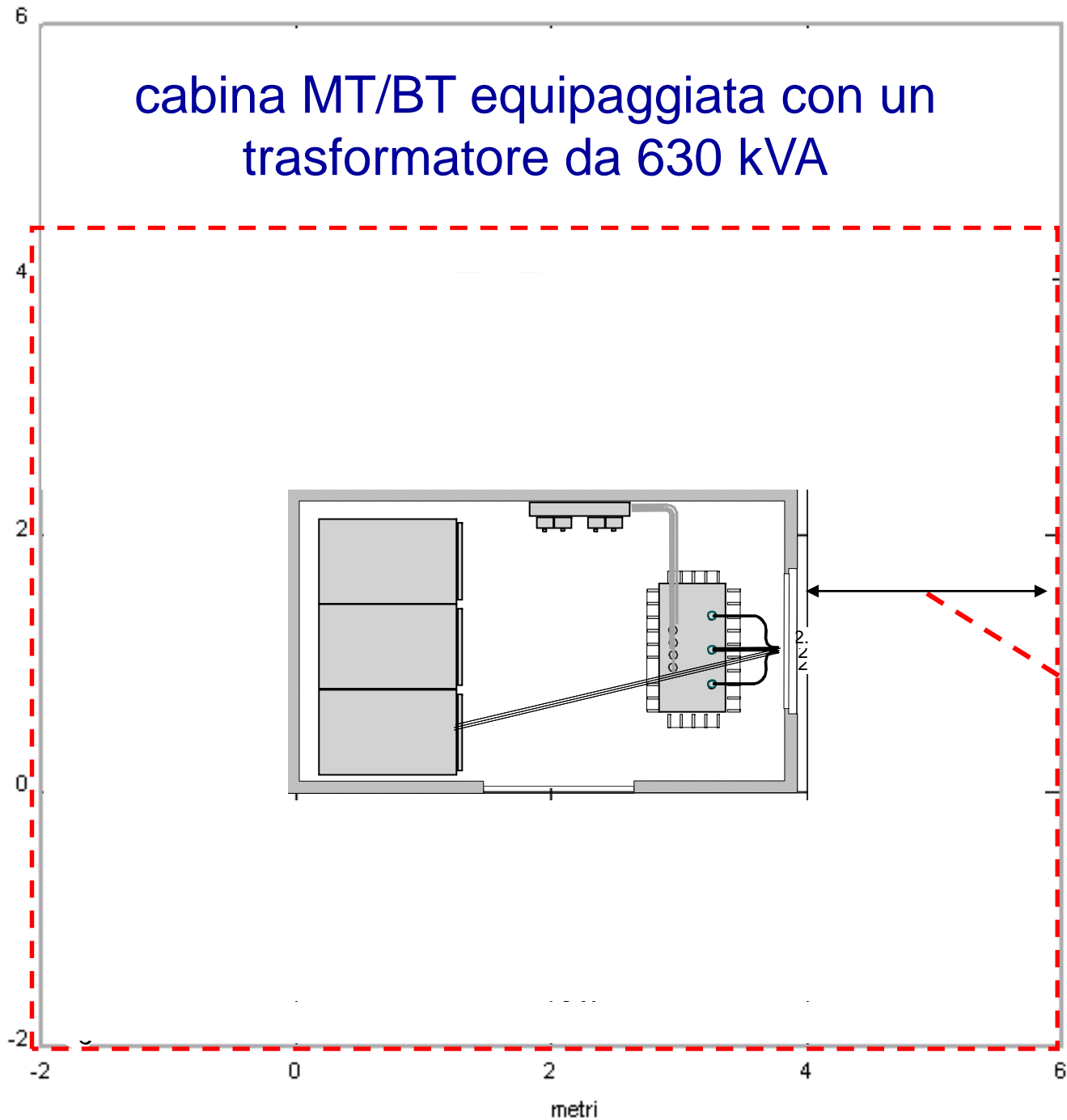
**fasce di rispetto**  
(per nuovi impianti o nuovi fabbricati)

**Decreto 29 maggio 2008**

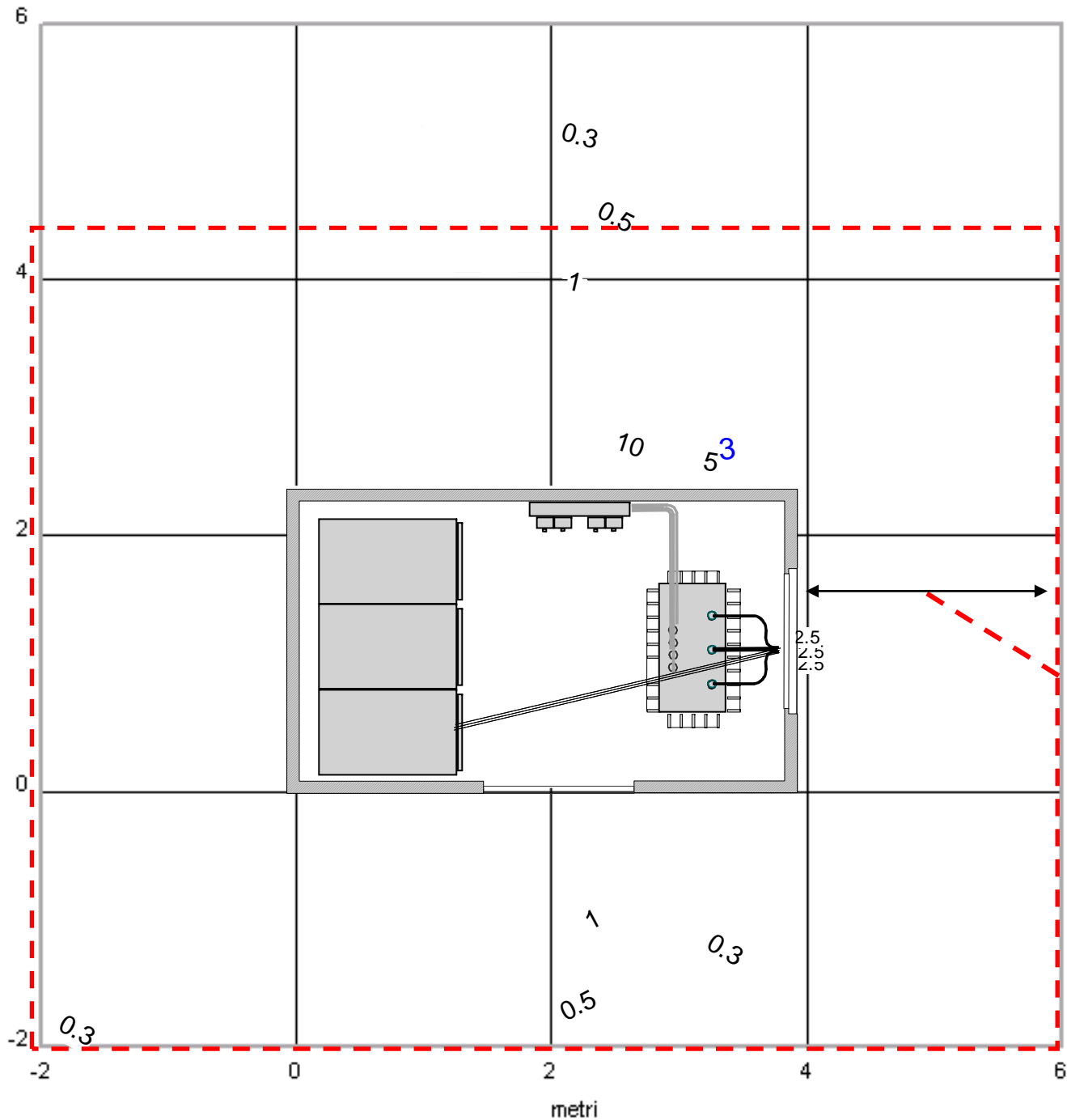
*metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto (elettrodotti e cabine)*

**distanza di prima approssimazione (DPA)**

# cabina MT/BT equipaggiata con un trasformatore da 630 kVA



DPA = 2 m  
calcolata  
nell'ipotesi di  
cavi con  
diametro 7.1  
mm



**Curve equilivello dell'induzione magnetica** (espressa in  $\mu\text{T}$ ) ad 1 m di altezza rispetto al piano del pavimento di una cabina MT/BT equipaggiata con un trasformatore da 630 kVA e con un carico pari a circa il 50 % di quello nominale [Corrente MT in entrata 150 A, corrente MT in uscita 137.5 A, corrente BT complessiva 493.4 A (ripartita su 8 linee uscenti dalla cabina)].

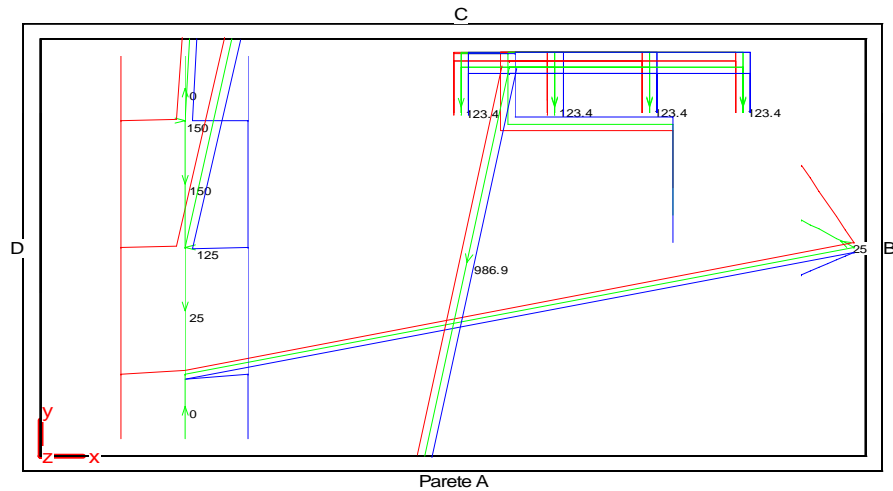
DPA = 2 m  
calcolata  
nell'ipotesi di  
cavi con  
diametro 7.1  
mm

## Quali opzioni per rispettare le prescrizioni di legge?

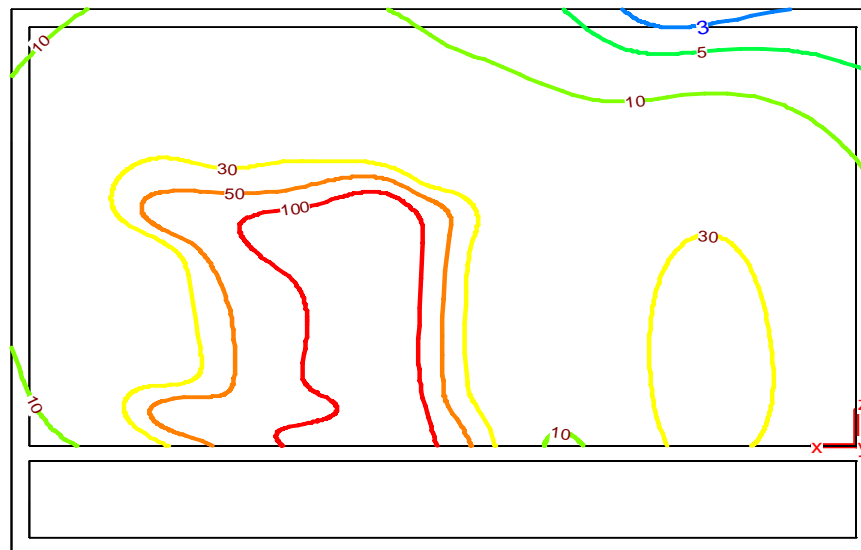
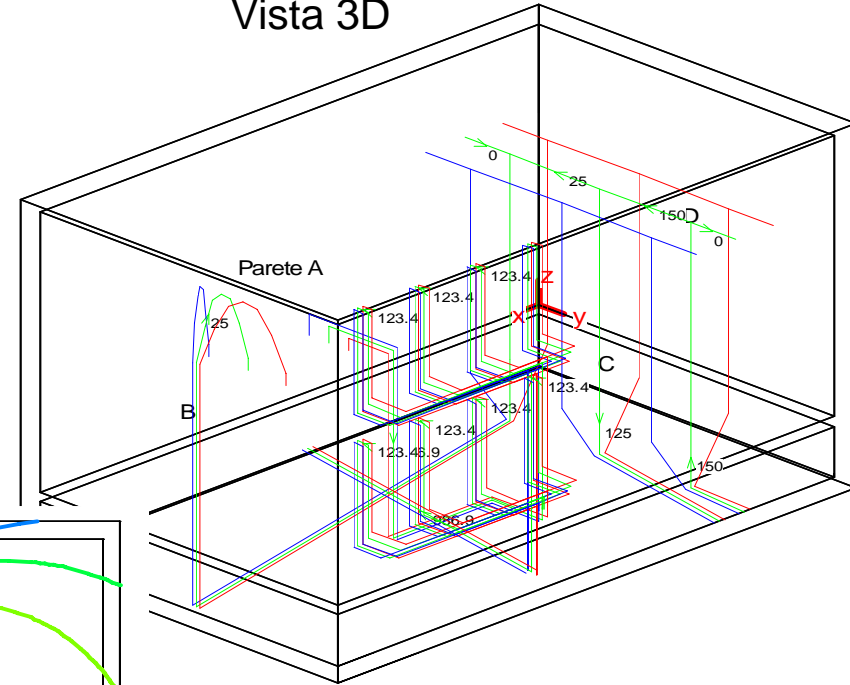
- ❖ Come si è visto, la DPA (distanza di prima approssimazione) è di facile applicazione ed anche molto conservativa.
- ❖ Talvolta, però, può essere necessario od opportuno valutare la distribuzione spaziale dell'induzione magnetica – utilizzando modelli di calcolo adeguati - e, se inevitabile, individuare gli strumenti pratici più efficaci per la mitigazione del campo.

# Cabine MT/BT – modello di calcolo sviluppato dal CESI

Vista dall'alto



Vista 3D



Curve equilivello dell'induzione magnetica calcolata a contatto della parete esterna lato BT

# STRATEGIE DI MITIGAZIONE

Le possibili soluzioni impiantistiche sono sostanzialmente riconducibili ai seguenti approcci:

- **AGIRE** sulla disposizione delle apparecchiature e delle loro connessioni;
- **SCHERMARE** le sorgenti principali con materiali conduttori e/o ferromagnetici.

## STRATEGIE DI MITIGAZIONE

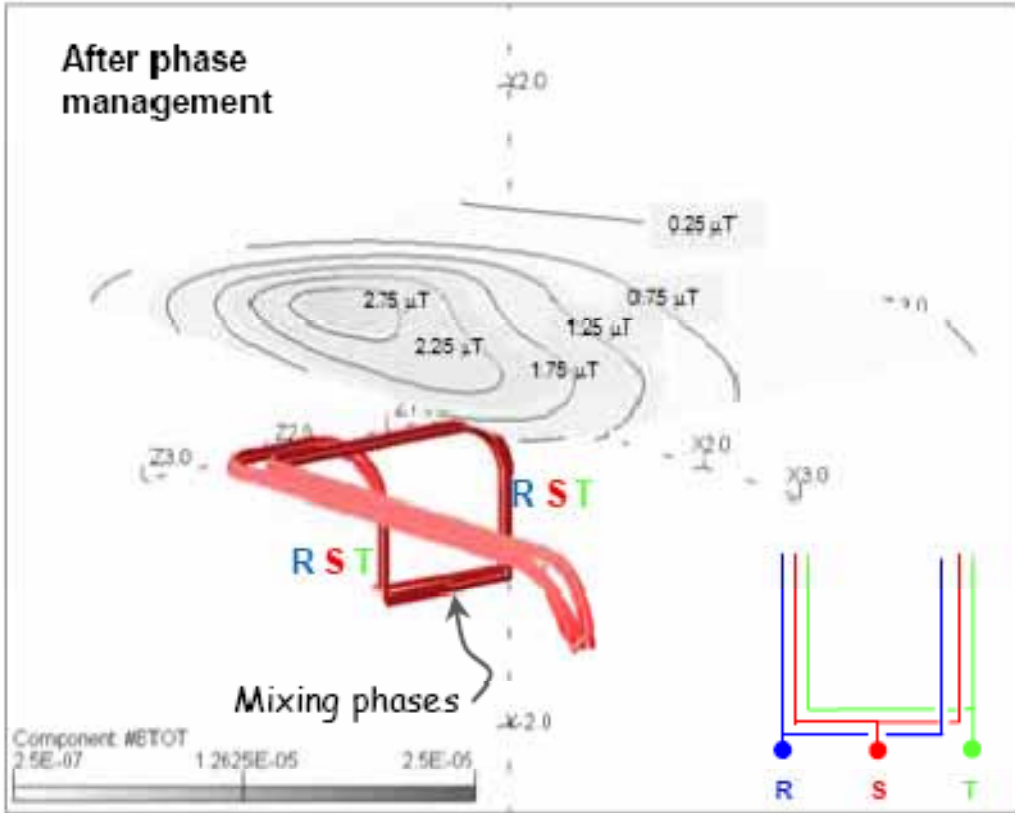
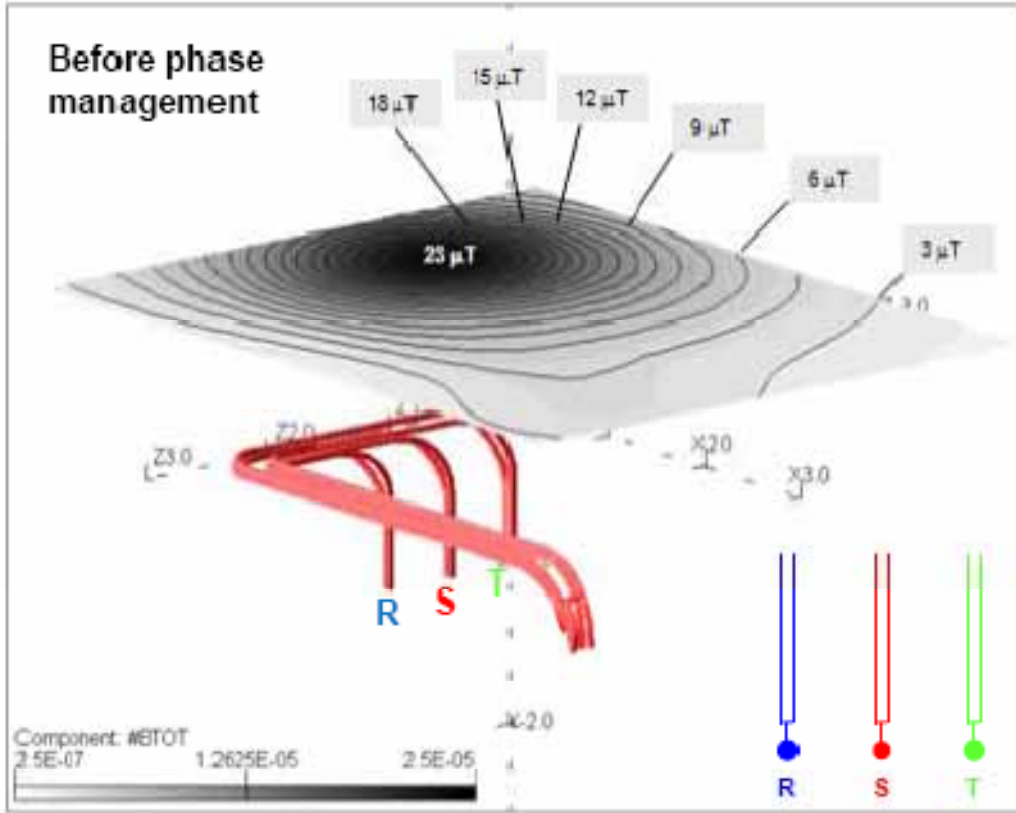
- **Volendo AGIRE sulla disposizione delle apparecchiature e delle loro connessioni**, è innanzitutto opportuno effettuare una dettagliata caratterizzazione del campo magnetico da mitigare.

Tale caratterizzazione dovrebbe consentire sia di **individuare la sorgente maggiormente responsabile** del campo magnetico e concentrare quindi l'attenzione su di essa, sia di **descrivere il campo nel modo più completo ed accurato** possibile, visto che nella maggior parte delle situazioni di pratico interesse ci si trova di fronte a campi a polarizzazione ellittica.

**In dettaglio, agire sull'architettura delle sorgenti** significa allontanare le sorgenti dall'area ove si vuole ridurre il campo; ridurre la distanza tra le fasi e ottimizzarne la disposizione – incluso il loro sdoppiamento; avvolgere, ove possibile, i cavi ad elica ed ottimizzarne i percorsi, ecc..



# STRATEGIE DI MITIGAZIONE





# STRATEGIE DI MITIGAZIONE

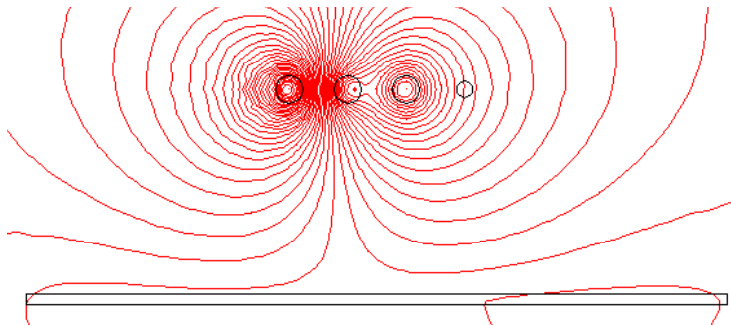
Volendo invece **SCHERMARE le sorgenti principali** si può:

- a. **Ricorrere a circuiti di compensazione passivi o attivi e/o schermi conduttori.** (diventano sede di correnti che, sommate alla corrente propria della sorgente, danno origine ad una corrente complessiva risultante inferiore).
- b. **“Devviare” il campo magnetico attorno all’area interessata “incanalandolo” in opportuni schermi di materiali ad alta permeabilità magnetica.**

A parità di valore efficace, un campo magnetico a polarizzazione prossima a quella lineare è generalmente più facile da schermare di quello a spiccata polarizzazione ellittica; è quindi utile, come primo passo e ove possibile, intervenire sull’architettura delle sorgenti per modificarla in modo tale da “linearizzare” il campo.

# Schermatura per mezzo di materiali metallici

## Schermi conduttori



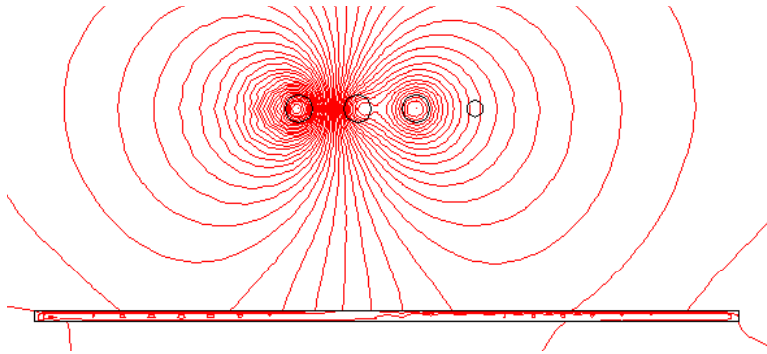
- Tendono a “riflettere” il campo magnetico (per effetto delle correnti parassite in essi indotte).
- Reagiscono alla componente del campo ad essi perpendicolare.

**L'efficienza di uno schermo conduttore:**

- È significativa non solo nelle immediate vicinanze dello schermo ma anche a distanze maggiori.**
- Aumenta linearmente con l'aumento dello spessore.** Quando si supera 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.
- È tanto migliore quanto più elevata è la conducibilità.**
- È tanto maggiore quanto maggiore è la sua estensione (schermi aperti).**
- Aumenta col diminuire della distanza sorgente – schermo e con il miglioramento della continuità elettrica tra le varie parti elementari che lo costituiscono.**

# Schermatura per mezzo di materiali metallici

## Schermi ferromagnetici



- Tendono ad attrarre il campo magnetico assorbendolo.
- Reagiscono alla componente del campo ad essi tangenziale.

**L'efficienza di uno schermo ferromagnetico:**

- È più significativa nelle immediate vicinanze dello schermo mentre diminuisce all'aumentare della distanza dallo schermo stesso.**
- È tanto maggiore quanto più lo schermo avvolge la sorgente (schermo chiuso)**
- Migliora con l'aumentare della permeabilità magnetica relativa del materiale.**
- Non varia significativamente se si usano lamiere di spessore compreso fra 5 e 10 mm.** Per spessori inferiori a 2 mm l'efficienza si riduce invece in modo apprezzabile.
- Aumenta con l'aumentare della conducibilità** (grazie all'effetto aggiuntivo dovuto alle correnti indotte).
- Migliora col diminuire della distanza sorgente – schermo.**

## STRATEGIE DI MITIGAZIONE

- **È per altro opportuno sottolineare il fatto che spesso non basta uno solo dei metodi prima ricordati per ottenere gli obiettivi prefissati, ma bisogna ricorrere ad una loro combinazione.**
- **Allora, la giusta strategia di mitigazione da adottare deve prevedere un processo iterativo di valutazioni che tenda a convergere verso la soluzione più “conveniente” (che non potrà che scaturire da una seria analisi della fattibilità tecnico-economica e dell’affidabilità delle varie combinazioni).**

# APPROFONDIMENTI

320

## **CHARACTERISATION OF ELF MAGNETIC FIELDS**

Task Force  
C4.205

April 2007



373

## **MITIGATION TECHNIQUES OF POWER-FREQUENCY MAGNETIC FIELDS ORIGINATED FROM ELECTRIC POWER SYSTEMS**

Working Group  
C4.204

February 2009

