

Università di Pisa – Facoltà di Ingegneria
Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Biomedica

Modulo di “Sorgenti di radiazioni non ionizzanti”

Seminario

**ESPOSIZIONE DELLA POPOLAZIONE
ALL’INDUZIONE MAGNETICA A 50 HZ**

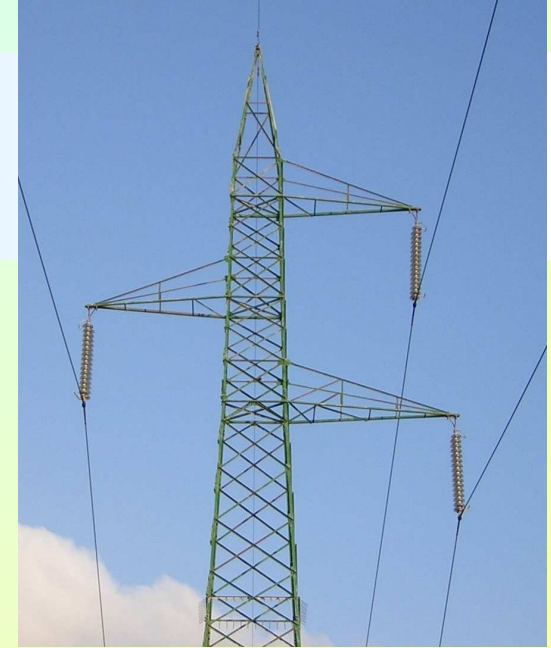
28 novembre 2011

ARPAT
Dip. prov. di Pisa



Dott. Nicola Colonna

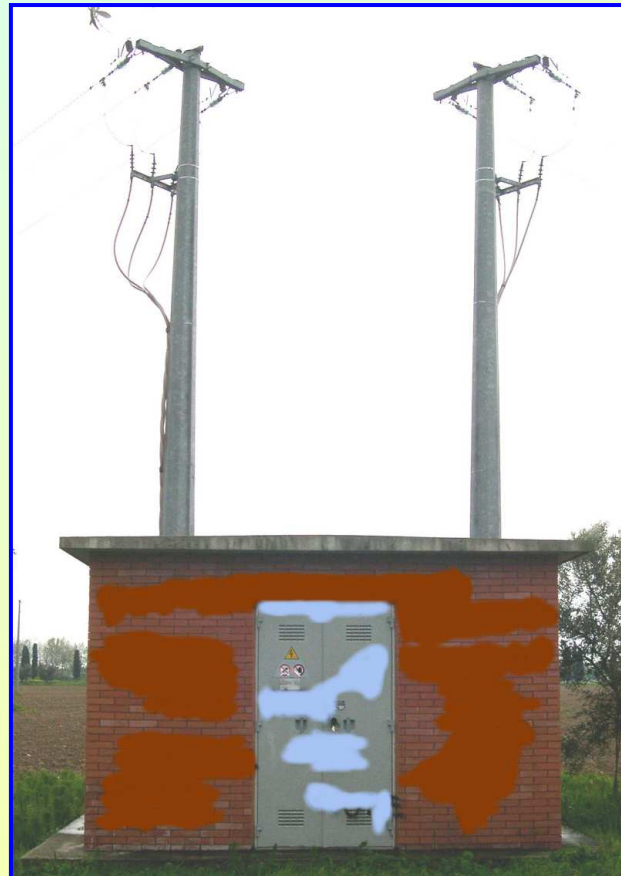
www.arpat.toscana.it



Esempi di linee elettriche



Esempi di cabine di trasformazione da media a bassa tensione (MT/BT)



Caratteristiche tecniche della sorgente: sostegno + conduttori aerei

- **Sostegno troncopiramidale**
- **Isolatori**
- **Conduttori**
- **Fune di guardia**

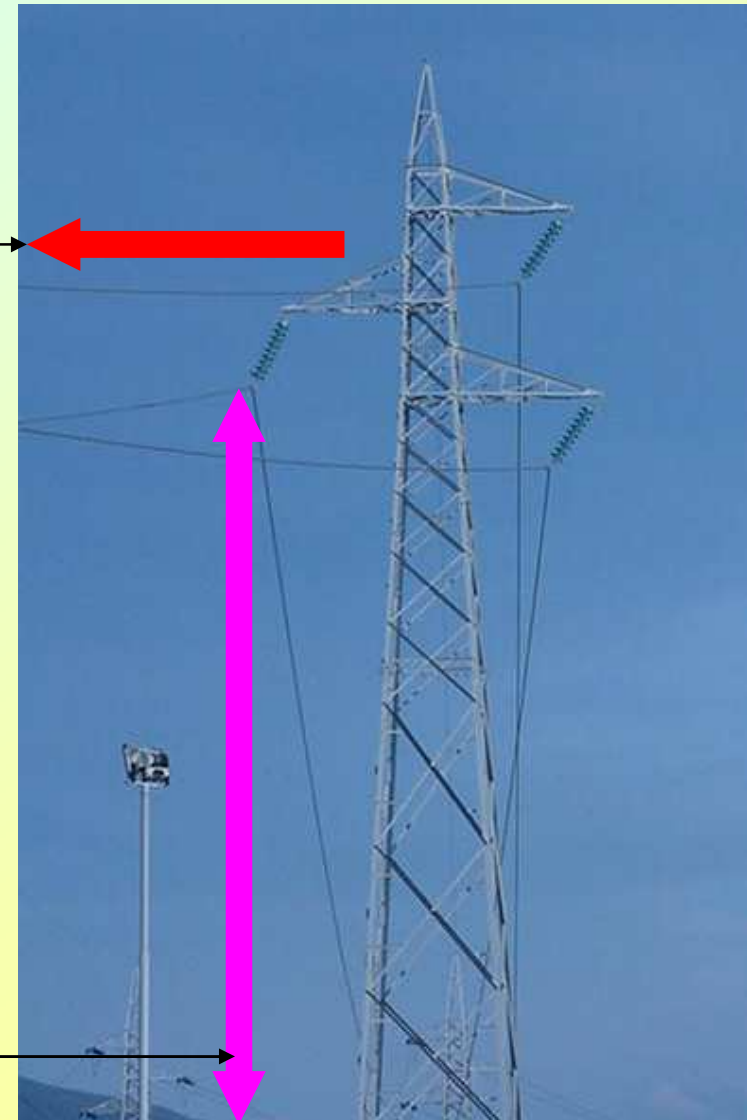
CORRENTE

scorre lungo i conduttori

e

TENSIONE

tra conduttori e terra



Linee elettriche ad alta tensione: le 3 tipologie

Tensioni nominali tra fase e fase

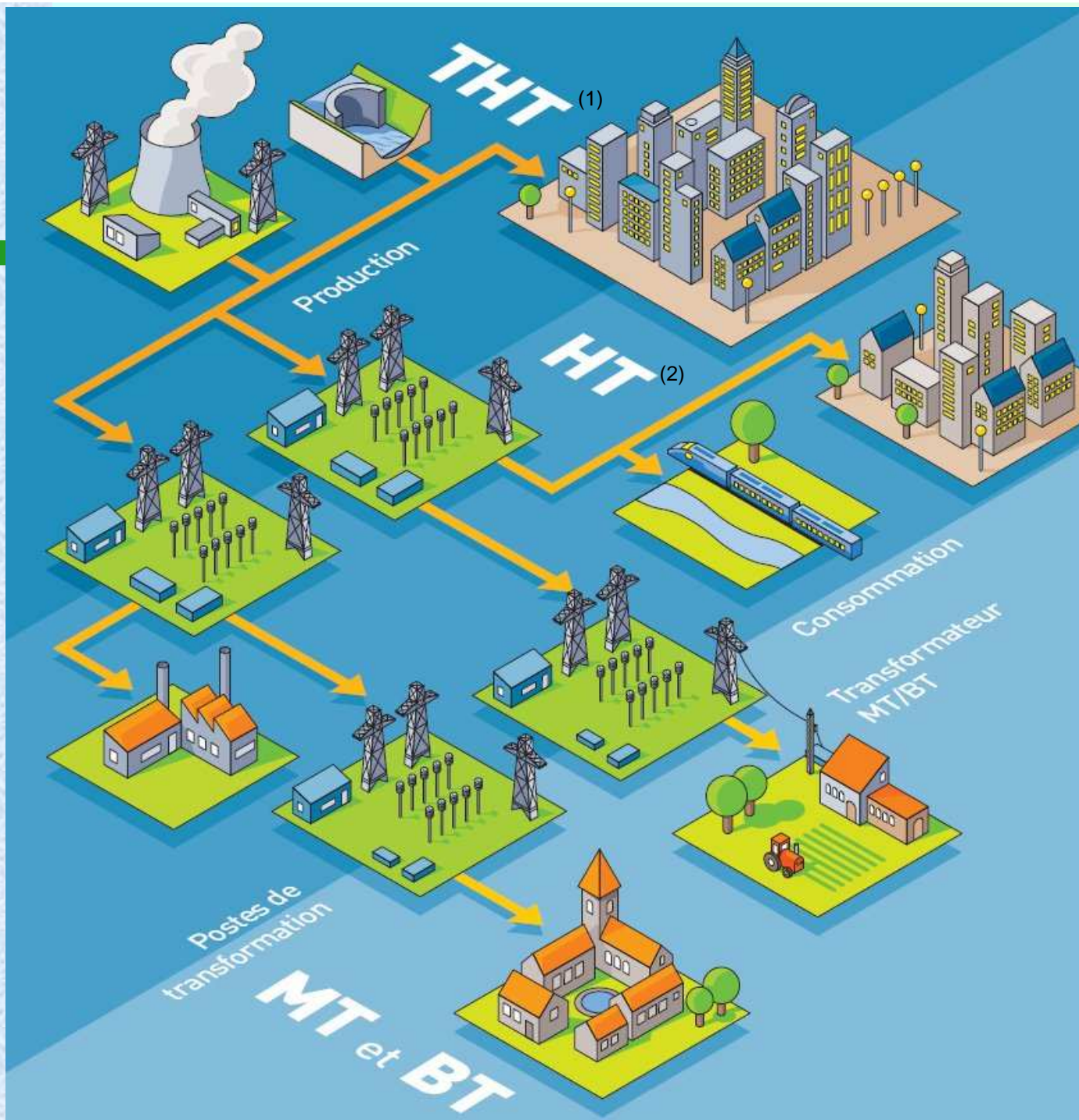
- **Linee a 380 kV**
 - **Linee a 220 kV**
- } → per la trasmissione di energia a grandi distanze
- **Linee a 132 kV** → per la trasmissione e la distribuzione di energia a distanze minori

Tensione tra conduttore e terra = $\frac{\text{tensione nominale}}{\sqrt{3}}$

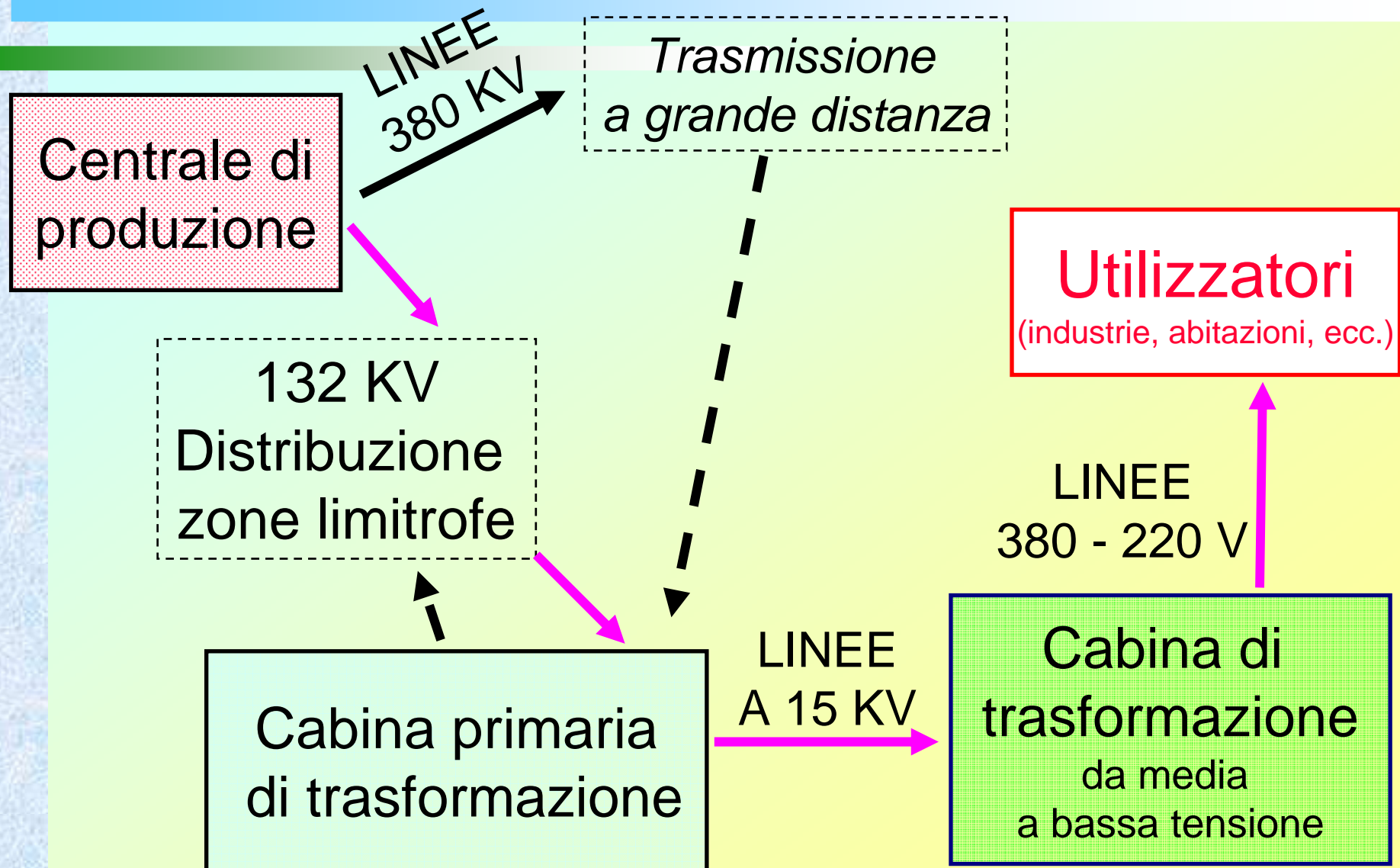
Il Sistema elettrico e la Rete

Produzione, trasmissione e distribuzione dell'energia elettrica

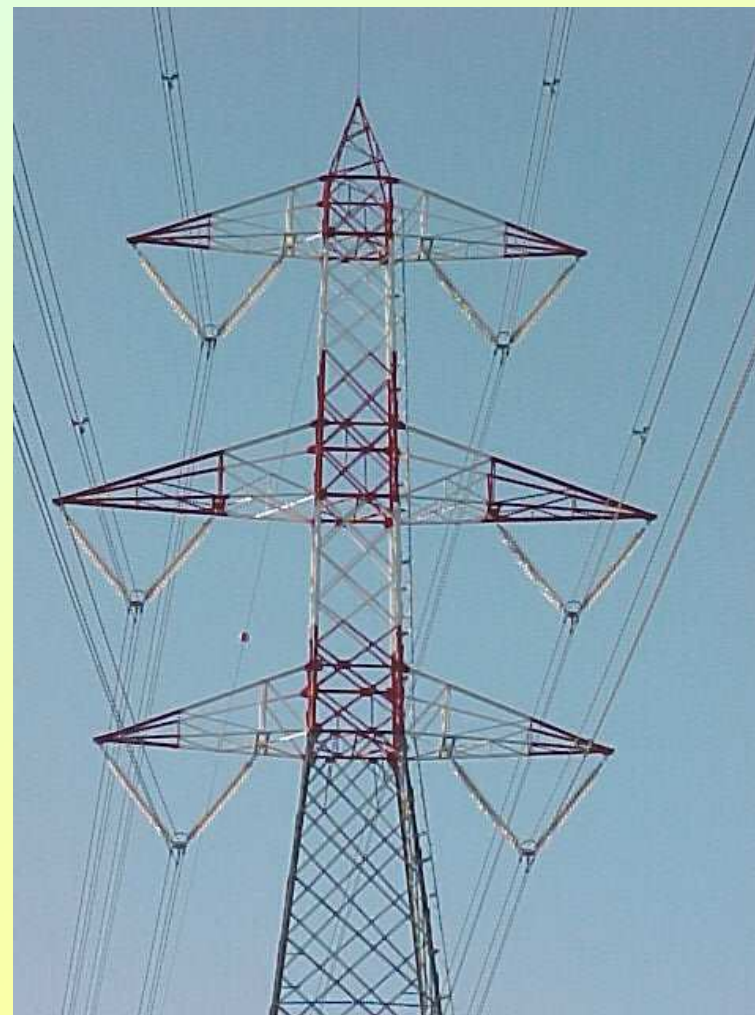
- (1) THT: altissima tensione
(2) HT: alta tensione



Il Sistema elettrico e la Rete



Le linee a 380 kV: le “*autostrade*” dell’energia elettrica



Le linee a 132 kV: le strade dell'energia elettrica



Le linee a 15 kV: le “strade di quartiere” dell’energia elettrica



Cabine di trasformazione MT/BT

Media tensione:
linee a 15 kV

Bassa tensione:
linee a 380 e 220 V



Cabine di trasformazione MT/BT



La *Tensione* e la *Corrente*

- La **tensione**, o differenza di potenziale, è pressoché costante in un elettrodotto (variazioni di circa l'1%).
- L'intensità di **corrente** varia molto sia durante il giorno che durante l'anno e dipende dal carico che la singola linea elettrica ha all'interno della rete.

Potenza trasmessa e corrente sulla linea

Grandezze elettriche che caratterizzano la rete AT:

P → **Potenza attiva** (in MegaWatt)

Q → **Potenza reattiva** (in MegaVar)

dovuta alla parte induttiva e capacitiva della rete e degli utilizzatori

ϕ → **sfasamento** introdotto dagli utilizzatori

e le relazioni che le legano:

$$0.9 \leq \cos \phi \leq 1$$

$$\frac{Q}{P} = \operatorname{tg} \phi$$

Corrente I in A

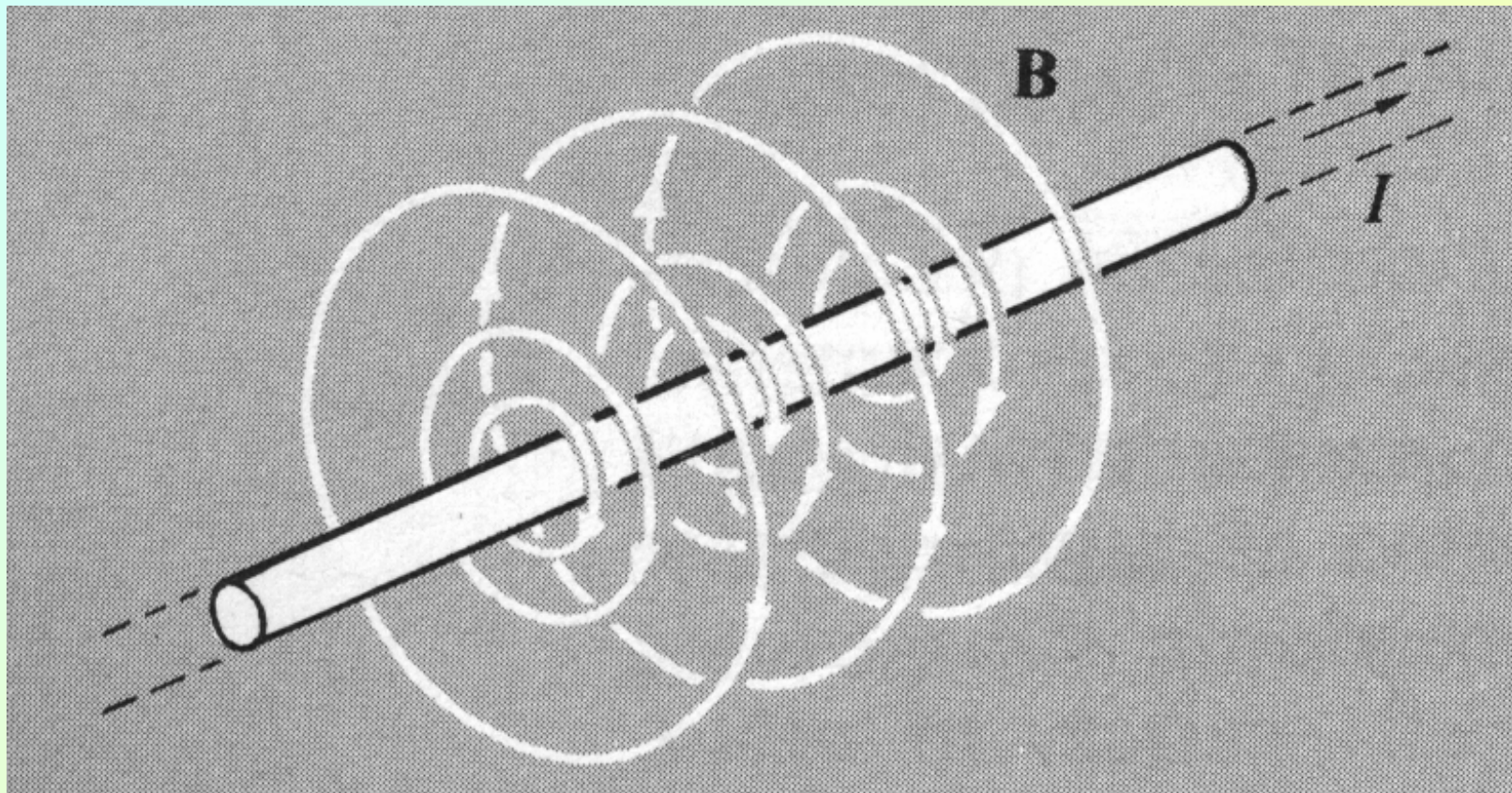
$$I = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{\underbrace{380}_{\text{Tensione in kV al denominatore}} \cdot \sqrt{3}} \cdot 1000$$

$$I = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{\underbrace{132}_{\text{Tensione in kV al denominatore}} \cdot \sqrt{3}} \cdot 1000$$

Tensione in kV al denominatore

Induzione magnetica prodotta da un filo* percorso da corrente

La legge di Biot-Savart

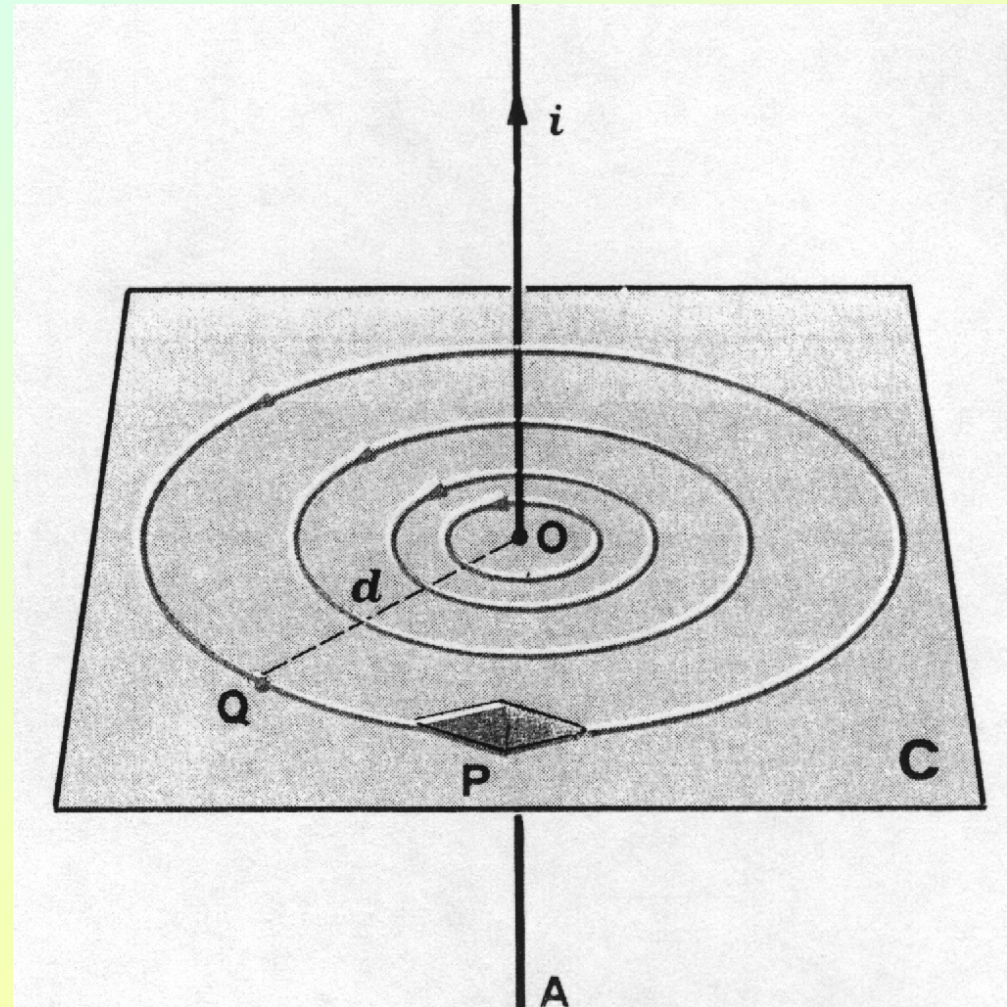


(*) rettilineo e di lunghezza infinita

Induzione magnetica prodotta da un filo* percorso da corrente

$$B = K \cdot \frac{i}{d}$$

L'induzione magnetica B è direttamente proporzionale all'intensità di corrente i ed inversamente proporzionale alla distanza d



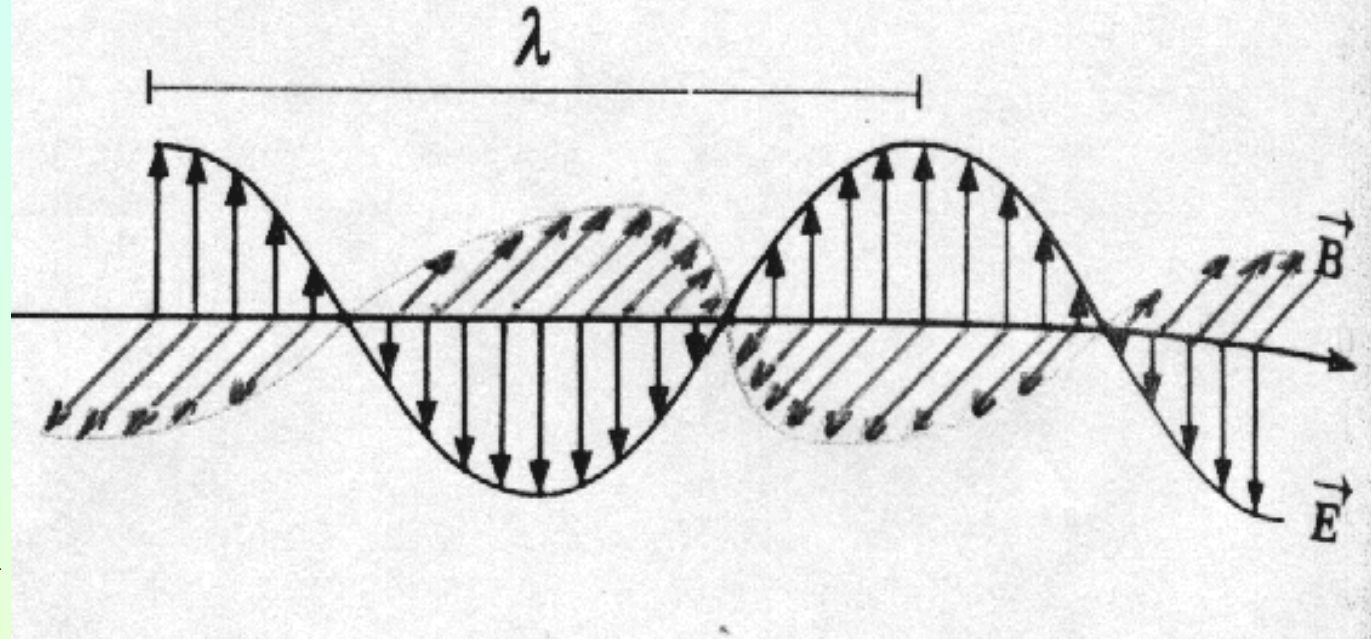
(*) rettilineo e di lunghezza infinita

La frequenza di rete: 50 Hz

$$\nu = 50 \text{ Hz}$$

$$\lambda = \frac{c}{\nu}$$

$$\lambda = 6000 \text{ km}$$



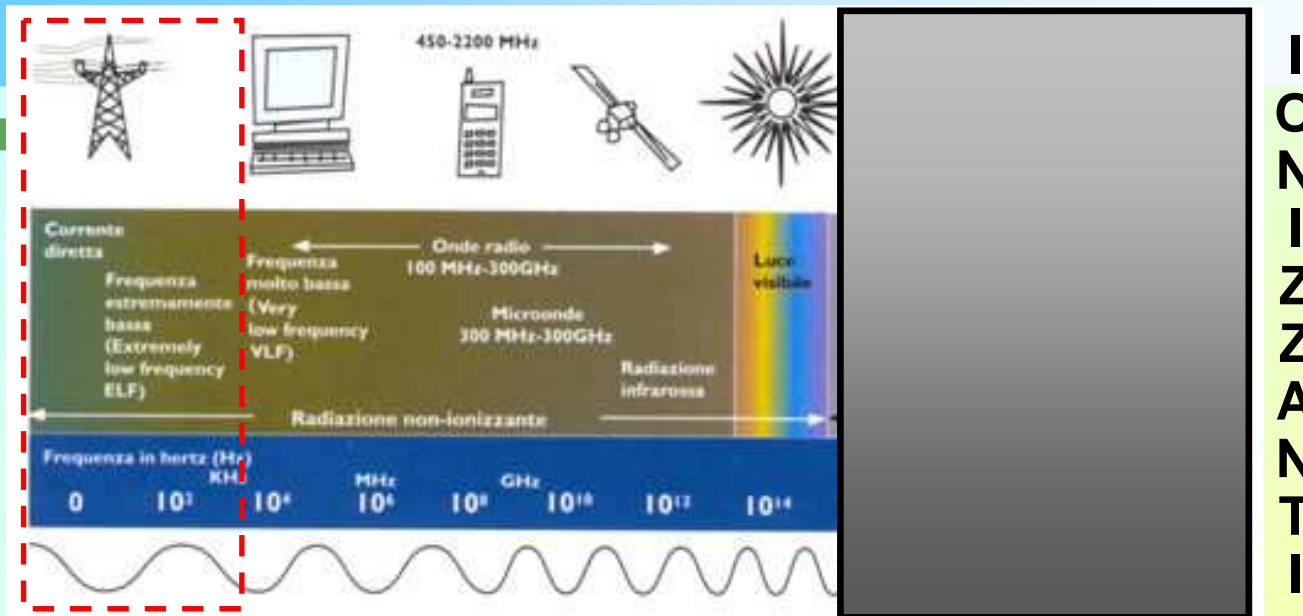
$$V = V_0 \cdot \cos(\omega t + \phi)$$

$$I = I_0 \cdot \cos(\omega t + \phi)$$

$$B = B_0 \cdot \cos(\omega t + \phi)$$

La tensione e la corrente oscillano nel tempo 50 volte al secondo \Rightarrow l'induzione magnetica generata dalla corrente oscilla con la stessa frequenza.

La frequenza di rete: 50 Hz (ELF)



Spettro radiazioni elettromagnetiche

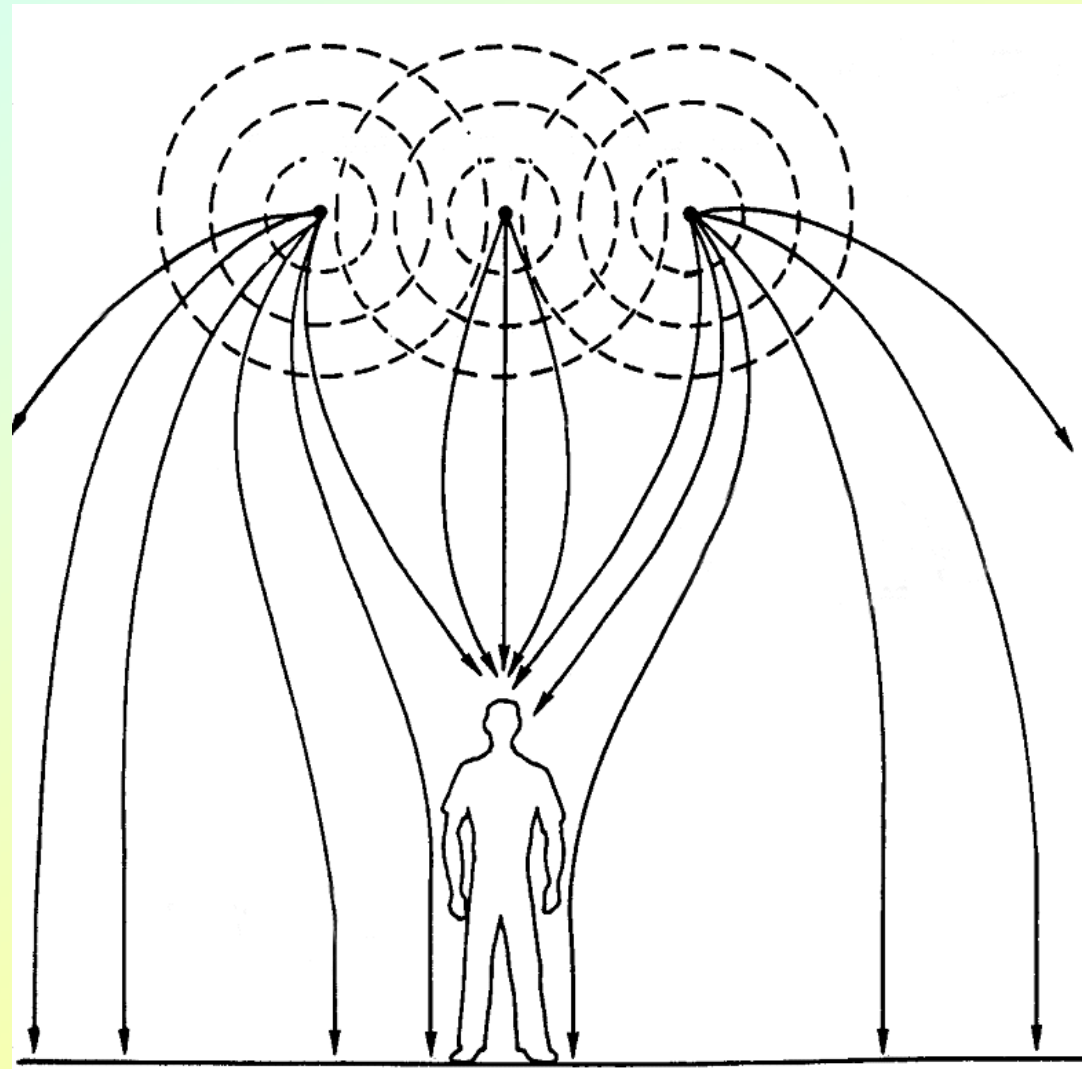
$$\nu = 50 \text{ Hz}$$

$$\lambda = \frac{c}{\nu}$$

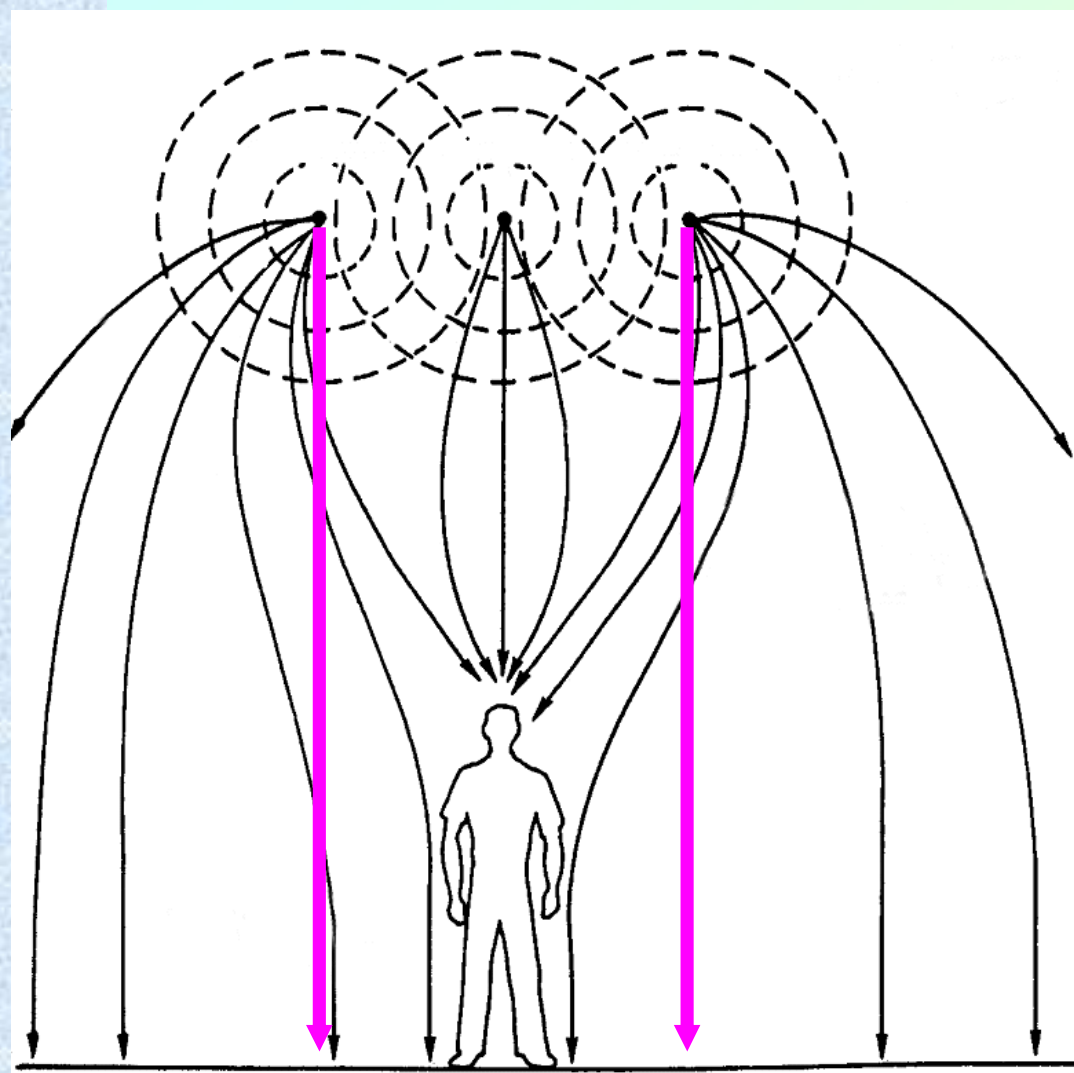
$$\lambda = 6000 \text{ km}$$

In prossimità degli elettrodotti i campi **E** e **B** non sono legati tra loro da una relazione matematica (*non si possono ricavare uno dall'altro*) e variano fortemente da punto a punto. **E** e **B** vanno quindi trattati e misurati separatamente.

Le grandezze fisiche in presenza di un elettrodotto



Le grandezze fisiche in presenza di un elettrodotto: il campo elettrico

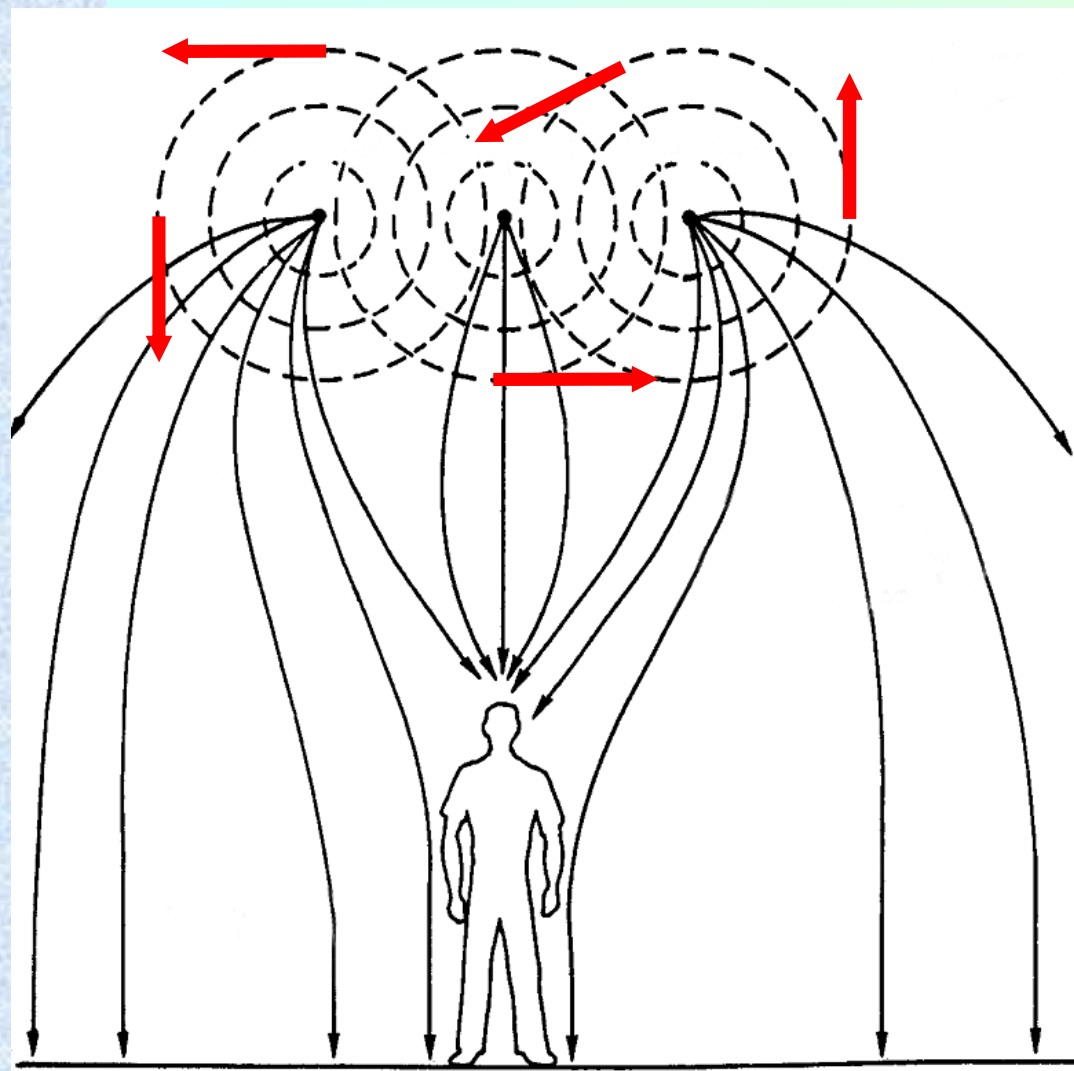


La tensione tra conduttori e terra genera un **campo elettrico** verticale.

Il **campo elettrico** è molto intenso sotto i conduttori e si attenua rapidamente con la distanza.

Il **campo elettrico** è facilmente schermabile dagli oggetti e dalle strutture ed è trascurabile all'interno delle abitazioni.

Le grandezze fisiche in presenza di un elettrodotto: l'induzione magnetica



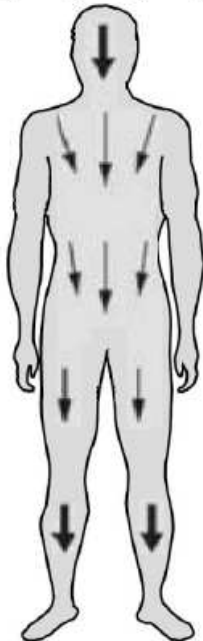
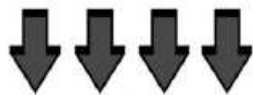
La corrente che scorre nei conduttori genera un **campo di induzione magnetica** che si propaga per cerchi concentrici e si attenua con la distanza come $1/r^2$.

L'induzione magnetica non è schermata dagli oggetti e dalle strutture ed è presente e rilevabile strumentalmente all'interno delle abitazioni.

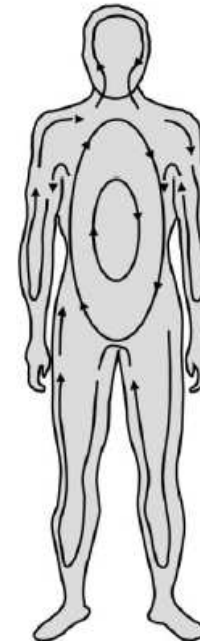
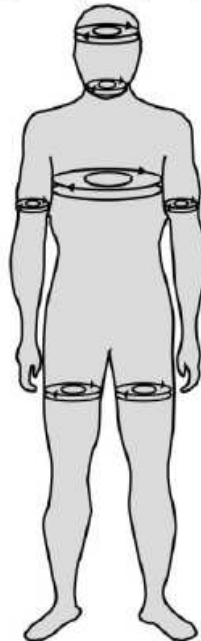
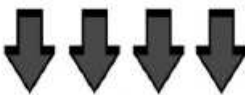
Effetti sull'uomo dell'esposizione a breve termine

Induzione di correnti elettriche nel corpo umano

campo elettrico



campo magnetico



Effetti acuti:
esposizione di
breve durata a
livelli molto elevati

**Effetti a lungo
termine:**
esposizione di
lunga durata
a livelli modesti

Unità di misura e ordini di grandezza

Campo elettrico	E	Volt/metro	V/m
Campo magnetico	H	Ampère/metro	A/m
Induzione magnetica	B	microTesla	μT

$$1 \text{ Guass} = 10^{-4} \text{ Tesla}$$

$$1 \text{ mGuass} = 0.1 \mu\text{T}$$

$$1 \text{ A/m} = 4\pi/10 \mu\text{T}$$

$$(4\pi/10 = 1.257)$$

Di una grandezza sinusoidale si misura il **valore efficace**:

$$E \cong 100 \div 2000 \text{ V/m}$$

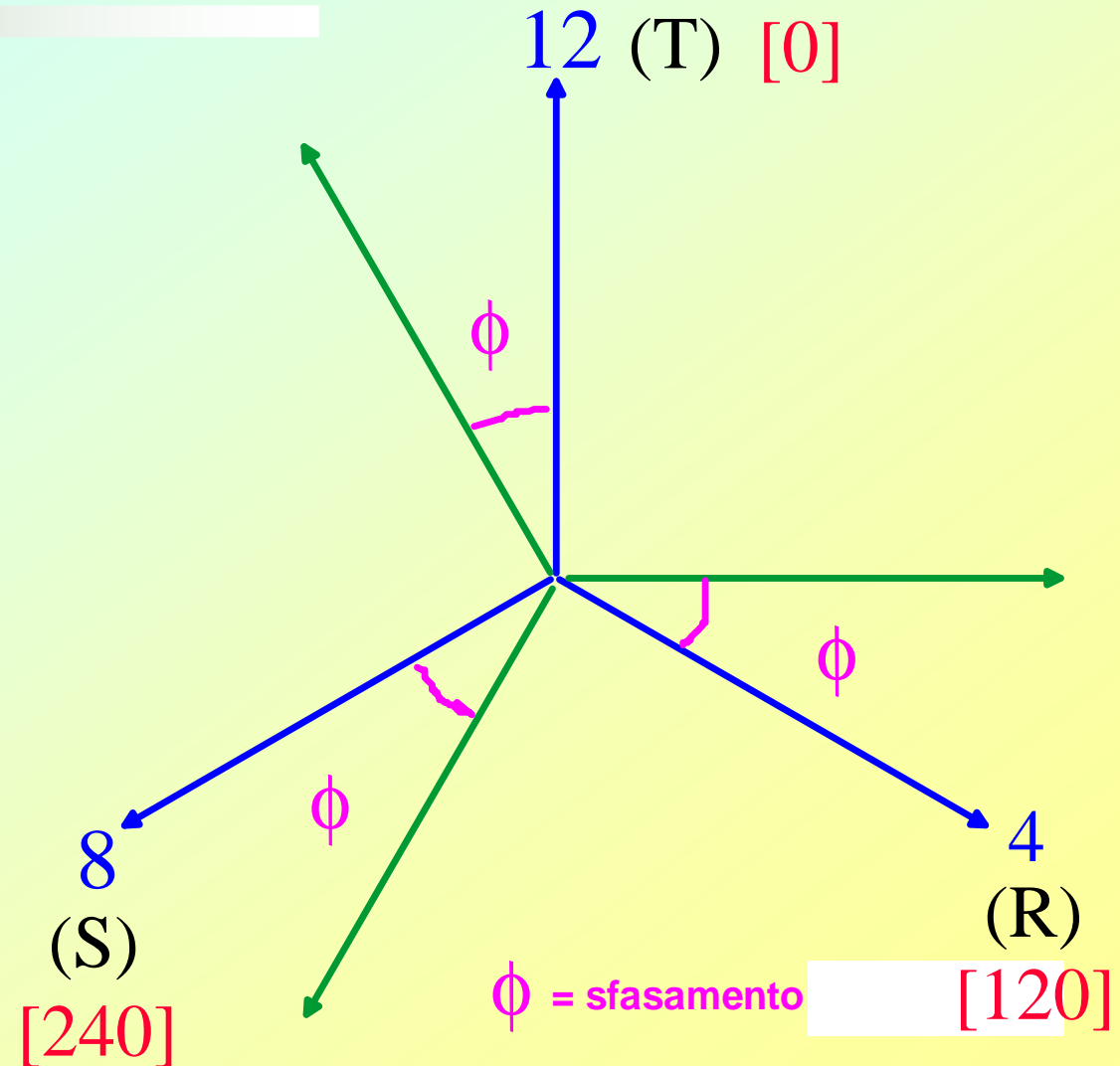
$$B \cong 0.1 \div 5 \mu\text{T}$$

$$\sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T B(t)^2 dt}$$

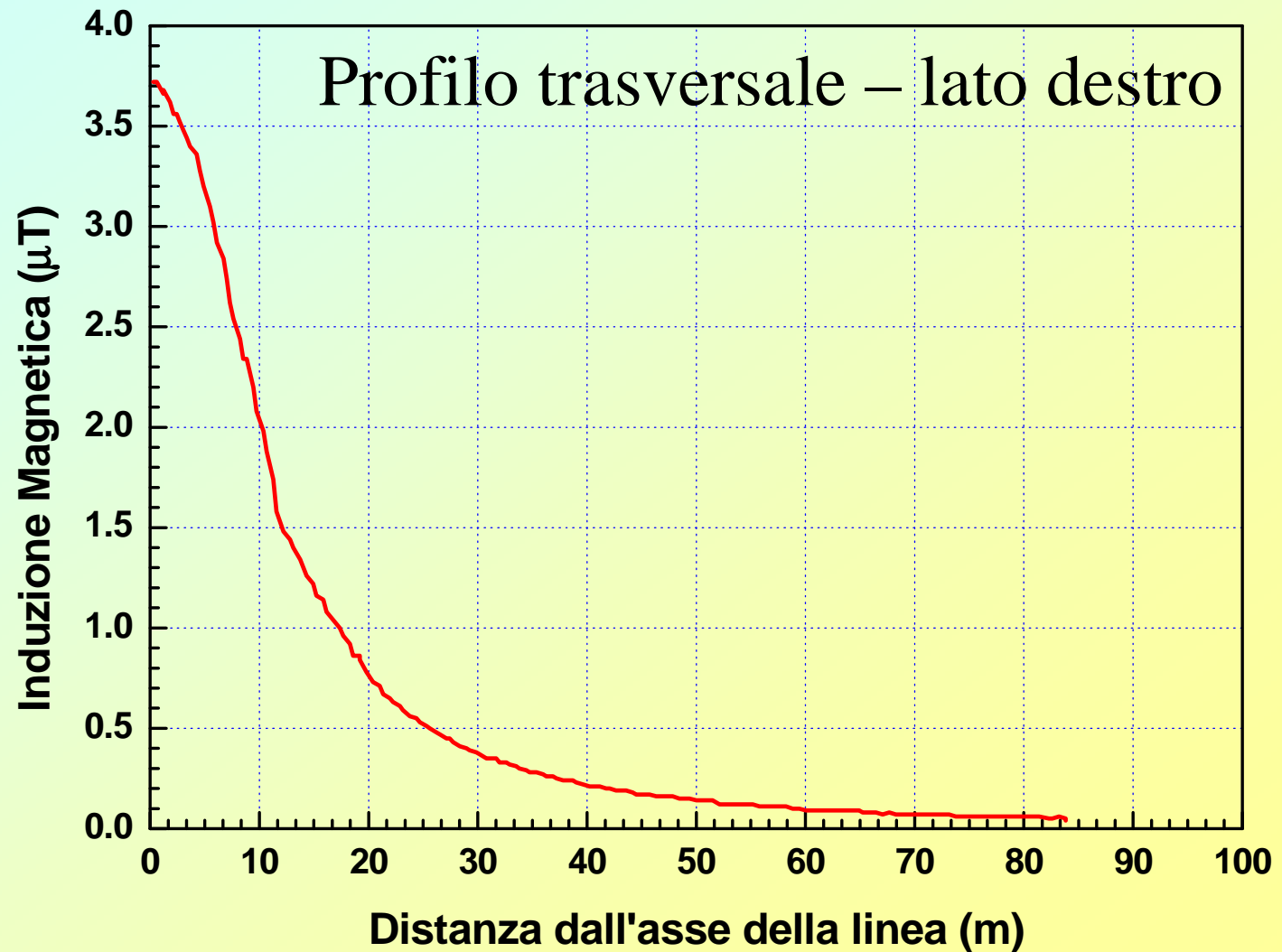
La corrente trifase e l'induzione magnetica

La risultante dell'induzione magnetica misurata in un punto è la somma di 3 vettori, ruotati ognuno di 120° rispetto all'altro

[vedi Norma CEI 211-4]

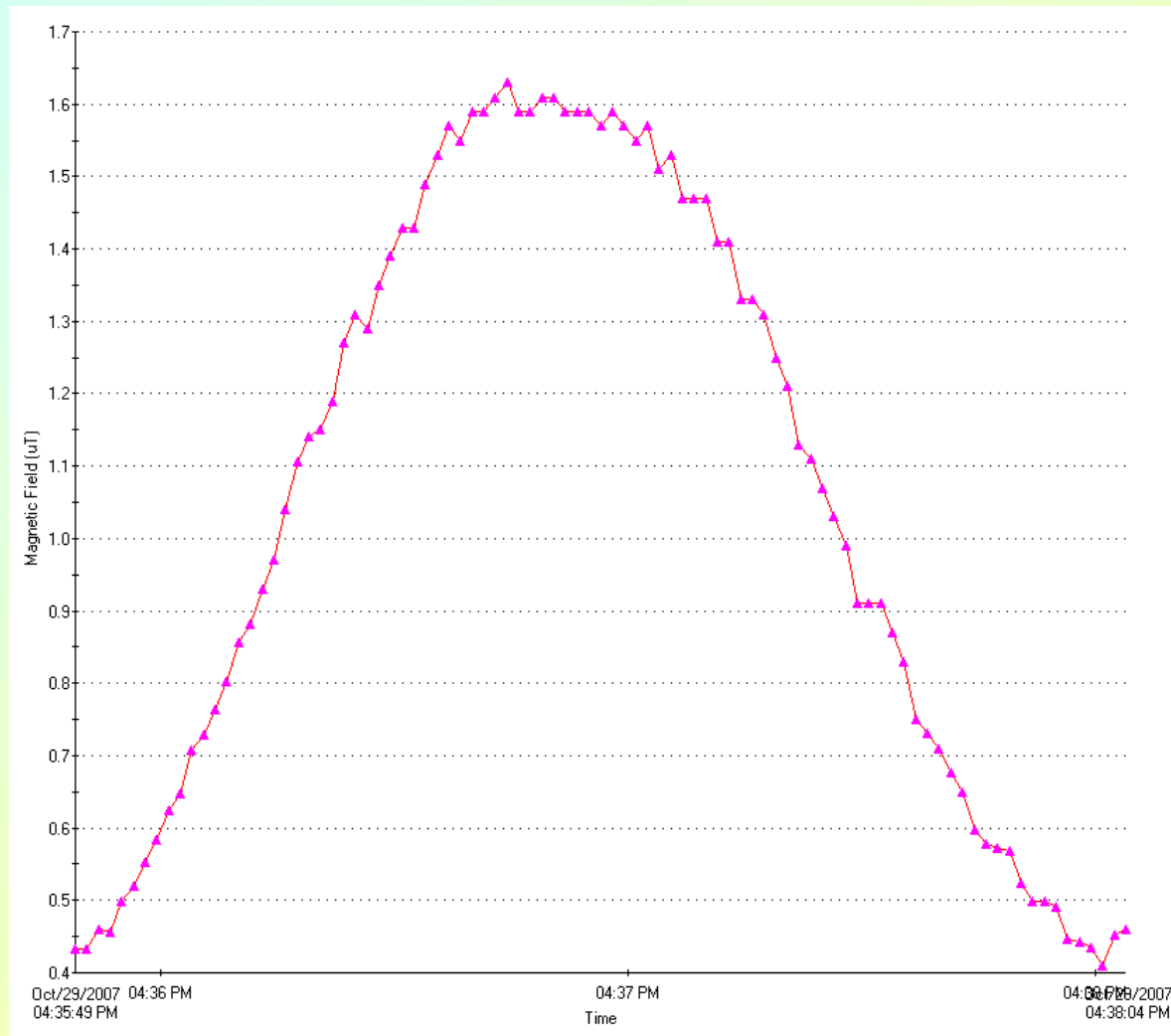
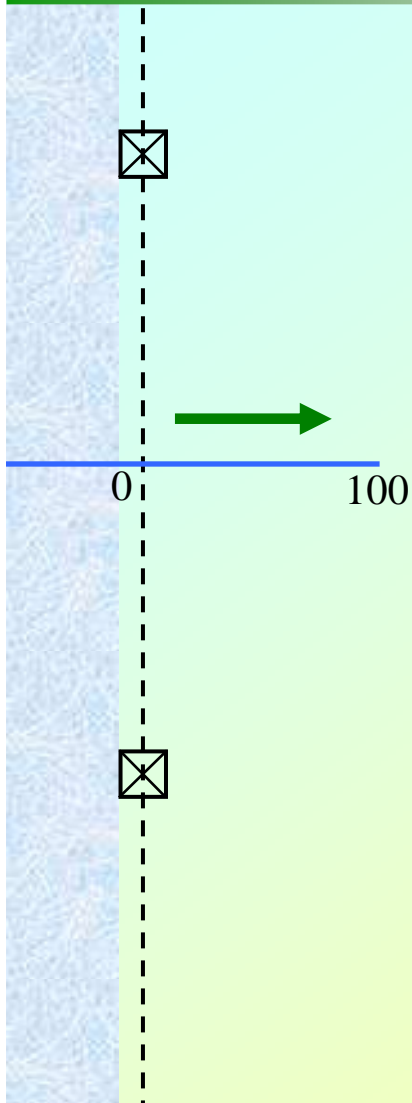


Le misure sul campo: andamento dell'induzione magnetica con la distanza

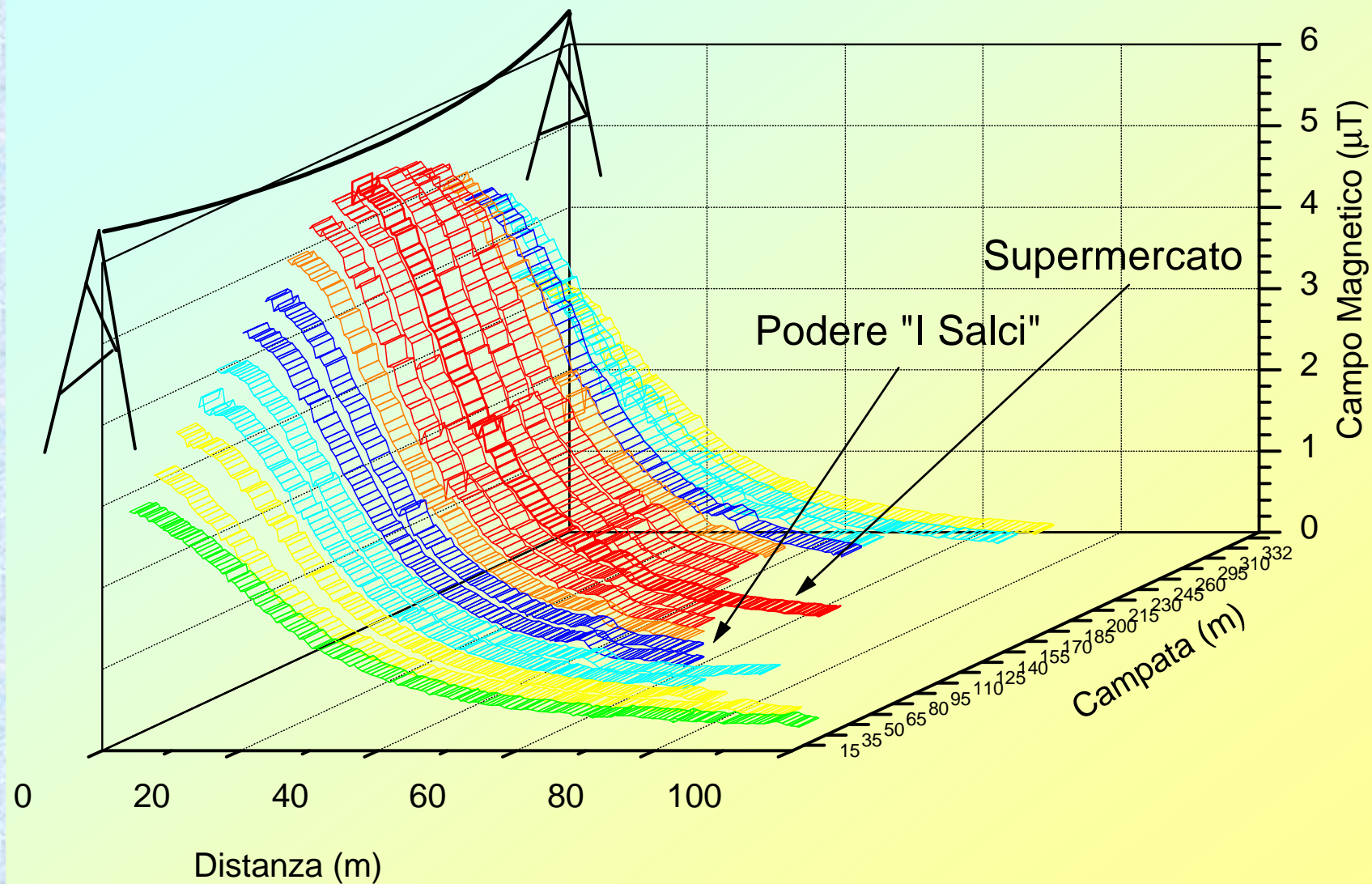


Le misure sul campo: andamento dell'induzione magnetica con la distanza

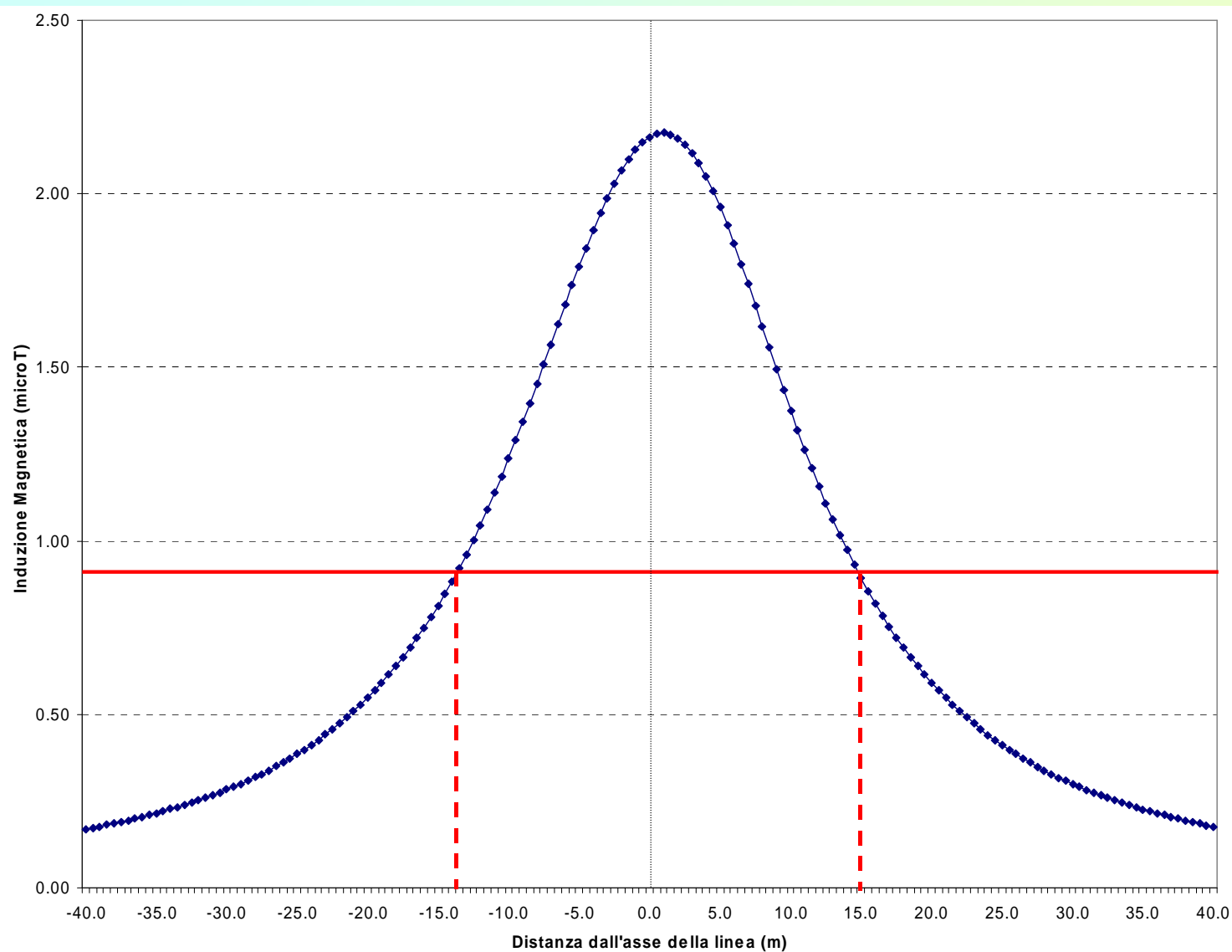
Profilo trasversale



Profili trasversali sotto una campata di una linea a 380 kV



I corridoi caratterizzati da livelli di induzione magnetica significativi



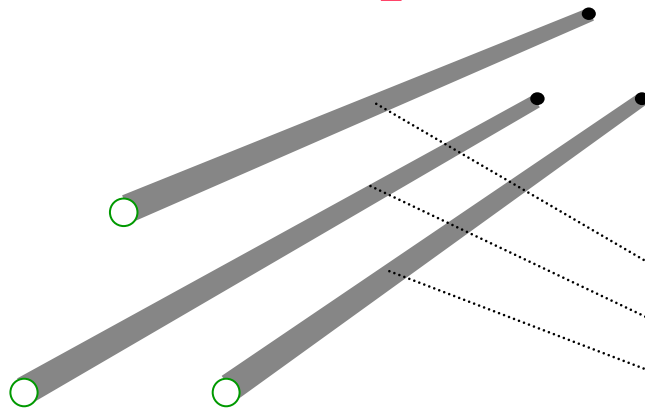
Esempio di mappatura di un'area residenziale attraversata da un elettrodotto



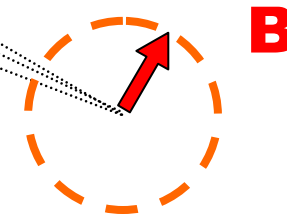
L'induzione magnetica risultante in punto

Teorema di Ampère

$$\vec{B} = -\frac{\mu_0}{4\pi} \sum_{k=0}^{NR-1} \int_{C_k} \frac{i}{r^3} \vec{r} \times d\vec{l}$$



$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{2\pi} \sum_{k=0}^{NR-1} \frac{i_k \vec{z} \times (Q - P_k)}{|Q - P_k|^2}$$



Approssimazione bidimensionale

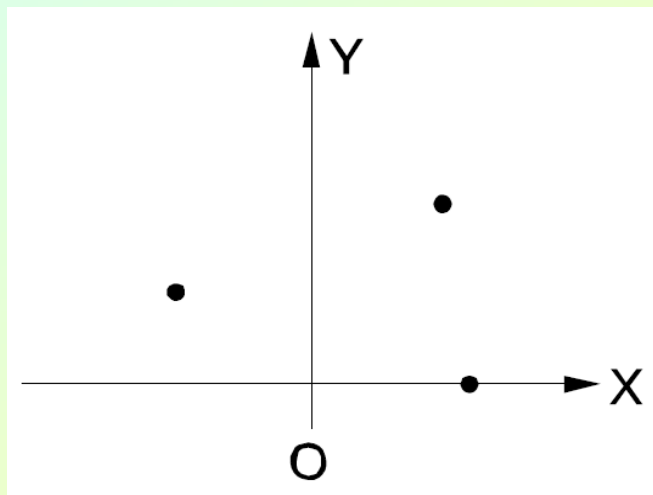
I modelli di calcolo previsionale in 2D

ESEMPIO DI STRUTTURA 132 kV SEMPLICE TERNA

!

0.0136	+3.50	+0.00	76210	800	+120
0.0136	-3.00	+2.10	76210	800	+0
0.0136	+2.90	+4.10	76210	800	-120

Sostegno a singola terna



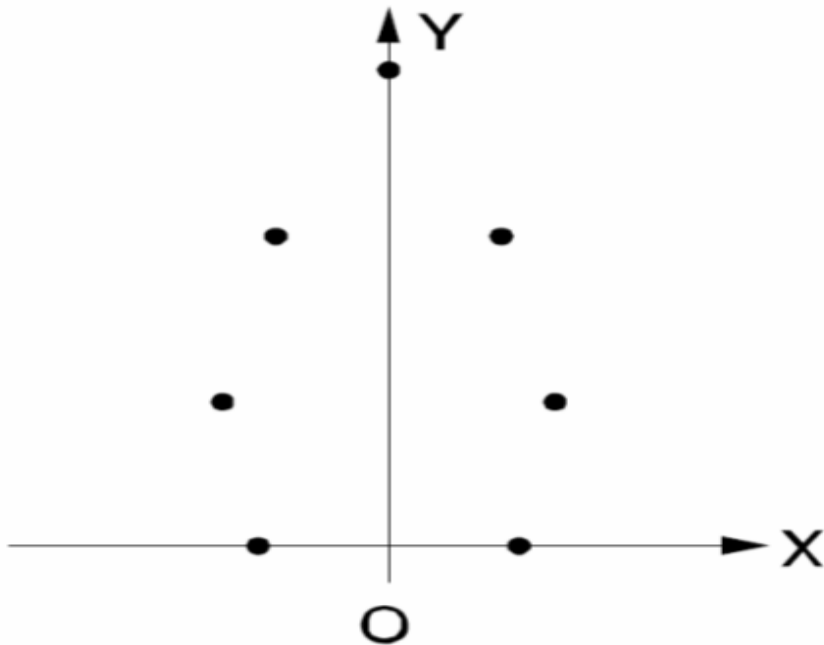
CAMPI 4.1 realizzato da D.Andreuccetti dell'IFAC-CNR di Firenze

I modelli di calcolo previsionale in 2D

```

! NUMERO DEI CONDUTTORI DEFINITI
! -----
! 7
! RAGGIO POS_X POS_Y TENSIONE CORRENTE FASE
! -----
0.136 -5.52 +0.0 219393 @1 -120
0.136 -7.02 +8.0 219393 @1 +0
0.136 -4.82 +17.2 219393 @1 +120
0.136 +5.52 +0.0 219393 @2 -120
0.136 +7.02 +8.0 219393 @2 +0
0.136 +4.82 +17.2 219393 @2 +120
0.006 +0.00 +26.4 0 0 +0

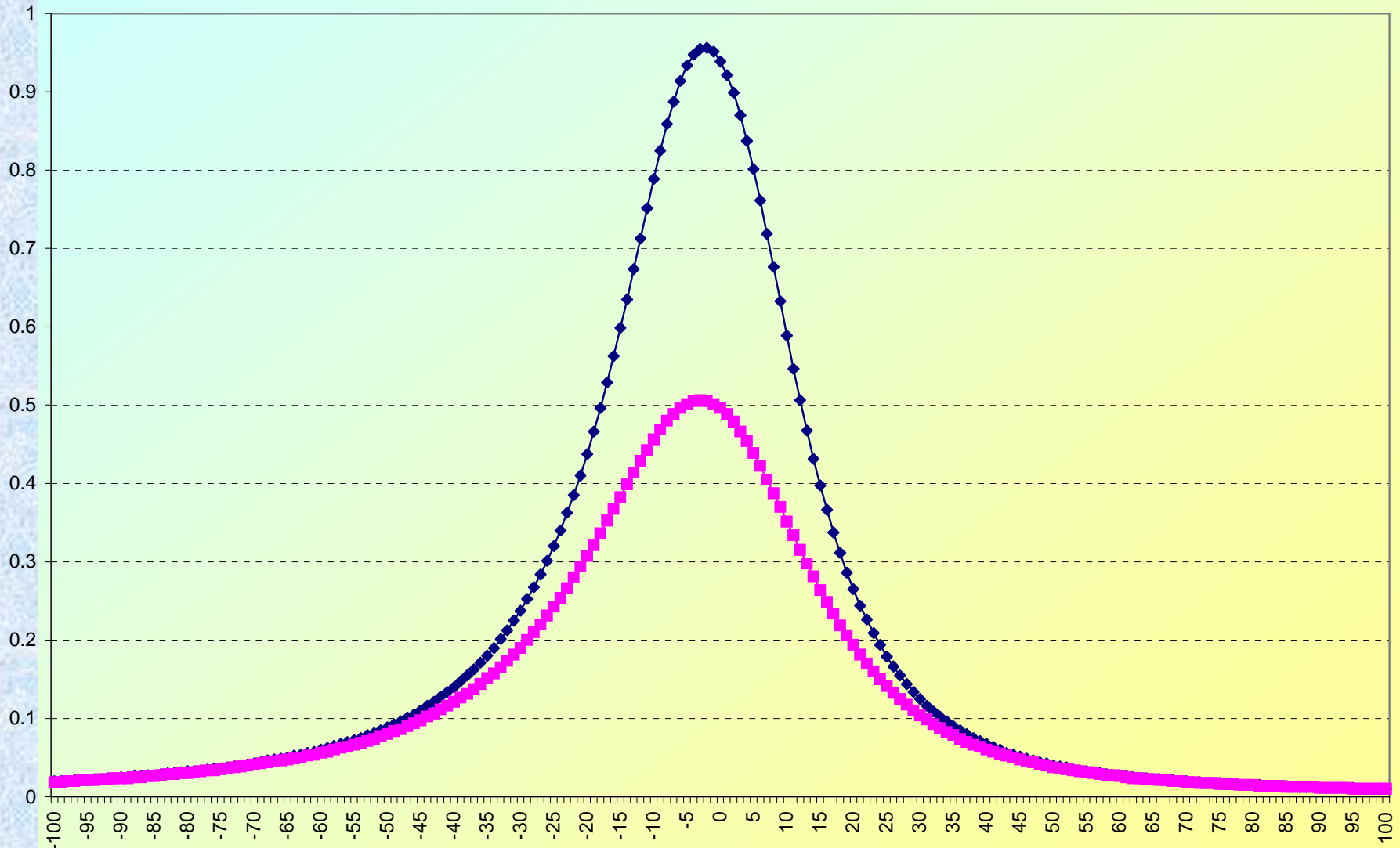
```



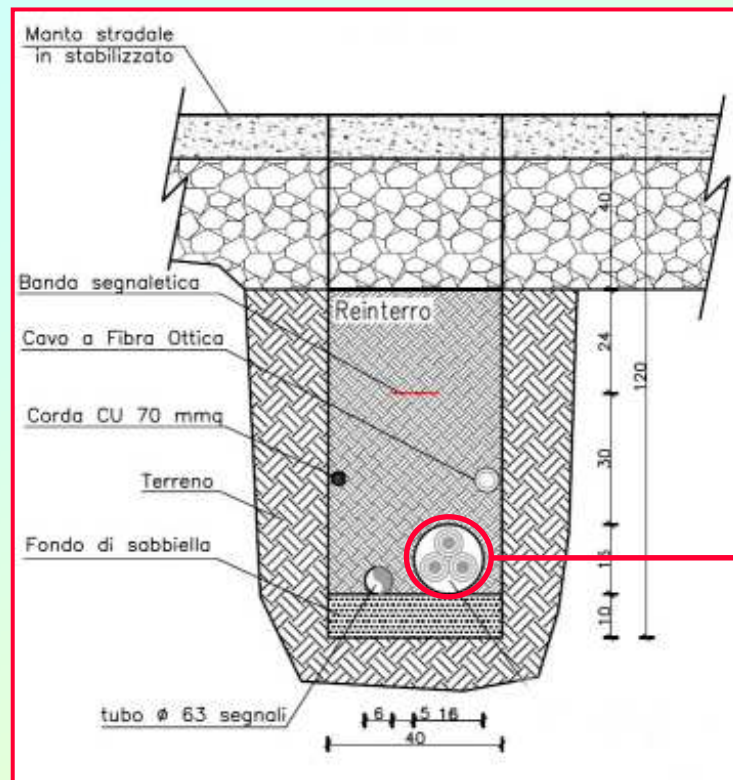
Sostegno a doppia terna



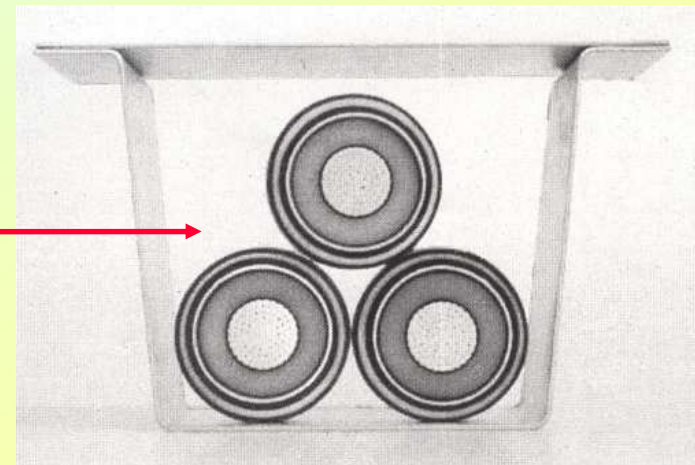
I modelli di calcolo previsionale in 2D



Linee interrate (a 132 kV e a 15 kV)



Esempi di posa a trifoglio



Con canalina schermante

I modelli di calcolo previsionale in 3D

Nelle campate a dislivello, negli angoli e negli incroci di linee non è più applicabile l'approssimazione bidimensionale

- ◆ **Descrizione corretta della posizione e della forma dei conduttori nello spazio** (lunghezza campata, altezza attacchi, tiro orizzontale e peso unitario).
- ◆ **Modellizzazione del terreno.**
- ◆ **Calcolo dell'integrale di linea del teorema di Ampère lungo la catenaria.**