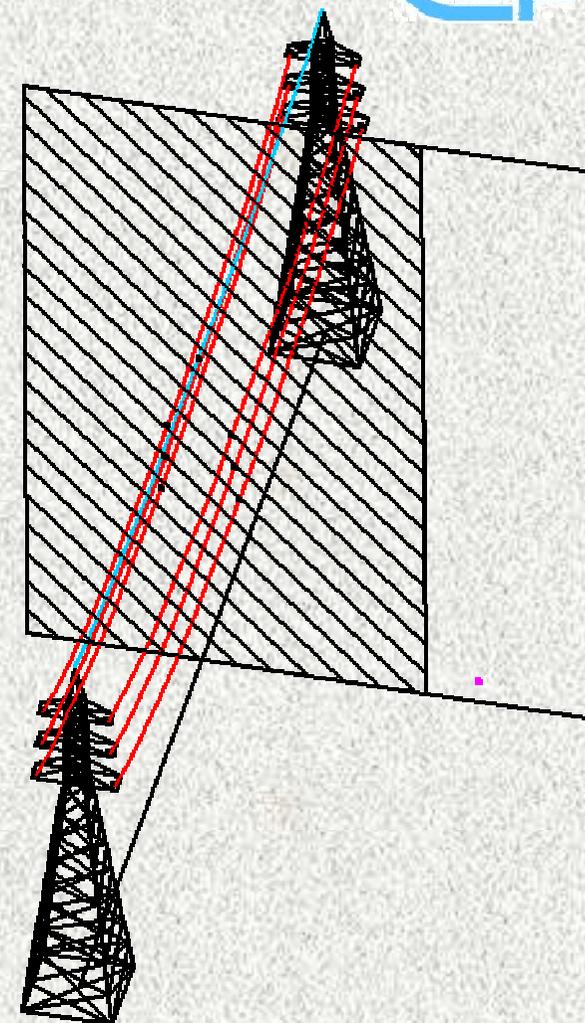


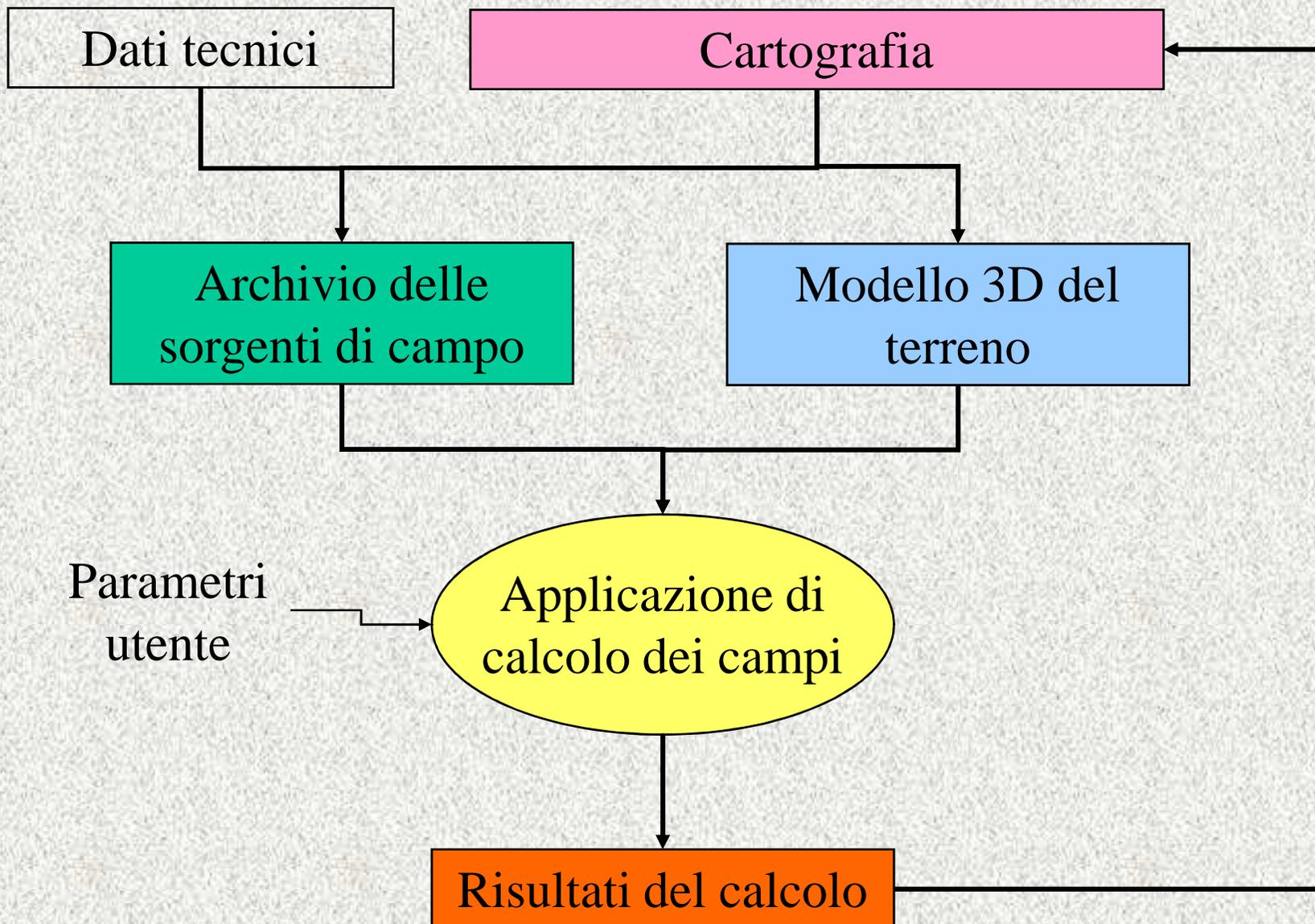
Campo magnetico disperso  
da elettrodotti ad alta  
tensione:  
una metodologia avanzata  
di valutazione basata su  
modelli 3D di linee  
elettriche e territorio



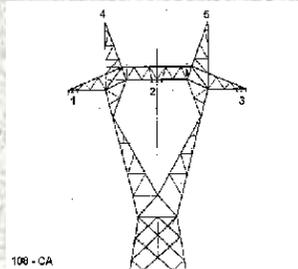
Andreuccetti D.

Zoppetti N.

# Componenti di base

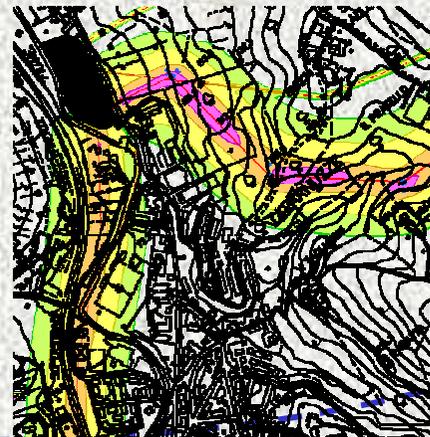
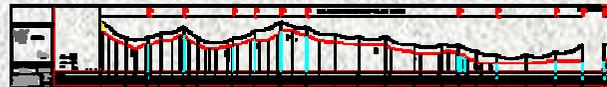
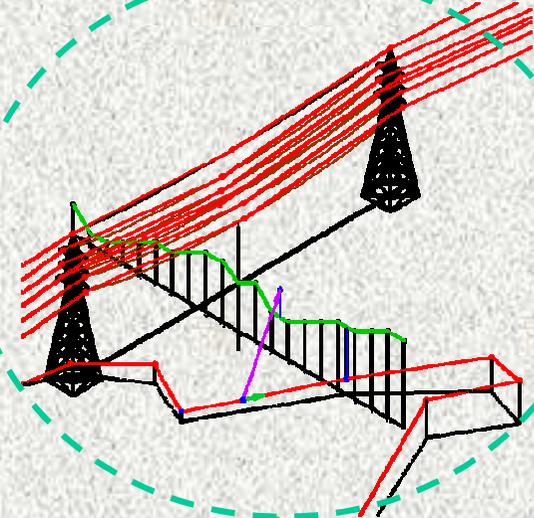
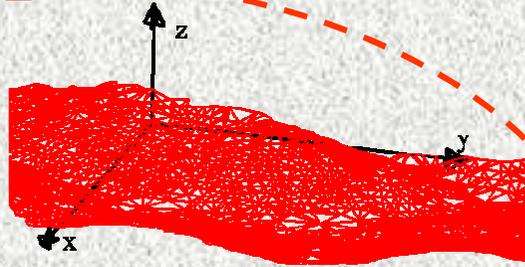


# Componenti di base



100 - CA

ID_TIPO	N_PROG	POS_ORIZ	POS_VERT
00108	1	-8.60	0.00
00108	2	0.00	1.00
00108	3	8.60	0.00
00108	4	-5.20	7.00
00108	5	5.20	7.00

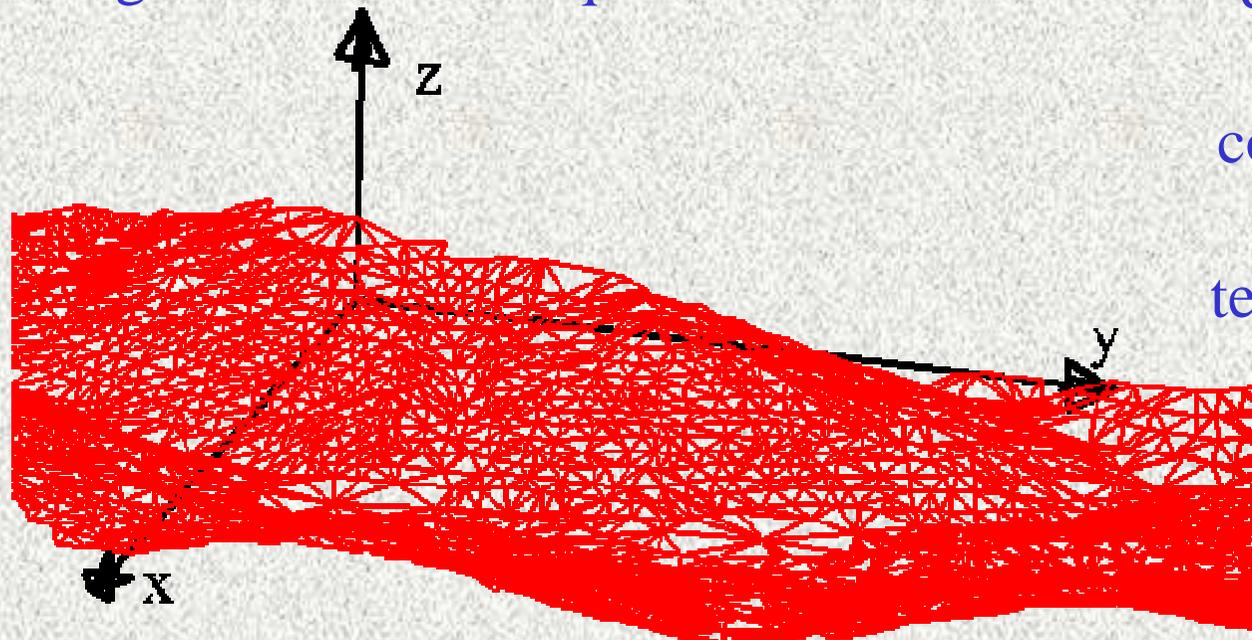


# Il ruolo della cartografia nella definizione del modello del terreno e dell'archivio delle sorgenti

# Modello tridimensionale del terreno



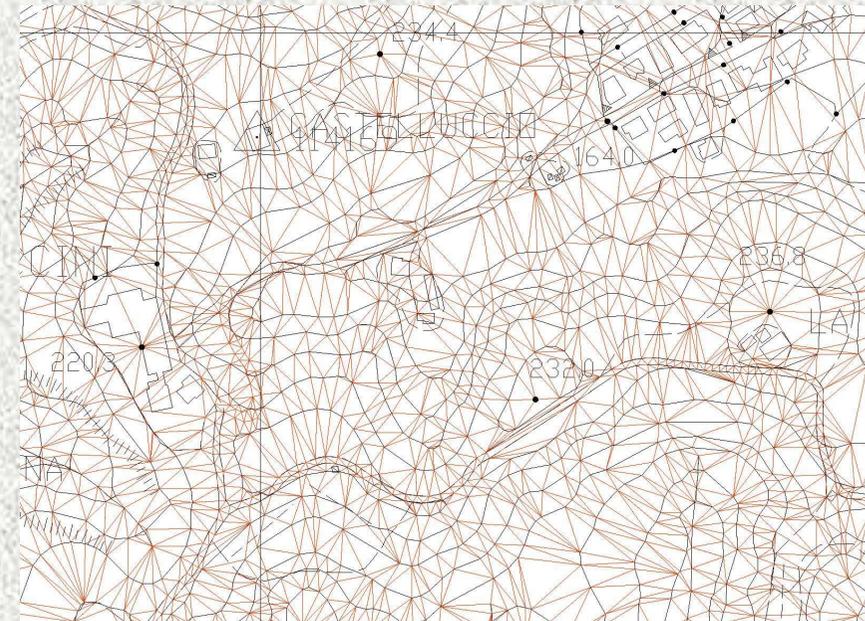
È un insieme di elementi triangolari con vertici quotati



La georeferenziazione della cartografia di base garantisce la corretta integrazione tra il modello del terreno e quello delle sorgenti

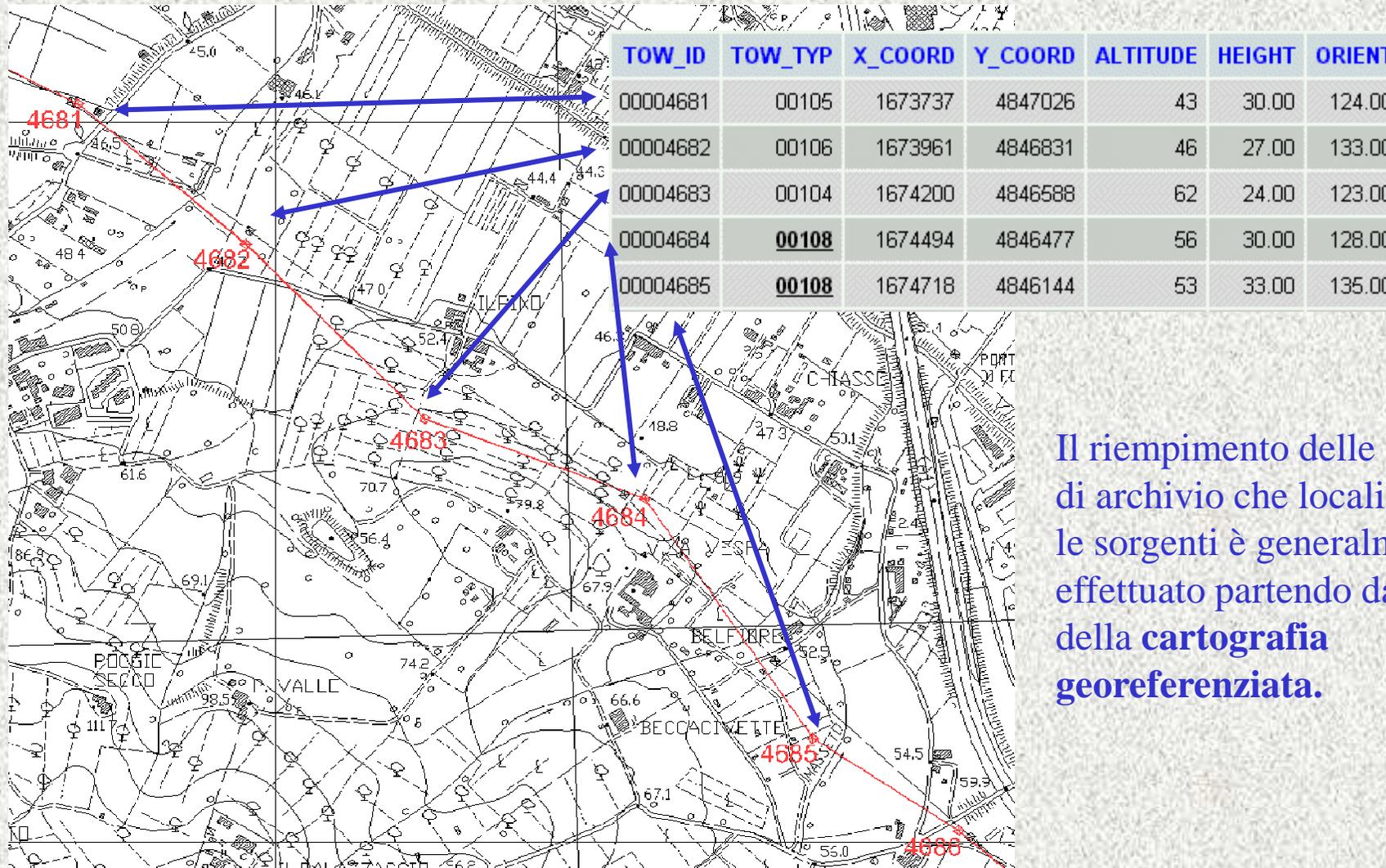
Le dimensioni di ciascun elemento sono relazionate alla scala della cartografia di base da cui il modello è ricavato

# Modello tridimensionale del terreno



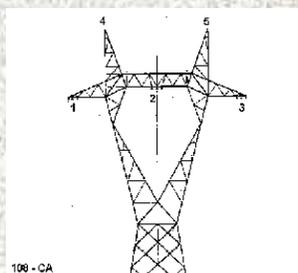
Il modello del terreno è ricavato a partire dagli elementi quotati (usualmente punti quotati e linee isocline, nel migliore dei casi idrografia e strade) della cartografia digitale attraverso una implementazione dell'algoritmo di triangolazione conforme di Delaunay

# L'archivio delle sorgenti



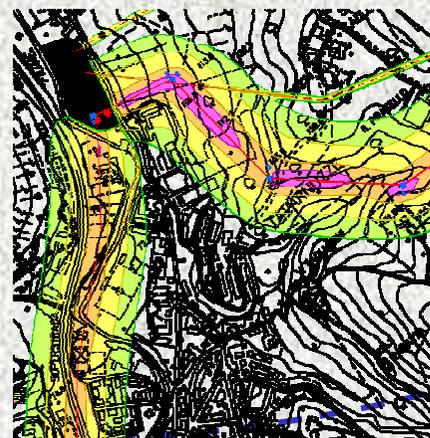
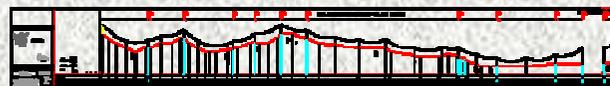
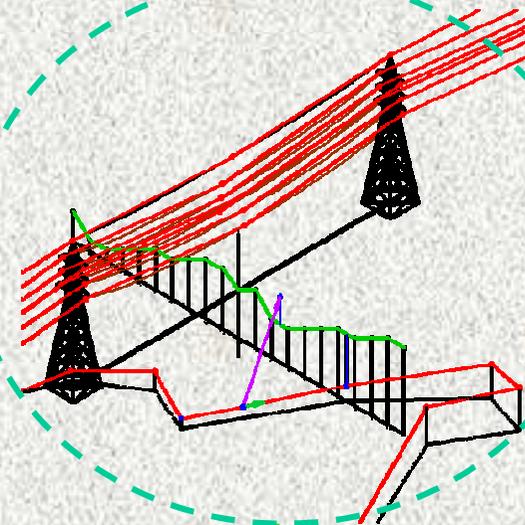
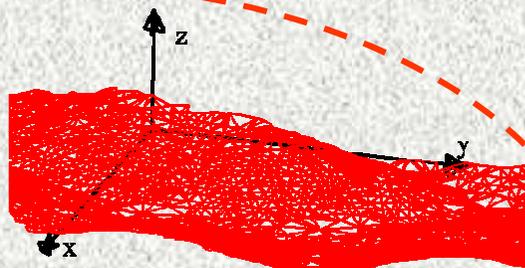
Il riempimento delle tabelle di archivio che localizzano le sorgenti è generalmente effettuato partendo dai dati della **cartografia georeferenziata**.

# La modellazione delle sorgenti

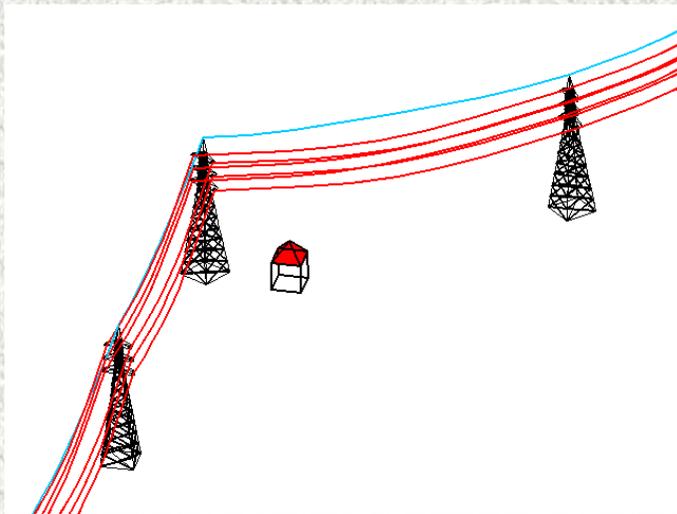
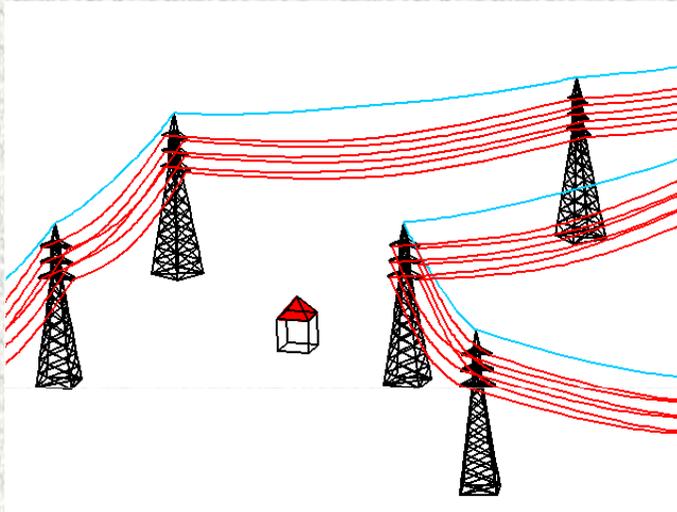


100 - CA

ID_TIPO	N_PROG	POS_ORIZ	POS_VERT
00108	1	-8.60	0.00
00108	2	0.00	1.00
00108	3	8.60	0.00
00108	4	-5.20	7.00
00108	5	5.20	7.00

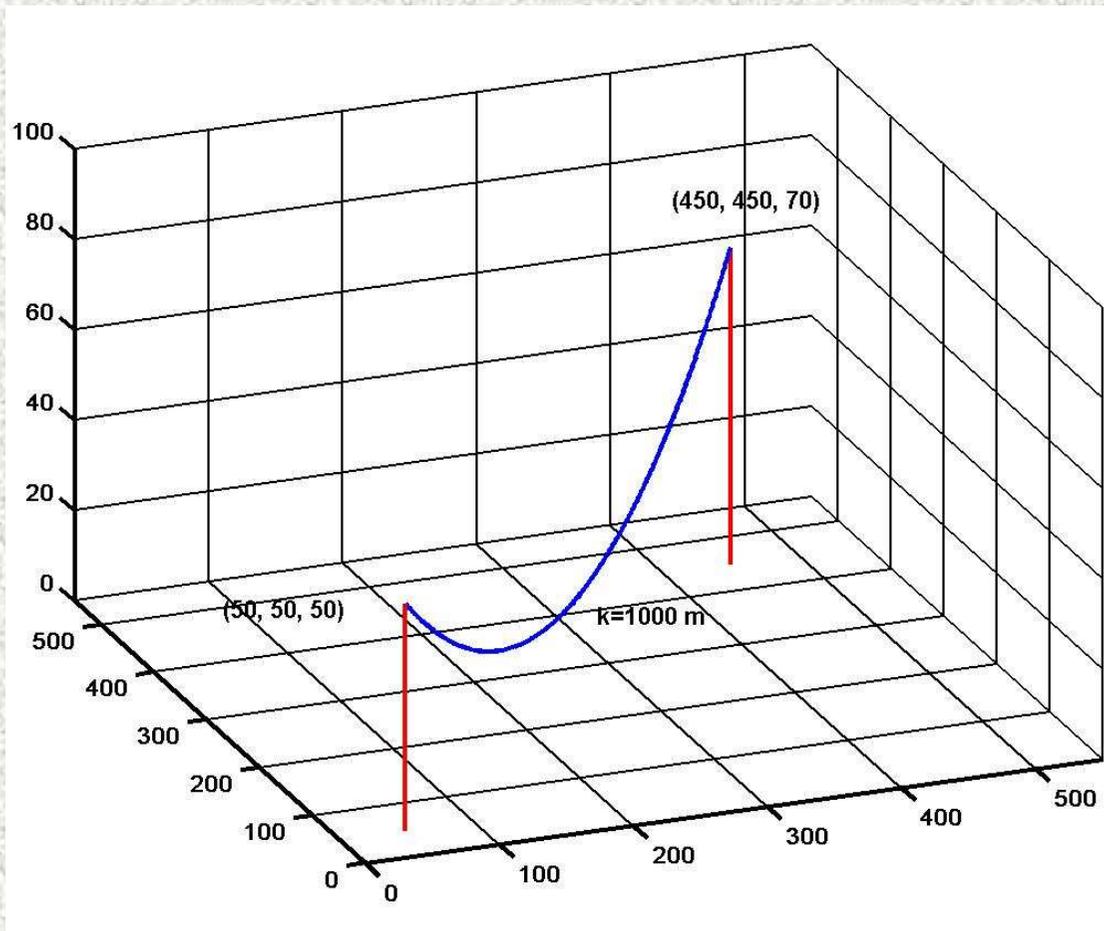


# Modello tridimensionale delle sorgenti



- Presenza di più linee elettriche non parallele;
- Calcolo dei campi in prossimità dell'asse longitudinale della linea;
- Calcolo dei campi in prossimità dei cambi di direzione della linea.

# Modello del conduttore aereo



Si basa sulla espressione della curva detta **catenaria** che descrive la forma assunta da una fune pesante sospesa per i suoi estremi a partire da:

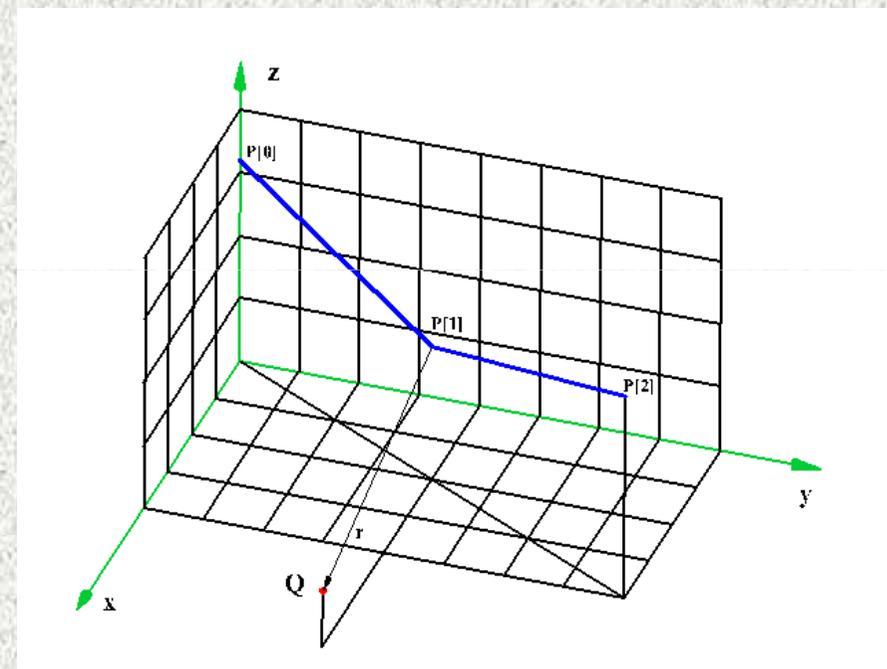
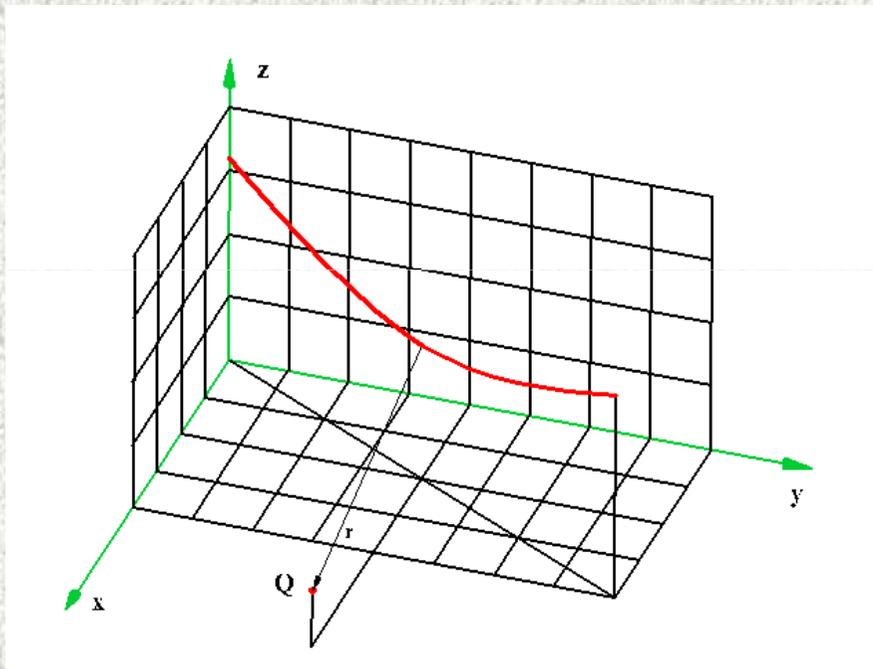
- le coordinate dei punti di sospensione
- un parametro che tiene conto delle proprietà meccaniche del conduttore

# Calcolo induzione magnetica



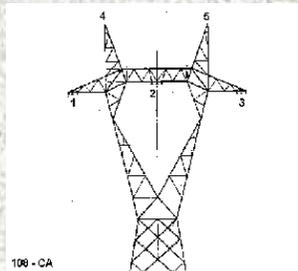
$$\vec{B}(Q) = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int_l \frac{d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3}$$

$$\vec{B}(Q) = \sum_i \frac{\mu_0 I}{4\pi} \vec{u}_i \times (Q - P_i) \int_{P_i}^{P_{i+1}} \frac{dl_i}{r_i^3}$$



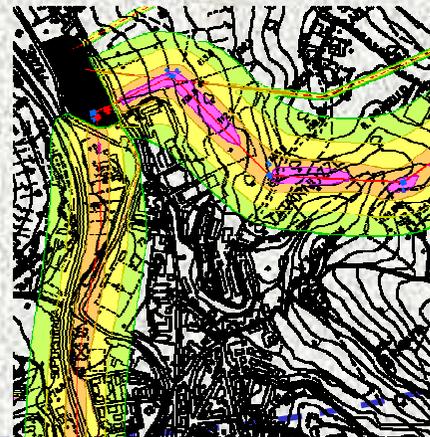
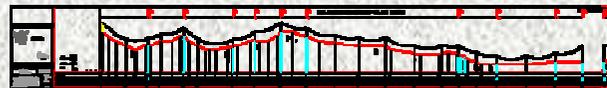
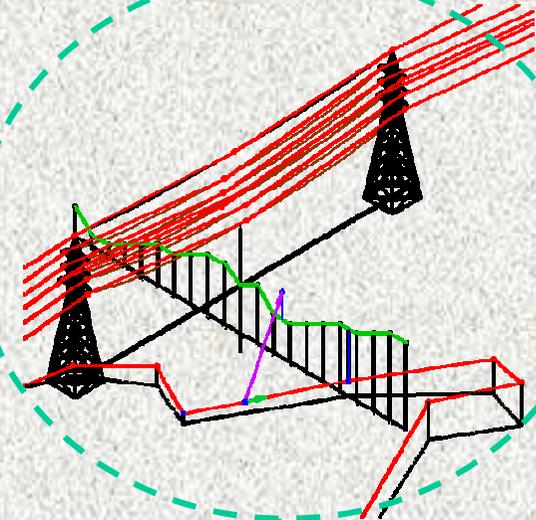
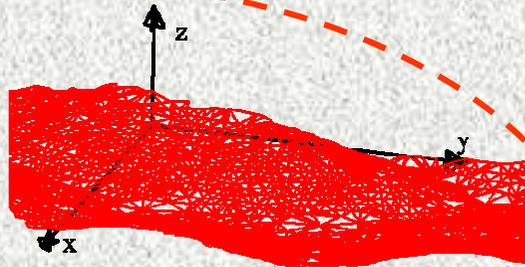
L' algoritmo di integrazione è lo stesso (cambia solo la funzione integranda) ma l'integrazione sulle corde è più veloce di quella sull'intera curva ed è implementata da un algoritmo che ha consentito un maggior controllo dell'accuratezza in fase di sviluppo.

# I risultati del calcolo



100 - CA

ID_TIPO	N_PROG	POS_ORIZ	POS_VERT
00108	1	-8.60	0.00
00108	2	0.00	1.00
00108	3	8.60	0.00
00108	4	-5.20	7.00
00108	5	5.20	7.00

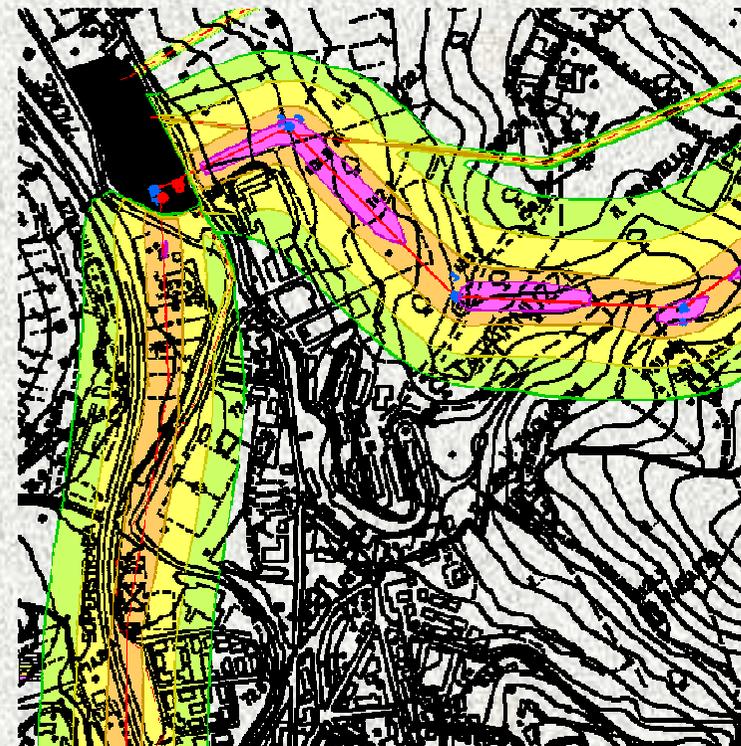


# Le mappe di isocampo



**Mappe di Isocampo:** carte tematiche in cui alla cartografia di base vengono sovrapposte delle curve di livello per i campi relative a valori di campo e di altezza dal suolo specificati dall'utente.

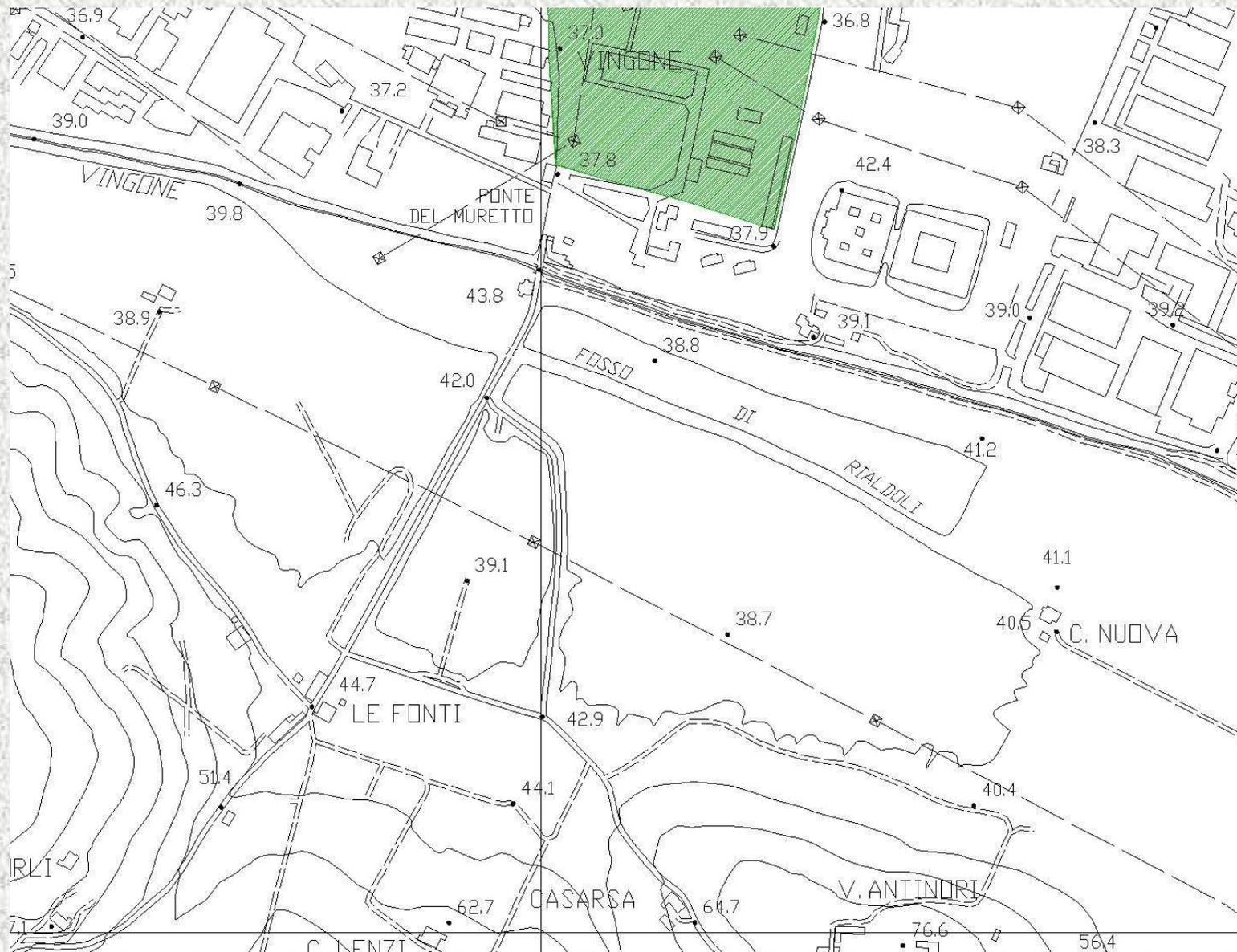
- sono sintetiche
- sono comprensibili anche ad un pubblico non specializzato
- sono lo strumento ideale per rappresentare la distribuzione di campo su vaste aree di territorio



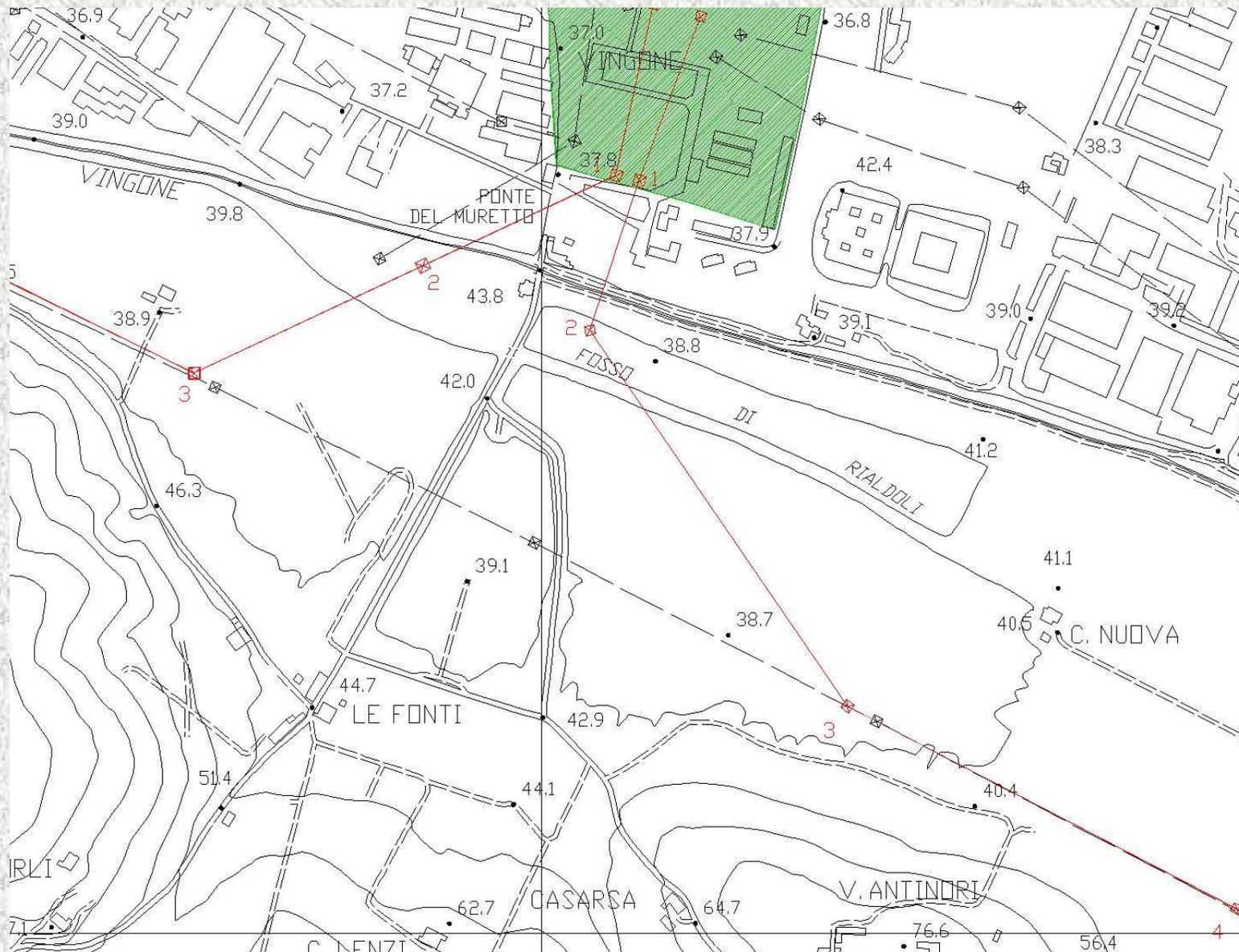
# Le mappe di Isocampo: passi logici per la costruzione

1. Modellazione delle sorgenti
2. Modellazione del terreno attraverso la scelta delle sezioni (piani di calcolo)
3. Ricerca su ogni sezione dei punti a valore di campo e altezza sul terreno assegnati
4. Tracciamento delle linee isocampo

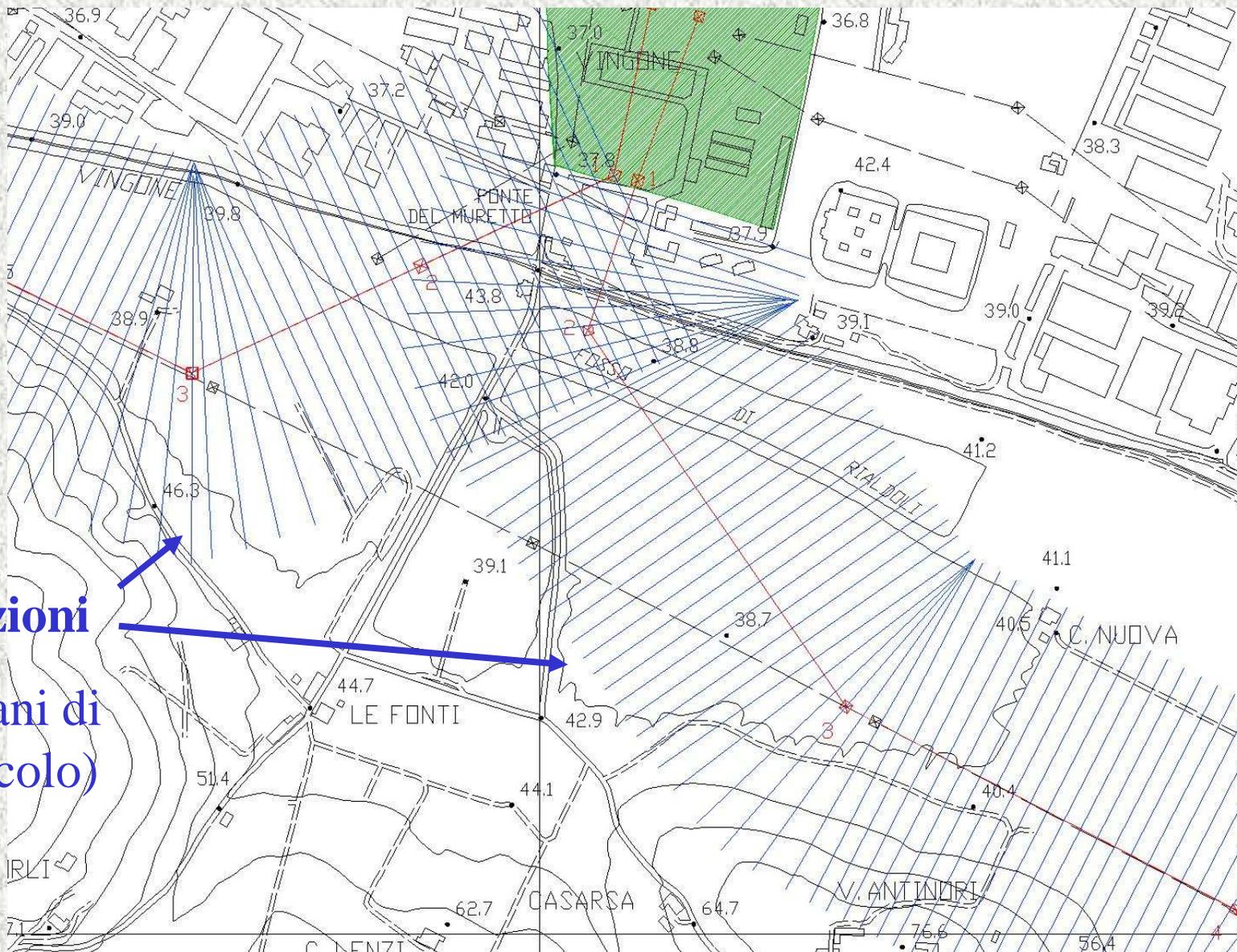
# Cartografia di base



# Modellazione delle sorgenti

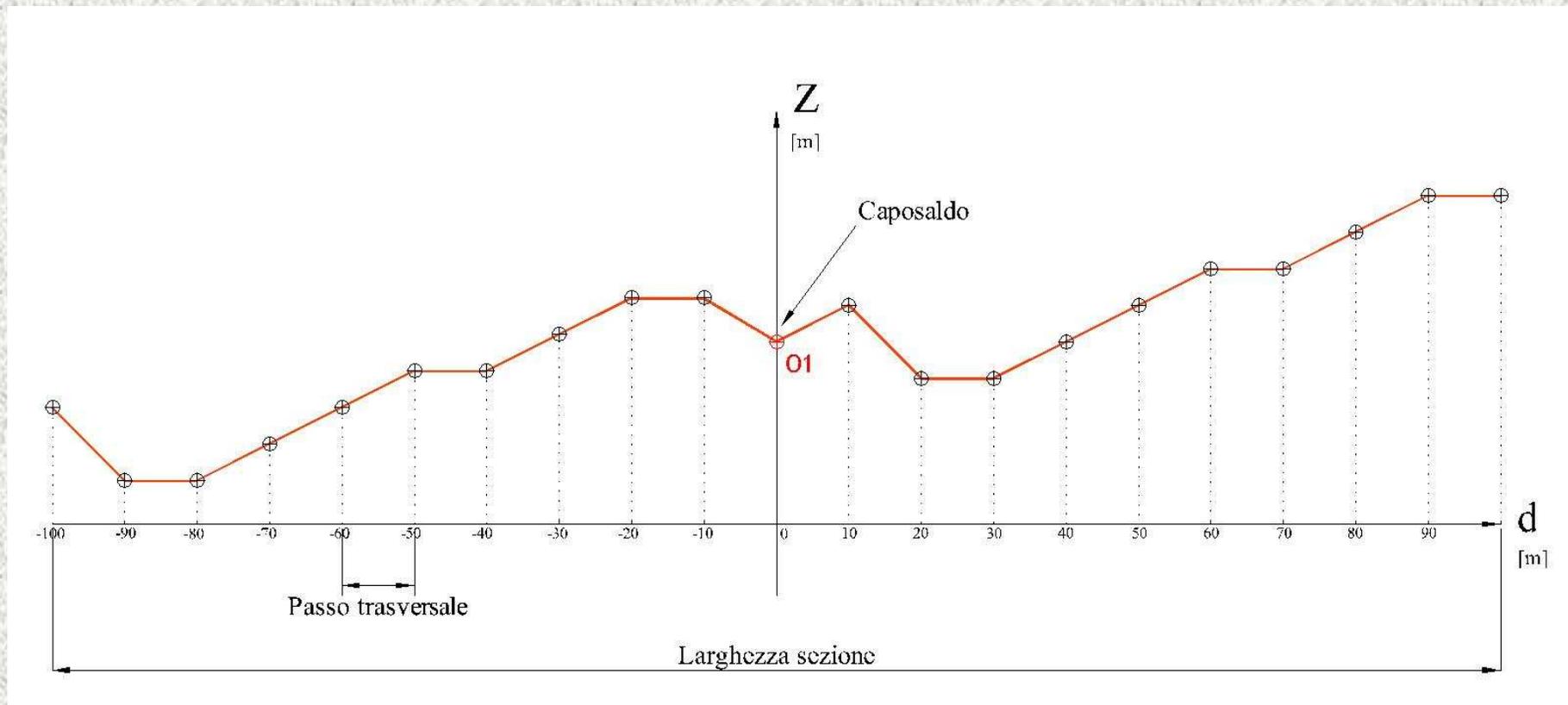


# Determinazione delle sezioni

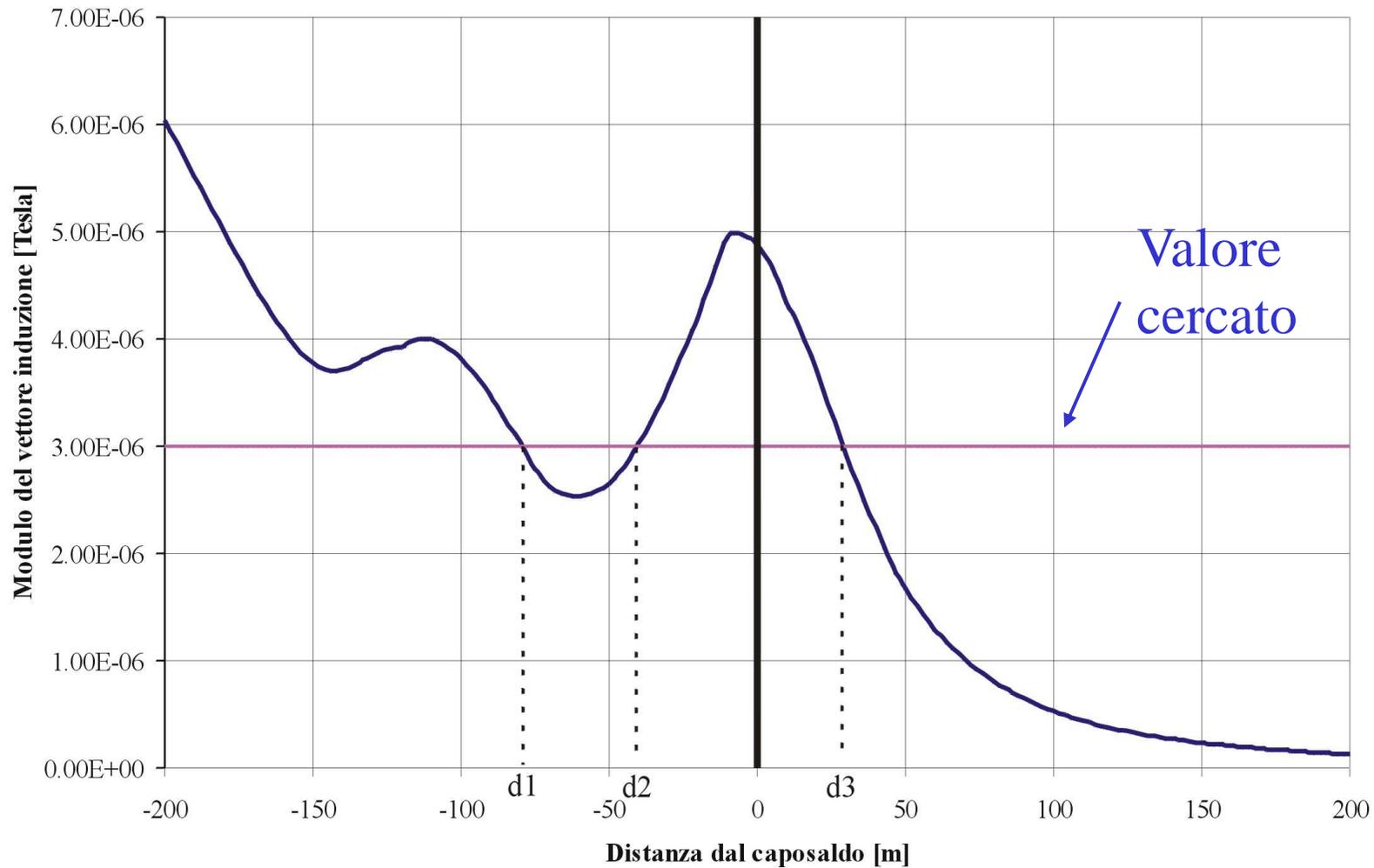


**sezioni**  
(piani di calcolo)

# Andamento del terreno sulla generica sezione

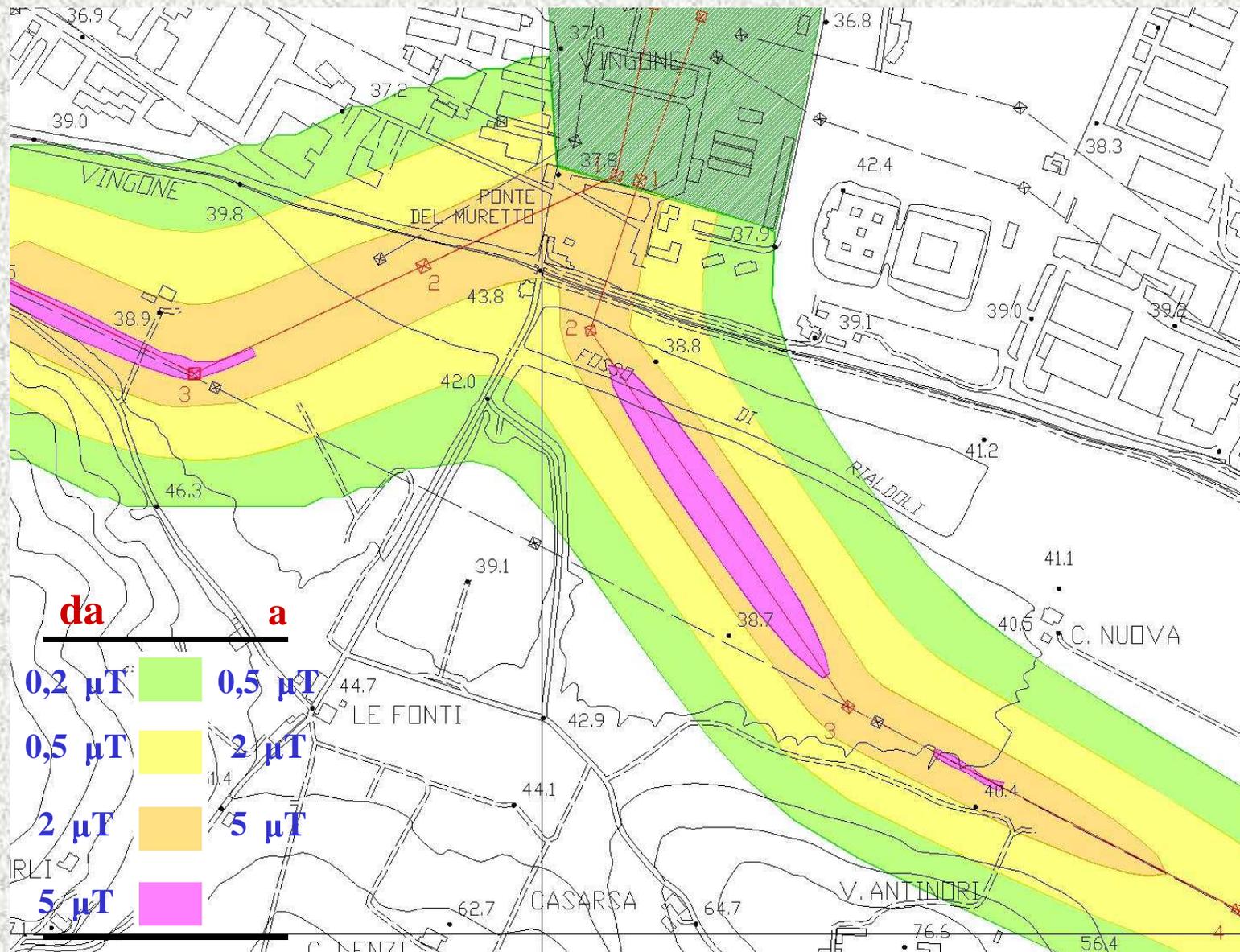


# Calcolo del campo sulla sezione





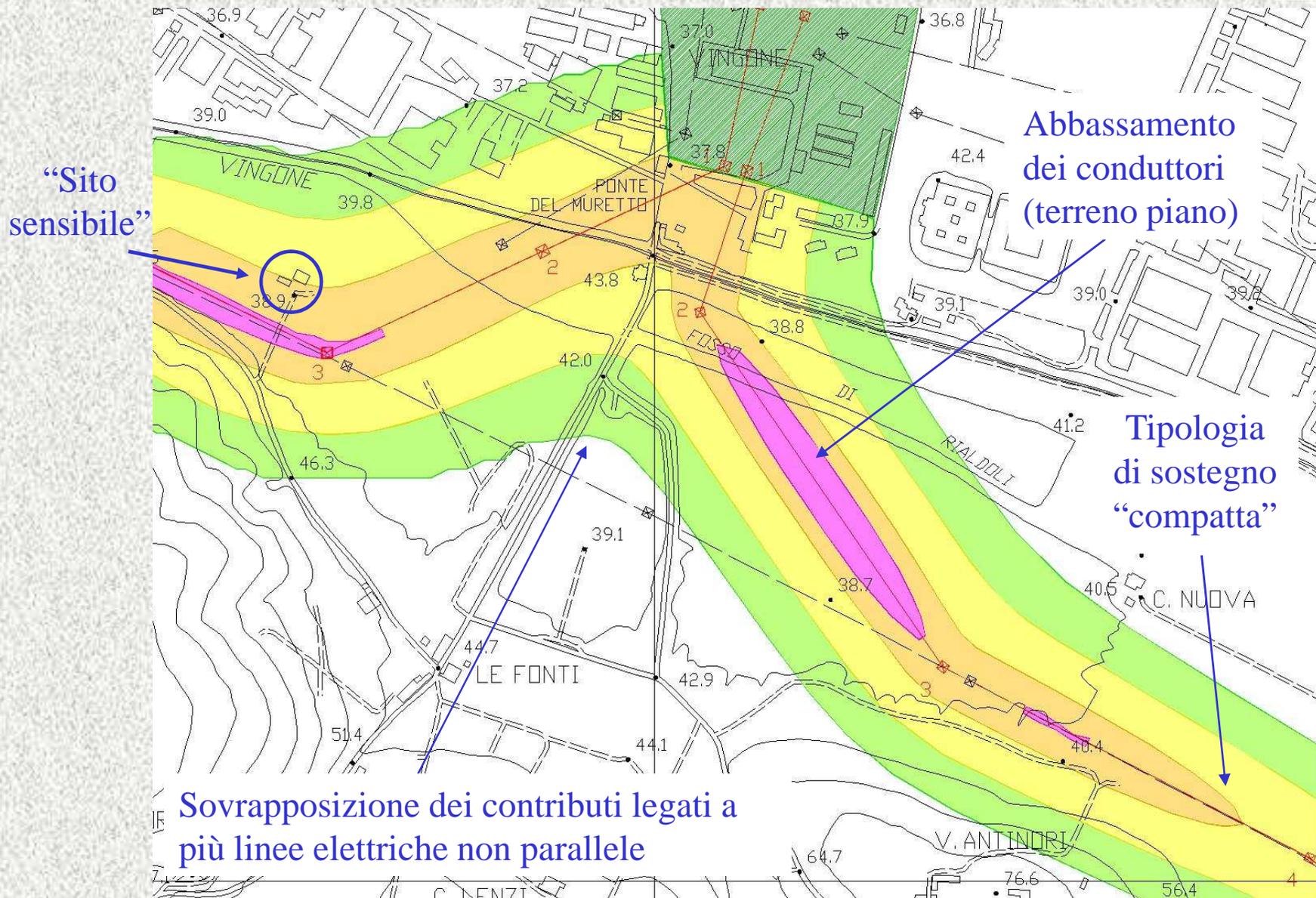
# Mappa di isocampo



Applicazione a casi reali:  
alcuni esempi tratti dallo studio VIA  
relativo al tratto di elettrodotto a 380 kV  
S. Barbara (Ar)-Casellina (Fi).

(Dati tecnici cortesemente forniti da TERNA SPA)

# Casellina



# “Sito sensibile”



**Casa colonica (probabilmente non abitata continuamente) in via della Lavanderia; la parte ad impatto ALTO è l'annesso (probabilmente un fienile) sulla sinistra**

Longitudine 1672587 m

Latitudine 4847667 m

Quota 39 m

APO C2a

## Profilo verticale dell'induzione magnetica

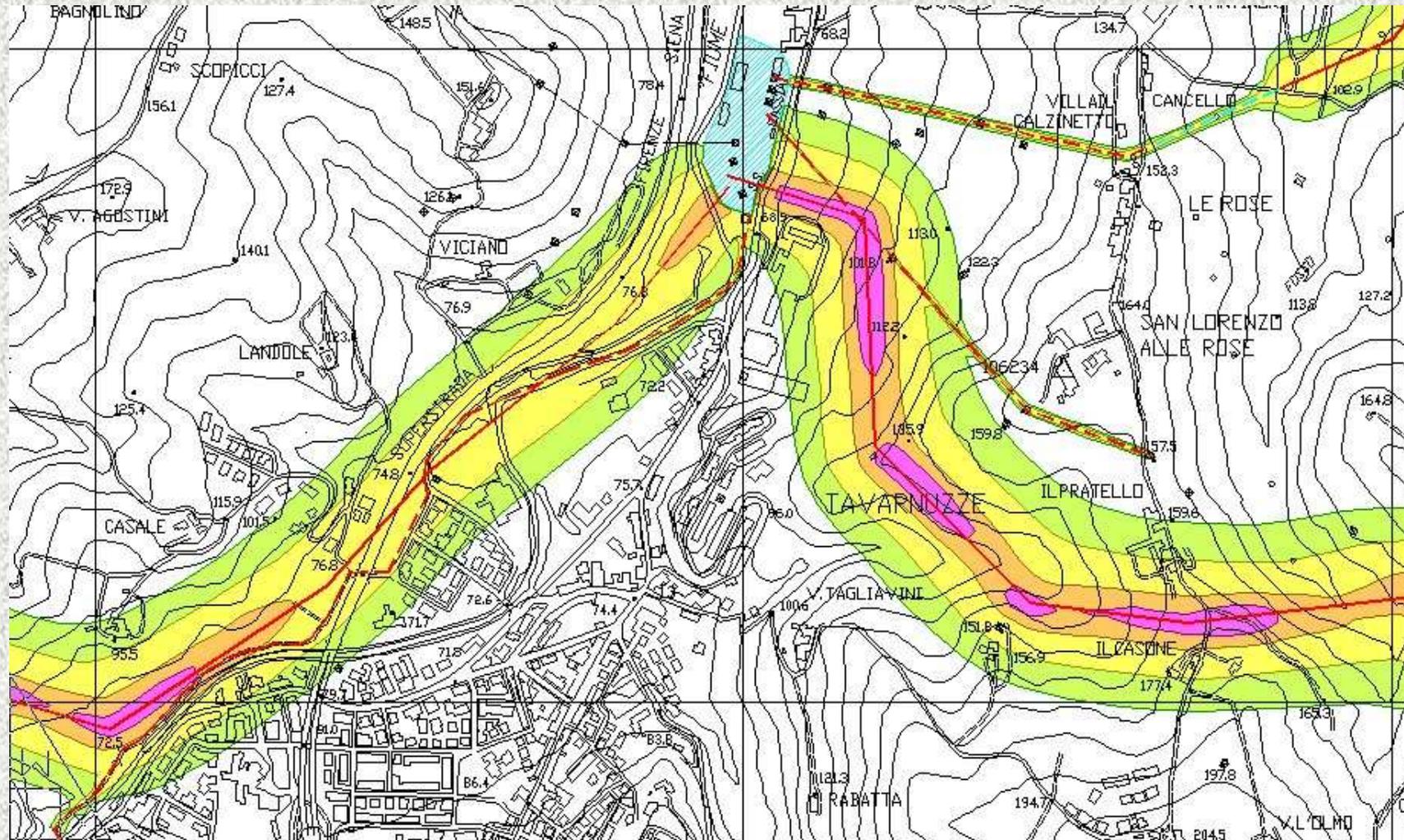
Altezza dal suolo [m]	Induzione magnetica [ $\mu\text{T}$ ]	
	Condizione cautelativa	Condizione realistica
1	0.91	2.28
3	0.95	2.35
6	1.0	2.45



# Tavarnuzze

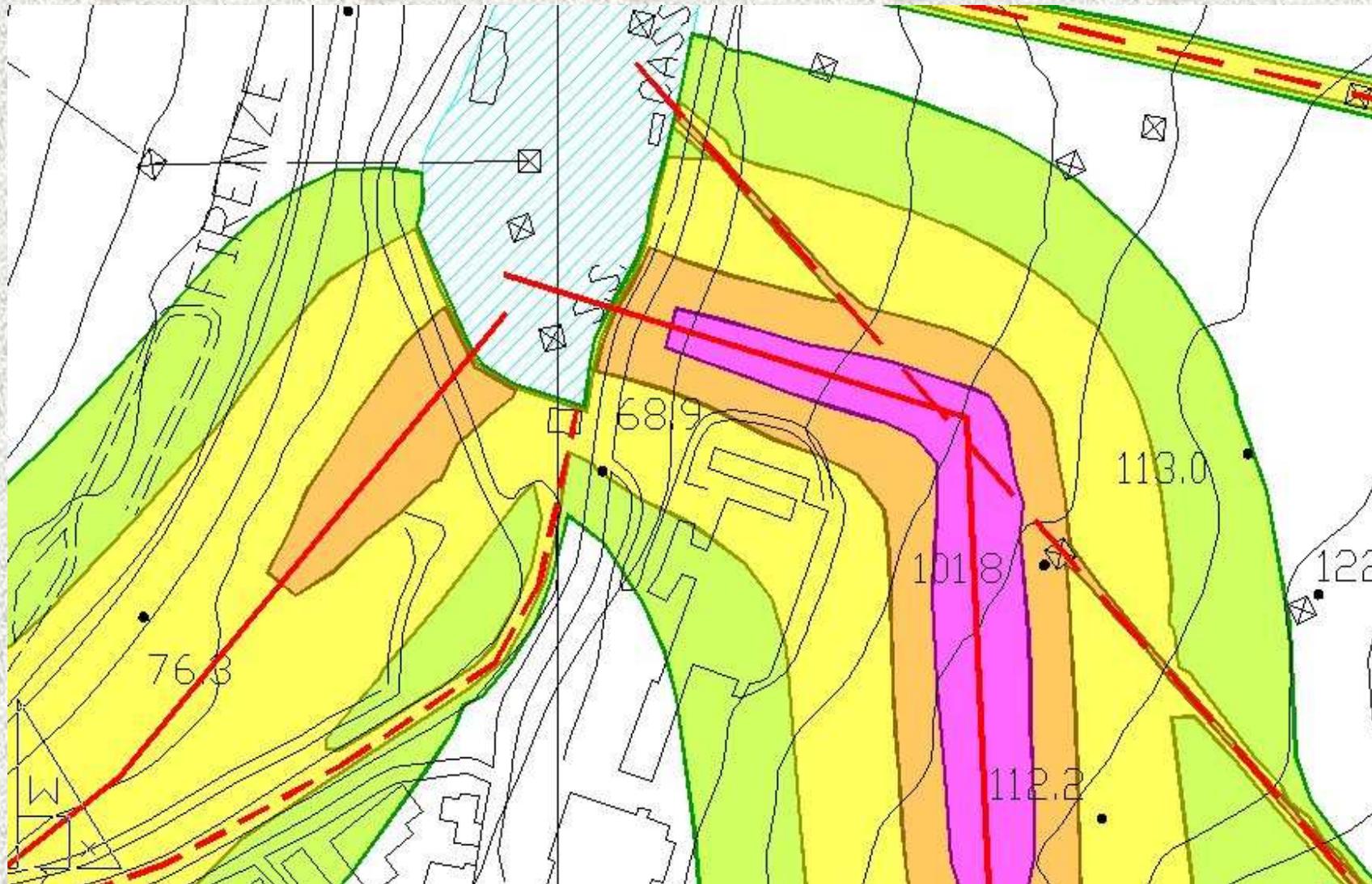


presenza tratti interrati di linee a 132 kV

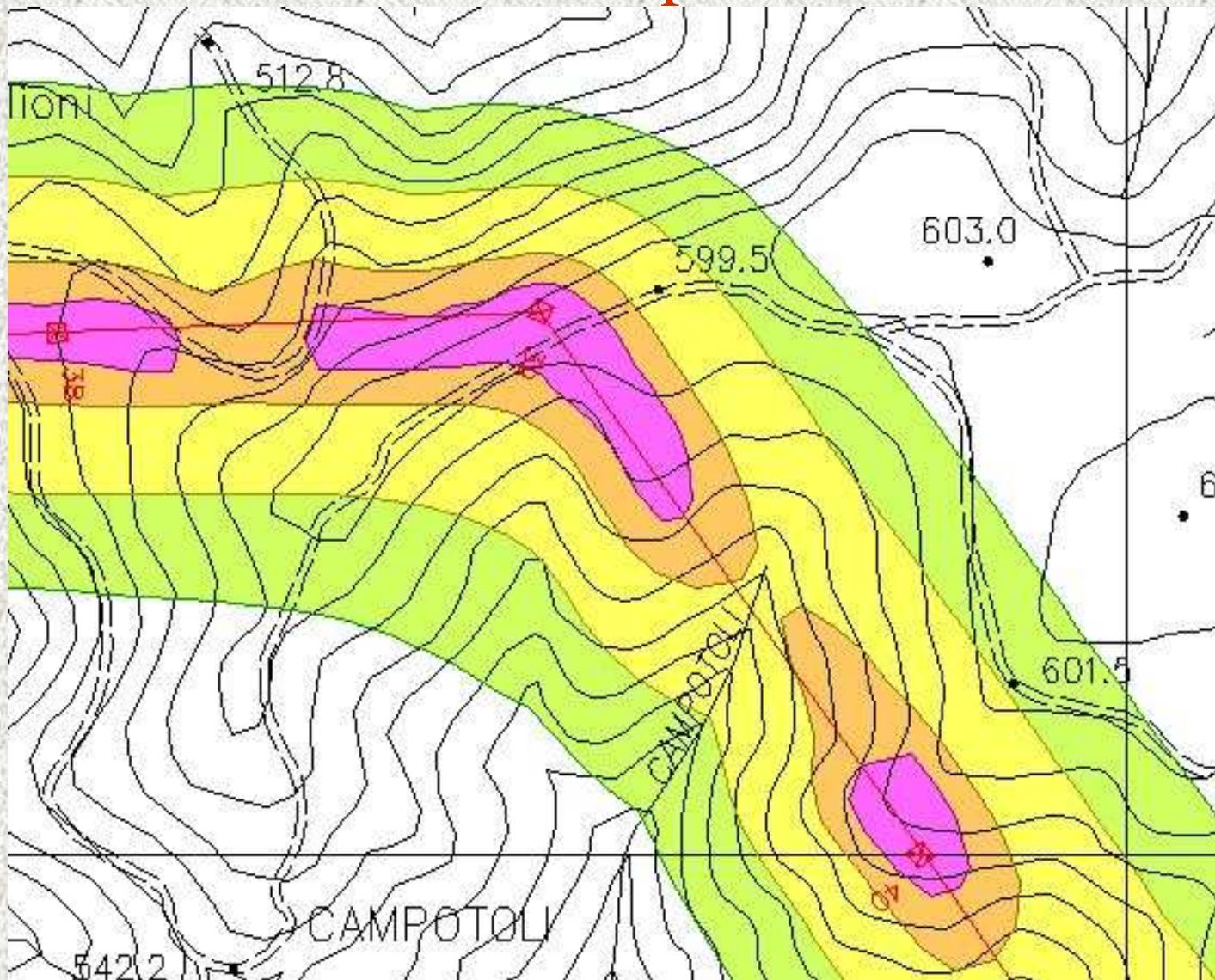


# Tavarnuzze

particolare tratti interrati

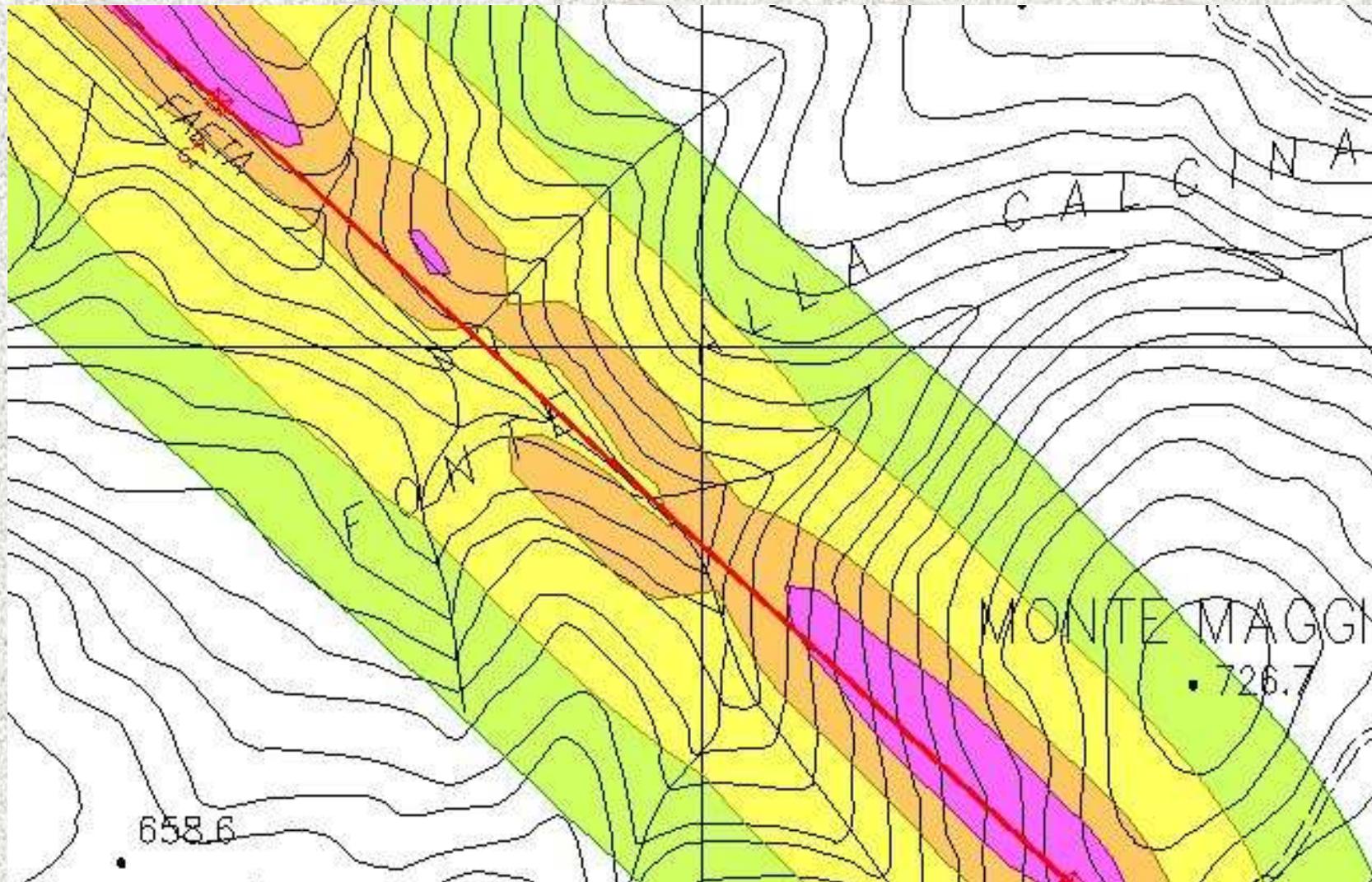


# Colline del chianti: cambio di direzione pronunciato



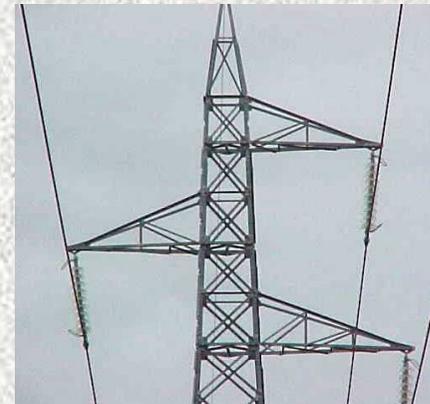
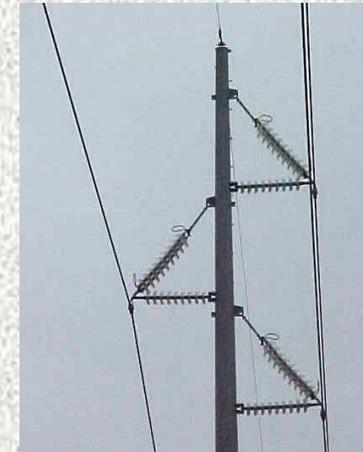
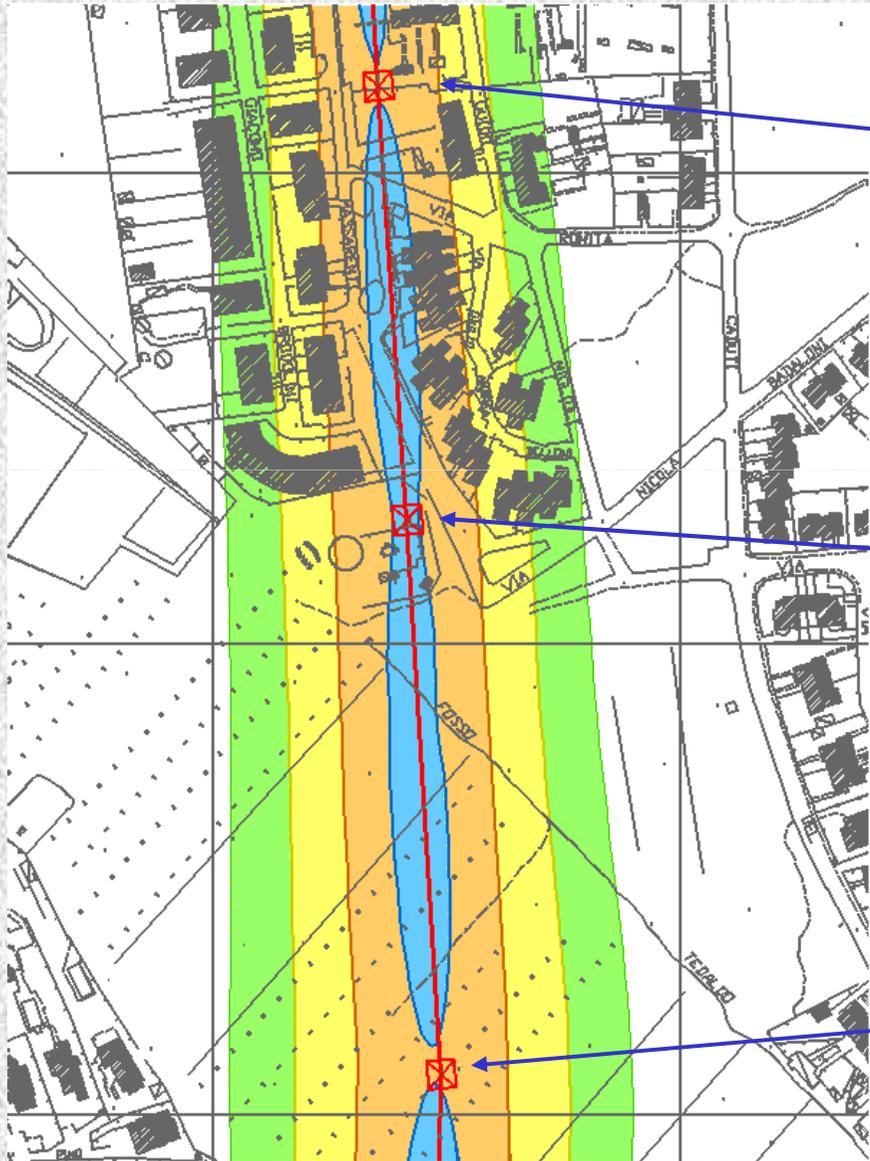
# Colline del Chianti

terreno montuoso



# Pisa Barbaricina

linea pilota convenzione ARPAT-IFAC



# Convenzione ARPAT-IFAC



1. Sviluppo di un prototipo di catasto regionale degli elettrodotti.

2. Validazione accurata delle applicazioni di calcolo sviluppate.

3. Ulteriore sviluppo delle applicazioni di calcolo in particolare per quanto riguarda:

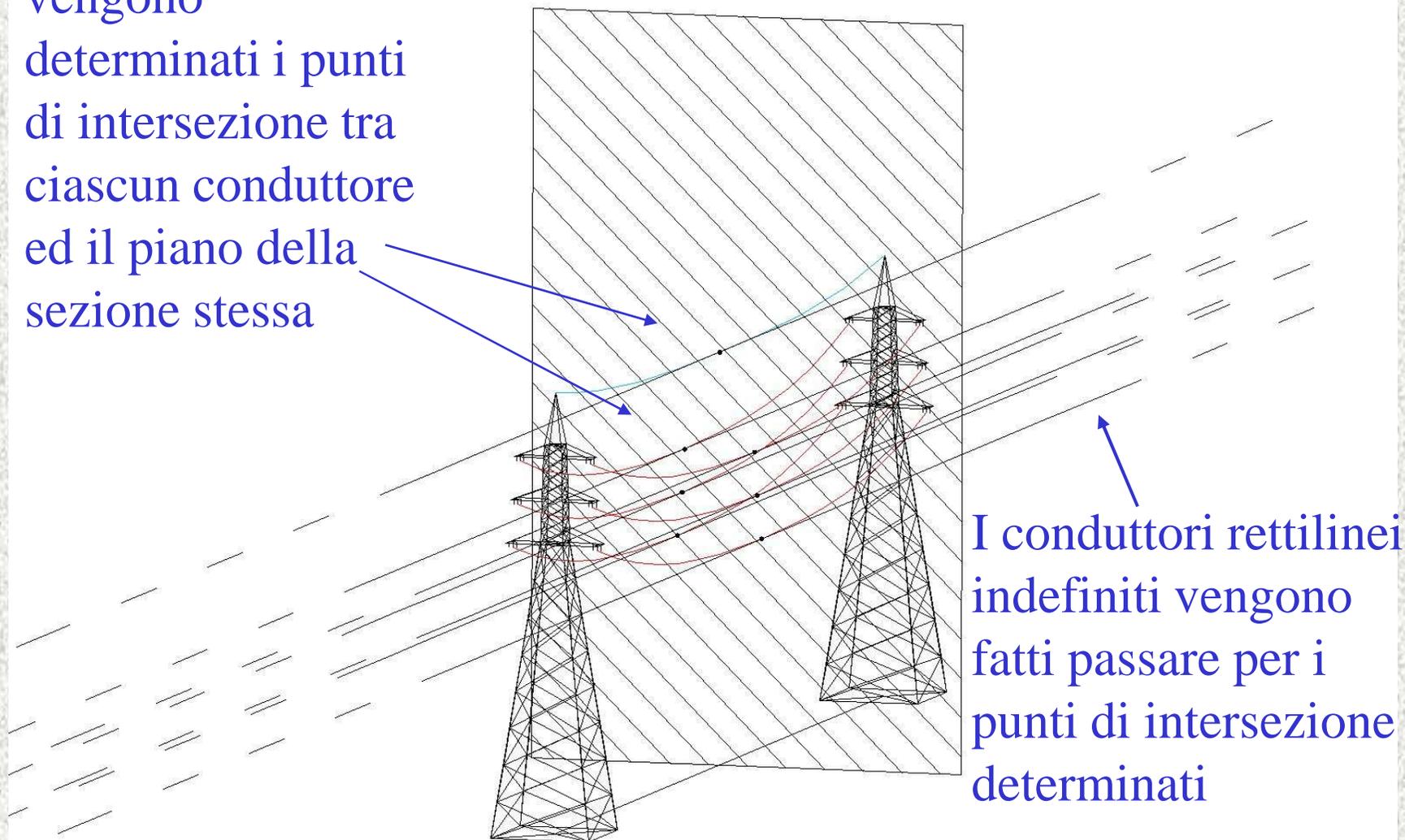
- interfaccia utente.
- gestione della cartografia
- visualizzazione dei risultati del calcolo

# Confronto fra modelli dei conduttore: conduttori a catenaria e conduttori rettilinei ed indefiniti

# Confronto



Su ogni sezione vengono determinati i punti di intersezione tra ciascun conduttore ed il piano della sezione stessa

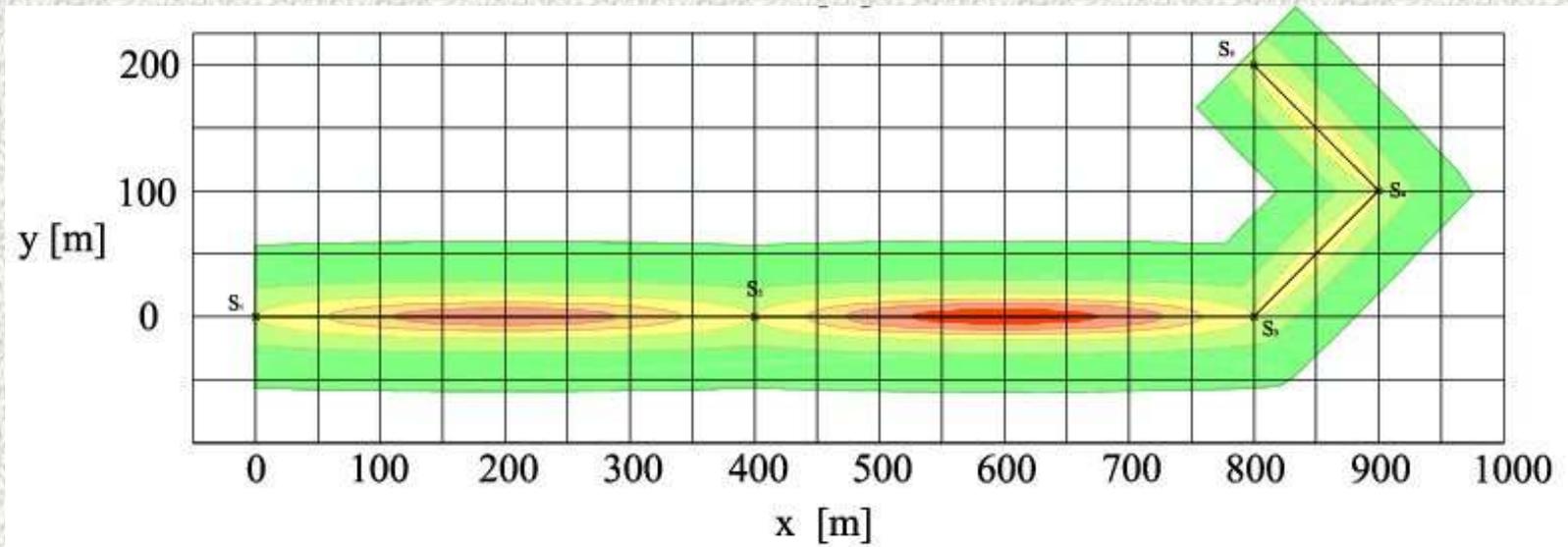


I conduttori rettilinei indefiniti vengono fatti passare per i punti di intersezione determinati

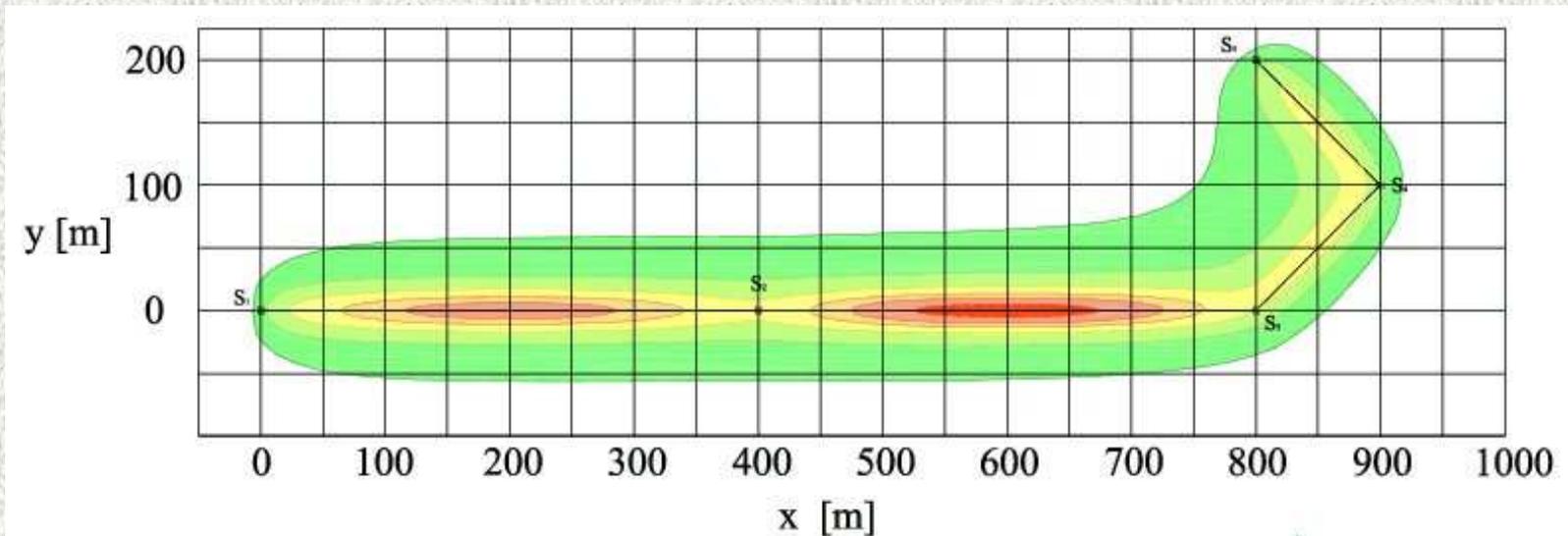
# Confronto

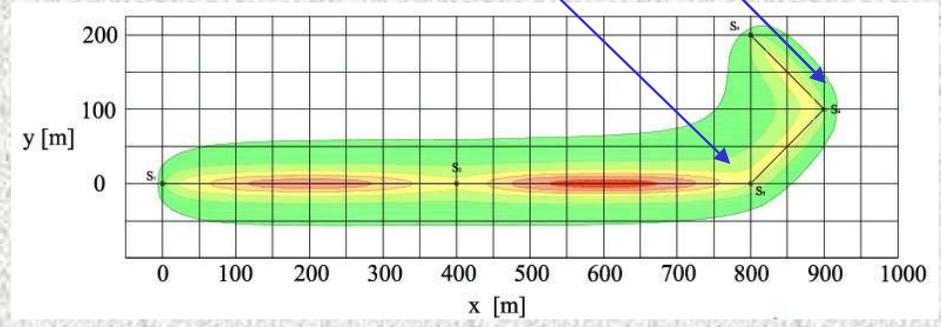
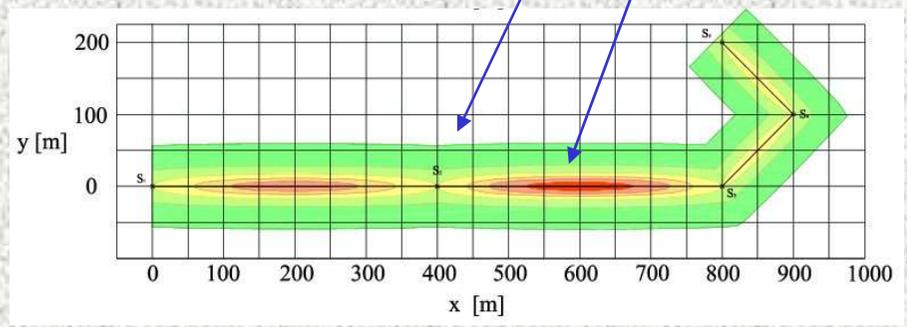
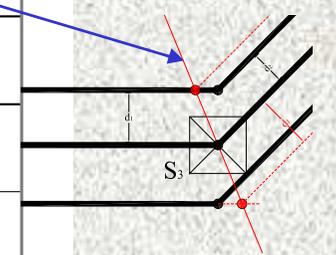
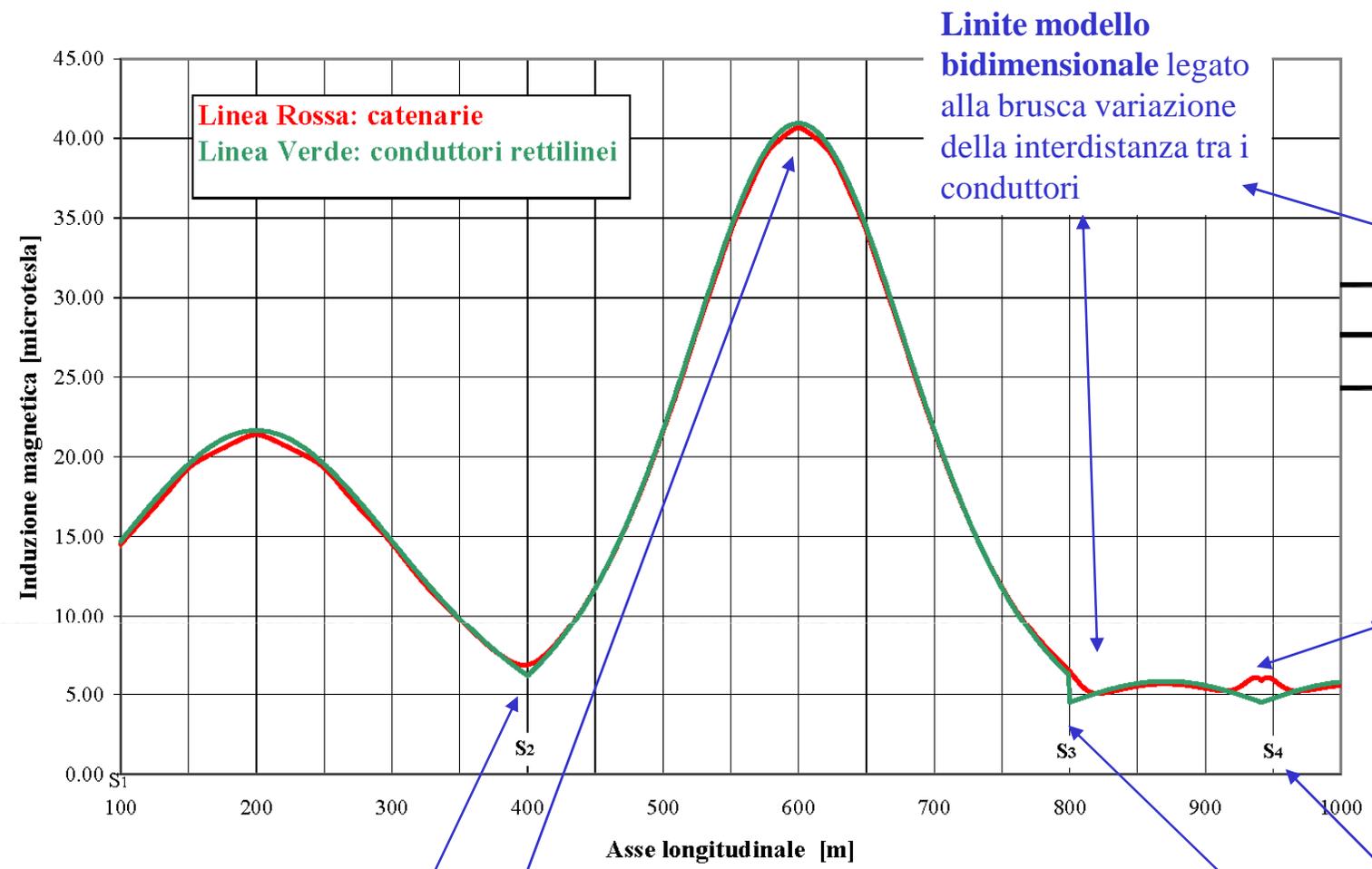


## Conduttori rettilinei ed indefiniti

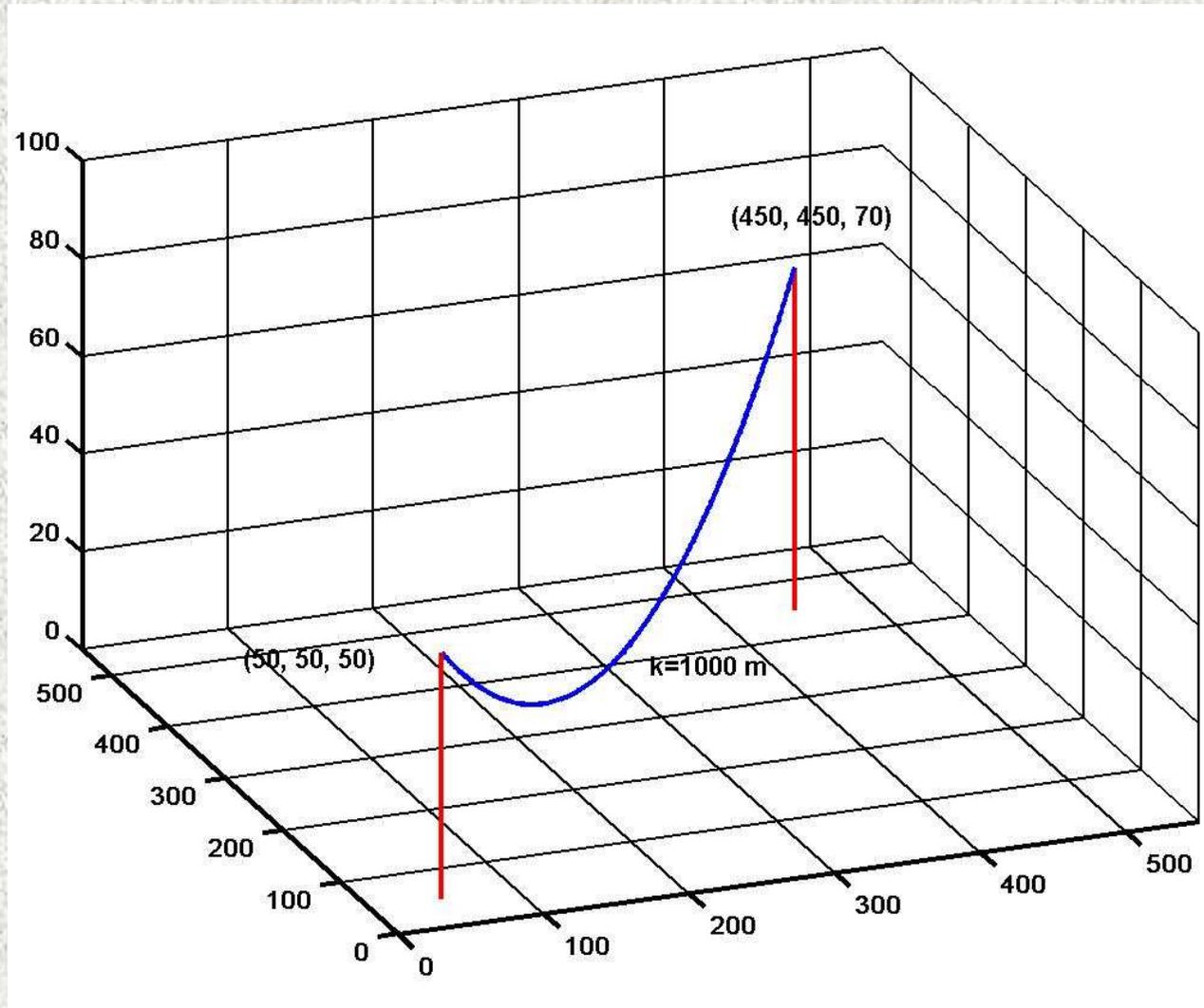


## Catenarie





# Fattori che determinano la scelta del parametro della catenaria



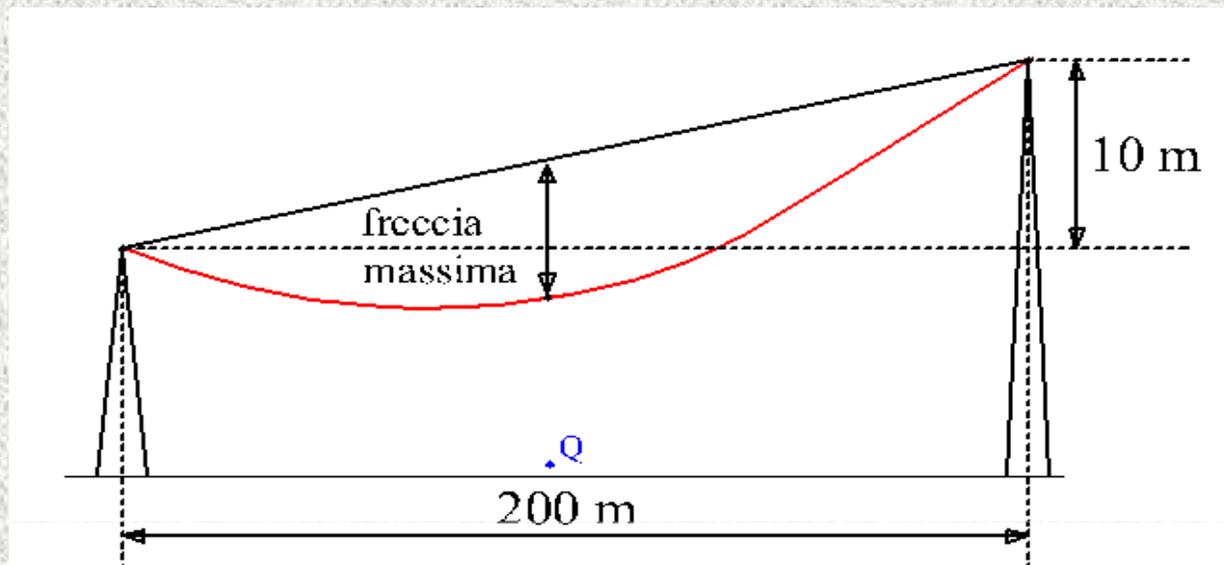
# Il parametro della catenaria



La scelta del parametro  $k$  è determinata dalle condizioni atmosferiche e di carico nelle quali si suppone operi il conduttore. Ci si riferisce in genere a due tipi di condizioni:

- **Stati standard:** utilizzate originariamente per il dimensionamento meccanico dei conduttori; ad essi si riferiscono le norme di riferimento; il conduttore è supposto scarico, variano le condizioni ambientali esterne (calcoli).
- **Condizioni realistiche:** tengono conto del riscaldamento del conduttore dovuto al passaggio di corrente e comprendono nel bilancio termico anche il vento che nel caso degli stati standard era considerato solo dal punto di vista meccanico (ragguagli con misure).

# Il parametro della catenaria



Temperatura ambiente [°C]	I [A]	Stato	k [m]	Freccia massima [m]	$ \vec{B}(Q) $
15°	0	EDS	1812	2,76	4,08 $\mu\text{T}^*$
55°	0	Massima Freccia	1277	3,92	4,60 $\mu\text{T}^*$
55°	1000 *	nota: $t_{\text{cond.}} \approx 89^\circ\text{C}$	1030	4,86	5,07 $\mu\text{T}^*$