# **PHIDEL 3.31**

# MANUALE DI RIFERIMENTO



Copyright 2005-2012 - Moreno Comelli

info@phidel.it

http://www.phidel.it

R. 118

# **INDICE DEI CONTENUTI**

I. Informazioni Generali	5
1.1 - Cos'è Phidel <sup>®</sup>	5
1.2 - Licenza	6
1.2.1 Termini del contratto di licenza	
1.2.2 Esonero di responsabilità	6
II. L'Installazione	9
2.1 - Operazioni preliminari	9
2.2 - Chiave hardware	
2.3 - Requisiti hardware e software	
III. L'Algoritmo di Calcolo	11
3.1 - Definizione del problema	
3.2 - Caratterizzazione della geometria del sistema	
3.2.1 Determinazione del minimo della campata	11
3.2.2 Coordinate degli estremi dei segmenti	
3.3 - Campo generato da un segmento percorso da corrente	
3.4 - Calcolo del campo efficace	
IV. L'Inserimento Dati	
4.1 - Il sistema di riferimento	
4.2 - La regione di campionamento	
4.2.1 Sistema di riferimento per una linea aerea	
4.2.2 Sistema di riferimento per una linea interrata	
4.2.3 Definizione dell'orientamento degli sbracci	
4.3 - L'inserimento dei dati	
4.3.1 Limitazioni nell'inserimento dati	
4.3.2 Il file di dati	
4.4 - Un caso particolare: il calcolo nel punto d'interramento	
4.5 - La visualizzazione della configurazione inserita	
4.6 - Calcolo della costante di tesatura e dell'angolo degli sbracci	
V. L'Elaborazione Dati	
5.1 - Il calcolo delle fasce di rispetto secondo la Norma CEI 106-11	
5.2 - Il calcolo piano	
5.3 - Il calcolo orografico	



5.4 - L'interpolazione orografica	25
5.4.1 L'algoritmo di calcolo orografico	
5.5 - Le utilità del software	27
5.6 - Visualizzazione dei risultati	29
5.7 - Comportamento in prossimità dei conduttori	29
5.8 - Determinazione delle fasce di rispetto (DPCM 8 luglio 2003)	29
5.9 - Un esempio guidato all'utilizzo del calcolo orografico	
5.9.1 Definizione dell'area d'intervento e creazione del buffer di I livello	
5.9.2 Selezione degli elementi quotati da Carta Tecnica e loro georeferenziazione	
5.9.3 Calcolo del campo in corrispondenza dei punti quotati	
5.9.4 Creazione del <i>file di base</i>	
5.9.5 Interpolazione orografica	
5.9.6 Definizione del <i>buffer di Il livello</i> e interpolazione orografica	
5.9.7 Calcolo del campo in comspondenza ane quote gionda	
5.9.8 Conversione di un output orograneo per rogno di carcolo	
5.10 - Risorse di sistema richieste	
5.11 - Implementazione di un circuito di compensazione	
VI. Generazione di Curve di Livello	
6.1 - Preparazione dell'output di calcolo	41
6.2 - Definizione di database, mapset e location di GRASS	41
6.3 - Esecuzione dei moduli in GRASS	43
6.3.1 - Generazione del raster di GRASS	43
6.3.2 - Generazione del vettore di GRASS	44
6.3.3 - Generazione dell'output in formato OGR (DXF, ESRI shapefile,)	45
VII. La Validazione Teorica	
7.1 - Campo di un segmento	46
7.2 - Comportamento a piccole distanze dal cavo	46
7.3 - Risultato al variare della lunghezza del segmento	47
7.4 - Campo di una spira	47
7.5 - Variazione dello sfasamento relativo	49
VIII. La Validazione Sperimentale	
8.1 - Misura effettuata presso una terna singola	
6.3.4 - Verifica della linearità	
8.2 - Misura lungo un percorso	51
8.3 - Misura presso una doppia linea	51



# I. INFORMAZIONI GENERALI

# 1.1 - Cos'è Phidel<sup>®</sup>

Phidel<sup>®</sup> è un programma per il calcolo del campo efficace di induzione magnetica generato da elettrodotti. L'algoritmo su cui si basa, descritto nei dettagli nel Capitolo III, implementa la legge di Biot-Savart secondo quanto previsto dalla Norma CEI 211-4.

Versione	Implementazione
1.0	Funzioni di base da riga di comando (prompt DOS), inserimento dati tramite PHP 4
1.1	Risoluzione dei problemi nel calcolo delle coordinate
1.3	Ottimizzazione dell'allocazione di memoria
1.4	Distinzione dell'ampiezza del passo lungo $x$ e lungo $y$
1.45	Diversa lunghezza del segmento per ogni linea
1.5	Distinzione della tesatura per ogni campata
1.6	Distinzione tra linee aeree ed interrate
1.7	Introduzione del buffer e della minima distanza (raggio) dal conduttore
1.75	Introduzione dello sfasamento per la corrente
1.9	Protezione hardware tramite chiave USB
2.0	Implementazione dell'interfaccia grafica
2.1	Inclusione dell'utilità di conversione per foglio di calcolo
2.2	Possibilità di definire i percorsi per i file da aprire e da salvare
2.3	Introduzione del calcolo orografico
2.4	Conversione dei file di kriging in formato compatibile GIS
2.5	Unione di progetti diversi
2.6	Interpolazione orografica
2.7	Reimpostazione dell'inserimento dati e dell'interfaccia utente
2.8	Salvataggio del calcolo a diverse quote
2.85	Semplificazione della procedura di inserimento dati
2.9	Ridefinizione del concetto di buffer
3	Inclusione della procedura di inserimento dati nella parte compilata del software
3.1	Implementazione della Norma CEI 106-11
3.2	Proiezione del valore massimo del campo
3.3	Visualizzazione su 3 piani delle linee inserite
3.31	Perfezionamento dell'interfaccia utente

Tabella 1.1 - Evoluzione del software.



Il campo può essere calcolato in punti, percorsi e superfici piane rettangolari orientate nello spazio secondo qualunque direzione specificata dall'utente, oppure tenendo conto dell'orografia del terreno e impostando l'altezza dal suolo, o ancora in punti appartenenti ad una griglia costituita da un parallelepipedo orientato secondo gli assi del sistema di riferimento. Il calcolo può essere eseguito considerando contemporaneamente diverse linee elettriche, sia aeree che interrate.

È possibile determinare le fasce di rispetto (di cui al DPCM 8 luglio 2003) per le campate, a varie altezze o come proiezione al suolo e, tramite sovrapposizione alla Carta Tecnica, individuare intersezioni dei volumi di campo di intensità superiore a quanto previsto dalla normativa con le abitazioni presenti sul territorio.

Per rendere possibile la discretizzazione del problema vengono introdotte alcune approssimazioni (per quanto riguarda la loro efficienza, si veda il Capitolo VI):

- la catenaria che descrive le campate è approssimata da una spezzata;
- i conduttori trinati (o comunque multipli) possono essere considerati come singoli, il che è accettabile per distanze dai cavi molto superiori alla distanza tra i conduttori di una stessa fase. È comunque facoltà dell'utente immettere dati più particolareggiati;
- non si considera nel calcolo la presenza di tralicci, funi di guardia e terreno, non influenti al fine della determinazione della sola induzione magnetica;
- il calcolo non viene effettuato per punti distanti meno di 5 cm dai segmenti che approssimano la catenaria. Questo avviene senza interrompere l'esecuzione del procedimento, ed è rilevabile al momento della visualizzazione in ambiente GIS.

# 1.2 - Licenza

Installando, copiando, scaricando, visualizzando o altrimenti utilizzando Phidel<sup>®</sup> l'utente accetta di essere vincolato dalle condizioni del presente Contratto.

Phidel<sup>®</sup> è protetto dalle leggi e dai trattati internazionali sul copyright, oltre che dalle leggi e dai trattati sulla proprietà intellettuale. Phidel<sup>®</sup> viene concesso in licenza, non venduto. La riproduzione o distribuzione non autorizzata, anche parziale, di questo programma e/o della documentazione è espressamente vietata e sarà perseguita a norma di legge.

#### 1.2.1 Termini del contratto di licenza

Moreno Comelli (l'AUTORE) garantisce una licenza non esclusiva e non trasferibile all'uso di Phidel<sup>®</sup> (il SOFTWARE) e della documentazione allegata (la DOCUMENTAZIONE) su sistemi posseduti e sotto il controllo esclusivo dell'utente in accordo con questo contratto di licenza.

È vietato:

- 1. copiare il SOFTWARE o la DOCUMENTAZIONE, ad eccezione di una sola copia di backup o di archivio;
- 2. decodificare, decompilare o disassemblare il SOFTWARE;
- 3. distribuire, affittare o trasferire in qualsivoglia altro modo, tutto o parte del SOFTWARE o della DOCUMENTAZIONE a terzi senza il consenso dell'AUTORE;
- 4. rimuovere, alterare o oscurare ogni nota di proprietà, etichetta o marchio dal SOFTWARE o dalla DOCUMENTAZIONE;
- 5. modificare, tradurre, affittare, noleggiare, concedere in licenza, adattare o creare derivati basati sul SOFTWARE o sulla DOCUMENTAZIONE;
- 6. usare qualsiasi software o hardware per rimuovere o disabilitare la protezione applicata al SOFTWARE;
- 7. esportare il SOFTWARE o la DOCUMENTAZIONE in violazione delle norme CE in vigore.

#### 1.2.2 Esonero di responsabilità

L'AUTORE non fornisce alcuna garanzia, espressamente o implicitamente, che il SOFTWARE risponda a determinate caratteristiche, che sia privo di errori o che funzioni ininterrottamente.



L'AUTORE non può essere ritenuto responsabile in ogni modo e in qualsiasi forma per i risultati ottenuti dall'uso del SOFTWARE. Chi utilizza il SOFTWARE è responsabile della supervisione, gestione e controllo del SOFTWARE stesso.

In nessun caso l'AUTORE può essere ritenuto responsabile per una qualsiasi perdita o danno di qualsivoglia natura, includendo perdite di dati, profitti e servizi, costi per coprire le conseguenze di qualsiasi incidente causato, direttamente o indirettamente, dall'uso, proprio o improprio, del SOFTWARE o della DOCUMENTAZIONE. Tali limitazioni all'uso del prodotto continuano a valere nel caso in cui l'AUTORE sia stato informato della possibilità di tali perdite o danni.

Accettando il presente contratto si accettano anche tutti i rischi connessi all'uso del SOFTWARE e della DOCUMENTAZIONE.





# II. L'INSTALLAZIONE

# 2.1 - Operazioni preliminari

L'installazione del software deve essere effettuata con la chiave hardware USB disinserita. Inserendo il CD-ROM si avvia automaticamente il programma di StartUp (qualora l'autorun fosse disabilitato, nella directory del CD eseguire *Phidel StartUp.exe*). Da questa finestra di dialogo si avviano le installazioni dei componenti necessari.



Figura 2.1 - Interfaccia dello startup di installazione.

Le installazioni sono automatizzate, ed è necessario seguire le istruzioni riportate dai rispettivi software di setup:

- 1. si installa Phidel<sup>®</sup>, le utilità e tutte le librerie necessarie (Figura 2.2, a sinistra). Per avviare il programma fare doppio click sull'icona *Phidel 3.31* sul desktop;
- 2. viene installato il driver per il riconoscimento della chiave USB (Figura 2.2, a destra), che a questo punto deve essere ancora disinserita.

🚰 Installazione di Phidel		🔀 SuperProNet Combo Insta	ller - InstallShield Wizard	×
	Benvenuti nel programma di installazione di Phidel		Welcome to the InstallShield Wizard for SuperProNet Combo Installer	
	Phidel 3.3 sarà installato sul computer. Si consiglia di chiudere tutte le applicazioni attive prima di procedere. Premere Avanti per continuare, o Annulla per uscire.		The InstallShield(R) Witzard will install SuperProNet Combo Installer on your computer. To continue, click Next.	
	Avanti > Annulla		<back next=""> Cancel</back>	

Figura 2.2 - Setup di Phidel<sup>®</sup> e dei driver per la chiave USB.



# 2.2 - Chiave hardware

Il software dispone di una protezione hardware, costituita da una chiave USB (Figura 2.3), senza la quale non è possibile il funzionamento del programma. Il riconoscimento della chiave da parte del computer può richiedere parecchi secondi.



Figura 2.3 - La chiave hardware USB da utilizzare con Phidel<sup>®</sup>.

In caso di mancato inserimento, o di estrazione durante il funzionamento dell'applicazione, compare l'avvertimento visualizzato in Figura 2.4 e l'esecuzione del programma viene bloccata.



Figura 2.4 - Messaggio d'errore visualizzato in assenza della chiave USB.

# 2.3 - Requisiti hardware e software

I requisiti necessari per l'installazione e l'utilizzo di Phidel<sup>®</sup> sono costituiti da:

- lettore CD-ROM;
- porta USB;
- 40 MB di spazio su disco;
- risoluzione video minima 1024 x 768 pixel.

Il sistema di installazione di Phidel<sup>®</sup> e dei componenti accessori è stato testato su tutti i sistemi operativi di tipo Windows 95 e successivi.

Per eseguire correttamente il programma e le utilità correlate, è necessario selezionare il punto "." come separatore decimale nelle impostazioni internazionali.



# III. L'Algoritmo di Calcolo

### 3.1 - Definizione del problema

Per determinare il campo di induzione magnetica efficace generato da un insieme di linee elettriche, si procede ad una discretizzazione del problema: ogni campata viene suddivisa in segmenti di lunghezza fissata, e si calcola quindi la somma dei vettori induzione magnetica prodotti da ciascun segmento.

#### 3.2 - Caratterizzazione della geometria del sistema

#### 3.2.1 Determinazione del minimo della campata

La curva che descrive una fune sospesa a due estremi, detta catenaria, è rappresentata analiticamente dalla funzione coseno iperbolico.

$$z(x) = b + a \cosh\left(\frac{x - x_0}{a}\right)$$

Il suo andamento dipende da un parametro (indicato con a) detto costante di tesatura e definito come rapporto tra tensione e peso del cavo per unità di lunghezza, mentre il parametro b ne determina il posizionamento in quota.

Nel caso in cui le coordinate dei punti di sospensione,  $(0, z_1)$  e  $(L, z_2)$ , e la costante di tesatura *a* siano note (come avviene nella pratica), si determinano analiticamente le quantità *b* e  $x_0$ .

#### 3.2.2 Coordinate degli estremi dei segmenti

Una volta noti i parametri che caratterizzano la curva, si determinano le coordinate degli estremi del *k*-esimo segmento in una campata di lunghezza *L* suddivisa in segmenti la cui proiezione al suolo abbia lunghezza *l*. Con riferimento alla Figura 3.1,  $X_0$ ,  $Y_0$  e  $Z_0$  sono le coordinate del primo punto di sospensione:



Figura 3.1 - Determinazione delle coordinate degli estremi del segmento k-esimo.

mentre gli sbracci dei tralicci sono orientati secondo la bisettrice dell'angolo formato dai tratti di linea precedente e successivo, a meno di indicazione diversa da parte dell'utente (Paragrafo 4.3.3).



### 3.3 - Campo generato da un segmento percorso da corrente

Per calcolare il campo di induzione magnetica generato dalla corrente che passa in un conduttore rettilineo si applica la legge di Biot-Savart:

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

ove  $\vec{R} = \vec{r} - \vec{r'}$  è il vettore spostamento che va dal punto  $\vec{r'}$  in cui si trova l'elemento  $d\vec{l}$  al punto  $\vec{r}$  in cui si calcola il campo.



Figura 3.2 - Determinazione del campo nel piano yz.

Considerando il caso di un filo rettilineo di lunghezza finita orientato lungo l'asse x, il campo prodotto dall'elemento di corrente  $Id\vec{l} = Idx'\mathbf{i}$  nel piano yz è dato da:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 I dx'}{4\pi R^3} (y\mathbf{k} - z\mathbf{j})$$

ove **i**, **j** e **k** sono i versori relativi agli assi cartesiani. Indicando con  $\rho$  la distanza dall'asse del filo ed  $\hat{\varepsilon}$  il versore del campo, si giunge a:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 I \rho dx'}{4\pi R^3} \hat{\varepsilon}$$

Utilizzando la Figura 3.2 e integrando lungo il tratto di filo si ricava:

$$\stackrel{\rightarrow}{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \eta \hat{\varepsilon}$$

ove  $\eta$  è un termine dipendente dalla geometria del sistema.

L'andamento del campo è visualizzato in Figura 3.3:



Figura 3.3 - Campo di un segmento lungo l'asse al variare della distanza.



#### 3.4 - Calcolo del campo efficace

Nel caso di un insieme di linee elettriche trifase le tre componenti spaziali del campo non sono necessariamente in fase tra loro, e di conseguenza il vettore risultante ha intensità e direzione variabili nel tempo. La quantità cui si fa riferimento è perciò il valore efficace del campo di induzione magnetica:

$$B^{eff} \equiv \sqrt{\frac{1}{T} \int_{0}^{T} B^{2}(t) dt}$$

Definendo:

$$A_{ij} = \prod_{k=i,j} I_k^{e\!f\!f} \eta_k \hat{\varepsilon}_k$$

ove gli indici sono riferiti ai segmenti, si ricava, come verificato in *Comelli, Bertocchi, Benes, Villalta, "Analisi, modelli previsionali e valutazione di impatto ambientale di campi di induzione magnetica generati da linee elettriche ad altissima tensione", Trieste 2004:* 

$$B^{eff} = \frac{\mu_0}{4\pi} \sqrt{\sum_{i,j} A_{ij} \cos\left(\varphi_j - \varphi_i\right)}$$

La complessità del codice utilizzato per implementare tale espressione è quadratica nel numero di segmenti: aumentando la lunghezza del singolo segmento di un fattore n, il tempo di calcolo e la quantità di memoria occupata diminuiscono come  $O(n^2)$ . Ciò può essere rilevante nel caso di calcoli relativi a configurazioni particolarmente complesse, ma va verificato che la perdita di precisione dovuta ad un allungamento dei segmenti non influisca eccessivamente sul risultato finale.





# IV. L'INSERIMENTO DATI

# 4.1 - Il sistema di riferimento

Sta all'utente definire il sistema di riferimento in cui operare, scegliendo tra:

- sistema di riferimento personalizzato, in cui l'origine (0;0) degli assi cartesiani x e y è definita convenientemente e di conseguenza vengono determinate le coordinate dei tralicci e della regione di campionamento;
- utilizzo delle coordinate Gauss-Boaga o UTM (o qualunque altra proiezione, purché con coordinate proiettate): le coordinate di ciascun traliccio (e della regione di campionamento) vengono ricavate da Carta Tecnica Numerica in ambiente GIS o CAD.

### 4.2 - La regione di campionamento

Per regione di campionamento si intende il volume in cui viene calcolato il campo efficace di induzione magnetica in punti costituenti una griglia le cui maglie hanno ampiezza e numero specificabili dall'utente in tutte le direzioni. Tale volume non è necessariamente orientato secondo il sistema di riferimento impostato, in quanto esiste la possibilità (nella sezione di *Calcolo piano*) da parte dell'utente di definire un angolo  $\phi$  (la deviazione dall'asse x), in sede di elaborazione dati, che ne definisce l'orientamento sul piano (v. la Figura 4.1).

È inoltre possibile specificare un ulteriore angolo ( $\psi$ , l'inclinazione del percorso, in Figura 4.1), qualora si renda necessario calcolare valori di campo su piani inclinati, o più comunemente profili lungo percorsi in pendenza. x' e y' indicano gli assi cartesiani trasformati.



Figura 4.1 - Angoli  $\phi e \psi$  relativi al piano di calcolo inclinato.

Attraverso tali angoli si possono ricavare i valori di induzione magnetica relativamente a piani verticali ortogonali alla direzione dei tralicci, in modo di determinare le fasce di rispetto per i valori limite previsti dalla normativa.

#### 4.2.1 Sistema di riferimento per una linea aerea

Nel caso di linee aeree le grandezze da specificare sono indicate in Figura 4.2. Per ogni traliccio vanno individuate, a seconda del sistema di riferimento, le coordinate della base (X, Y e *Quota*).



Vanno quindi specificati i valori relativi ai conduttori: il parametro di *Tesatura della campata*, l'*Altezza* (il dislivello dello sbraccio rispetto alla base del traliccio) e l'ampiezza dello *Sbraccio*.



Figura 4.2 - Grandezze relative ad un traliccio.

In caso di indisponibilità del valore della costante di tesatura per ogni campata, per ricavarla a partire dai dati geometrici a disposizione si faccia riferimento al Paragrafo 4.5.

Lo *Sbraccio* assume valori positivi o negativi in base alla direzione nel sistema di riferimento prescelto (questo verrà specificato al Paragrafo 4.2.3).

#### 4.2.2 Sistema di riferimento per una linea interrata



Figura 4.3 - Grandezze relative ad una linea interrata, configuata a trifoglio.

Nel caso di linee interrate i dati da inserire riguardano coordinate e quote dei *Vertici* della linea (i punti in cui avvengono i cambi di direzione del tracciato).

Quindi, per ciascun conduttore, i significati di *Altezza* e *Sbraccio* sono analoghi a quanto specificato per le linee aeree, tenendo conto che di norma le altezze assumono valori negativi.

In base alla Figura 4.3, la *Quota* è riferita al conduttore superiore, la cui *Altezza* è 0, mentre gli altri conduttori hanno altezze negative e segno degli sbracci dipendente dall'orientamento (si veda il paragrafo seguente).

#### 4.2.3 Definizione dell'orientamento degli sbracci

L'orientamento degli sbracci definisce univocamente le coordinate dei punti di sospensione dei conduttori sui tralicci (le considerazioni valgono per analogia per le linee interrate, con diversa terminologia).



Il piano cartesiano che definisce il sistema di riferimento relativo al traliccio in esame viene suddiviso in 4 quadranti, convenzionalmente numerati come in Figura 4.4, con origine individuata dall'asse del traliccio:



Figura 4.4 - Definizione del segno degli sbracci per una linea aerea (a sinistra) e interrata (a destra).

Gli sbracci sono definiti positivi nel semipiano superiore (I e II quadrante), negativi in quello inferiore (III e IV quadrante).

Resta da definire il caso in cui il traliccio sia orientato parallelamente all'asse delle ascisse; in generale si tenga presente che vale la relazione:

Sbraccio 
$$\begin{cases} > 0 \text{ per } \alpha \in [0; \pi[ < 0 \text{ per } \alpha \in [\pi; 2\pi] \end{cases}$$

 $con \alpha$  angolo tra lo sbraccio e l'asse delle ascisse, come da Figura 4.4.

# 4.3 - L'inserimento dei dati

art	Calcolo piano	Calcolo orogr	afico 🛛 Inte	rpolazione	Utilità Licenza
Inse	rimento dati				
Sch	nermata ner l'insi	erimento dei da	ati elettrici i	.	1 /
ge	ometrici, e per la	modifica dei p	rogetti esis	tenti.	1. 7
	Numero di camp	oate 1	-		Alexa
	Numero di conc	luttori la			With .
	Numero ai conc	idecon 15	-		
	Tipologia della l	inea Aerea	•		
	Visualizza	Ins	erisci / Moo	lifica	A AND A
Dars	metri geometrici				
	aniech geometrica /				
	I			costante	er il calcolo della e di tesatura e degli
		^		angoli fo	rmati dagli sbracci dei
	i			riferimer	ito.
		1	x x		
	T L	4		- <b>**</b>	Lancia le utilità
<u> </u>	B				
Calc	olo delle fasce d	i rispetto		2 2 1	
Util	ità per il calcolo d	delle fasce di	H	A	
sec	ietto per linee ae iondo la Norma C	EI 106-11 in	THE	1 1	The second
vig	ore dal 01-04-20	06.			A LA
	Calcola	la fascia			
	≝		1.11/-/	11-2	~~~~~X/I
Phid	lel 3.3				
Mo	ireno Comelli		10		http://www.phidel.it
Co	pyright (C) 2005	- 2006			info@phidel.it

Figura 4.5 - Schermata iniziale di Phidel<sup>®</sup>.

Una volta lanciato il programma (vedi Figura 4.5), la maschera di inserimento dati si attiva cliccando sul pulsante *Inserisci/Modifica*, dopo aver opportunamente selezionato il tipo di linea (aerea o interrata), il numero di campate (da 1 a 5) e di conduttori (1, 3 o 6). Il calcolo del campo in caso di linee con più di 5 campate, o di sistemi con più linee elettriche, avviene allo stesso modo:



l'utente inserisce separatamente i dati per ciascuna linea (o tratto di linea), e poi li unisce in un unico file di dati, come verrà spiegato nel Paragrafo 5.5. Le funzionalità cui sono preposte le rimanenti parti di questa schermata verranno illustrate più avanti.

Viene mostrato nel seguito un esempio tipico, in cui si considera una campata di una linea aerea con 3 conduttori, con i passaggi relativi all'inserimento dei dati.

Iorrente	[A] 210	o 🜾	Selezior	a il file di dati				- 🥹	Carica il file
Segmento	o[m] 3	• ¥	) Salva	il file di dati					Scrivi il file
	Coordinate tral	iccio 1			- 	ordinate tral	iccio 2		
	X[m]	0	Y [m]	0	X [m	n] [	0	Y [m]	0
	Quota [m]	0	Angolo [°]	0	Que	ota [m]	0	Angolo [°]	0
				Parametri	traliccio 1	- Tesatura	Param	etri traliccio 2 —	
	N° cav	o Fase	Offset [°]	Altezza [m	] Sbraccio [m]	a [m]	Altezza	a [m] Sbraccio [i	n]
	1	R	• 0	0	0	0		0 0	
	2	S	• •	0	0	0		0 0	
	3	Т	• 0	0	0	0		0 0	

Figura 4.6 – Maschera di inserimento dati per una campata di una linea aerea con 3 conduttori.

Si inseriscono i dati di *Corrente* di linea, la *Lunghezza del segmento* della spezzata (solo per le linee aeree) che approssima la catenaria, il percorso e il nome del file in cui saranno salvati i dati.

Per ogni cavo è necessario specificare la *Fase* (R, S o T) della tensione e lo *Sfasamento* (positivo, espresso in gradi, schematizzato dagli angoli  $\phi_i$  nella Figura 4.7) della corrente del conduttore rispetto alla tensione.



Figura 4.7 - Rappresentazione grafica degli sfasamenti in un sistema trifase.

Lo sfasamento si ricava dalla relazione:

$$\phi = \arctan \frac{Q}{P}$$

ove  $P \in Q$  indicano rispettivamente la potenza attiva e reattiva.

Vanno specificate la *Quota* e le *Coordinate* per ogni traliccio, nonché l'angolo formato dagli sbracci nel sistema di riferimento adottato, secondo la Figura 4.4 (solo per le linee aeree).

È necessario inoltre inserire (con riferimento alla Figura 4.2 e Figura 4.3), in corrispondenza di ogni traliccio e per ciascun cavo l'*Altezza* dal suolo del punto di sospensione, lo *Sbraccio* (la distanza dall'asse del traliccio del punto di sospensione) e la tesatura per ogni campata (solo per le linee aeree).

Alla fine, cliccando su *Scrivi il file*, si salvano i dati in un file avente \*.phid, che sarà utilizzato nella fase di elaborazione.



Salva con nome						?×
Salva in:	🚮 Desktop		-	- 🛍 💣 🖬	•	
Cronologia	Ocumenti Risorse del d Risorse di re	computer te				
Desktop						
Documenti						
Risorse del co	1					Þ
	Nome file:	dati.phid			•	Salva
Risorse di rete	Salva come:	Dati di Phidel			•	Annulla

Figura 4.8 - Salvataggio dei dati con estensione \*.phid.

Il file di testo può essere modificato dall'utente richiamandolo tramite la stessa maschera, cliccando il pulsante *Seleziona il file di dati*, e quindi riportando i valori numerici nei campi cliccando *Carica il file*.

Qualora non si conoscano le inclinazioni degli sbracci, è possibile completare automaticamente i campi cliccando su *Calcola gli angoli*: il software li determina secondo la bisettrice tra il traliccio precedente e quello successivo. Per il primo e l'ultimo la testata viene disposta ortogonalmente ai conduttori. Per calcolare la bisettrice anche per questi, conoscendo le coordinate del precedente e del successivo, si può far ricorso all'utility di calcolo dei parametri geometrici illustrata nel Paragrafo 4.6.

Per le linee interrate valgono le medesime considerazioni, con l'eccezione che i valori di lunghezza del segmento, dell'angolo degli sbracci e di tesatura vengono impostati automaticamente a 0. Il software li interpreta correttamente al momento del calcolo.

#### 4.3.1 Limitazioni nell'inserimento dati

Phidel<sup>®</sup> non calcola il campo generato da segmenti verticali. Per ovviare a questo problema è sufficiente introdurre uno spostamento minimo in corrispondenza ad una delle coordinate relative ad un estremo del segmento in questione, nel caso in cui se ne presentasse la necessità.

#### 4.3.2 Il file di dati

I dati immessi vengono salvati su un file di testo avente estensione \*.phid, strutturato come nell'esempio riportato in Figura 4.9.

Al dati.phid - Blocco note	
File Modifica Formato ?	
File Modifica Formato ? **********************************	**
1650 3 2 30 0 0 120 0 240 0 0.000 120.000 12 80 160.000 80.000 15 90 20 20 22 22 20 20 3.2 3.2 -3.9 -3.9 4.7 4.7 1600 1600 1600	
************************	
Note:	
	*

Figura 4.9 - Formato del file di dati.

I valori numerici in tale file sono disposti su 6 righe, il cui significato è illustrato nell'intestazione del file. Nella prima riga sono presenti 4 dati per ciascuna linea:

- intensità di corrente di linea (**1650** A);
- numero di conduttori (3);
- numero di tralicci considerati (2);



• lunghezza del segmento usato per approssimare la catenaria (**30** m).

La seconda riga contiene i valori di fase delle correnti per tutti i conduttori (in gradi:  $0^{\circ}$ ,  $120^{\circ}$  o  $240^{\circ}$ ) e gli sfasamenti tra correnti e tensioni omologhe.

La terza riga contiene le coordinate dei tralicci e gli angoli formati dagli sbracci, la quarta i valori delle altezze da terra dei punti di sospensione, la quinta le ampiezze degli sbracci, la sesta e ultima le costanti di tesatura.

Dopo l'ultima riga numerica è facoltà dell'utente aggiungere liberamente delle note, chenon saranno prese in considerazione nella scansione del file nelle procedure di elaborazione.

# 4.4 - Un caso particolare: il calcolo nel punto d'interramento

Si daranno ora le indicazioni necessarie a calcolare il campo in un caso particolare: la zona prossima al punto in cui una linea aerea viene interrata.



Figura 4.10 - Ultimo traliccio del tratto aereo di una linea prima dell'interramento.

Pur trattandosi di un caso abbastanza frequente, non tutti i software sono in grado di affrontare tale problema. Il modo più semplice per risolverlo è scomporre la linea in tre parti, e trattare ognuna come una linea indipendente, utilizzando lo stesso valore di corrente e facendo attenzione alla disposizione delle fasi.

Il primo tratto è costituito dalla parte aerea, il secondo dal tratto verticale in cui i cavi partono dalla sommità del traliccio (si veda la Figura 4.10) e giungono nel suolo, il terzo dalla linea interrata. L'inserimento relativo a ciascuna di queste parti può essere effettuato indipendentemente, e l'unione dà luogo al file di dati *interramento.phid* che si trova nella directory *File di esempio*.

L'unica difficoltà può riguardare la parte di linea con i fili verticali (cavi rossi nella foto). È comunque possibile utilizzare per questi la modalità di inserimento riservata alle linee interrate, inserendo opportunamente le coordinate degli estremi in modo da raccordarli col resto della linea. In caso di conduttori verticali (caso non contemplato dal software) è necessario modificare i parametri geometrici spostando di una quantità trascurabile uno degli estremi del cavo in questione.

Il calcolo negli esempi qui riportati è stato effettuato a due quote, 2 e 15 m dal suolo. In questo modo si evidenzia al variare dell'altezza il diverso peso dei contributi della parte aerea ed interrata, e la divergenza dei valori di campo in corrispondenza al tratto verticale dei cavi, ove il calcolo viene eseguito in prossimità dei conduttori.





Figura 4.12 - Calcolo del campo a 15 m dal suolo.

# 4.5 - La visualizzazione della configurazione inserita

La verifica della consistenza dei dati inseriti con la situazione reale può essere effettuata cliccando sul tasto *Visualizza* nella schermata iniziale. Da qui si accede alla finestra di *Visualizzazione della configurazione*, nella quale si selezionano il file di dati e gli intervalli lungo gli assi  $x, y \in z$  del sistema di riferimento che vengono mostrati nell'*Area di visualizzazione*, una volta scelta la *Proiezione di visualizzazione* (XY, YZ o XZ).



Figura 4. 13 – Schermata per la visualizzazione della configurazione di linee immesse nel file di dati.



# 4.6 - Calcolo della costante di tesatura e dell'angolo degli sbracci

L'interfaccia di inserimento dati comprende una pagina per il calcolo della costante di tesatura (attivabile cliccando il pulsante *Lancia le utilità*) di una linea, da utilizzare qualora fossero noti i soli parametri geometrici della campata. Nella figura seguente sono visualizzati i due casi che si possono presentare, ossia punto di minimo compreso tra i punti di sospensione (in alto a sinistra, Figura 4.14) od esterno ad essi (in basso).



Figura 4.14 - Schema per il calcolo della costante di tesatura e dell'angolo formato dallo sbraccio col sistema di riferimento.

L'utente deve immettere, in base al sistema di riferimento scelto, i valori relativi alla lunghezza della campata (intesa come proiezione al suolo), le quote dei punti di sospensione (identificate dagli indici  $_1$  e  $_2$ , nei disegni) e quella riferita al franco minimo (punto con indice  $_0$ ).

Cliccando su Calcola la tesatura viene visualizzato il valore, espresso in metri.

Nella stessa pagina è presente l'utilità che calcola l'angolo di orientamento degli sbracci di un traliccio come bisettrice dell'angolo formato dalla campata precedente e dalla successiva. Per ottenere tale valore è necessario inserire le coordinate dei tralicci in questione e cliccare su *Calcola l'angolo*.



# V. L'ELABORAZIONE DATI

La parte del software volta all'elaborazione è divisa in una pagina preposta al calcolo piano, una al calcolo orografico, una all'interpolazione orografica, una alle utilità di sistema.

# 5.1 - Il calcolo delle fasce di rispetto secondo la Norma CEI 106-11

Dalla schermata iniziale (indicata con *Start*) esiste inoltre la possibilità, cliccando sul pulsante *Calcola la fascia*, di aprire un'ulteriore finestra, visualizzata in Figura 5.1, preposta al calcolo della fascia di rispetto secondo le direttive della Norma CEI 106-11. Va fatto notare che le formule implementate in questo documento sono approssimate, pertanto la validità è limitata a valori della fascia molto maggiori degli impegni geometrici delle testate dei tralicci e non contemplano casi complessi con presenza di più linee, per i quali sarà necessario ricorrere al calcolo puntuale del campo.



Figura 5.1 – Inserimento dei dati per il calcolo diretto della fasci di rispetto.

È stata inoltre rilevata dall'Autore una vistosa incongruenza per quanto concerne il caso della linea aerea a doppia terna, nella configurazione Antisimmetrica. Si attendono le correzioni della Norma CEI, che saranno prontamente implementate nel software.

L'utilizzo di questa utility è estremamente semplice; si seleziona la configurazione d'interesse, scegliendo tra:

- linea aerea trifase a semplice terna:
  - o conduttori disposti in piano o in verticale;
  - o conduttori disposti a triangolo;



- linea aerea a doppia terna:
  - o conduttori in configurazione simmetrica;
  - o conduttori in configurazione antisimmetrica;
- linea in cavo interrato a semplice terna:
  - o conduttori unipolari posati in piano;
  - o conduttori unipolari disposti a trifoglio;

Nel caso di linea interrata è inoltre possibile scegliere se calcolare l'estensione massima della fascia o l'estensione a livello del suolo.

Una volta inseriti i dati relativi alla configurazione, alla corrente e agli sbracci, cliccando su *Calcola la fascia* viene immediatamente evidenziato il valore di interesse.

# 5.2 - Il calcolo piano

Phidel	3.3			
Start	Calcolo piano	Calcolo orograf	ico   Interpolazione	Utilità Licenza
Esecu	uzione del calco	lo non orografico		
Origi	ine X	0	Origine Y	0
Pass	io X [m]	1	Passo Y [m]	1
Pass	ii lungo X	0	Passi lungo Y	0
fi [°]		0	psi [°]	0
Quo	ta [m]	0	Buffer [m]	2500
1	Apri il f	ile di dati		
Ē				
	)Salva il	risultato		
		Precisione per >	tey m	3
				Tempo rimanente
0%	25%	50% /5%	s 100%	Oh Om Os
		E	isegui il calcolo	
		₽	Esci da Phidel	

Figura 5.2 - Schermata preposta al calcolo piano.

Nella pagina preposta al calcolo del campo su una superficie piana (Figura 5.2), l'utente deve definire l'origine (per  $X \in Y$ ) del piano in cui effettuare il calcolo, il passo lungo  $X \in Y$ , il numero di passi lungo le due direzioni, i valori degli angoli che determinano l'orientamento del piano di calcolo nello spazio, la quota, il valore di buffer (ossia la distanza dal punto di calcolo oltre la quale non vengono prese in considerazione le campate per il computo dell'induzione magnetica) e la precisione<sup>1</sup> con cui saranno riportate le coordinate  $X \in Y$ , a scelta tra *m*, *dm*, *cm* e *mm* (la quota è sempre riportata con precisione centimetrica).

Si seleziona il file di dati (un file di testo avente estensione \*.phid) premendo *Apri il file di dati* ed il nome del file su cui salvare il risultato (con estensione \*.txt) premendo *Salva il risultato*.

Cliccando il pulsante *Esegui il calcolo* il programma legge i dati, li elabora e crea in output un file di testo (avente estensione \*.txt), il quale è costituito da una matrice a 4 colonne: i valori delle coordinate X, Y, Z e l'intensità efficace di campo di induzione magnetica sul piano definito dall'utente al momento dell'inserimento dati.

Phidel<sup>®</sup>, qui e altrove, salva i risultati in file di testo usando la tabulazione come separatore tra i campi numerici.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Per  $\phi \neq 0$  una risoluzione grossolana può dar luogo a incongruenze grafiche, quali sovrapposizioni di punti distinti.



Nel seguito varranno le stesse considerazioni per quanto riguarda la precisione di rappresentazione delle coordinate, ossia al centimetro per la quota, e definita dall'utente per X e Y.

# 5.3 - Il calcolo orografico

La seconda pagina (Figura 5.3) è preposta al calcolo orografico. Qui l'utente specifica la quota, riferita al livello del suolo, il valore di buffer, il numero e l'ampiezza dei passi in altezza. In questo modo è possibile specificare piani equidistanti e paralleli al suolo su cui eseguire il calcolo.

Phidel 3.3
Start   Calcolo piano   Calcolo orografico   Interpolazione   Utilità   Licenza
Esecuzione del calcolo orografico           Passo Z [m]         1         Passi lungo Z         0           Quota [m]         0         Buffer [m]         2500
Apri il file di dati
Salva il risultato Precisione per X e V m T Proietta il valore massimo
0% 25% 50% 75% 100% Tempo rimanente 0h 0 m 0 s
Esci da Phidel

Figura 5.3 - Schermata preposta al calcolo orografico.

Si seleziona il file di dati (un file di testo avente estensione \*.phid) premendo *Apri il file di dati*, il file contenente i dati orografici (con estensione \*.txt) premendo *Apri l'orografia* ed il file su cui salvare il risultato (con estensione \*.txt) premendo *Salva il risultato*.

Premendo il pulsante *Esegui il calcolo* il programma legge i dati, li elabora e crea in output un file di testo (avente estensione \*.txt), il quale è costituito da una matrice di valori di coordinate X, Y, Z e intensità efficace di campo di induzione magnetica.

Selezionando Proietta il valore massimo vengono riportate due ulteriori colonne, con il valore di campo più elevato calcolato alle varie quote per ogni punto (X, Y), e la quota alla quale compare.

I campi numerici del file contenente l'orografia possono essere divisi da un separatore qualunque (spazio, tabulazione, virgola, punto e virgola, ecc.). Il software inizia a leggere i valori numerici dalla seconda riga del file orografico, che quindi può avere un'intestazione di qualunque lunghezza (nella prima riga).

Il software risulta così compatibile con diversi formati di file, esportati da software diversi (GIS, foglio di calcolo..) che non salvano necessariamente i dati con lo stesso separatore.

#### 5.4 - L'interpolazione orografica

L'utente crea un *file di base*, che definisce la griglia sui nodi della quale vengono interpolate le quote, utilizzando la parte in alto della finestra visualizzata nella Figura 5.4: si definiscono le coordinate del vertice in basso a sinistra del rettangolo coprente la regione di interesse, il numero di passi lungo le direzioni X e Y, l'ampiezza del passo (espressa in metri) e la precisione per X e Y. Si



definisce il nome del file (che avrà estensione \*.txt) e il percorso in cui salvarlo utilizzando il pulsante *Salva il file di base*; a questo punto lo si crea premendo il pulsante *Crea il file di base*.

∦ Phidel	3.3
Start	Calcolo piano Calcolo orografico Interpolazione Utilità Licenza
Crea	izione del file di base
Oriç	jine X 0 Origine Y 0
Pas	si lungo X 0 Passi lungo Y 0
Pas	so [m] 1 Precisione X e Y m
8	Salva il file di base
0%	25% 50% 75% 100% Oh 0 m 0 s
	Crea il file di base
Esec Alf	uzione del calcolo arametri di calcolo ia 1 Precisione X e Y m x Punti 5
ę	Apri il file di base
6	Carica i punti quotati
K	Salva l'orografia
0%	25% 50% 75% 100% Oh 0 m 0 s
	Esegui il calcolo
	Esci da Phidel

Figura 5.4 - Schermata preposta all'interpolazione orografica.

Quindi, lavorando in GIS, si crea un file di testo con n punti quotati, ottenuti da carta tecnica numerica, nella regione di interesse (si veda la Figura 5.5). Questi andranno georeferenziati utilizzando gli script a disposizione del GIS utilizzato.



Figura 5.5 - Immagine con i punti quotati, evidenziati da un'opportuna scala cromatica.

I due file vengono utilizzati nella parte inferiore della finestra di Figura 5.4, selezionandoli rispettivamente con i pulsanti *Apri il file di base* e *Carica i punti quotati*.

L'utente deve inoltre indicare il numero di *Punti* da utilizzare per effettuare il calcolo, la precisione con cui salvare le coordinate X ed Y ed il parametro *Alfa*, descritto nel seguito. Da esempi ritrovati in letteratura, valori tipici per tale parametro sono 1 e 2. L'orografia viene creata premendo il pulsante *Esegui il calcolo*.

#### 5.4.1 L'algoritmo di calcolo orografico

Le quote vengono calcolate utilizzando l'algoritmo detto *inverso delle distanze*: ad ogni punto del *file di base*, costituito da m elementi (X, Y), è associata come quota la media delle quote degli s



punti più vicini del totale degli *n* quotati ( $X_0$ ,  $Y_0$ ,  $Z_0$ ), pesate con l'inverso della distanza elevata ad una potenza scelta dall'utente (il parametro *Alfa*).



Figura 5.6 - Punti quotati, griglia di base e determinazione degli s più vicini ai punti di calcolo.

Vengono cioè definite n distanze per ognuno degli (X, Y):

$$d = \sqrt{(X_0 - X)^2 + (Y_0 - Y)^2}$$

e di queste si estrae il set con le *s* minori  $\{d_1, d_2, ..., d_s\}$ , a ciascuna delle quali corrisponde una quota  $Z_r$ , con  $1 \le r \le s$ . Da queste si ricava la quota corrispondente al punto considerato come media pesata:

$$Z[j] = \sum_{r=1}^{s} F_r \cdot Z_r$$

e i pesi  $F_r$  definiti come  $F_r = \frac{G}{d_r^{\alpha}}$  con  $\alpha \in R^+$ . La normalizzazione  $\sum_r F_r = 1$  comporta:

$$G = \frac{1}{\sum_{r} \frac{1}{d_r^{\alpha}}}$$

imposto il vincolo:

$$d_r = 0 \Longrightarrow F_r = \delta_r$$

con r, t = 1, 2, ..., s, che fa collassare la soluzione nel caso di calcolo nel punto quotato.

Il software esegue correttamente il calcolo entro un raggio di 2000 km circa dai punti noti.

### 5.5 - Le utilità del software

La quarta finestra è suddivisa in tre riquadri, ognuno preposto all'esecuzione di un'apposita utilità. La prima permette di convertire il risultato ottenuto con Phidel<sup>®</sup> (compatibile con GIS) in formato fruibile con un foglio di calcolo. I parametri da specificare sono il numero di passi lungo X e Y, i valori delle inclinazioni utilizzate per creare il file di dati e la precisione con cui salvare i campi relativi alle coordinate X e Y. Vanno selezionati il file con il risultato premendo il pulsante *Apri il file per GIS*, e un percorso ove salvare i dati nel nuovo formato premendo *Salva la conversione*, e va infine permuto il tasto *Converti*.



hidel 3.:	3
tart Ca	alcolo piano 🛛 Calcolo orografico 🗍 Interpolazione 🛛 Utilità 💧 Licenza 📔 👘
-Convert Passi lu	i il risultato in formato compatibile con un foglio di calcolo ungo X 0 fi [°] 0 Precisione per X e Y
Passi Iu	
Ø	Apri il file per GIS
Ø	Salva la conversione
0%	25% 50% 75% 100%
	Converti
Rendi l'a	orografia in formato foglio di calcolo compatibile con l'ambiente GIS
Ø	Apri il file con l'orografia
Ø	Salva la conversione
	Precisione per X e Y m
0%	25% 50% 75% 100% Converti
Unisci i (	dati di progetti diversi nel file "Padre"
C	Apri il file "Padre"
C	Apri il file "Figlio"
	Unisci
	Esci da Phidel

Figura 5.7 - Schermata con le utilità del software.

La conversione avviene, per motivi di compatibilità tra i formati dei file, solo quando i valori degli angoli sono multipli interi di 90°. Poiché una rotazione può portare gli assi del nuovo sistema di riferimento a non coincidere con quelli del sistema originario, si tenga presente la Tabella 5.1, che specifica su quale piano vengono calcolati i valori di campo nei vari casi in cui sia possibile effettuare la conversione:

Ψ	Ø	piano
0°, 180°	0°, 90°, 180°, 270°	xy
000 2700	0°, 180°	XZ
90,270	90°, 270°	yz

Tabella 5.1 - Piano individuato dal calcolo in funzione delle inclinazioni.

Si vedrà a tal proposito un esempio pratico al Paragrafo 5.8, in cui due rotazioni di  $90^{\circ}$  portano la regione di campionamento sul piano *yz*.

Convertendo file con numero di passi maggiore al limite di celle accettate dal foglio di calcolo (tipicamente 256), si avrà un troncamento al momento dell'importazione. Si può ovviare a tale problema aumentando l'ampiezza del passo e riducendone di conseguenza il numero.

La conversione non viene eseguita in caso di incongruenze tra il formato del file da convertire e il numero di passi impostato dall'utente. Questo può succedere quando il campo non viene calcolato nelle zone prossime ai conduttori, per cui nella matrice di valori risultano dei punti mancanti.

La seconda utilità permette di convertire file orografici ottenuti con alcuni software che salvano i dati in formato compatibile con foglio di calcolo per l'ambiente GIS. Per questo è necessario aprire il file premendo il pulsante *Apri il file con l'orografia* e selezionare percorso e nome del file di output premendo *Salva la conversione*, selezionare la precisione con cui salvare i valori di X e Y e premere il tasto *Converti*.



L'ultima utilità permette infine di unire file di dati diversi. Premendo *Apri il file "Padre"* si può selezionare il primo file, che sarà sovrascritto alla fine con i dati relativi ad entrambi. Il secondo file si seleziona premendo *Apri il file "Figlio"*, e premendo *Unisci* si effettua l'unione dei due.

In questo modo è possibile eseguire separatamente l'inserimento dati per linee e tratti di linea, suddividendo e semplificando tale operazione.

# 5.6 - Visualizzazione dei risultati

Il risultato è visualizzabile tramite un software GIS (Sistema Informativo Geografico), così da sovrapporre graficamente i valori di campo alla Carta Tecnica. La rappresentazione (Figura 5.8, a destra) evidenzia l'intensità di campo sulla superficie definita in corrispondenza ai punti e alla quota di interesse:



Figura 5.8 - Visualizzazione in ambiente GIS (a sinistra) e in un grafico ottenuto da foglio di calcolo (a destra).

Qualora si presentasse la necessità di visualizzare i dati in un programma di foglio di calcolo, è possibile convertirli utilizzando la prima utilità descritta (Figura 5.8, a destra).

# 5.7 - Comportamento in prossimità dei conduttori

Nell'approssimazione di cavi monodimensionali, il campo diverge in prossimità del conduttore. Per evitare problemi nell'esecuzione del calcolo, questo non viene effettuato per distanze inferiori a 5 cm dai cavi.

Una conseguenza è l'impossibilità in tali casi di effettuare la conversione in file compatibile con un foglio elettronico, data l'incompletezza della matrice dei valori di campo.

# 5.8 - Determinazione delle fasce di rispetto (DPCM 8 luglio 2003)

È possibile utilizzare Phidel<sup>®</sup> per determinare l'ampiezza delle fasce di rispetto in prossimità di un elettrodotto, impostando opportunamente i parametri di input<sup>2</sup>.

Nell'esempio seguente si considera il caso di una campata di una linea configurata a doppia terna: si valuta l'estensione del volume contenente il campo superiore a 10  $\mu$ T in corrispondenza della sezione a metà campata.

Si consideri la campata orientata lungo l'asse delle ascisse; in questo esempio le coordinate dei tralicci sono date da:

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> I dati relativi all'esempio riportato sono contenuti nel file "fascia.phid", presente nella sottodirectory "File di esempio" installata con il software.



Trali	ccio 1	Trali	ccio 2
$X_1$	100	$X_2$	400
$Y_1$	0	$Y_2$	0
$Z_1$	0	$Z_2$	0

Tabella 5.2 - Coordinate dei tralicci nel caso in esame.

Il campo è calcolato a metà campata; le coordinate dei punti della regione di campionamento sono caratterizzate da:

ed il sistema è quindi raffigurabile in sezione come nella Figura 5.9.



Figura 5.9 - Proiezione sul piano xy del sistema di riferimento.

Il piano è solitamente orizzontale e orientato come gli assi x e y. Per ottenere un piano verticale come quello illustrato in Figura 5.9, è necessario impostare gli angoli che indicano due rotazioni di 90° rispetto agli assi definiti dal piano di calcolo:

```
Deviazione dall'asse x: 90° Inclinazione percorso: 90°
```

Le figure seguenti descrivono la prima rotazione:



Figura 5.10 - Campionamento con  $\phi=0^\circ$  e  $\psi=0^\circ$ .



Figura 5.11 - Campionamento con  $\phi > 0^\circ$  e  $\psi = 0^\circ$ .





Figura 5.12 - Campionamento con  $\phi=90^{\circ}$  e  $\psi=0^{\circ}$ .

A questo punto il sistema di riferimento è ruotato, e per gli assi della regione di campionamento (in azzurro) sussistono le relazioni:

$$x'=y$$
  $y'=-x$ 

che li legano al sistema di riferimento originario.

Per calcolare il campo ortogonalmente ai conduttori la regione di campionamento va ruotata di un angolo  $\psi = 90^{\circ}$  attorno a *x*', fino ad ottenere la configurazione visualizzata in Figura 5.13.

A questo punto le relazioni tra gli assi della regione di campionamento e il sistema originario sono:

$$x'=y$$
  $y'=z$ 

Ne consegue che i passi lungo l'asse *y* vanno immessi nel campo *Numero di passi lungo x*, mentre i passi lungo l'asse *z* vanno inseriti nel campo *Numero di passi lungo l'asse y*.



Figura 5.13 - Campionamento con  $\phi=90^\circ$  e  $\psi=90^\circ$ .

Il risultato può essere importato direttamente in un software GIS, nel quale andranno visualizzati i valori di induzione e selezionate le coordinate  $Y \in Z$ .



Figura 5.14 - Induzione magnetica calcolata in un piano ortogonale ai conduttori, e circonferenze racchiudenti il volume con campo superiore a 3 e 10 μT.



Il risultato ottenuto è mostrato infine nella Figura 5.14: le due circonferenze racchiudono i volumi contenenti le zone in cui il campo supera l'intensità di 3 e 10  $\mu$ T, rispettivamente. I raggi di tali circonferenze rappresentano le estensioni delle fasce di rispetto per i citati valori di induzione nel tratto considerato della linea in esame.

# 5.9 - Un esempio guidato all'utilizzo del calcolo orografico

L'analisi d'impatto elettromagnetico in un'area di interesse può schematicamente essere condotta secondo quattro filoni principali:

- calcolo piano;
- calcolo nei punti quotati da Carta Tecnica;
- calcolo nei punti ottenuti da interpolazione orografica;
- calcolo in corrispondenza a particolari elementi quotati (es.: quote gronda degli edifici).

La scelta del particolare *modus operandi* è vincolata alla disponibilità dei dati relativi alla conformazione orografica del terreno in questione, all'accuratezza del risultato richiesto, alla finalità dello studio (tipicamente valutazione dell'esposizione della popolazione o analisi dei valori di campo sul territorio) e da eventuali restrizioni legate ai tempi di calcolo a disposizione dell'utente.

Poiché un'analisi del primo tipo non introduce elementi di novità rispetto a quanto spiegato nei precedenti paragrafi inerenti l'utilizzo del software, verranno ora esposte solo le tre procedure riferite al calcolo del campo in modalità orografica.

#### 5.9.1 Definizione dell'area d'intervento e creazione del buffer di I livello

Per meglio evidenziare le potenzialità del software per valutazioni di tipo orografico si è scelto di descrivere un esempio pratico: nel seguito verrà esposta una procedura guidata alla valutazione del campo di induzione magnetica in prossimità di una centrale di trasformazione.

La zona è stata scelta come esempio a causa di varie complicazioni: la presenza di diverse linee ad Alta ed Altissima Tensione, la particolare orografia del terreno, la presenza di un lago, ossia di una zona nella Carta Tecnica priva di riferimenti quotati, e di varie infrastrutture (tra le quali un'autostrada) che richiedono un'analisi più accurata nella scelta dei dati altimetrici da utilizzare nella successiva interpolazione.





Figura 5.15 - Planimetria della zona (a sinistra) con le linee a 220 kV (in verde) e a 132 kV (in azzurro) e definizione del *buffer di I livello* di 500 m (a destra).



La prima operazione necessaria all'analisi consiste nella definizione dei tratti di linea di interesse, per un totale di 49 campate, e quindi nel reperimento dei dati elettrici e geometrici ad essi relativi.

Una volta definite le campate che saranno considerate nel calcolo del campo, va creato il *buffer di I livello*, ossia la superficie entro una distanza definita dall'utente dalle campate considerate.

Il buffer viene scelto discrezionalmente in base alle caratteristiche delle linee elettriche considerate, tenendo conto non solo della tipica estensione dei volumi di determinati valori di campo, ma anche della compresenza di più linee sul territorio.

Nell'esempio qui riportato si è scelta una distanza di 500 m, in modo tale che il buffer comprenda sempre l'isolinea dei 3  $\mu$ T.

#### 5.9.2 Selezione degli elementi quotati da Carta Tecnica e loro georeferenziazione

Si scelgono opportunamente all'interno del buffer gli elementi quotati nella Carta Tecnica: volendo infatti eseguire nel seguito un'interpolazione per ricavare l'orografia del suolo, si scartano i punti riferiti alle sommità degli edifici (ad esempio le quote gronda). Un'analisi più accurata, sia della tabella contenente gli attributi dei punti quotati, che visiva con un'opportuna scala cromatica, permette di eliminare gli errori presenti nella cartografia.



Figura 5.16 - Elementi quotati all'interno del *buffer di I livello* e definizione del poligono (in azzurro) ricoprente il lago (a sinistra) e georeferenziazione degli elementi quotati (a destra).

A causa della presenza nell'area d'interesse di un lago, che comporta dal punto di vista cartografico l'assenza di punti quotati per l'intera sua superficie, si è deciso di eliminare nelle procedure di calcolo i punti ricadenti in tale settore. A tal fine è stato costruito un poligono corrispondente al perimetro del lago, utilizzando gli elementi della Carta Tecnica ed elaborandoli attraverso apposite utilità presenti nel software GIS.

🍳 Attributes of Elementi quotati nel buffer di 500 m 📃 📕					
Shape	Entity	Layer	Elevation		
PolyLineZ	Line	5L000CA	356.73000	-	
PolyLineZ	Insert	6P000TE	385.87000	_	
PolyLineZ	Line	5L000CA	351.75000		
PolyLineZ	Line	5L000CA	351.75000		
PolyLineZ	Line	5L000CA	351.89000		
PolyLineZ	Line	5L000CA	351.88000		
PolyLineZ	Line	5L000CA	351.39000		
PolyLineZ	Line	5L000CA	351.40000		
PolyLineZ	Line	5L000CA	351.87000		
<b>1</b> ''' -	1	FI 00001		- E	

Figura 5.17 - Attributi dello shape relativo agli elementi quotati nel buffer di I livello.



Vanno infine scartati ai fini della successiva interpolazione i punti quotati relativi ad infrastrutture non a diretto contatto con il suolo (quali sopraelevate di autostrade, cavalcavia, ecc.).

Gli elementi quotati sono quindi georeferenziati (vengono cioè attribuiti loro i valori relativi alle coordinate X e Y nel sistema di riferimento considerato, utilizzando opportuni script nell'ambiente GIS utilizzato: si vedano le figure seguenti) ed esportati in formato ASCII.

🍳 Attributes of Punti quotati e georeferenziati 👘 📕						
Shape	X	Y	Z			
Point	2369871.16	5135194.08	356.73	<u>•</u>		
Point	2369900.66	5134998.36	385.87			
Point	2369966.00	5134998.50	351.75			
Point	2369961.75	5134992.50	351.75			
Point	2369959.74	5134990.78	351.89			
Point	2369937.95	5134974.06	351.59			
Point	2369936.08	5134972.40	351.49			
Ppint	2369934 50	5134971 00	351.48			

Figura 5.18 - Attributi dello shape relativo ai punti quotati e georeferenziati nel *buffer di I livello*.

#### 5.9.3 Calcolo del campo in corrispondenza dei punti quotati

È possibile, a questo punto, utilizzare i dati ottenuti dalle precedenti elaborazioni per eseguire un calcolo del campo proprio in corrispondenza dei punti quotati georeferenziati.



Figura 5.19 - Campo calcolato in corrispondenza ai punti quotati delle Carta Tecnica.

Questi vanno esportati dalla tabella dello shape corrispondente in ambiente GIS in un file di testo, che può essere importato direttamente nella sezione dedicata al calcolo orografico (si veda il Paragrafo 5.3).

Il risultato ottenuto, visualizzato in Figura 5.19, potrà essere raffrontato con quanto ricavato a seguito dell'interpolazione orografica sia per quanto concerne la risoluzione che le risorse di sistema necessarie (tempi di calcolo e memoria).

#### 5.9.4 Creazione del file di base

L'interpolazione orografica viene compiuta su di una griglia a passo regolare definita dall'utente. Questa viene inizialmente creata come una matrice di punti rettangolare, definendo nei campi relativi alla creazione del *file di base* le coordinate relative all'origine (vertice in basso a sinistra), il numero di passi lungo X e Y e l'ampiezza del passo (nel caso in questione 10 m).







Figura 5.20 - Creazione della *base* con passo di 10 m (a sinistra), selezione dei punti interni al *buffer di I livello* ed eliminazione dei punti interni alla superficie del lago (a destra).

Il risultato di tale operazione, importato in GIS con la cartografia sovrapposta, è riportato nella Figura 5.20 (il rettangolo con contorno rosso). Tale griglia è costituita da un file ASCII, il cui formato è una tabella con 3 colonne (si veda la Figura 5.21). Nelle prime due sono riportati i valori delle coordinate *X* e *Y* in cui avverrà l'interpolazione, mentre la terza, indicata da *Z* nella prima riga, è una colonna di zeri inserita per rendere possibile l'importazione in ambiente GIS.

🔍 Attrib	utes of Base	- 🗆 🗵		
Shape	X	Y	Z	
Point	2369650	5131230	0	<u> </u>
Point	2369650	5131240	0	_
Point	2369650	5131250	0	
Point	2369650	5131260	0	
Point	2369650	5131330	0	
□int   4	22606EU	E101040	0	<del>ب</del> ا

Figura 5.21 - Attributi del file di base.

A questo punto, in GIS vanno selezionati i punti del *file di base* all'interno del buffer e che non ricadano all'interno del lago, ed esportati in formato ASCII, ottenendo il *file di base ridotto* visualizzato graficamente in Figura 5.20 (a destra).

Quest'operazione va eseguita in un buffer più ristretto rispetto a quello di I livello, onde evitare problemi al contorno (bias) dovuti al fatto che in prossimità dei bordi l'interpolazione è effettuata solo sui dati presenti al loro interno: si restringe quindi il buffer a 450 m.

È stata così realizzata una matrice di punti georeferenziati e distanziati 10 m, che sarà utilizzata per una prima analisi orografica.

#### 5.9.5 Interpolazione orografica

Si può calcolare ora l'orografia nei punti interpolando i punti quotati georeferenziati con l'apposito algoritmo sul *file di base*, ridotto come mostrato in precedenza.





Figura 5.22 - Risultato dell'interpolazione orografica nei punti del *file di base* ridotto (a sinistra) e calcolo del campo nei punti quotati (a destra).

Il risultato finale è riportato in Figura 5.22 (a sinistra).

L'utente dispone ora di tutte le informazioni necessarie per eseguire l'analisi richiesta.

🍳 Risultati a 1	0 m			- 🗆 🗵
X	Y	Z	Belt [µt]	
2369730.00	5134760.00	367.00	0.003	<u> </u>
2369730.00	5134770.00	364.49	0.003	
2369730.00	5134780.00	366.84	0.003	
2369730.00	5134790.00	362.00	0.003	
2369730.00	5134800.00	357.00	0.004	
2369730.00	5134810.00	352.00	0.004	
2369740.00	5134730.00	377.00	0.003	
2369740.00	5134740.00	368.67	0.003	-
•				1

Figura 5.23 - Caratteristiche della tabella in cui sono salvati i risultati del calcolo.

La Figura 5.22 (a destra) riporta la visualizzazione dei valori di induzione magnetica in corrispondenza ai punti interpolati con un passo di 10 m.

Il calcolo del campo in corrispondenza ai punti quotati della Carta Tecnica (si veda il Paragrafo 5.9.3) è più rapido, in quanto non richiede l'interpolazione (che a seconda delle dimensioni dell'area d'analisi e del passo della griglia può essere onerosa in termini di tempi di calcolo), ma non permette di ottenere mappe di campo omogeneamente distribuite e al passo desiderato.

#### 5.9.6 Definizione del buffer di II livello e interpolazione orografica

Per mappare più fittamente la regione d'interesse, ad esempio con un passo di 1 m, si utilizza il risultato ottenuto precedentemente (campo calcolato con un passo di 10 m) e visualizzato in Figura 5.22 (a sinistra).

Si determina un'area più ristretta, definita *buffer di II livello*, a partire dai valori di campo ottenuti ogni 10 m. Scegliendo, ad esempio, l'area interessata da valori superiori a 1  $\mu$ T, resta definita una distanza massima pari a 50 m dalle linee in questione, e questa definisce pure il *buffer di II livello*.

In questo nuovo buffer viene eseguita nuovamente l'interpolazione orografica, con un passo più fitto che in precedenza (si veda la Figura 5.24, a sinistra).





Figura 5.24 - Calcolo dell'orografia con passo di 1 m all'interno del *buffer di II livello* (a sinistra) ed esecuzione del calcolo (a destra) all'interno del *buffer di II livello* (particolare).

Il calcolo finale si esegue nei punti interni al *buffer di II livello*; questo ricopre un'area più ristretta della precedente, ma il campionamento è eseguito ad un passo più fitto.

Un particolare del risultato è riportato in Figura 5.24, a destra.

Questo tipo di procedura permette di diminuire i tempi di calcolo, evitando di calcolare il campo con un'alta risoluzione in ampie aree senza effettiva necessità.

#### 5.9.7 Calcolo del campo in corrispondenza alle quote gronda

Si può infine eseguire il calcolo del campo di induzione magnetica in corrispondenza alle quote gronda degli edifici presenti nella zona di interesse, con metodologia di calcolo analoga alle precedenti, ed utilizzando come file orografico una tabella di testo con coordinate e quote creata da GIS.



Figura 5.25 - Calcolo dell'induzione magnetica in corrispondenza delle quote gronda degli edifici posti in prossimità delle linee di interesse.



Quest'operazione permette un notevole risparmio di tempo e una valutazione cautelativa dell'esposizione della popolazione, qualora il calcolo venga effettuato utilizzando i valori di portata della corrente.

In un'analisi del genere si imposta a 0 il valore della *Quota* nell'interfaccia di elaborazione dati, per effettuare il calcolo proprio nei punti indicati dal file contenente le coordinate delle quote gronda senza introdurre un offset sull'altimetria.

#### 5.9.8 Conversione di un output orografico per foglio di calcolo

È possibile, a questo punto, convertire un'opportuna selezione dei risultati in formato compatibile con un foglio elettronico, tenendo però presenti le limitazioni imposte da quest'ultimo strumento.



Figura 5.26 - Visualizzazione in Excel del campo ottenuto nel calcolo orografico.

Considerando ad esempio i dati rappresentati in Figura 5.24, a destra, è possibile esportare da GIS una selezione rettangolare (di dimensioni limitate alla capacità del foglio di calcolo, tipicamente 256 punti per lato) in un file di testo. Questo deve essere modificato in modo che la seconda colonna, quella con i dati relativi alla coordinata *Y*, sia ordinata in modo crescente (oppure si imposta  $\phi$ =90°, una rotazione che inverte gli assi *x* e *y*, e si scambiano i valori del numero di passi lungo le due direzioni). Quindi si utilizza l'utilità di conversione per foglio di calcolo (si veda il Paragrafo 5.5); il risultato ottenuto è visualizzato, in scala semilogaritmica, in Figura 5.26.

# 5.10 - Risorse di sistema richieste

Le diverse procedure esposte richiedono risorse di sistema (in termini di memoria e utilizzo del processore) e tempi di calcolo diversi. Queste vengono qui riassunte per un sistema standard<sup>3</sup> in due tabelle, in quanto le tipologie di dati utilizzati nei vari casi non sono direttamente confrontabili.

Nella Tabella 5.3 vengono considerati sia gli esempi esposti in quest'ultimo capitolo, nei quali è stato studiato un sistema di 49 campate, che il caso del calcolo in prossimità del punto di interramento, di cui si è discusso al Paragrafo 4.4, costituito da 2 tratti aerei e 2 interrati.

Non sono considerate le procedure che non richiedono tempi di calcolo considerevoli, quali ad esempio la creazione dei file di base, o esportazione e georeferenziazione degli elementi quotati in ambiente GIS.

3

Costituito da una macchina con 512 MB di memoria DDR RAM e un processore Pentium IV da 1.7 GHz.



Procedura di calcolo	Punti di calcolo	Peso file risultante	Memoria RAM	Tempo
Nei punti quotati	101920	2986 kB	10022 kB	8'30''
Nel buffer di I livello	57412	1066 kB	7068 kB	5'
Nel buffer di II livello	886636	16452 kB	23212 kB	1h 15'
Nelle quote gronda	561	17 kB	6020 kB	3''
Piana (punto di interramento)	300000	5753 kB	6308 kB	4'20''

Tabella 5.3 - Risorse richieste per il calcolo del campo efficace.

Nella Tabella 5.4 si riportano invece le grandezze caratteristiche relative all'interpolazione orografica effettuata per i *buffer di I e II livello*.

Procedura di interpolazione	Punti quotati	Punti di base	Superficie di calcolo	Memoria RAM	Tempo
Passo 10 m, buffer di 450 m	101920	57412	6.42 km <sup>2</sup>	9448 kB	12'05''
Passo 1 m, buffer di 50 m	29023	886636	0.91 km <sup>2</sup>	20732 kB	53'10''

Tabella 5.4 - Risorse richieste per l'interpolazione orografica.

# 5.11 - Implementazione di un circuito di compensazione

In un circuito passivo situato attorno ai conduttori, le correnti indotte dal campo magnetico generano un campo che tende a compensare quello inducente. Per aumentare la corrente indotta si inserisce in serie alla spira stessa un condensatore che compensi in parte le induttanze presenti, e la resistenza della spira deve essere quanto più bassa possibile.



Figura 5.27 - Schema di un circuito di compensazione.



Una soluzione di questo tipo fa diminuire il campo di circa il 40% in prossimità della linea, ma permette di risanare solo situazioni locali.

Si possono ottenere risultati migliori con la tecnica di *schermo attivo*, in cui la corrente di schermo è forzata da generatori controllati in ampiezza e fase.

Con Phidel<sup>®</sup> è possibile calcolare l'effetto di un sistema di tal genere inserendo nei dati di calcolo un'ulteriore linea, costituita da un solo conduttore e formante una spira della geometria appropriata, posta in corrispondenza della campata di cui si vogliono attenuare le emissioni nell'ambiente circostante.

Nel caso in questione è stato applicato ad una campata delle linee viste in precedenza un circuito di compensazione costituito da una spira avente ampiezza pari a 10 m, posta a 20 m da terra e perfettamente tesa tra i due tralicci.



Figura 5.28 - Calcolo del campo prima (a sinistra) e dopo (a destra) l'applicazione di un circuito di compensazione.

È stato calcolato il campo variando la corrente circolante all'interno della spira e lo sfasamento tra questa e le correnti di fase della linea: in questa maniera si rende possibile calcolare i valori ottimali di corrente e sfasamento da applicare al circuito compensativo in funzione del carico della linea, in modo da ottimizzare la riduzione dell'impatto ambientale.

Come si nota dal raffronto tra le mappe di Figura 5.28, un circuito di questo tipo ha validità prettamente locale, e non induce alcuna diminuzione dell'induzione al di fuori della zona prossima alla campata interessata dal rimedio.



# VI. GENERAZIONE DI CURVE DI LIVELLO

### 6.1 - Preparazione dell'output di calcolo

Per importare l'output di Phidel<sup>®</sup> in ambiente CAD o GIS è possibile avvalersi di software GIS open source in modo da ricavare le isolinee di campo ed esportarle in formato shape o dxf. Nell'esempio qui riportato si mostra come procedere avvalendosi di Quantum GIS (<u>http://www.qgis.org/</u>) nella versione 1.7.4 come interfaccia grafica per GRASS (<u>http://www.grass.org/</u>), il GIS desktop utilizzato per la generazione delle isolinee.

Nel file di output ottenuto da una simulazione effettuata su un grigliato regolare, orientato secondo gli assi cartesiani (da calcolo piano o su DEM), tramite editor di testo si elimina la riga di intestazione (necessaria per importare i dati in ambiente GIS).

### 6.2 - Definizione di database, mapset e location di GRASS

Una volta lanciato QGIS, se non appare la barra degli strumenti di GRASS, va visualizzata con il comando Visualizza  $\rightarrow$  Barre degli strumenti  $\rightarrow$  GRASS:



Figura 6.1 - Barra degli strumenti di GRASS.

Innanzitutto va creato un nuovo mapset di lavoro, cliccando su 'Nuovo mapset'. Viene chiesto dapprima di definire il database di GRASS (la directory in cui andranno salvati tutti i file) e location:

🖗 Nuovo Mapset ? 🗙	😢 Nuovo Mapset ? 🗙
Mapset	GRASS Location
Nuovo mapset: mapset_test II GRASS mapset è un insieme di mappe utilizzate da un solo utente. Un utente può leggere mappe da tutti i mapset in una location ma può scrivere solo nel proprio mapset.	Location         Scepi una location
< Back Next > Cancel	< Back Next > Cancel

Figura 6.2 - Definizione del Database della Location di GRASS.



#### proiezione e regione di lavoro:

Non defir	nito				N <u>5051501</u> O <u>1583919</u> E <u>1584171</u>
Sistema o	di Riferimento	ID dell'autorità	ID		S 5051349
	Minna / Nigeria West Belt	EPSG:26391	2122		
	Monte Mario (Rome) / Italy zone	. EPSG:26591	2126		Imposta estensione attuale di QGIS Afghanistan 🔻 Imposta
	Monte Mario (Rome) / Italy zone	EPSG:26592	2127		
	Monte Mario / Italy zone 1	EPSG:3003	968		
	Monte Mario / Italy zone 2	EPSG:3004	969		
	Montserrat 1958 / British West I	EPSG:2004	5		
	Moorea 1987 - UTM fuseau 6 Sud	IGNF:MOOREA87U	10098	<b>T</b>	
Autorita 3003	à Tutto 🔻 Cerca ID 💌	N	ascondi i SR sconsiglia Trova	ti	
					La regione di GRASS definisce un'area di lavoro per i moduli raster. La regione
Sistemi di r	riferimento usati di recente				I Diedeining e vanda per una svia iveaudil. E possibile dell'ille un insiente di regiviti per
Sistemi di r Sistema d	riferimento usati di recente di Riferimento	ID dell'autorità	ID		ogni mapset. La regione predefinita può essere modificata successivamente.

Figura 6.3 - Definizione della Proiezione e della regione di GRASS predefinita.

Per questa, in particolare, è necessario specificare:

- Nord: massimo della coordinata Y, aumentato della semiampiezza del passo di calcolo;
- Sud: minimo della coordinata Y, diminuito della semiampiezza del passo di calcolo;
- Ovest: massimo della coordinata X, aumentato della semiampiezza del passo di calcolo;
- Est: massimo della coordinata X, diminuito della semiampiezza del passo di calcolo.

Si definisce infine il nome del mapset:

😢 Nuovo Mapset 📀 🗙	🦞 Nuovo Mapset ? 🗙
Mapset	Crea Nuovo Mapset
Nuovo mapset: mapset_test	Database: C:/Documents and Settings/Owner/Desktop/db_test
II GRASS mapset è un insieme di mappe utilizzate da un solo utente. Un utente può leggere mappe da tutti i mapset in una location ma può scrivere solo nel proprio	Location: location_test
mapset.	V Nuovo mapset
	Nuovo mapset creato e definito come mapset di lavoro in uso.
<back next=""> Cancel</back>	< Back Finish Cancel

Figura 6.4 - Definizione del Mapset e messaggio di conferma.



A questo punto si clicca su 'Modifica la regione di GRASS attuale', e si imposta la larghezza cella pari al passo di calcolo lungo le coordinate X e Y, rispettivamente:

🦸 Impostazioni della regioi	ne di GRASS			? X
Estensione				
Seleziona l'estensione trascinan o cambia i valori qui di seguito	do sulla mappa			
Nord	5051501			
Ovest 1583919		Est 158	84171	
Sud	5051349			
Larghezza cella     Colonne     126		Altezza cella Righe	<b>2</b> 76	
Bordo				
Colore Larghezza	2			
		0	к Са	ancel

Figura 6.5 - Impostazione della regione di GRASS.

# 6.3 - Esecuzione dei moduli in GRASS

Il procedimento di generazione delle curve di isolivello consta di 3 passi:

- creazione di un raster GRASS a partire dall'output di calcolo;
- interpolazione del raster e creazione di un vettore GRASS;
- esportazione del vettore in formato OGR (ESRI shapefile, dxf, o altro).

### 6.3.1 - Generazione del raster di GRASS

Per iniziare l'elaborazione si clicca su 'Apri strumenti GRASS'. In 'Lista moduli' si filtra con *r.in.xyz*, e si clicca sul modulo selezionato.

GRASS Tools: location_test/mapset_test ? X	GRASS Tools: location_test/mapset_test
Albero moduli Lista moduli Browser	Albero moduli Lista moduli Browser 🤏 🔶 🥸
Filtro r.in.xyz	Modulo: r.in.xyz
Fin.xyz Importa raster da coordinate mediante statistiche univariate	Opzioni Output Manuale
¥	File ASCII contenente i dati di input (o "-" per leggere dallo stdin)
	C:/Documents and Settings/Owner/Desktop/risultato.txt
	Statistic to use for raster values
	Mean
	Tipo di dati memorizzati per la mappa raster risultante
	FCELL
	Separatore dei campi
	[t
	Column number of x coordinates in input file (first column is 1)
	Column number of y coordinates in input file
	Esegui Visualizza output Chiudi
Close	Close

Figura 6.6 - Ricerca del modulo r.in.xyz e definizione dei parametri di calcolo.

Nella finestra del modulo si inserisce il percorso del file di output di Phidel<sup>®</sup> modificato con l'eliminazione della prima riga, e si impostano i valori:

• Statistic to use for raster values: Mean



- Tipo di dati memorizzati per la mappa raster risultante: FCELL
- Separatore dei campi: \t
- Column number of x coordinates in input file: 1
- Column number of y coordinates in input file: 2
- Column number of data values in input file: 4 [oppure l'i-esima colonna per un calcolo su più piani]
- Nome del raster di output: a scelta dell'utente

	🛿 Quantum GIS 1.7.4-Wroclaw	- 8 X
	File Modifica Visualizza Layer Impostazioni Plugins Raster Database Vettore Guid	ida
	🗋 🖆 🖆 🚵 🚔 🕵 髦 💕 🗳 🐔 🖄 👘	
	🍓 🍓 🤮 🤮 🍓 🐗 🌾 🛐 🗳 🍬 🕉 🕫 🗧	Ki 👫 📗 🖞 🖓 🥄 🥋 🏹 🥝 🧟 🔍 🔊 🥝
	∽ ~ ♥ O ゐ O ℬ # ☆ ฌ ฌ ೕ ♥ ®	🗞 - 💫 💷 🔚 - 🤗 🎇 🌉 -
	raster_test2	
	C:/Documents and Settings/Owner/Desktop/db_test/location_test/ma	<pre>sapset_test/cellnd/raster_test2</pre>
	Panoramica	
€ QGIS 2012 © 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	N	
© 💭 🛂 🖬 😿 🐨 🏈 🚣 🔇 📽 🔪 \∅ 💭 🗽 1583017 70 5051326 07 - 1584177 30 5051523 93	*	e 0010 2013
158391270 5051326 07 1584177 30 5051523 93	°C 🛄 🔩 🖬 🕷 🐃 🚸 🔟 🕼 😰 🛶 Vi? 🐑	
	1583912.70,5051326.07 : 1584177.30,5051523.93	Scala         1:6161505         Y         X Aggiorna         EPSG:4326         Image: Control of the state of the stat

Figura 6.7 - Visualizzazione del raster.

#### 6.3.2 - Generazione del vettore di GRASS

A questo punto si carica il modulo r.contour, come raster in input si sceglie quello appena generato, si impostano i valori per la creazione degli isolivelli (incremento, livelli minimo e massimo) e si definisce un nome per il vettore in output.





Figura 6.8 - Visualizzazione del vettore di interpolazione.

#### 6.3.3 - Generazione dell'output in formato OGR (DXF, ESRI shapefile, ...)

A questo punto si seleziona il comando v.out.ogr. Si specifica in input il vettore appena creato, si sceglie il formato OGR di interesse (ad esempio DXF o ESRI\_Shapefile) e il nome del file di output, con estensione e path assoluto (altrimenti verrà creato nella directory di installazione di QGIS).



# VII. LA VALIDAZIONE TEORICA

# 7.1 - Campo di un segmento

Una prima verifica della validità dei risultati forniti dal software è data dalla riproduzione del campo generato da un conduttore rettilineo di lunghezza finita. I dati ottenuti dal programma sono visualizzati in Figura 7.9, e vanno confrontati con quelli previsti dalla teoria (Figura 3.3).

A tal proposito è stato calcolato lo scarto relativo tra i due casi: tale differenza è sempre inferiore allo 0.03%, e lo scarto percentuale maggiore si ha per i valori di campo più bassi, quando diventano più importanti le approssimazioni dovute alle perdite di cifre significative per la precisione limitata delle variabili nel software.



Figura 7.9 - Campo efficace di induzione magnetica (calcolato) n segmento percorso da corrente.

Si tratta di differenze non rivelabili da nessuno strumento di misura, in quanto anche la sensibilità migliore è inferiore di almeno tre ordini di grandezza a tali valori.

#### 7.2 - Comportamento a piccole distanze dal cavo

La quantità  $\eta$ , introdotta nel Capitolo III, dipende solo dalla geometria del sistema, e per piccoli valori di  $\rho$  (distanza dall'asse del segmento considerato) si comporta in maniera diversa a seconda che ci si avvicini al segmento  $(\lim_{\rho \to 0} \eta = \infty)$ , o ad un suo prolungamento esterno  $(\lim_{\rho \to 0} \eta = 0)$ . I risultati ottenuti dal software sono concordi con quanto previsto dalla teoria, come visualizzato nelle figure seguenti, che si riferiscono ai due casi.





Figura 7.10 – (a) Andamento asintotico di  $\eta$  per piccoli valori di  $\rho$  avvicinandosi al segmento e (b) avvicinandosi ad un prolungamento esterno del segmento.

#### 7.3 - Risultato al variare della lunghezza del segmento

Quando la lunghezza dei segmenti costituenti la spezzata che approssima la catenaria è vicina allo zero, il calcolo tende al caso non approssimato. Ci si aspetta quindi un andamento asintotico, come quello effettivamente ottenuto e visualizzato in scala semilogaritmica nei due esempi riportati nella Figura 7.11:



Figura 7.11 - Verifica dell'andamento asintotico del campo al diminuire della lunghezza del segmento.

I casi sono riferiti a due punti, uno posto in prossimità della base di un traliccio di una linea aerea (punti di colore arancio), l'altro più distante dalla stessa linea (punti azzurri). In entrambi i casi la lunghezza del segmento costituente la spezzata è stata fatta variare da 0.1 a 300 m.

È conveniente scegliere, in entrambi i casi, una lunghezza superiore a 10 m: il valore di campo rimane costante per segmenti più corti, mentre i tempi di calcolo si allungano notevolmente.

Lunghezze maggiori sono da utilizzare nel caso di configurazioni con numerosi conduttori o punti di calcolo, per una valutazione preliminare in tempi brevi.

L'andamento irregolare nel grafico in arancio, che presenta dei minimi relativi, è dovuto alla particolare configurazione scelta, in cui il punto di misura può trovarsi più o meno vicino ai segmenti che approssimano la campata a seconda della lunghezza scelta. Anche questo problema viene risolto utilizzando il valore consigliato in precedenza.

### 7.4 - Campo di una spira

Un altro caso esattamente calcolabile è costituito dal campo prodotto da una spira percorsa da corrente. L'esempio qui considerato, rappresentato in Figura 7.12, si riferisce ad una spira quadrata.





Figura 7.12 - Campo di una spira quadrata, calcolato nel piano parallelo ai conduttori (a sinistra) e nel piano ad essi ortogonale (a destra).

Ancora una volta si ha un pieno accordo con quanto previsto dalla teoria. Nel caso generico di una spira a forma di poligono regolare avente lato di lunghezza l, il valore del campo nel centro della spira è dato da:

$$B = \frac{n\mu_0 I}{\pi l} \sin \frac{\pi}{n} \tan \frac{\pi}{n}$$

ove *n* è il numero di lati.



Figura 7.13 - Campo di una spira di 3, 5, 6 ed 8 lati, calcolato in un piano parallelo ai conduttori.

L'esatto accordo di tale formula con i risultati forniti dal software è stato provato per n=3, 4, 5, 6, 8 lati. In Figura 7.13 è riportata la visualizzazione dell'andamento nel campo nel piano contenente la spira nei vari casi.



Figura 7.14 - Campo di una spira esagonale: visualizzazione da foglio elettronico.

In Figura 7.14 è mostrato il risultato<sup>4</sup> in visualizzazione tridimensionale da foglio elettronico nel caso di una spira esagonale (la scala del campo è logaritmica).

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> I dati relativi all'esempio riportato ed ai seguenti sono contenuti nei file "spira\*\*\*.phid", presenti nella sottodirectory "File di esempio" installata con il software.



### 7.5 - Variazione dello sfasamento relativo

Considerando il caso di una doppia terna costituita da due linee distinte, il campo efficace in un punto deve essere una funzione periodica dello sfasamento relativo tra le correnti delle due linee.



Figura 7.15 - Traliccio della doppia terna e punti in cui viene calcolato il campo.

Si consideri a tal proposito una linea costituita da tralicci il cui schema è riportato in Figura 7.15, ove sono indicate le fasi dei conduttori e i due punti (in rosso) in cui è effettuato il calcolo. Nell'esempio le costanti di tesatura dei cavi riferiti alle due linee sono di 1600 m e 1700 m, e le correnti di 960 A e 1300 A, rispettivamente. Per semplicità è stata considerata una sola campata lunga 300 m.

Il risultato atteso è una funzione periodica dello sfasamento, che presenti un minimo a 360° a distanza infinita: infatti a piccole distanze il punto di misura risente della geometria dei conduttori (ossia della distanza da ciascuno di essi), mentre allontanandosi dalla sorgente la distanza relativa tra i cavi diventa trascurabile rispetto alle dimensioni del problema. Conforme alle aspettative, tale andamento è riportato in Figura 7.16 (a sinistra).



Figura 7.16 - Campo calcolato in funzione dello sfasamento relativo (a sinistra) e campo in funzione dello sfasamento relativo e della distanza dall'asse (a destra).

La Figura 7.16, a destra, visualizza il campo sia in funzione dello sfasamento che della distanza.



# VIII. LA VALIDAZIONE SPERIMENTALE

# 8.1 - Misura effettuata presso una terna singola

In presenza di una linea costituita da una terna singola, l'induzione magnetica in un punto è proporzionale alla corrente passante, per la legge di Biot-Savart.

Per verificare sperimentalmente tale relazione, è stata effettuata una misura avvalendosi di una centralina di tipo PMM 8055S, adatta per le misure in continuo, e i dati raccolti nell'arco di quattro giornate sono stati confrontati con i valori di corrente forniti dall'ente gestore.



Figura 8.1 - Andamento temporale di corrente di linea e di induzione magnetica nei pressi di un tratto a singola terna di una linea a 380 kV.

#### 6.3.4 - Verifica della linearità





Supposta una relazione del tipo B=mI tra campo e corrente, il valore che quantifica la bontà dell'ipotesi lineare è il chi quadro ridotto. Si ottiene:

$$\widetilde{\chi}^2_{272} = 0.08$$

e l'ipotesi di linearità è pienamente verificata.



Il valore ricavato è  $m=(3.2\pm0.1)$  nT/A. Utilizzando il software il risultato calcolato è  $m_c=(3.2\pm0.3)$ nT/A: i due valori sono consistenti, essendo lo scarto inferiore all'incertezza relativa ad entrambi.

# 8.2 - Misura lungo un percorso

I risultati ottenuti dal software sono confrontabili con i profili ottenuti dalle misure con il sistema LINDA relativamente a due linee a 380 kV. L'utilizzo del nuovo programma consente un notevole risparmio di tempo, poiché fornisce i dati richiesti senza ulteriori elaborazioni che tengano conto dell'angolo formato dalla traiettoria del percorso con gli assi cartesiani (un dato ricavato direttamente dalle coordinate specificate in fase di input) nel punto desiderato, e non deve essere ricavato a partire da dati che descrivono il campo in un volume, come avviene nel caso di altri software.

Il calcolo del  $\tilde{\chi}^2$  nei due casi, limitato alle misure sopra la sensibilità dello strumento, evidenzia come l'ipotesi di validità del software non vada rigettata:

Prima linea	$\widetilde{\chi}^2_{260} = 0.6$
Seconda linea	$\widetilde{\chi}_{75}^2 = 0.7$



I valori ottenuti da LINDA e Phidel<sup>®</sup>, relativamente alla prima linea considerata, sono visualizzati in Figura 8.3.



Figura 8.3 - Confronto tra dati sperimentali e risultati dei software (prima linea).

# 8.3 - Misura presso una doppia linea

È possibile riprodurre la storia di una doppia linea utilizzando un file di testo contenente i valori di tensione, potenza attiva e reattiva al variare del tempo<sup>5</sup>.

La configurazione costituita da due linee distinte, sostenute dagli stessi tralicci ed aventi sfasamento tra le tensioni noto, è stata definita *doppia linea* [*ibid*.]. La determinazione del valore di induzione magnetica in un punto non dipende dai soli valori delle correnti di linea, ma anche dallo sfasamento tra di esse. Un calcolo del campo è pertanto possibile solo nel caso in cui sia possibile determinare tale sfasamento.

Lo sfasamento tra corrente e tensione in una linea si ricava attraverso i valori di potenza attiva e reattiva dalla relazione:

5

Questa opzione non è inclusa nel pacchetto di Phidel



$$\phi = \arctan \frac{Q}{P}$$

Dai dati relativi alle linee si può ricavare l'evoluzione nel tempo del campo di induzione magnetica nel punto in cui è stata posta una centralina di tipo PMM 8055S per le misure in continuo.

In Figura 8.4 viene mostrato l'andamento nel tempo dei valori misurati e di quelli calcolati, mentre in Figura 8.5 i due set di dati sono confrontati:



Figura 8.4 - Variazione nel tempo del campo misurato (in azzurro) e previsione teorica di Phidel<sup>®</sup> (in arancio).



Figura 8.5 - Confronto tra dati sperimentali e risultato di Phidel<sup>®</sup>.

I dati, linearmente correlati con una regressione pari a 0.95, vengono sottoposti ad un test del  $\tilde{\chi}^2$ , che non rigetta l'ipotesi di validità del software ( $\tilde{\chi}^2_{5182} = 0.6$ ).