

"C A M P I"

UN PROGRAMMA PER IL CALCOLO DEL CAMPO ELETTRICO E DELL'INDUZIONE MAGNETICA GENERATI DA LINEE ELETTRICHE

Versione 4.1 - maggio 2002

Daniele Andreuccetti

Istituto di Fisica Applicata "Nello Carrara"

Consiglio Nazionale delle Ricerche - Firenze

A COSA SERVE, A CHI È DIRETTO, COME RICEVERLO

Il programma CAMPI calcola il campo elettrico e l'induzione magnetica generati da una linea elettrica comprendente da 1 a 60 conduttori, con le condizioni, le ipotesi e le semplificazioni descritte nel seguito.

Esso viene messo gratuitamente a disposizione delle istituzioni abilitate, dietro presentazione di una domanda scritta motivata da interesse documentato; l'accettazione della domanda è a discrezione dell'IFAC. Sono abilitate a ricevere il programma CAMPI le istituzioni seguenti.

1. Istituzioni pubbliche che operano nel settore della protezione dalle esposizioni ai campi elettromagnetici non ionizzanti; in questo caso, il programma è ceduto per solo uso interno.
2. Scuole pubbliche e private di ogni ordine e grado, che lo utilizzeranno unicamente per scopi connessi all'attività didattica.

Il programma CAMPI non viene di norma distribuito ad aziende, professionisti o associazioni private di qualsiasi natura, anche senza finalità di lucro.

Maggiori dettagli in proposito, nonché le modalità esatte ed aggiornate per richiedere e ricevere il programma, possono essere reperite sul sito Internet all'indirizzo **<http://www.ifac.cnr.it/pcemni/progr1.htm>**

Oltre che per scopi didattici, il programma CAMPI dovrebbe essere utilizzato unicamente per valutazioni preliminari e non ufficiali, per esempio nella preparazione di campagne di misura o per convalidare valutazioni eseguite con altri mezzi. Non si avalla, in particolare, il rilascio di certificazioni o pareri ufficiali

basato unicamente su valutazioni eseguite con esso. L'autore e l'IFAC, infine, non si assumono alcuna responsabilità per qualunque conseguenza possa derivare dall'uso del programma e si dichiarano totalmente estranei a qualunque deduzione o conclusione venga formulata sulla base dei dati da esso forniti.

Come per ogni prodotto software, nonostante che il programma CAMPI sia stato sviluppato e verificato con grande cura, non è possibile garantire la totale assenza di errori. L'autore ringrazia pertanto chiunque gli farà pervenire documentate descrizioni delle anomalie eventualmente riscontrate.

Per quanto riguarda la corrispondenza tra i valori calcolati col programma CAMPI ed eventuali misure, occorre tenere presente che sia il programma sia le misure forniscono valori tanto più vicini alla "realtà" (e quindi fra di loro) quanto più la situazione reale è vicina, nel caso del programma, al modello semplificato adottato per il calcolo (descritto nel seguito) e, nel caso dello strumento, alla condizione di misura prevista dal progettista dello stesso; in altri casi la divergenza può anche essere considerevole. Una situazione abbastanza tipica, quando il programma e lo strumento sono usati correttamente, è che il primo fornisca una stima superiore di un 10%-20% rispetto al secondo.

MODELLO IMPIEGATO

L'algoritmo di calcolo impiegato nel programma CAMPI, descritto dettagliatamente in Appendice 1, fa uso del seguente modello semplificato:

- 1 - tutti i conduttori costituenti la linea (sia i *conduttori attivi*, cioè sotto tensione e/o percorsi da corrente, sia i *conduttori di guardia*, a potenziale di terra e non percorsi da corrente) sono considerati rettilinei, orizzontali, di lunghezza infinita e paralleli tra di loro;
- 2 - i conduttori sono considerati di forma cilindrica con diametro costante; nel caso di *conduttori a fascio*, si suppone che la distanza tra i singoli subconduttori a uguale potenziale sia piccola rispetto alla distanza tra i conduttori a diverso potenziale; si suppone inoltre che tutti i subconduttori siano uguali tra di loro e che, in una sezione normale del fascio, i loro centri giacciono su una circonferenza; in base a queste ipotesi, si sostituisce - come diremo - al fascio di subconduttori un conduttore unico di opportuno diametro equivalente;
- 3 - la tensione e la corrente su ciascun conduttore attivo sono considerati in fase tra di loro;
- 4 - la distribuzione della carica elettrica sulla superficie dei conduttori è considerata uniforme¹;
- 5 - il suolo è considerato piano e privo di irregolarità, perfettamente conduttore dal

(1) Questa approssimazione è tanto più valida quanto più piccolo è il diametro dei conduttori rispetto alla distanza tra conduttori a diverso potenziale.

punto di vista elettrico², perfettamente trasparente dal punto di vista magnetico; 6 - viene trascurata la presenza dei tralicci o piloni di sostegno, degli edifici, della vegetazione e di qualunque altro oggetto si trovi nell'area interessata.

Le condizioni sopraesposte permettono di ridurre il calcolo ad un problema *piano*, poiché la situazione è sostanzialmente la stessa su qualunque *sezione normale* della linea, dove con "sezione normale" si intende, qui e nel seguito, quella generata da un piano verticale ortogonale all'asse longitudinale della linea (cioè alla direzione dei conduttori che la costituiscono) passante per il punto dove si vogliono calcolare i campi.

A parità di altri fattori, l'accuratezza dei dati forniti dal programma è ovviamente tanto maggiore quanto più aderenti sono le condizioni reali a quelle sopra elencate.

Il programma CAMPI è stato scritto in linguaggio Borland Turbo C++ versione 3.0 e fa uso di un pacchetto di procedure per il calcolo vettoriale diretto sviluppate dall'autore utilizzando le potenzialità offerte dal linguaggio adottato (disponibilità di tipi di dati definiti dal programmatore e ridefinizione degli operatori matematici per operare sugli stessi); per la realizzazione dell'interfaccia utente (menù a barra e a tendina, finestre, moduli di introduzione dati) si è fatto uso del pacchetto di pubblico dominio TCU versione 3.2, scritto da Karl Keyte dell'ESOC; il programma dovrebbe funzionare su tutti i PC con sistema operativo MSDOS (o DRDOS) e nella finestra DOS dei PC con Windows 95, Windows 98 e Windows ME; esso è stato collaudato su personal computer di diverse marche in varie configurazioni; per la miglior leggibilità di tutte le opzioni è preferibile disporre di uno schermo a colori; la presentazione grafica dei valori calcolati richiede una scheda grafica EGA, VGA o superiore ed uno schermo a colori; la presenza del coprocessore matematico (non indispensabile, ma automaticamente rilevato ed utilizzato dal programma, se presente) accelera l'esecuzione dei calcoli; un eventuale *mouse*, anch'esso automaticamente rilevato, può essere utilizzato come dispositivo di puntamento per la selezione di molte delle opzioni del programma.

UTILIZZO

Il programma si lancia dal *prompt* del DOS nel modo consueto, scrivendone il nome (senza parametri) seguito da RETURN. Una volta caricato in memoria esso propone all'operatore un *menù principale a barra* con sei opzioni di base: *Struttura*, *Configurazione*, *Uscita*, *Esecuzione*, *Fine*, *Note*.

(2) La resistività tipica del terreno va da 10 a 1000 Ωm , mentre la reattanza dielettrica dell'aria a 50 Hz è circa 360 $\text{M}\Omega\text{m}$.

Struttura

Con *Struttura* della linea si intende il complesso di dati che consente di caratterizzare completamente una data linea sia dal punto di vista geometrico che elettrico, a prescindere dalla posizione dei punti dove si vogliono calcolare i campi. Le informazioni che descrivono la *Struttura* della linea specificano pertanto, per ciascuno dei conduttori che costituiscono la linea stessa, il raggio (o raggio equivalente, nel caso di conduttori a fascio), la posizione sulla sezione normale, l'ampiezza della tensione, l'ampiezza della corrente ed infine la fase della tensione (supposta uguale a quella della corrente).

Selezionando la voce *Struttura* nel menù principale (a barra), si accede ad un sottomenù (a tendina) che propone cinque opzioni: *Mostra Attuale*, *Leggi disco*, *Scrivi disco*, *Nuova*, *Modifica*; le opzioni *Struttura:Mostra Attuale*, *Struttura:Scrivi disco* e *Struttura:Modifica* sono abilitate solo se è stata precedentemente definita la struttura della linea tramite una delle opzioni *Struttura:Leggi disco* o *Struttura:Nuova*. Con l'opzione *Struttura:Nuova* si accede alla introduzione manuale dei dati di struttura, con *Struttura:Leggi disco* si leggono i dati di struttura da un file già presente su un disco; l'opzione *Struttura:Mostra Attuale* consente di visualizzare sullo schermo i dati di struttura della linea, mentre l'opzione *Struttura:Scrivi disco* permette di archiviare su disco i dati stessi; infine *Struttura:Modifica* permette di modificare i dati di una struttura precedentemente definita.

I file di struttura della linea sono normali documenti di testo (ai quali può essere opportuno riservare il suffisso ".st3"); essi possono essere creati o modificati con qualunque programma che consenta di elaborare file di testo ASCII standard. Con riferimento alle Figure da 1 a 8, la loro conformazione interna è così costituita: le righe che iniziano col carattere "punto esclamativo" (!) sono considerate righe di commento e vengono ignorate dal programma; la prima delle righe "valide" contiene il *Titolo* della linea, ovvero una stringa alfanumerica di non più di 50 caratteri utile per indicare per esempio il nome o il tipo della linea o la sua posizione geografica.

Le successive righe valide specificano i dati caratteristici di ognuno dei conduttori (attivi o di guardia) che costituiscono la linea, un conduttore per ogni riga; su ciascuna riga devono essere presenti i 6 dati seguenti separati da spazi.

- 1) Il raggio del conduttore; nel caso di conduttore a fascio, deve essere indicato il raggio equivalente R_{eq} ; esso può essere calcolato con la formula seguente, a partire dal raggio fisico r dei subconduttori, dal loro numero n e dal raggio R della circonferenza su cui giacciono i centri dei subconduttori del fascio:

$$R_{eq} = R \sqrt[n]{n \frac{r}{R}} = \sqrt[n]{nrR^{n-1}} \quad (1)$$

ESEMPIO DI STRUTTURA 380 kV DOPPIA TERNA

```
!  
! PRIMA TERNA  
!  
0.13600   -5.52   +0.00   219393   1500   -120  
0.13600   -7.02   +8.00   219393   1500    +0  
0.13600   -4.82  +17.20   219393   1500  +120  
!  
! SECONDA TERNA  
!  
0.13600   +5.52   +0.00   219393   1500   -120  
0.13600   +7.02   +8.00   219393   1500    +0  
0.13600   +4.82  +17.20   219393   1500  +120  
!  
! FUNE DI GUARDIA  
!  
0.00625   +0.00  +26.40     0     0     +0
```

Figura 1

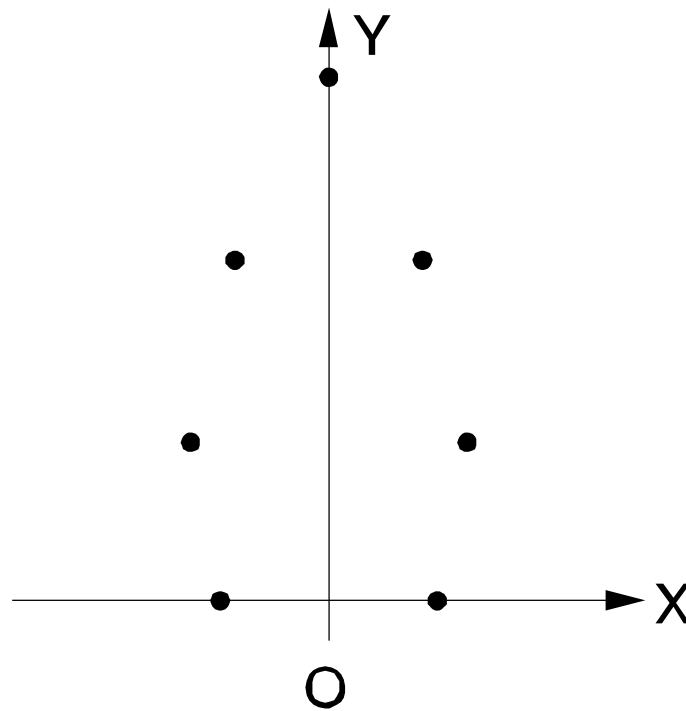


Figura 2

- 2) L'ascissa e
- 3) l'ordinata del punto in cui il conduttore interseca la *sezione normale*. Per questi dati si fa riferimento ad un sistema di coordinate XY sul piano della *sezione normale*, avente asse X orizzontale passante per uno dei conduttori della linea, scelto come "conduttore di riferimento" (in genere, ma non necessariamente, il conduttore più basso) ed asse Y coincidente con l'asse di simmetria verticale della linea (se esistente, altrimenti con un asse convenzionale, eventualmente ispirato all'asse verticale dei piloni di sostegno); nel seguito ci riferiremo a questo sistema di coordinate come "*sistema interno*" della struttura.

ESEMPIO DI STRUTTURA 132 kV SEMPLICE TERNA

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

Figura 3

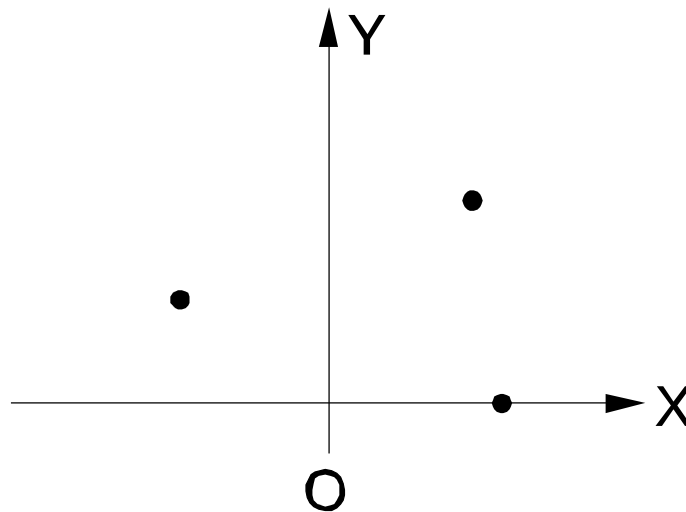


Figura 4

```

ESEMPIO DI STRUTTURA PER FS ALTA VELOCITA`
!
! FEEDERS -25 kV
!
0.00990  -6.92  +6.90  -25000  -260  +0
0.00990  +6.92  +6.90  -25000  -260  +0
!
! FUNI DI GUARDIA
!
0.00684  -5.92  +7.40      +0    -9    +0
0.00684  +5.92  +7.40      +0    -9    +0
!
! FUNI DI SOSPENSIONE +25 kV
!
0.00618  -2.50  +6.75  +25000  +192  +0
0.00610  +2.50  +6.75  +25000  +192  +0
!
! CONDUTTORI DI CONTATTO +25 kV
!
0.00590  -2.70  +5.35  +25000  +328  +0
0.00590  +2.70  +5.35  +25000  +328  +0
!
! BINARI
! (ELIMINARE O COMMENTARE PER CALCOLARE IL CAMPO ELETTRICO)
!
0.04978  -3.24  +0.00      +0   -121  +0
0.04978  -1.76  +0.00      +0   -121  +0
0.04978  +1.76  +0.00      +0   -121  +0
0.04978  +3.24  +0.00      +0   -121  +0
!
! DISPERSORI DI TERRA SEPOLTI
! (ELIMINARE O COMMENTARE PER CALCOLARE IL CAMPO ELETTRICO)
!
0.00550  -7.22  -0.10      +0    -9    +0
0.00550  +7.22  -0.10      +0    -9    +0

```

Figura 5

- 4) Il valore efficace della tensione tra conduttore e terra (indicare 0 per i conduttori di guardia). Si ricordi che la *tensione nominale* con cui di solito si riferisce ad un elettrodotto trifase a corrente alternata rappresenta il valore efficace della differenza di potenziale tra ciascuna coppia di conduttori attivi; tale valore è superiore di un fattore $\sqrt{3}$ a quello da indicare nei dati di

- struttura).
- 5) Il valore efficace della corrente nel conduttore (indicare 0 per i conduttori di guardia).
 - 6) La fase della tensione sul conduttore (supposta uguale a quella della corrente) rispetto ad un prefissato riferimento.

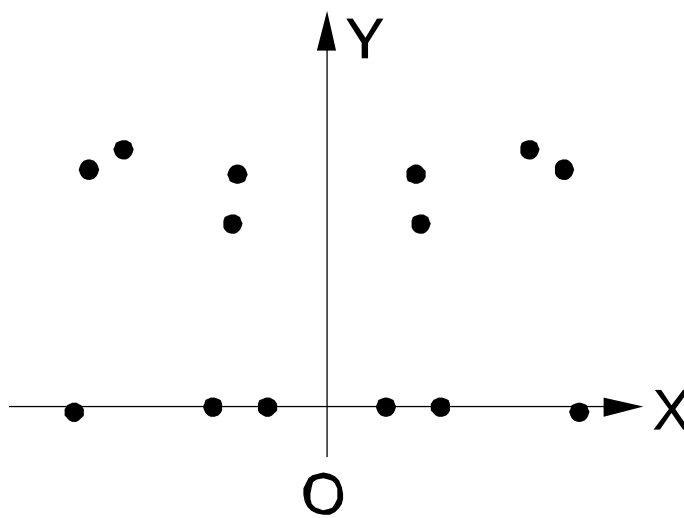


Figura 6

Gli stessi dati contenuti nel file di struttura della linea devono essere introdotti manualmente negli appositi spazi del modulo che viene presentato all'operatore nel caso di selezione dell'opzione *Struttura:Nuova*.

Nell'impostare l'ampiezza e la fase delle tensioni e delle correnti, occorre tener presente che l'eventuale segno delle ampiezze concorre a determinare la fase. Per esempio, le due assegnazioni seguenti sono equivalenti:

$$\begin{aligned} & -25000 / +30^\circ \\ & +25000 / -150^\circ \end{aligned}$$

SEMPLICE TERNA TRIFOGLIO PER CAVI INTERRATI

! (TENSIONI POSTE A ZERO PERCHE' NON SIGNIFICATIVE)

!

0.05	+0.00	+0.0866	+0	+790	+0
0.05	+0.05	+0.0000	+0	+790	+120
0.05	-0.05	+0.0000	+0	+790	-120

Figura 7

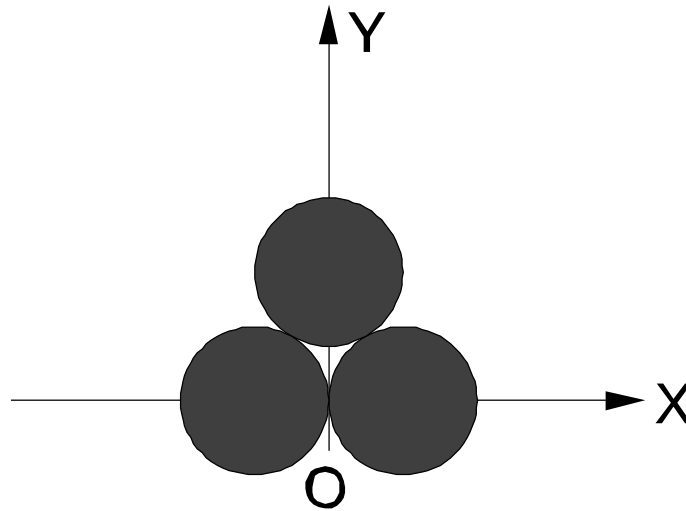


Figura 8

Gli esempi tipici riportati nelle figure si riferiscono ad un elettrodotto aereo 380 kV doppia terna (Figura 1 e Figura 2), ad un elettrodotto aereo 132 kV semplice terna asimmetrica (Figura 3 e Figura 4), al sistema di alimentazione a 25 kV di una linea ferroviaria ad alta velocità (Figura 5 e Figura 6) ed infine ad un elettrodotto semplice terna interrato "a trifoglio" (Figura 7 e Figura 8).

Configurazione

La *Configurazione* di calcolo è il complesso di informazioni che descrivono sia l'insieme di punti, giacenti sulla *sezione normale* della linea, dove si vogliono calcolare le intensità dei campi, sia le caratteristiche particolari della linea sulla *sezione normale* che interessa i punti suddetti. Queste ultime caratteristiche consistono di due parametri: la quota della struttura della linea (misurata lungo la verticale) e la pendenza del terreno; entrambi questi parametri (indicati rispettivamente con h_{min} e $theta$ in Figura 9) sono misurati rispetto al "piano di riferimento", cioè al piano orizzontale passante per il piede dell'asse di simmetria verticale della linea (se esistente, o altrimenti dell'asse convenzionale già citato a proposito della struttura della linea); con "quota della struttura" si intende l'altezza (positiva o negativa) sul piano di riferimento del punto scelto come origine del *sistema di coordinate interno* della struttura, sopra definito. Cerchiamo di chiarire la questione con riferimento alle strutture esemplificative sopra discusse (Figure 1-8). Nel caso degli elettrodotti aerei (Figure 1-2 e 3-4), la quota h_{min} sarà un numero positivo del valore tipico di diversi metri, nel caso della linea ferroviaria (Figure 5-6) essa avrà un valore nullo (binari sul terreno) oppure positivo di qualche decina di centimetri (binari su massicciata) mentre infine, nel caso dei cavi interrati (Figure 7-8) il valore di h_{min} sarà negativo e dell'ordine di qualche metro.

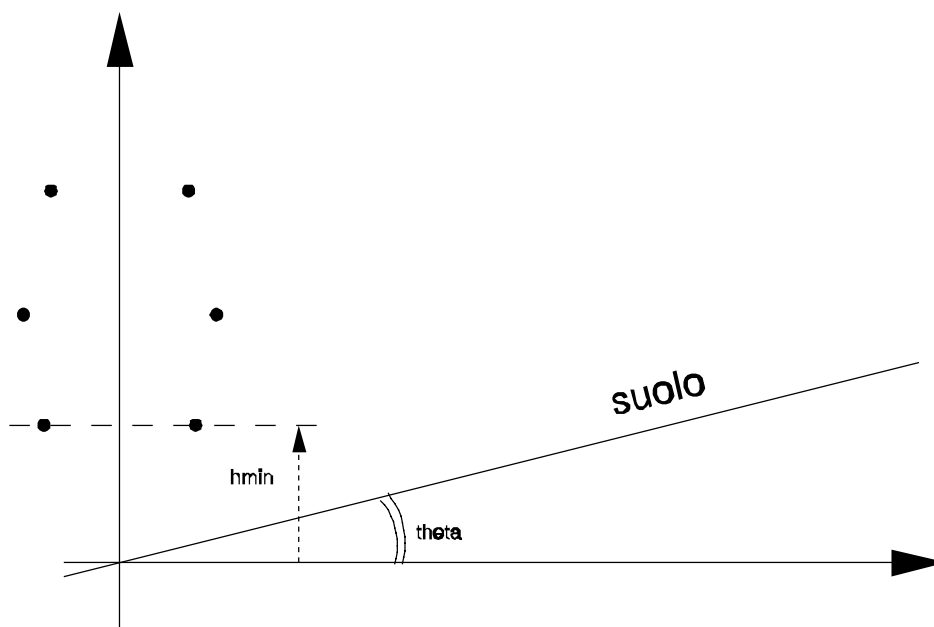


Figura 9

La voce *Configurazione* del menù principale (a barra), fa accedere ad un sottomenù (a tendina) che propone sette opzioni: *Mostra Attuale*, *Leggi disco*, *Scrivi disco*, *Lungo piano di Terra*, *Lungo Verticale*, *Punto singolo modo 1*, *Punto singolo modo 2*.

Le opzioni *Configurazione:Mostra Attuale* (che presenta sullo schermo i dati della configurazione di calcolo impostata) e *Configurazione:Scrivi disco* (che archivia su disco gli stessi dati) sono abilitate solo se è stata precedentemente definita la configurazione stessa tramite una delle rimanenti opzioni del sottomenù.

L'opzione *Configurazione:Lungo piano di Terra* permette di calcolare i campi lungo un segmento RQ parallelo al suolo (cfr. Figura 10): l'operatore deve introdurre la distanza iniziale OR' e finale OQ' dall'asse della linea (misurate lungo il terreno), l'altezza costante dal suolo $RR'=QQ'$ (misurata lungo la verticale) ed il numero di intervalli in cui suddividere il segmento RQ stesso.

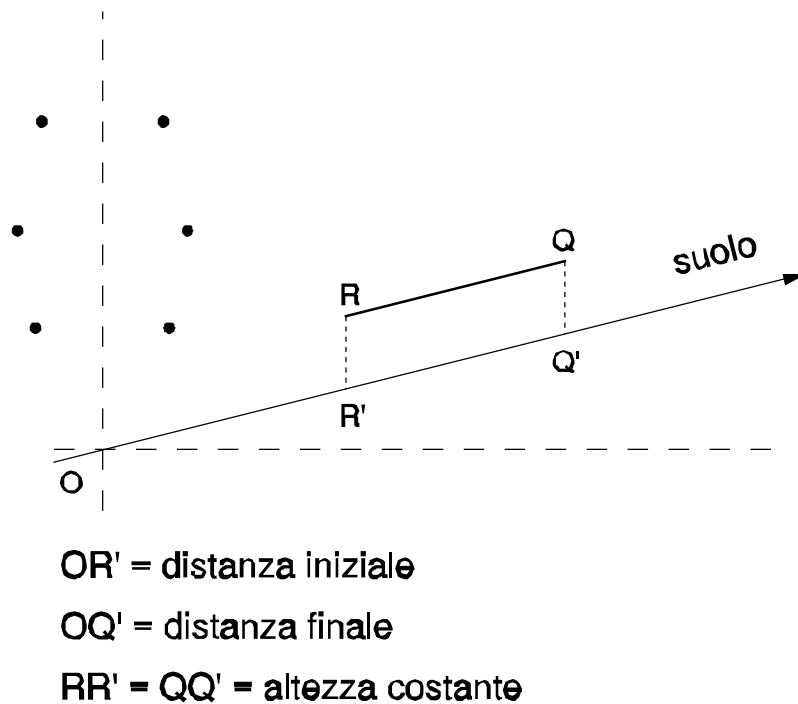


Figura 10

L'opzione *Configurazione:Lungo Verticale* permette di calcolare i campi lungo un segmento verticale RQ (cfr. Figura 11): l'operatore deve introdurre l'altezza iniziale RR' e finale QR' dal suolo (misurate lungo la verticale), la distanza OR' (misurata lungo il terreno) dall'asse della linea al piede della retta verticale cui appartiene il segmento RQ ed il numero di intervalli in cui suddividere il segmento RQ stesso.

L'opzione *Configurazione:Punto singolo modo 1* permette di definire un

singolo punto dove calcolare i campi (detto *punto potenziato*, indicato con R in Figura 12), specificando la distanza OR' (misurata lungo il terreno) dall'asse della linea al piede della retta verticale passante per il *punto potenziato* e l'altezza RR' del *punto potenziato* stesso dal suolo (misurata lungo la verticale).

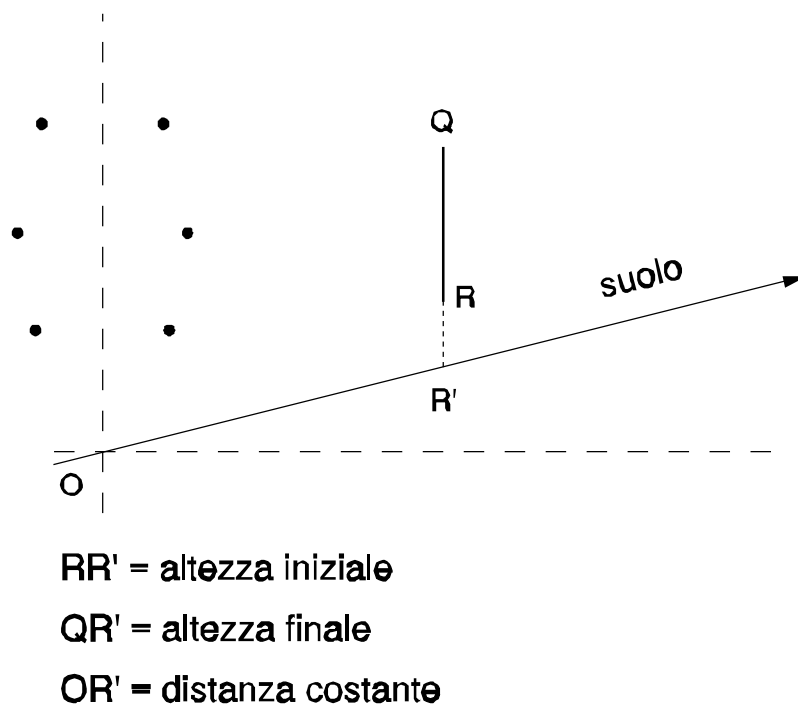


Figura 11

L'opzione *Configurazione:Punto singolo modo 2* permette anch'essa di definire un singolo *punto potenziato* (punto R in Figura 13), ma facendo uso di un diverso insieme di parametri, ovvero la quota sul livello del mare (s.l.m.) del conduttore più basso della linea (*Quota condutt.* in Figura 13), la quota s.l.m. del terreno in corrispondenza dell'asse della linea (*Quota terreno* in Figura 13), la quota s.l.m. del terreno in corrispondenza del *punto potenziato* (*Quota punto* in Figura 13; nota: il *punto potenziato* deve necessariamente trovarsi al livello del suolo) ed infine la distanza (misurata lungo un piano orizzontale) tra la retta verticale passante per il *punto potenziato* e l'asse della linea (*Distanza* in Figura 13); questa modalità di individuazione del *punto potenziato* corrisponde a quella adottata su alcuni documenti e fogli dati di provenienza ENEL ed è stata inclusa nel programma CAMPI per facilitare eventuali confronti.

Infine, con l'opzione *Configurazione:Leggi disco* si leggono i dati di configurazione da un file già presente su un disco.

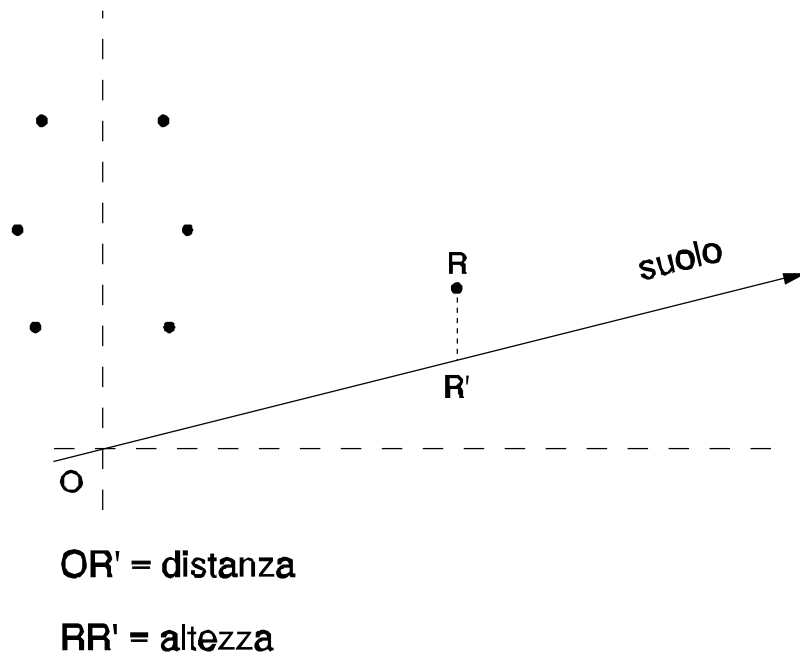


Figura 12

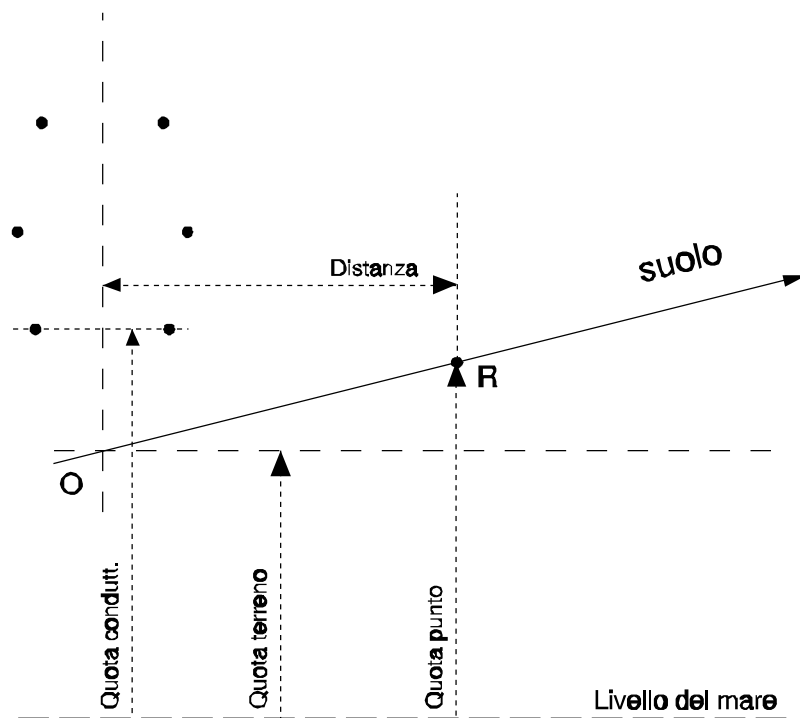


Figura 13

Uscita

La voce *Uscita* del menù principale (a barra) dà accesso ad un sottomenù (a tendina) mediante il quale è possibile specificare la modalità con cui il programma CAMPI mette i valori calcolati a disposizione dell'utilizzatore. Sono possibili cinque opzioni, indicate nel sottomenù con *solo TESTO*, *solo GRAFICO*, *solo FILE*, *TESTO+FILE*, *GRAFICO+FILE*.

L'opzione *Uscita:solo TESTO* istruisce il programma a fornire i valori calcolati unicamente sotto forma di tabulato sullo schermo; il tabulato è formato da tante righe, una per ogni punto in cui sono stati calcolati i campi ("punto potenziato"). In ciascuna riga sono riportati nell'ordine: 1) la distanza in metri (misurata lungo il terreno) dall'asse della linea al piede della retta verticale passante per il punto potenziato; 2) l'altezza in metri dal suolo (in verticale) dello stesso punto; 3) il valore efficace dell'intensità del campo elettrico E in V/m; 4) il valore efficace dell'intensità dell'induzione magnetica B in μT .

L'opzione *Uscita:solo GRAFICO* presenta i dati calcolati (valori efficaci delle intensità dei campi E e B) in forma di grafico; sull'asse delle ascisse è riportata:

- nel caso di calcolo lungo un segmento parallelo al terreno, la distanza in metri (misurata al suolo) dall'asse della linea al piede della perpendicolare passante per il punto potenziato;
- nel caso di calcolo lungo un segmento verticale, l'altezza in metri del punto potenziato dal suolo.

Il programma consente all'operatore di modificare, se lo ritiene opportuno, i valori di fondo scala dell'asse delle ordinate, relativi sia al campo elettrico sia all'induzione magnetica, rispetto ai valori precedentemente impostati o a quelli di *default* previsti dal programma stesso.

L'opzione *Uscita:solo FILE* memorizza su disco, in un documento di testo, tanto i dati di configurazione quanto i valori efficaci calcolati. Il nome del documento viene chiesto all'operatore: ad esso può essere opportuno riservare il suffisso ".txt".

Le due opzioni *Uscita:TESTO+FILE* e *Uscita:GRAFICO+FILE* permettono di abbinare una delle forme di presentazione immediata dei dati calcolati con la memorizzazione degli stessi su disco.

I documenti di uscita creati da queste ultime tre opzioni possono facilmente essere importati nei più diffusi programmi per la gestione di fogli di calcolo o tabelloni elettronici. Per fare un esempio, l'importazione nella versione italiana di Microsoft Excel 97 può avvenire secondo i passi seguenti.

1. Lanciare Excel; selezionare "File/Apri" dal menù principale.
2. Selezionare "File di testo" come "Tipo file".
3. Scegliere il file da aprire (o inserirne il nome) e premere "Apri".
4. Apparirà la finestra di dialogo relativa alla "Autocomposizione Importa testo". Nel primo passaggio (Passaggio 1 di 3) scegliere "Delimitati" in "Tipo dati originali", "Inizia ad importare alla riga 1" e "Origine file: DOS o OS/2 (PC-8)"; premere "Avanti".

5. Nel secondo passaggio (Passaggio 2 di 3) selezionare solo la "Virgola" dal riquadro "Delimitatori" e scegliere " (doppi apici) come "Qualificatore di testo", quindi premere "Avanti".
6. Nel terzo passaggio (Passaggio 3 di 3) scegliere "Generale" nel riquadro "Formato dati per colonna" e ripetere per tutte le colonne, quindi premere "Fine".

A questo punto si ritroveranno i dati salvati dal programma CAMPI sotto forma di tabella Excel. Si faccia attenzione al carattere utilizzato per separare i decimali: il programma CAMPI utilizza il carattere "punto", la versione italiana di MS Excel (come di molti altri programmi commerciali) utilizza invece il carattere "virgola".

Esecuzione

Con la voce *Esecuzione* si avvia l'esecuzione del calcolo in modo conforme alle scelte effettuate con le opzioni *Struttura*, *Configurazione* ed *Uscita*. Il comando viene accettato soltanto se tutte e tre quelle voci sono state precedentemente selezionate e i dati richiesti introdotti nel programma.

L'accettazione del comando *Esecuzione* dà normalmente accesso ad un sottomenù (a tendina) mediante il quale è possibile specificare se si è interessati al calcolo del solo campo elettrico (*Campo E*), della sola induzione magnetica (*Campo B*) o di ambedue le grandezze (*Entrambi*). Qualora vi siano condizioni che impediscono una accurata valutazione del campo elettrico (per esempio, se vi sono uno o più conduttori sepolti o molto vicini al suolo, oppure due o più conduttori molto vicini tra di loro), il sottomenù a tendina non verrà presentato (al suo posto apparirà un apposito avvertimento) ed il programma CAMPI calcolerà la sola induzione magnetica.

Nel caso sia stata specificata una delle opzioni di *Uscita* che prevede la creazione di un file dati su disco, il completamento del calcolo annullerà automaticamente la selezione del modo di *Uscita* stesso (che andrà pertanto nuovamente specificato prima di una successiva *Esecuzione*), in modo da ridurre il rischio di sovrascritture indesiderate. Le impostazioni di *Struttura* e *Configurazione* (come pure l'impostazione di *Uscita* nel caso essa non preveda l'opzione *FILE*) rimangono invece valide in ogni caso, a meno che non vengano esplicitamente modificate dall'operatore.

Fine - Note

Queste due voci del menù principale non prevedono accesso ad alcun sottomenù, bensì attivano immediatamente la funzione ad esse associata.

Con la voce *Fine* si abbandona il programma CAMPI tornando al *prompt* del DOS. Nota bene: il programma termina immediatamente, senza chiedere all'operatore alcuna conferma.

La voce *Note*, infine, mostra una finestra informativa nella quale sono riportati anche il numero di versione, la data di rilascio del programma e l'identificativo

dell'utente a cui la copia corrente è intestata.

AVVERTENZA

Come si è visto, il programma CAMPI (a partire dalla versione 4.0) può essere applicato anche al calcolo dei campi elettrici e magnetici dispersi da elettrodotti interrati, come pure da sistemi di alimentazione di filovie, tramvie e ferrovie funzionanti in corrente continua o in corrente alternata.

In questi casi, però, è opportuno tenere presente che l'eventuale esistenza di conduttori a livello del terreno (per esempio: rotaie), o addirittura sepolti, pone un problema di modellistica. Infatti, a rigore, si dovrebbe tenere conto di questi conduttori solo ai fini del calcolo dell'*induzione magnetica* (nel caso che essi trasportino corrente) e non per il calcolo del *campo elettrico*, dal punto di vista del quale essi "scompaiono" immersi nel piano di terra. Il programma CAMPI invece, per non appesantire eccessivamente la gestione dei dati di ingresso, non consente di specificare conduttori da utilizzarsi per il calcolo del solo campo elettrico o della sola induzione magnetica.

Di conseguenza, se si introducono nel problema (attraverso la definizione della struttura della linea e le specifiche di configurazione) uno o più conduttori che risultano a livello del suolo oppure sepolti, il programma consentirà di calcolare solo l'induzione magnetica. Se si è interessati anche alla valutazione del campo elettrico, occorre ripetere il calcolo dopo aver rimosso quei conduttori dalla struttura; in questo caso, si avrà una valida stima del campo elettrico (i conduttori rimossi, infatti, non influiscono su di esso) *ma si compirà ovviamente un grosso errore nella valutazione dell'induzione magnetica*, a causa della "sparizione" delle correnti nei conduttori rimossi.

APPENDICE 1: ALGORITMO DI CALCOLO

Campo elettrico

Il campo elettrico \underline{E} generato da NF conduttori filiformi, numerati da 0 a (NF-1), è dato da

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{k=0}^{NF-1} \int_{C_k} \frac{\rho_k}{r^3} \vec{r} dl \quad (A1.1)$$

dove C_k è il conduttore generico, ρ_k la densità lineare di carica su di esso, "dl" un suo tratto elementare, \underline{r} la distanza tra questo tratto elementare ed il punto dove si vuole calcolare il campo. Se è presente un piano di terra, allora nella sommatoria deve essere incluso un *conduttore immagine* per ciascun *conduttore reale* (sia *attivo* sia *di guardia*) la cui posizione è speculare (rispetto al piano di terra) e la cui carica è opposta di quella del rispettivo conduttore reale.

Il modello adottato (conduttori cilindrici rettilinei orizzontali indefiniti paralleli tra di loro) consente di eseguire facilmente l'integrazione che compare nella (A1.1) e semplificare i calcoli. Indicato con Q il punto dove si vuole determinare il campo, definiamo *sezione normale* il piano verticale passante per Q e ortogonale ai conduttori; indichiamo quindi con P_k il punto dove il generico conduttore C_k interseca la *sezione normale*; introduciamo infine il parametro u_k definito da

$$u_k = \frac{\rho_k}{2\pi\epsilon_0} \quad (A1.2)$$

con queste posizioni, per il campo elettrico in Q si ottiene l'espressione

$$\vec{E} = \sum_{k=0}^{NF-1} \frac{u_k}{|Q-P_k|^2} (Q-P_k) \quad (A1.3)$$

Come si è detto, la sommatoria che compare in queste espressioni si estende tanto ai conduttori reali quanto alle loro immagini rispetto al piano di terra (suolo); se $NR = NF/2$ è il numero dei conduttori reali (e quindi anche il numero dei conduttori immagine), se inoltre numeriamo da 0 a $NR-1$ i conduttori reali e da NR a $NF-1$ le immagini, e se infine supponiamo che C_{k+NR} sia l'immagine del conduttore C_k avremo

$$\forall k = NR, NR+1, \dots, NF-1: u_k = -u_{k-NR} \quad (A1.4)$$

e la (A1.3) può essere messa nella forma seguente

$$\vec{E} = \sum_{k=0}^{NR-1} \frac{u_k}{|Q-P_k|^2} (Q-P_k) - \sum_{k=NR}^{NF-1} \frac{u_{k-NR}}{|Q-P_k|^2} (Q-P_k) \quad (A1.5)$$

La (A1.5) è l'espressione usata per il calcolo del campo elettrico nel programma CAMPI, una volta che siano stati determinati i parametri u_k per k da 0 a $NR-1$, ovvero le densità lineari di carica sui conduttori reali.

Per calcolare questi parametri si procede come segue. Preso sulla *sezione normale* un sistema di riferimento con asse X coincidente con la linea del suolo ed asse Y ad esso perpendicolare, il potenziale $\phi_k(d)$ generato dal conduttore C_k ad una distanza d dal suo asse è dato da

$$\phi_k = -\frac{\rho_k}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{d}{|y_k|} = -u_k \ln \frac{d}{|y_k|} \quad (A1.6)$$

dove $|y_k|$ è la distanza dal suolo del conduttore stesso (uguale al valore assoluto dell'ordinata del punto P_k); il potenziale V_l alla superficie del conduttore C_l è dato dalla somma dei contributi di tutti gli NF conduttori presenti, cioè

$$V_l = -\sum_{k=0}^{NF-1} u_k \ln \frac{d_{kl}}{|y_k|} \quad (A1.7)$$

dove d_{kl} è la distanza tra il centro del conduttore C_k e la superficie del conduttore C_l (quindi d_{kk} è il raggio del conduttore C_k); se separiamo le sommatorie sui conduttori reali e sulle immagini otteniamo

$$V_l = -\sum_{k=0}^{NR-1} u_k \ln \frac{d_{kl}}{|y_k|} - \sum_{k=NR}^{NF-1} u_k \ln \frac{d_{kl}}{|y_k|} \quad (A1.8)$$

nella seconda sommatoria effettuiamo la sostituzione " $k \rightarrow k+NR$ "

$$V_l = -\sum_{k=0}^{NR-1} u_k \ln \frac{d_{kl}}{|y_k|} - \sum_{k=0}^{NR-1} u_{(k+NR)} \ln \frac{d_{(k+NR)l}}{|y_{(k+NR)}|} \quad (A1.9)$$

possiamo adesso riunificare le sommatorie; osservato che

$$\begin{aligned} u_{(k+NR)} &= -u_k \\ y_{(k+NR)} &= -y_k \end{aligned} \quad (A1.10)$$

otteniamo

$$V_l = \sum_{k=0}^{NR-1} \left(-u_k \ln \frac{d_{kl}}{|y_k|} + u_k \ln \frac{d_{(k+NR)l}}{|y_k|} \right) \quad (A1.11)$$

ovvero finalmente

$$V_l = \sum_{k=0}^{NR-1} u_k \ln \frac{d_{(k+NR)l}}{d_{kl}} \quad (A1.12)$$

La relazione (A1.12) può essere riguardata come espressione di un sistema lineare non omogeneo di NR equazioni nelle NR incognite u_k essendo noti i potenziali V_l sui conduttori; se introduciamo la matrice

$$M_{kl} = \ln \frac{d_{(k+NR)l}}{d_{kl}} \quad (A1.13)$$

e la matrice inversa

$$N_{lk} = M_{kl}^{-1} \quad (A1.14)$$

allora la soluzione del sistema (A1.12) si può esprimere con

$$u_k = \sum_{l=0}^{NR-1} N_{lk} V_l \quad (A1.15)$$

Per pervenire alla determinazione dei parametri u_k il programma CAMPI procede quindi come segue:

1. calcola gli elementi della matrice delle distanze d_{kl} con le relazioni

$$\begin{aligned} \forall k &= 0, 1, \dots, NR-1 \\ d_{kk} &= \text{raggio del conduttore } C_k \\ \forall k &= 0, 1, \dots, NF-1 \\ \forall l &= 0, 1, \dots, NR-1 \\ \text{con } k &\neq l \\ d_{kl} &= |P_k - P_l| \end{aligned} \quad (A1.16)$$

2. calcola gli elementi della matrice M_{kl} mediante la (A1.13);
3. inverte la matrice M_{kl} con una procedura standard di inversione matriciale ottenendo così al matrice N_{lk} ;
4. calcola i parametri u_k con la (A1.15).

Induzione magnetica

L'induzione magnetica \vec{B} generata da NR conduttori filiformi, numerati da 0 a (NR-1), può essere calcolata con l'espressione seguente (NOTA: solo i conduttori *reali* contribuiscono al campo magnetico, perché si assume il suolo perfettamente trasparente dal punto di vista magnetico e non si considerano quindi i conduttori *immagine*)

$$\vec{B} = -\frac{\mu_0}{4\pi} \sum_{k=0}^{NR-1} \int_{C_k} \frac{i}{r^3} \vec{r} \times d\vec{l} \quad (A1.17)$$

con chiaro significato dei simboli; le ipotesi adottate consentono di eseguire l'integrazione ed ottenere (si è preso l'asse Z nella direzione dei conduttori)

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{2\pi} \sum_{k=0}^{NR-1} \frac{i_k \vec{z} \times (Q - P_k)}{|Q - P_k|^2} \quad (A1.18)$$

dove i_k è la corrente sul conduttore C_k .

La (A1.18) è l'espressione usata per il calcolo dell'induzione magnetica nel programma CAMPI.

BIBLIOGRAFIA

1. M.P.Sarma and W.Janischewskyj: "Electrostatic field of a system of parallel cylindrical conductors", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-88, No.7, July 1969.
2. R.N.Allan and S.K.Salman: "Electrostatic fields underneath power lines operated at very high voltages", Proceedings of the IEE, Vol.121, No.11, November 1974.
3. D.W.Deno: "Transmission line fields", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-95, No.5, September/October 1976.
4. IEEE Magnetic Fields Task Force: "Magnetic fields from electric power lines. Theory and comparison to measurements", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.3, No.4, October 1988.
5. G.d'Amore e G.Fiandino: "Campi elettrici e magnetici emessi da linee ad alta tensione: valutazione teorica dell'esposizione", Atti del Convegno nazionale AIRP su "Radiazioni non ionizzanti: effetti biologici, sanitari ed ambientali", Villa Olmo - Como, Settembre 1994.

APPENDICE 2: LA MODALITÀ "BATCH"

Con la versione 4.1 è stata introdotta nel programma CAMPI, su proposta dei tecnici dell'Unità Operativa di Fisica della sezione provinciale ARPAT di Livorno, una modalità di funzionamento detta "modalità BATCH".

La modalità BATCH è utile per semplificare e velocizzare i calcoli nei casi in cui si è interessati ai valori di induzione magnetica generati da un sistema di elettrodotti in un unico punto prefissato, ma per numerose diverse combinazioni di corrente sui conduttori delle linee coinvolte.

Il problema esiste ovviamente solo nel caso di elettrodotti doppia terna a terne indipendenti, o più in generale qualora si voglia simulare un complesso di più linee trifase parallele indipendenti. Nel caso, infatti, in cui sia presente una sola linea trifase, la variazione dell'unico valore nominale di corrente della linea si trasferisce in modo direttamente proporzionale all'induzione magnetica in qualsiasi punto e non vi è la necessità di ripetere i calcoli con valori di corrente diversi. Quando invece sono presenti due o più linee trifase, ciascuna caratterizzata da un proprio valore di corrente nominale indipendente dalle altre, non è immediato valutare a priori come si comporta l'induzione magnetica complessiva al variare dei rapporti di ampiezza e delle relazioni di fase tra le correnti delle varie terne. In questo caso, occorre ripetere più volte il calcolo col programma CAMPI, inserendo volta per volta diverse combinazioni di corrente; ciò può risultare molto oneroso, specie se le combinazioni di corrente da valutare sono numerose.

La modalità BATCH consente di affrontare in maniera abbastanza agevole queste situazioni. Essa si attiva inserendo sulla linea di comando DOS del programma CAMPI lo switch "-b" seguito dal nome di un file di progetto, per esempio:

```
CAMPI -b batch.prj
```

Il nome del file di progetto deve corrispondere ad un documento di testo già esistente, per il quale può eventualmente essere specificato il percorso di una cartella, come per esempio:

```
CAMPI -b c:\dati\batch.prj
```

se il percorso non viene specificato, il documento verrà cercato nella cartella correntemente attiva.

Il file di progetto per la modalità BATCH può essere preparato per mezzo di un qualsiasi programma che consenta di elaborare file di testo ASCII standard. Come sempre nei documenti di testo, la sua struttura consiste di una successione di righe; quelle che iniziano col carattere "!" (punto esclamativo) sono considerate commenti e vengono ignorate dal programma. Le righe valide (cioè non di commento) sono strutturate in blocchi consecutivi.

Il primo di questi blocchi descrive la struttura della linea. In particolare, la

prima riga valida deve contenere un unico valore numerico intero, che deve indicare il numero "N" di conduttori che si intende definire (fino ad un massimo di 60 conduttori). Le successive "N" righe valide specificheranno i dati caratteristici dei conduttori stessi (attivi o di guardia), uno per ogni riga. Queste righe hanno lo stesso formato utilizzato nei file di struttura della linea, con la sola differenza che al posto dei valori di corrente devono comparire dei codici simbolici "@1", "@2", ..., "@n" (un codice diverso per ciascuna corrente indipendente). Per esempio, nel caso di un elettrodotto doppia terna 380 kV a terne indipendenti avremo:

```

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

```

La prima riga valida successiva al blocco di struttura deve contenere i dati di configurazione che specificano la pendenza del terreno, la quota della struttura e la posizione del punto potenziato, per esempio:

```

! PENDENZA QUOTA_STRUTTURA ASCISSA ORDINATA
! -----
      0          12          10          1

```

La riga ancora successiva deve semplicemente indicare il nome del file (documento di testo) dove il programma dovrà memorizzare i dati calcolati; il nome indicato può eventualmente contenere una specifica di percorso di file:

```

! NOME DAL FILE DI OUTPUT
! -----
c:\risultat\batchout.txt

```

Non sono previste altre modalità di presentazione dei risultati.

Il blocco ancora successivo del file di progetto (comprendente quante righe si vuole, fino alla fine del documento stesso) specifica infine i valori di corrente per cui si devono eseguire i calcoli; ogni riga deve riportare tanti valori quante sono le codifiche "@" utilizzate nella struttura della linea. Si osservi l'esempio che segue, che si riferisce al solito elettrodotto doppia terna, del quale si desidera valutare l'induzione magnetica prodotta in un dato punto in relazione a 9 diverse combinazioni delle due correnti relative alle due terne indipendenti:

!	@1	@2
!	-----	-----
	1500	1000
	1500	0
	1500	-1000
	0	1000
	0	0
	0	-1000
	-1500	1000
	-1500	0
	-1500	-1000

Il file di uscita prodotto dal programma CAMPI in modalità BATCH ha un formato sostanzialmente simile a quello prodotto nella modalità di funzionamento normale, quando si seleziona una delle opzioni *Uscita:FILE*. Esso inizia con un prologo (che descrive la struttura della linea e la configurazione di calcolo) a cui fa seguito il vero e proprio blocco dei risultati. In quest'ultimo sono riportati i valori del campo elettrico e dell'induzione magnetica calcolati, nel punto specificato dai dati di configurazione, per le varie combinazioni di corrente richieste (una combinazione per ogni riga); in ciascuna riga sono indicati i valori di corrente pertinenti, l'intensità del campo elettrico (uguale per tutte le righe, perché indipendente dalle correnti) e l'intensità dell'induzione magnetica.

Un esempio tipico di file di uscita in modalità BATCH è riportato nella figura che segue, dove per brevità si è limitato a due il numero di combinazioni di corrente analizzate.

```

7,"CONDUTTORI"
"RAGGIO","ASCISSA","ORDINATA","TENSIONE","FASE ","INDICE DI"
" [m] "," [m] "," [m] "," [V] ","[deg]","CORRENTE "
0.13600, -5.52, +12.00, 219393, -120," @1 "
0.13600, -7.02, +20.00, 219393, 0," @1 "
0.13600, -4.82, +29.20, 219393, 120," @1 "
0.13600, +5.52, +12.00, 219393, -120," @2 "
0.13600, +7.02, +20.00, 219393, 0," @2 "
0.13600, +4.82, +29.20, 219393, 120," @2 "
0.00625, +0.00, +38.40, 0, 0," @0 "
10.000,"m DISTANZA (AL SUOLO)"
1.000,"m ALTEZZA DAL SUOLO"
0.000,"GRADI DI PENDENZA DEL TERRENO"
"CORRENTE @1","CORRENTE @2","DISTANZA","ALTEZZA "," E "," B "
" [A] "," [A] "," [m] "," [m] "," [V/m] ","[microT]"
1500, 1000, 10.000, 1.000, 4780.232, 14.692
1500, 0, 10.000, 1.000, 4780.232, 7.421

```

APPENDICE 3: VARIAZIONI

Dalla versione 1.0 alla versione 2.0

La versione 2 è stata introdotta per superare la limitazione principale insita nella versione 1, che permetteva di modellare unicamente una o più terne trifase in alternata, caratterizzate da un unico valore di tensione ed un unico valore di corrente.

1. La gestione della *Struttura* della linea è stata radicalmente riformata, introducendo un nuovo formato (ST2), che prevede di specificare *per ciascun conduttore* (senza più distinguere tra *conduttori attivi* e *conduttori di guardia*) anche l'ampiezza della tensione e della corrente ed il raggio, oltre alla posizione ed alla fase. Questo consente di poter utilizzare il programma CAMPI anche per linee diverse dagli elettrodotti trifase a corrente alternata, come per esempio linee di distribuzione locale a 220 V, linee a corrente continua, linee particolari a struttura complessa. Un apposito programma di conversione (CONV_STR) fornito insieme a CAMPI permette di poter continuare ad utilizzare le strutture di tipo STR.
2. È stato corretto un errore nella procedura di lettura da disco di un file di struttura della linea: se la lunghezza del campo "titolo" (prima riga "valida" del file) è maggiore di 40 caratteri, il campo viene semplicemente troncato, senza impedire la lettura dei campi successivi.
3. È stata implementata l'impostazione diretta della struttura della linea.
4. È stato implementato un nuovo tipo di configurazione (*Punto Singolo modo 2*) che, conformandosi alle convenzioni adottate su alcuni fogli-dati di provenienza ENEL, facilita eventuali verifiche e confronti.
5. È stata modificata la presentazione dei dati in uscita in modo testo. Oltre a modifiche di carattere "estetico", sono state apportate le seguenti varianti:
 - vengono indicate le unità di misura;
 - viene visualizzato anche il valore dell'induzione magnetica B in μT oltre che quello dell'intensità del campo magnetico H in A/m;
 - viene gestito lo scorrimento a pagine di 15 punti, ciascuna con attesa di conferma per la continuazione.
6. È stata implementata la possibilità di impostare valori massimi diversi da quelli di default per gli assi delle ordinate E ed H nella presentazione grafica dei risultati.
7. È stata allungata (da 20 a 40 caratteri) la lunghezza del campo di immissione dei nomi dei files in lettura e scrittura.
8. È stato ristrutturato il formato del file di uscita (*.prn) in modo da rendere migliore la visualizzazione dei risultati una volta importati in uno spreadsheet.

Dalla versione 2.0 alla revisione 2.1

La revisione 2.1 è stata introdotta per supportare le linee con un gran numero di conduttori, in particolare le linee di alimentazione delle ferrovie ad alta velocità.

1. È stato portato da 16 a 40 il limite sul numero massimo di conduttori inseribili nella struttura. Attenzione però: l'opzione *Struttura:Imposta*, se usata per definire una nuova struttura, permette di inserire al più 16 conduttori; inoltre essa permette di modificare una struttura già definita solo se sono presenti al più 16 conduttori, in caso contrario l'opzione stessa è disattivata; l'unico modo di definire strutture con più di 16 conduttori resta pertanto l'utilizzo dell'opzione *Struttura:Leggi disco*; infine, qualora siano presenti più di 16 conduttori, l'opzione *Struttura:Mostra* non presenta tutti i dati dei conduttori, ma solo il nome della linea e il numero totale di conduttori inseriti.
2. La lunghezza massima del campo "Titolo" della struttura della linea è stata portata da 40 a 50 caratteri.
3. È stato modificato il grafico d'uscita: adesso mostra l'induzione magnetica B (in μT) anziché il campo magnetico H (in A/m).

Dalla revisione 2.1 alla revisione 2.11

La revisione 2.11 è stata introdotta unicamente per eliminare due fastidiosi inconvenienti.

1. È stato corretto un errore di programma che impediva l'introduzione manuale dell'identificativo della linea selezionando *Struttura:Imposta* dal menù principale.
2. È stato risolto un problema relativo all'impossibilità di scrivere sui dischi di rete (si otteneva il messaggio di errore "Etichetta di volume").

Dalla revisione 2.11 alla versione 3.0

La versione 3.0 aumenta ancora il numero massimo di conduttori presenti nella linea ed anticipa alcune altre novità che diverranno stabili nella versione 4.0. Essa NON è stata distribuita all'esterno, tranne pochissimi casi particolari.

1. È stato modificato il menù di *Struttura* della linea, introducendo la nuova opzione *Struttura:Nuova* e cambiando nome all'opzione *Struttura:Imposta* che diviene *Struttura:Modifica*; inoltre l'opzione *Struttura:Mostra* è diventata *Struttura:Mostra Attuale*.
2. È stato modificato il formato del file dati della struttura della linea. Il nuovo formato (ST3) generato dall'opzione *Struttura:Scrivi disco* non prevede più il

parametro "NR" (numero dei conduttori definiti). In lettura, tale numero viene semplicemente dedotto contando le definizioni valide. Se presente, il parametro NR viene ignorato: questo garantisce la compatibilità con i file di struttura della versione 2; con quelli della versione 1 è invece ancora necessario utilizzare il programma **CONV_STR**.

3. Il numero massimo di conduttori definibili nella struttura della linea è stato portato da 40 a 60.
4. È stato introdotto un programma di utilità (SHOW_STR) per la visualizzazione grafica della struttura della linea, letta da un file di struttura.
5. Sono stati modificati i form di definizione della configurazione, in modo da consentire l'utilizzo di un maggior numero di suddivisioni (il valore massimo possibile è stato portato da 999 a 9999).
6. È stato completamente eliminato ogni riferimento al campo magnetico H, prendendo ovunque in considerazione solo l'induzione magnetica B.
7. È stata introdotta la possibilità di interrompere la visualizzazione a video delle schermate dei dati in modalità testo.

Dalla versione 3.0 alla versione 4.0

La versione 4.0 è stata introdotta per supportare le linee elettriche interrato.

1. È stato rivisto l'aspetto estetico del programma (in particolare la scelta dei colori).
2. Sono stati inseriti due particolari modi di funzionamento (modo DEVELOP e modo DEBUG) di solo uso interno IFAC.
3. Sono stati corretti alcuni errori nel menù *Struttura*.
4. È stata modificata la procedura di lettura da disco della struttura della linea: adesso si utilizzano procedure diverse a seconda della versione di struttura (identificata dal suffisso del nome del file). In questo modo diviene inutile il programma CONV_STR per la conversione dei formati di struttura, che pertanto è stato abbandonato. Sono riconosciuti tre tipi diversi di struttura: *.str (versione 1.0), *.st2 (versioni 2.0, 2.1 e 2.11) e *.st3 (versioni 3.0 e successive).
5. È stato abbandonato anche il pacchetto SHOW_STR per la visualizzazione grafica della struttura della linea.
6. È stata inserita la possibilità di leggere e scrivere i file di configurazione, con apposite voci nel menù *Configurazione*.
7. Tra i dati di configurazione, sono stati modificati i limiti di accettazione dati per il parametro "quota della struttura dal piano di riferimento": ora vengono accettati anche valori negativi, per supportare i cavi interrati.
8. Ancora tra i dati di configurazione, sono stati modificati i limiti per la introduzione dei valori delle distanze al suolo, che sono passati da +/-499.99 a +/-600.00.

9. È stato inserito un controllo preliminare delle coordinate dei conduttori, in modo da disabilitare il calcolo del campo elettrico qualora sia presente un conduttore sotto terra o al livello del suolo o qualora alcuni conduttori siano troppo vicini tra di loro o al suolo (cioè alla loro immagine).
10. È stato perfezionato l'algoritmo di calcolo della carica sui conduttori (ai fini della determinazione del campo elettrico): adesso, nel valutare la distanza tra due conduttori, si tiene correttamente conto del raggio di uno dei due, in modo da calcolare effettivamente la distanza tra il centro di un conduttore e la superficie dell'altro.
11. Nel menù *Esecuzione* sono state introdotte le opzioni *Esecuzione:Campo E*, *Esecuzione:Campo B* ed *Esecuzione:Entrambi* per la scelta delle grandezze da calcolare e visualizzare.
12. Sono stati introdotti i limiti del DPCM 1992 (5000 V/m e 100 µT) per i fondo scala di default del grafico.
13. Quando si interrompe con ESC la visualizzazione dei dati, viene adesso comunque completato l'eventuale output su disco.
14. È stata modificata la visualizzazione delle scale dei grafici, per adattarla meglio a valori molto piccoli.
15. È stata predisposta la possibilità di ripetere il calcolo più volte senza cambiare nulla (in particolare senza cambiare *Uscita*), ma solo a condizione che *Uscita* NON prevedesse *File*, per evitare spiacevoli sovrascritture!
16. È stato modificato il suffisso standard per i file di uscita dei dati calcolati, da ".prn" a ".txt", per facilitarne la lettura da MS Excel.

Dalla versione 4.0 alla revisione 4.1

La revisione 4.1 è stata introdotta per supportare il funzionamento in modalità "BATCH", descritto in dettaglio in Appendice 2.

1. Tutti i riferimenti a "IROE" o al nome esteso dell'Istituto sono stati sostituiti con riferimenti a "IFAC" e al relativo nome esteso.
2. È stata implementata la modalità di funzionamento "BATCH" (per i dettagli della quale si rimanda all'Appendice 2).
3. È stata modificata la modalità di attivazione del modo DEBUG (di solo uso interno IFAC).
4. Il modo DEBUG viene adesso segnalato visivamente sul "desktop" del programma.
5. Sono state effettuate alcune correzioni e modifiche alla formattazione dell'output su file.
6. Sono state apportate lievi modifiche alla formulazione di alcune voci dei menù.
7. Sono state effettuate alcune correzioni redazionali al presente manuale.