

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



**INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N. 443/01**

**TRATTA A.V. /A.C. TERZO VALICO DEI GIOVI PROGETTO ESECUTIVO**

**Adeguamento S.P. 161 della Crenna  
Impianti tecnologici galleria  
Relazione di calcolo impianto di terra**

GENERAL CONTRACTOR	DIRETTORE DEI LAVORI
Consorzio <b>Cociv</b> Ing. G. Guagnozzi	

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
I G 5 1	0 1	E	C V	C L	N V 2 1 0 0	0 0 4	A

Progettazione :								
Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	IL PROGETTISTA
A00	Prima emissione	SINT <i>[Signature]</i>	25/09/2012	Ing. D. Re <i>[Signature]</i>	27/09/2012	E. Pagani <i>[Signature]</i>	28/09/2012	Ing. I. Barilli  Dott. Ing. IVANO BARILLI ALBO DEGLI INGEGNERI Provincia V.C. 122 <i>[Signature]</i>

n. Elab.:	File: IG51-01-E-CV-CL-NV2100-004-A00.DOC
-----------	--



<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-01-E-CV-CL-NV2100-004-A00.DOC</p> <p style="text-align: right;">Foglio 3 di 20</p>

## INDICE

INDICE.....		3
1. INTRODUZIONE.....		5
2. DENOMINAZIONI ED ABBREVIAZIONI UTILIZZATE.....		5
3. LEGGI E NORME DI RIFERIMENTO .....		5
4. SIGLE E DEFINIZIONI.....		5
5. IMPIANTO DI TERRA PRIMARIO (DISPERSORE).....		6
5.1. Requisiti dell'impianto con riferimento alle sollecitazioni meccaniche, alla corrosione ed alle sollecitazioni termiche.....		6
5.2. Requisiti dell'impianto con riferimento alle tensioni di contatto e di passo .....		7
5.3. Verifica meccanica e termica dell'impianto di terra disperdente.....		8
5.4. Verifica del dispersore nei confronti delle tensioni di contatto e di passo.....		8
5.4.1. Descrizione del codice di calcolo utilizzato .....		8
6. ALLEGATI.....		16
ALLEGATO 1 .....		17

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



IG51-01-E-CV-CL-NV2100-004-A00.DOC

Foglio  
4 di 20

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p>IG51-01-E-CV-CL-NV2100-004-A00.DOC</p> <p>Foglio 5 di 20</p>

## 1. INTRODUZIONE

Il presente documento ha come oggetto l'impianto di terra della cabina BT denominata "Cabina Crenna", asservita agli impianti tecnologici della omonima galleria collocata lungo la S.P.161 della Provincia di Alessandria.

In particolare, quanto segue intende evidenziare:

- la normativa tecnica utilizzata per il dimensionamento;
- i criteri di dimensionamento, tenendo conto dei vincoli impiantistici e della normativa vigente;
- i dati di ingresso;
- le verifiche ed i risultati di calcolo.

Si precisa che i dati di progetto ed i risultati delle verifiche, ottenute con software dedicati sono riportati nell'allegato.

Nel seguito si riportano invece alcune considerazioni aventi lo scopo di inquadrare il problema e di semplificare la comprensione di quanto evidenziato negli allegati.

## 2. DENOMINAZIONI ED ABBREVIAZIONI UTILIZZATE

Vengono introdotte le seguenti abbreviazioni (in ordine alfabetico):

- ac Corrente alternata
- AD Azienda distributrice di energia elettrica (nel caso specifico ENEL)
- BT Bassa Tensione in c.a. (400/230V)
- CEI Comitato Elettrotecnico Italiano

Eventuali altri acronimi potranno essere introdotti solo dopo che siano stati definiti, tra parentesi, accanto alla definizione estesa del proprio significato.

## 3. LEGGI E NORME DI RIFERIMENTO

Nel seguito vengono elencati i principali riferimenti legislativi e normativi che sono stati considerati nello sviluppo del presente progetto:

- Norma CEI 64-8: Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua

## 4. SIGLE E DEFINIZIONI

Vengono introdotte le seguenti sigle:

- ac Corrente alternata
- AD Azienda distributrice di energia elettrica (nel caso specifico ENEL)
- BT Bassa Tensione in c.a. (400/230V)
- CEI Comitato Elettrotecnico Italiano
- MT Media Tensione in c.a.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-01-E-CV-CL-NV2100-004-A00.DOC <span style="float: right;">Foglio 6 di 20</span>

- $R_E$  resistenza di terra del dispersore
- $U_E$  tensione totale di terra
- $U_{TP}$  massima tensione di contatto effettiva ammessa dalla norme
- $U_{SP}$  massima tensione di passo effettiva ammessa dalla norme
- $V_L$  tensione limite di contatto in BT
- $I_E$  corrente di guasto dispersa a terra
- $t_f$  tempo di intervento delle protezioni
- $I_{dn}$  corrente differenziale nominale
- $\rho$  resistività del mezzo disperdente

Eventuali altre sigle potranno essere introdotte solo dopo che siano stati definiti, tra parentesi, accanto alla definizione estesa del proprio significato.  
Saranno inoltre utilizzati i seguenti termini:

Dispersore o impianto di terra primario (ai sensi della Norma CEI 99-2, 99-3 e CEI 64-8): insieme di conduttori in contatto elettrico diretto con il terreno o annegati nel calcestruzzo a contatto con il terreno.

Impianto di terra secondario (o impianto di terra interno): insieme di conduttori comprendente:

- conduttori di protezione (ai sensi della Norma CEI 64-8): conduttori che collegano le masse di apparecchiature ad un collettore di terra ai fini della protezione contro i contatti indiretti;
- collettore principale di terra (ai sensi della Norma CEI 64-8): elemento a cui fanno capo i diversi conduttori di protezione, i conduttori equipotenziali principali, i conduttori di terra ed i conduttori di terra funzionali. Il collettore di terra è collegato al dispersore con uno o più conduttori di terra;
- conduttori di terra (ai sensi della Norma CEI 64-8): conduttori, non in contatto col terreno, che collegano il collettore (o nodo) al dispersore oppure conduttori, non in contatto col terreno, che collegano tra loro due dispersori;
- conduttori equipotenziali (ai sensi della Norma CEI 64-8): conduttore di protezione che mette diverse masse e masse estranee al medesimo potenziale (funzione di collegamento equipotenziale).

## 5. IMPIANTO DI TERRA PRIMARIO (DISPERSORE)

### 5.1. Requisiti dell'impianto con riferimento alle sollecitazioni meccaniche, alla corrosione ed alle sollecitazioni termiche

La scelta e l'installazione dei componenti dell'impianto di terra devono essere tali che:

- l'efficienza dell'impianto di terra si mantenga nel tempo;
- le correnti di guasto e di dispersione a terra possano essere sopportate senza danni, in particolare dal punto di vista delle sollecitazioni di natura termica, termo meccanica ed elettromeccanica;

- i materiali abbiano adeguata solidità o adeguata protezione meccanica, tenuto conto delle influenze esterne;
- l'installazione non comporti danni, per effetto elettrolitico, ai materiali installati.

Per quanto riguarda invece la resistenza meccanica e la resistenza alla corrosione la Norma CEI 64-8 raccomanda di adottare per il dispersore le dimensioni minime riportate nella tabella seguente:

#### Dimensioni dei dispersori

	1	2	3	4	5
	Tipo di elettrodo	Dimensioni	Acciaio zincato a caldo (Norma CEI 7-6) (1)	Acciaio rivestito di rame	Rame
Per posa nel terreno	Piastra	Spessore (mm)	3		3
	Nastro	Spessore (mm)	3		3
		Sezione (mm <sup>2</sup> )	100		50
	Tondino o conduttore massiccio	Sezione (mm <sup>2</sup> )	50		35
Per infissione nel terreno	Conduttore cordato	Ø ciascun filo (mm)	1,8		1,8
		Sezione corda (mm <sup>2</sup> )	50		35
	Picchetto a tubo	Ø esterno (mm) Spessore (mm)	40 2		30 3
Picchetto massiccio	Ø (mm)	20	15 <sup>(2)</sup> <sub>(3)</sub>	15	
Picchetto in profilato	Spessore (mm) Dimensione trasversale (mm)	5 50		5 50	

(1) Anche acciaio senza rivestimento protettivo, purché con spessore aumentato del 50% (sezione minima 100 mm<sup>2</sup>).  
 (2) Rivestimento per deposito elettrolitico: 100 mm.  
 (3) Rivestimento per trafilatura: spessore 500 mm.

 Tipo e dimensioni non considerati nella Norma.

**Tabella 1 - Dimensioni minime degli elementi del dispersore (rif. CEI 64-8/5)**

Le sezioni sopra riportate sono sufficienti anche per garantire un'adeguata resistenza nei confronti della sollecitazione termiche.

## 5.2. Requisiti dell'impianto con riferimento alle tensioni di contatto e di passo

L'impianto di terra disperdente, nei confronti della sicurezza delle persone, è da considerarsi correttamente dimensionato se il valore della resistenza di terra risulta in accordo con le esigenze di protezione e di funzionamento dell'impianto elettrico.

Con riferimento al sistema TT, per la verifica dell'impianto di terra disperdente, nei confronti della protezione delle persone ai contatti indiretti, dovrà essere rispettata la seguente condizione:

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-01-E-CV-CL-NV2100-004-A00.DOC <span style="float: right;">Foglio 8 di 20</span>

$$R_E < \frac{V_L}{I_{dn}}$$

dove:

$I_{dn}$  [A]: è la corrente differenziale nominale massima presente

$R_E$  [ $\Omega$ ]: è la resistenza di terra del dispersore

$V_L$  [V]: è la tensione limite di contatto

Nel caso specifico  $I_{dn}$  vale 3A e  $V_L = 50V$  per cui  $R_E$  dovrà risultare inferiore a 16.7  $\Omega$ .

### 5.3. Verifica meccanica e termica dell'impianto di terra disperdente

Per quanto concerne il comportamento meccanico e termico del dispersore i requisiti di progetto sopra indicati risultano soddisfatti in quanto per la cabina BT si prevede un dispersore costituito da:

- corda di rame nudo da 35 mm<sup>2</sup>, posta lungo il perimetro esterno della cabina stessa, integrata agli angoli della cabina con n.6 picchetti tondi o a croce di lunghezza 1.5 m.
- n.2 due corde di rame nudo da 35 mm<sup>2</sup> aventi la funzione di dispersore e di conduttore di protezione (PE) comune ai vari circuiti in campo.

La profondità di posa delle corde non dovrà essere inferiore a 0.5 m.

### 5.4. Verifica del dispersore nei confronti delle tensioni di contatto e di passo

La verifica dell'impianto di terra disperdente, nei confronti della sicurezza delle persone, è stata condotta utilizzando il software GSA® (Grounding System Analysis), versione 3.3.1, sviluppato da SINT Ingegneria Srl. I dati di progetto ed i risultati delle verifiche sono riportati nell'Allegato 1.

#### 5.4.1. Descrizione del codice di calcolo utilizzato

##### 5.4.1.1 Generalità

Di seguito viene descritto, sinteticamente, il programma GSA, che consente lo studio degli impianti di terra di protezione, realizzati con gli usuali sistemi disperdenti intenzionali, in presenza o meno di corpi perturbanti interrati, in terreni omogenei o non omogenei a doppio strato.

Il programma GSA (di seguito indicato semplicemente con programma o software) consente in particolare di determinare:

- resistenza totale di terra di un dispersore di forma qualsiasi;
- tensioni di passo superficiali in assenza del corpo umano;
- tensioni di contatto superficiali in assenza del corpo umano;
- tensioni di passo superficiali con presenza del corpo umano;
- tensioni di contatto superficiali con presenza del corpo umano;
- tensioni trasferite dal dispersore ad eventuali corpi perturbanti interrati;
- correnti scambiate da ogni porzione del complesso disperdente;

Tali grandezze possono essere determinate nelle seguenti condizioni operative:

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">IG51-01-E-CV-CL-NV2100-004-A00.DOC</p> <p style="text-align: right;">Foglio 9 di 20</p>

- terreno omogeneo;
- terreno non omogeneo a doppio strato;
- presenza di sottili strati di materiali superficiali con resistività elevata;
- presenza di corpi perturbanti interrati non disperdenti, di forma qualsiasi, non connessi al dispersore principale;
- presenza di corpi perturbanti interrati disperdenti, di forma qualsiasi, non connessi al dispersore principale;

Il programma è utilizzabile per sistemi di terra chiamati a disperdere nel terreno correnti continue o alternate a frequenza industriale.

Nella pagina seguente è riportato il diagramma di flusso del programma GSA.

#### 5.4.1.2 Limitazioni del programma GSA

Il programma di simulazione può operare con le seguenti limitazioni:

- ogni dispersore deve essere rappresentato come insieme di elementi sottili;
- ogni dispersore si considera equipotenziale;
- possono essere considerati mezzi disperdenti (terreni) caratterizzati da un modello di resistività uniforme o a doppio strato, con un eventuale sottile strato superficiale ad elevata resistività;
- l'eventuale strato di materiale superficiale ad alta resistività deve essere necessariamente sottile, ovvero inferiore ai 150 mm;
- possono essere considerate correnti con frequenze nel range 15-100 Hz;
- ogni elettrodo è assunto senza perdite, ovvero la sua auto impedenza deve risultare molto più piccola della sua impedenza di dispersione. Riguardo a quest'ultimo punto:
- l'impedenza di dispersione di un conduttore risulta proporzionale alla resistività del suolo ed inversamente proporzionale al diametro del conduttore  $Z_L \propto \rho/D$ ;
- l'auto impedenza del conduttore può essere approssimata come l'auto induttanza, che risulta proporzionale al diametro del conduttore stesso ed alla frequenza  $Z_S \propto Df$ . Se la condizione  $Z_S \ll Z_L$  non può essere soddisfatta (in simbolo  $\ll$  può avere il significato di meno della metà), il potenziale totale di terra  $U_E$  calcolato dal programma GSA sarà minore rispetto al valore effettivo poiché, in questo caso, non viene considerato che la maggior parte è della corrente sarà dispersa nelle vicinanze del punto di iniezione. In pratica deve essere rispettata la condizione  $D < 1580\sqrt{\rho/f}$  dove:
  - $D$  = dimensione massima dell'elettrodo (diagonale) [m];
  - $\rho$  = resistività del suolo [ $\Omega\text{m}$ ];
  - $f$  = frequenza [Hz].

Per esempio, considerando un suolo con una resistività  $\rho_E$  di 50  $\Omega\text{m}$ , la massima dimensione dell'elettrodo simulabile può essere di 1580 o 1440 m, rispettivamente con frequenza di 50 o 60 Hz.

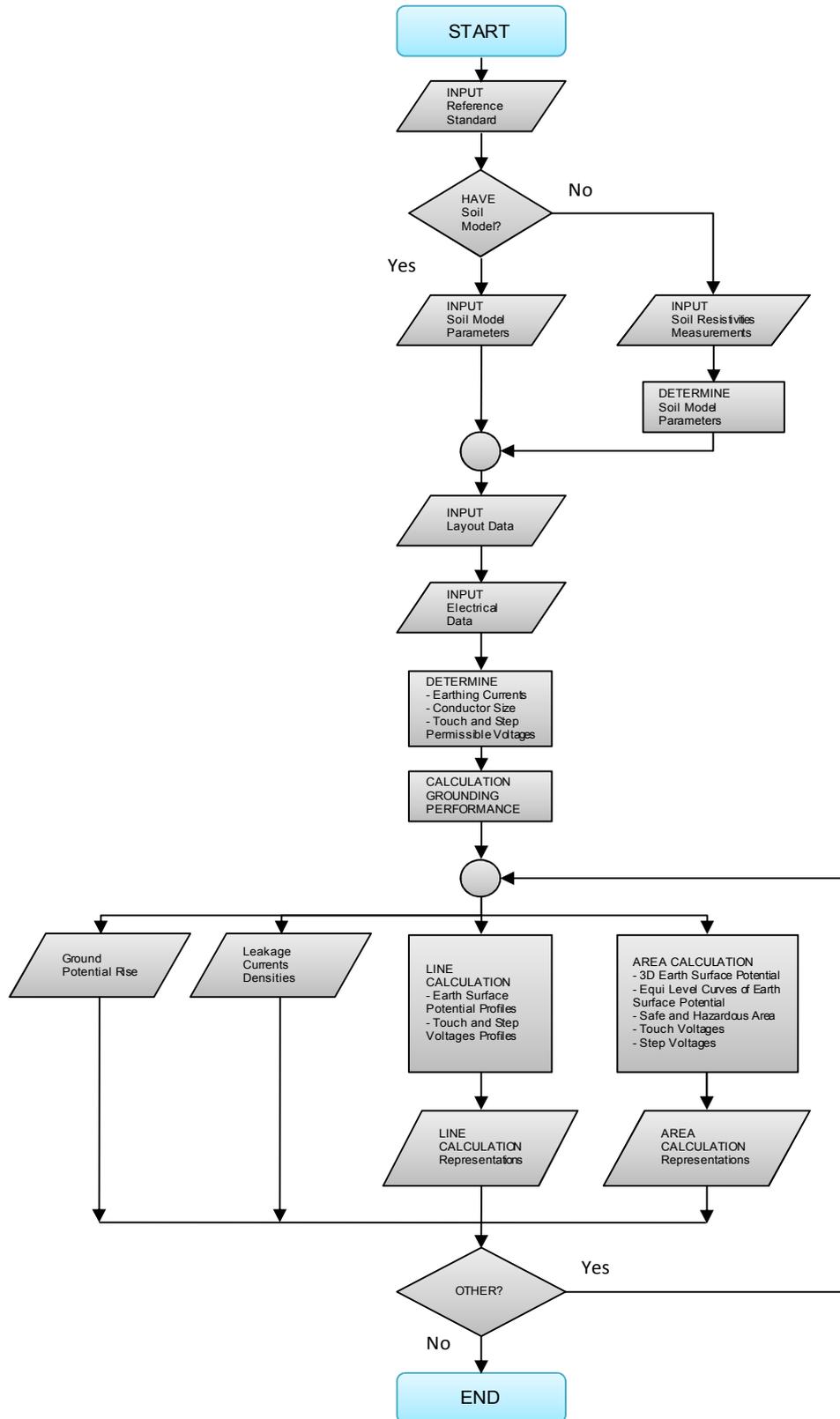


Figura 1: Diagramma di flusso

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-01-E-CV-CL-NV2100-004-A00.DOC <span style="float: right;">Foglio 11 di 20</span>

### 5.4.1.3 Input richiesti dal software

- dati fisici: caratteristiche del mezzo disperdente (resistività del terreno);
- dati geometrici: geometria del dispersore (ovvero la geometria da verificare);

#### **Resistività del terreno**

Le prestazioni di un impianto di terra dipendono in massima parte dalla resistività del mezzo disperdente (parametro all'aumentare del quale lo stesso dispersore può risultare sovradimensionato, idoneo oppure insufficiente).

In generale non è possibile assegnare al mezzo disperdente un solo valore di resistività: la resistività risulta solitamente variabile da punto a punto e pertanto esprimibile in modo compiuto solamente mediante una funzione puntuale. La determinazione di tale funzione all'atto pratico non risulta possibile.

A causa della sua natura elettrolitica, la resistività del suolo è ovviamente influenzata dal contenuto di umidità, dalla temperatura e dal contenuto di sali, acidi e basi.

E' evidente comunque che l'umidità, la temperatura e la composizione del suolo in superficie possono variare notevolmente a causa di eventi atmosferici e climatici o a causa di interventi umani.

Quindi, per evitare che modifiche superficiali delle caratteristiche del suolo influiscano macroscopicamente sulle caratteristiche del dispersore sottostante, è consigliabile un interrimento del dispersore a profondità non inferiore a 500 mm in località con clima temperato, fino a 1000 m ed oltre per climi più freddi.

Come ordini di grandezza si possono comunque avere:

- terreni organici:  $\rho=10$  [ $\Omega\text{m}$ ]
- terreni umidi:  $\rho=100$  [ $\Omega\text{m}$ ]
- terreni secchi:  $\rho=1.000$  [ $\Omega\text{m}$ ]
- terreni rocciosi:  $\rho=10.000$  [ $\Omega\text{m}$ ]

In particolare, qual dati di riferimento, si possono considerare i seguenti valori:

- argille leggere:  $\rho=5$  [ $\Omega\text{m}$ ]
- argille normali:  $\rho=10$  [ $\Omega\text{m}$ ]
- marne:  $\rho=20$  [ $\Omega\text{m}$ ]
- crete, calcari porosi:  $\rho=50$  [ $\Omega\text{m}$ ]
- terra vegetale mista pietre:  $\rho=50$  [ $\Omega\text{m}$ ]
- gres porosi, scisti porosi:  $\rho=100$  [ $\Omega\text{m}$ ]
- calcari compatti, marmi:  $\rho=350$  [ $\Omega\text{m}$ ]
- ardesie argillose:  $\rho=1.000$  [ $\Omega\text{m}$ ]
- sabbia, ciottoli:  $\rho=1.000$  [ $\Omega\text{m}$ ]
- graniti:  $\rho=2.000$  [ $\Omega\text{m}$ ]

Nei confronti delle correnti alternate a frequenza industriale più utilizzate (50 - 60 Hz) ed ovviamente nei confronti delle correnti continue, il terreno con ottima approssimazione può considerarsi come un mezzo puramente resistivo (tale approssimazione può estendersi fino a circa 1 kHz). In tale ambito pertanto, ogni fenomeno capacitivo ed induttivo legato agli eventi elettrici di un dispersore di terra può essere trascurato.

Inoltre, almeno fino a densità di corrente di 200 A/m<sup>2</sup> che perdurino per tempi inferiori ad 1 s, i fenomeni di evaporazione dell'umidità contenuta nel terreno possono essere ritenuti trascurabili e, quindi, la resistività del

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-01-E-CV-CL-NV2100-004-A00.DOC <span style="float: right;">Foglio 12 di 20</span></p>

terreno può essere ritenuta indipendente dalla densità di corrente stessa. Trattasi di densità di corrente in pratica difficilmente raggiungibili anche nelle immediate prossimità degli elementi disperdenti, per cui, con ottima approssimazione, il terreno può essere ritenuto mezzo lineare anche nei confronti della densità di corrente.

Infine, la resistività del suolo, fino a limiti che sono ben al di sopra degli intervalli di interesse pratico nell'ambito dello studio degli impianti di terra, non viene influenzata dal gradiente del potenziale (limiti dell'ordine del [kV/cm]). Pertanto, nei confronti del gradiente di potenziale il suolo può essere considerato un mezzo lineare. La determinazione della resistività del mezzo disperdente può essere condotta con diverse tecniche: la maggiormente utilizzata è quella proposta da Wenner (eventualmente nella variante di Schlumberger-Palmer). Come già detto, il software supporta i seguenti modelli del suolo:

- Modello uniforme del suolo (Uniform Soil Model)
- Modello a doppio strato del suolo (Double Layer Soil Model)
- Modello uniforme o a doppio strato del suolo, con la presenza di un sottile strato superficiale con materiale di resistività elevata.

Nella presente fase progettuale si assume, per semplicità, il modello uniforme del suolo considerando un valore cautelativo di resistività pari a 1.000 [Ωm] tipico di terreni secchi sabbiosi e/o ciottolosi.

### Geometria dei dispersori

Il layout dei dispersori è definito a partire dai dati dimensionali dei diversi elettrodi presenti nel volume di suolo da analizzare.

A tal proposito si definiscono come:

- “Sistema disperdente”: insieme di più Elettrodi, indipendenti o tra loro elettricamente connessi.
- “Elettrodo”: insieme di Conduttori, tra loro equipotenziali, posti nel mezzo disperdente ovvero nel terreno.
- “Conduttore”: insieme di Elementi
- “Elemento”: costituito da un cilindro metallico, lungo e sottile, ovvero caratterizzato da dimensione longitudinale “l” nettamente maggiore della dimensione trasversale “D”.

Il programma di simulazione si basa sul metodo agli elementi finiti pertanto ogni “Sistema disperdente” dovrà essere partizionato in un numero opportuno di Elementi.

La dimensione di ogni singolo Elemento deve essere tale da permettere di considerare uniforme la distribuzione di corrente lungo la sua lunghezza.

L'Elemento dispersore è tipicamente realizzato con materiale (rame o ferro) avente resistività che si differenzia, da quella del mezzo in cui si trova immerso, di alcuni ordini di grandezza.

Si può pertanto ritenere che il potenziale elettrico  $u$  sia costante su tutta la superficie dell'Elemento stesso.

Se l'Elemento è massiccio, nelle condizioni di cui sopra il potenziale  $u$  è praticamente costante anche al suo interno, la componente resistiva del dispersore in sé è pertanto trascurabile.

La resistenza verso il mezzo disperdente di un Elemento con le suddette caratteristiche, dipende in definitiva oltre che dal fattore di mezzo (ovvero la resistività del suolo) solo dalla sua superficie esterna e dal suo fattore

di forma (ovvero  $k_f$  che per elementi lineari cilindrici aventi lunghezza  $l$  nettamente preponderante sul

$$\text{diametro } D \text{ vale: } k_f = \frac{1}{2\pi} \left[ \ln\left(\frac{4l}{D}\right) - 1 \right]$$

Con queste ipotesi, si può affermare che Elementi geometricamente uguali, anche se non pieni, sono caratterizzati dallo stesso fattore di forma.

Il fatto che il dispersore sia o meno massiccio interessa solo ai fini del suo dimensionamento termico e meccanico.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-01-E-CV-CL-NV2100-004-A00.DOC <span style="float: right;">Foglio 13 di 20</span>

Nella pratica impiantistica è usuale l'utilizzo, oltre che di Elementi disperdenti in corda o tondino, anche di piattine e cioè Elementi rettilinei aventi due delle dimensioni (lunghezza e larghezza), nettamente prevalenti sulla terza (e cioè sullo spessore).

In generale, ogni Elemento rettilineo avente una dimensione nettamente preponderante sulle altre due può essere ridotto ad un Elemento cilindrico, tramite la determinazione del suo diametro equivalente, e cioè di quel particolare diametro che, assegnato ad un Elemento cilindrico di pari lunghezza, ne rende la resistenza verso un mezzo omogeneo isotropo lineare indefinito uguale alla resistenza dell'Elemento rettilineo nelle stesse condizioni.

Il software GSA consente:

- la definizione di Sistemi disperdenti, composti da massimo n. 10 Elettrodi tra di loro connessi e/o indipendenti;
- la definizione di Elettrodi, composti da Conduttori disposti all'interno del terreno sia orizzontalmente, che verticalmente, che inclinati con qualsiasi angolazione. Tutti i Conduttori dell'Elettrodo sono considerati allo stesso potenziale. Per ogni Elettrodo è possibile definire:
  - una corrente di guasto verso terra;
  - le caratteristiche dimensionali dei Conduttori, il loro materiale e la tipologia (ovvero conduttori o picchetti);
  - la suddivisione automatica dei Conduttori in Elementi. A tal proposito, al fine di ottenere accuratezza nella simulazione, è opportuno che la lunghezza degli Elementi soddisfi la seguente condizione:
- ( 5.1 )  $100 d < l < D/10$   
dove:  
d è il diametro dell'Elemento;  
l la lunghezza dell'Elemento;  
D la massima dimensione dell'Elettrodo (diagonale).
- l'input grafico degli Elettrodi per mezzo dell'importazione di un file DXF (Drawing Exchange Format) generato a sua volata con software CAD ovvero di grafica vettoriale.
- l'input numerico degli Elettrodi per mezzo di tabelle d'inserimento dei Conduttori associati agli Elettrodi. Tali Conduttori possono essere inseriti singolarmente, a gruppi disposti su superficie piana ed a gruppi disposti su di una superficie cilindrica.

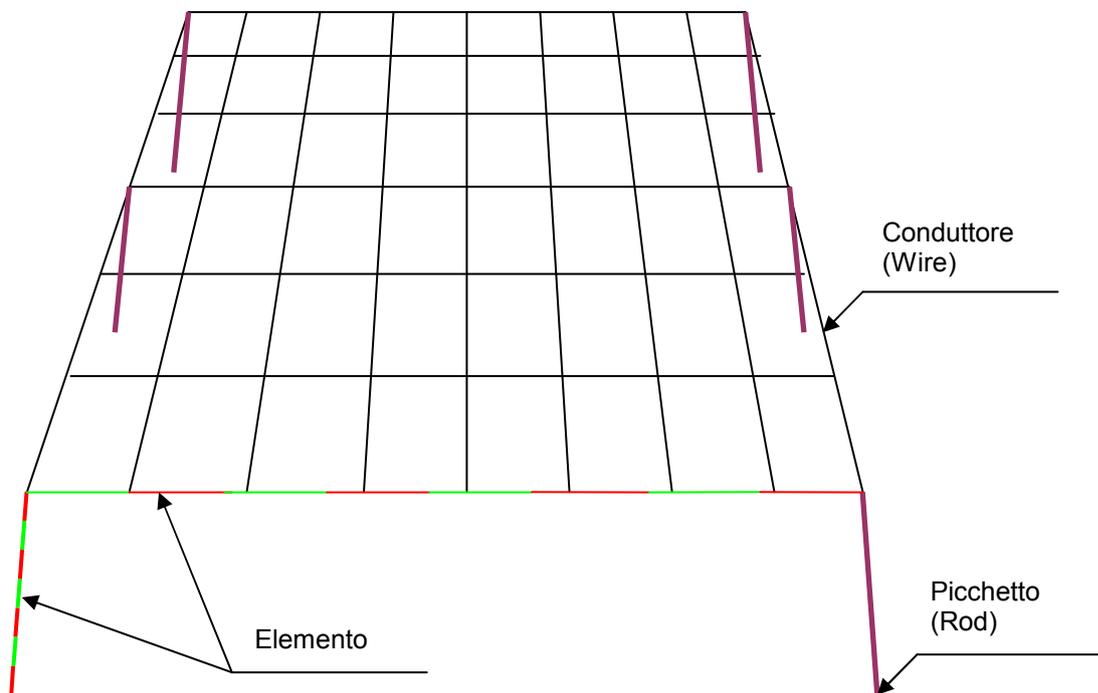


Figura 2: Schematizzazione di un Elettrodo

#### 5.4.1.4 Modello di calcolo della resistenza

Successivamente, alla fase di inserimento dei dati, il programma consente l'esecuzione di una prima fase di calcolo, nella quale vengono determinate le caratteristiche elettriche dei diversi Elettrodi.

Come già indicato il programma necessita la suddivisione del sistema disperdente in  $n$  Elementi, di cui calcola la auto resistenza e la mutua resistenza tra coppie, al fine di comporre il seguente sistema lineare:

$$(1) \begin{bmatrix} r_{1,1} & r_{1,2} & \cdots & r_{1,n} \\ r_{2,1} & r_{2,2} & \cdots & r_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n,1} & r_{n,2} & \cdots & r_{n,n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ \vdots \\ i_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_n \end{bmatrix}$$

dove:

- La matrice quadrata  $[r_{n,n}]$  contiene i valori delle resistenze dei singoli Elementi
- il vettore colonna  $[i_n]$  contiene i valori di corrente dispersa dai singoli Elementi
- il vettore colonna  $[u_n]$  contiene i valori del potenziale dei singoli Elementi

Questi valori possono essere determinati come soluzione dello stesso sistema lineare, a partire dalle seguenti condizioni:

- la sommatoria delle correnti disperse da ogni Elemento di un Elettrodo e pari alla corrente di guasto iniettata nell'Elettrodo stesso:

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-01-E-CV-CL-NV2100-004-A00.DOC <span style="float: right;">Foglio 15 di 20</span>

- $\sum_{i=1}^{n1} i_i = I_{E1}$  ;  $\sum_{i=n1+1}^{n2} i_i = I_{E2}$  ...  $\sum_{i=nx+1}^n i_i = I_{Ex}$
- i diversi Elementi di un Elettrodo sono tutti allo stesso potenziale:
- $u_i = U_{E1}$  ( $i = 1 \dots n1$ );  $u_i = U_{E2}$  ( $i = n1 + 1 \dots n2$ ) ...  $u_i = U_{Ex}$  ( $i = nx + 1 \dots n$ )
- gli Elettrodi con corrente iniettata pari a zero sono caratterizzati dal un potenziale flottante

L'auto resistenza, ovviamente verso terra, di un Elemento (lungo e sottile ovvero con  $l \gg d$ ) posizionato in un terreno uniforme può essere calcolata con la seguente formula (H. B. Dwight):

$$r_{i,i} = \frac{\rho}{2\pi l_i} \left[ \ln \left( \frac{4l_i}{d_i} \right) - 1 \right]$$

dove:

- $r_{i,i}$  = resistenza di terra dell'Elemento  $i$  [ $\Omega$ ] ovvero Elemento diagonale della matrice delle resistenza
- $l_i$  = lunghezza dell'Elemento  $i$  [m]
- $d_i$  = diametro dell'Elemento  $i$  [m]

La mutua resistenza tra coppie di Elementi posizionati in un terreno uniforme può essere calcolata con la seguente formula:

$$r_{i,j} = \frac{u_i}{i_j}$$

Il potenziale  $u_i$  corrispondente al potenziale medio dell'Elemento  $i$ , rispetto alla distribuzione del potenziale elettrico nel suolo, quando l'Elemento  $j$  inietta una corrente  $i_j$ .

Quindi:

$$r_{i,j} = \frac{\rho}{4\pi l_j} \ln \left( \frac{r_1 + r_2 + l_j}{r_1 + r_2 - l_j} \right)$$

#### 5.4.1.5 Output del software

Successivamente alla fase di calcolo è direttamente disponibile il valore della resistenza di terra.

#### **Resistenza di terra degli elettrodi e potenziale totale di terra**

La soluzione del sistema lineare (1) consente l'immediata determinazione della resistenza di terra dell'Elettrodo  $i$ , ovvero  $R_{Ei}$ , come il rapporto tra il potenziale e la corrente dispersa dall'Elettrodo stesso:

$$R_{Ei} = U_{Ei} / I_{Ei}$$

Per quanto riguarda Elettrodi a potenziale flottante, ovvero non soggetti ad iniezione di corrente di guasto come ad esempio masse estranee interrate, il programma GSA determina il valore del potenziale trasferito ma non ne determina la resistenza mutua.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>IG51-01-E-CV-CL-NV2100-004-A00.DOC</p>	<p>Foglio 16 di 20</p>

La mutua resistenza tra una coppia di Elettrodi, di cui uno a potenziale flottante, può essere semplicemente determinata come il rapporto tra il potenziale dell'Elettrodo a potenziale flottante  $i$  e la corrente dispersa dall'Elettrodo  $j$ :

$$R_{Ei,j} = U_{Ei} / I_{Ej} \quad (I_{Ej} \neq 0)$$

## 6. ALLEGATI

Gli allegati sono organizzati nei seguenti documenti:

- Allegato 1: Dimensionamento e verifica dell'impianto di terra

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG51-01-E-CV-CL-NV2100-004-A00.DOC	Foglio 17 di 20

# ALLEGATO 1

## DIMENSIONAMENTO E VERIFICA IMPIANTO DI TERRA

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-01-E-CV-CL-NV2100-004-A00.DOC
	Foglio 18 di 20

## GENERALITA'

Nella presente sezione vengono illustrati i calcoli di verifica dell'impianto di terra della cabina "Crenna" asservita agli impianti tecnologici della omonima galleria, eseguiti secondo le modalità descritte nella relazione di calcolo.

In particolare i calcoli eseguiti riguardano:

- calcolo della resistenza totale di terra  $R_E$  con il software GSA;
- verifica dei contatti indiretti (sistema TT), con interruzione automatica del circuito per mezzo di interruttori differenziali.

## VERIFICA DISPERSORE

L'ipotesi di partenza per la verifica del dispersore di cabina è l'utilizzo di un anello perimetrale costituito da conduttori in rame di sezione  $35 \text{ mm}^2$  al quale sono connessi ulteriori collegamenti equipotenziali in galleria (conduttori di protezione per i quadri e le relative utenze), realizzati con conduttori in rame di sezione  $35 \text{ mm}^2$ , secondo quanto descritto nella relazione di calcolo.

La profondità di interrimento prevista è di 0.5 m.

Si prevedono inoltre 6 dispersori di profondità (lunghezza 1.5 m), entro pozzetti con chiusini carrabili, in corrispondenza degli angoli della cabina.

Le dimensioni della cabina in oggetto sono le seguenti:

	Dimensioni interne	
	A [m]	B [m]
<b>NV21</b>	5	5

Alla cabina è affiancato un Gruppo Elettrogeno (il cui alloggiamento ha dimensioni  $2.2 \times 1.1 \text{ m}$ ) attorno al quale è prevista la posa di un secondo anello in corda di rame di sezione  $35 \text{ mm}^2$  che verrà collegato all'anello di cabina.

Data la tipologia di terreno (sabbia, ciottoli) ed in assenza di dati specifici, si assume un valore di resistività del terreno  $\rho_E$  pari a  $1000 \Omega \text{ m}$ .

Si segnala che, nel calcolo della resistenza dell'impianto, non sono stati considerati, cautelativamente, gli eventuali dispersori di fatto (rete elettrosaldata di fondazione, ecc..) aventi effetti migliorativi, ovvero nel senso della sicurezza.

**In ogni caso sarà necessario effettuare delle misure della resistenza di terra per confermare il rispetto dei limiti ammessi nelle reali condizioni.**

## MODELLIZZAZIONE E VERIFICA CABINA GALLERIA CRENNNA

Il modello implementato per il calcolo della resistenza di terra è il seguente:

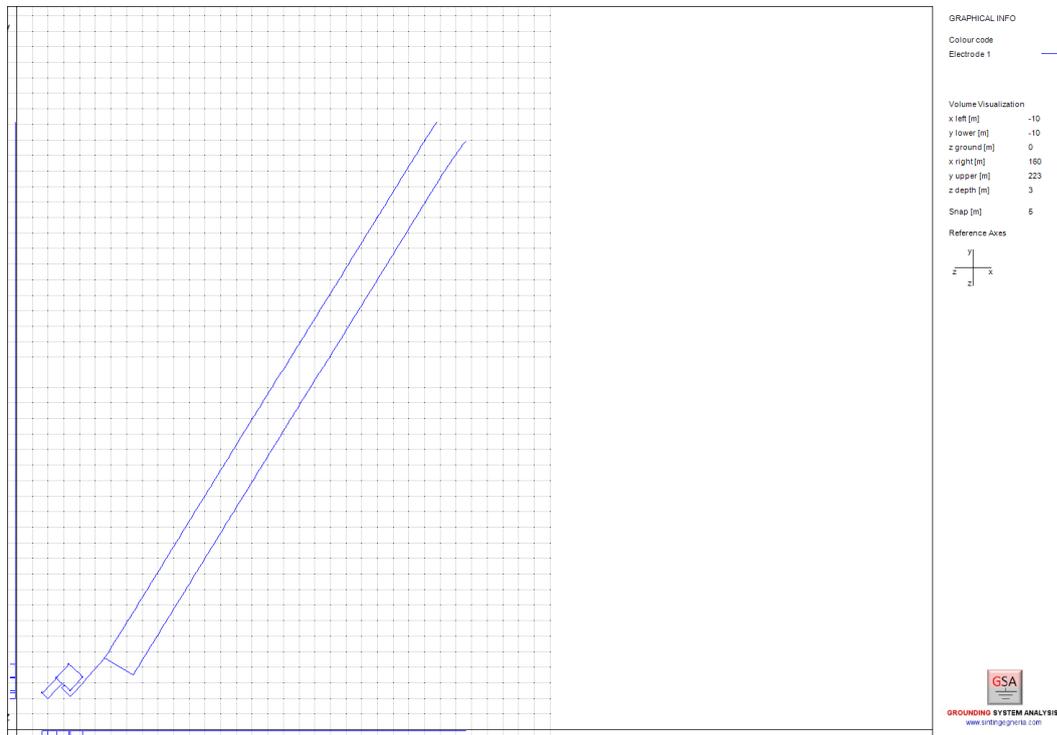


Figura 3 - Modello dispersore di cabina e galleria

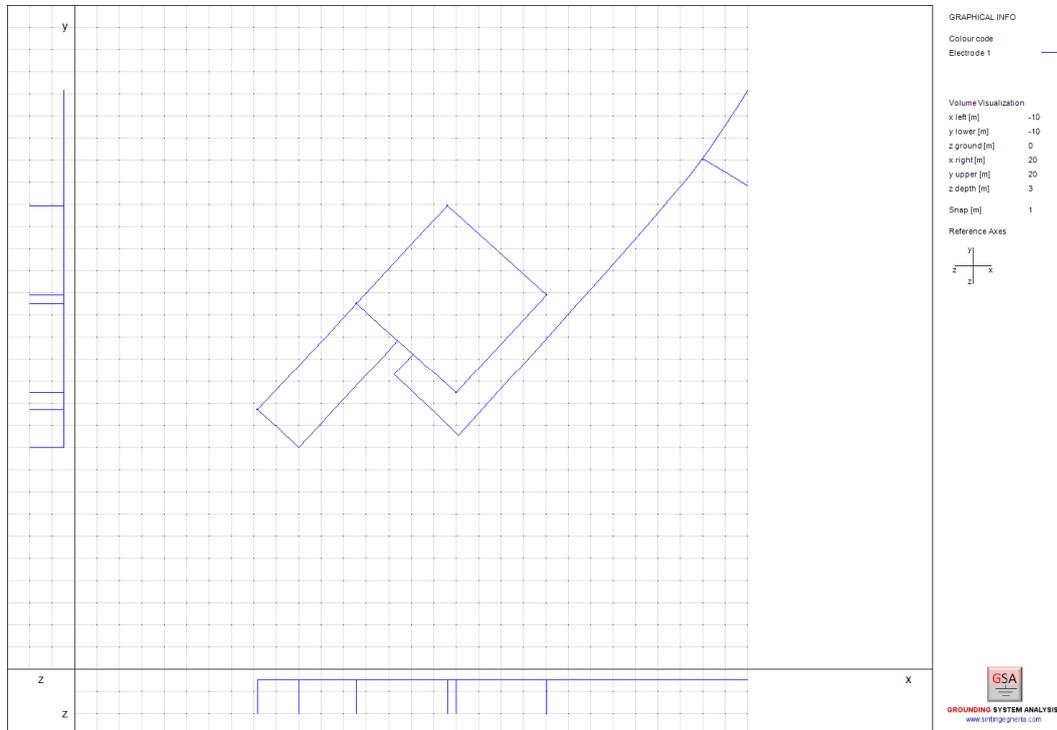


Figura 4 - Modello dispersore – particolare cabina e GE

Il tipo di impianto rientra nell'ambito degli ambienti normali, per cui il valore del limite di contatto è pari a 50 V. Data la geometria del dispersore, il valore della resistenza totale di terra  $R_E$ , calcolato da GSA, risulta pari a 7.37  $\Omega$

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>IG51-01-E-CV-CL-NV2100-004-A00.DOC</p>	<p>Foglio 20 di 20</p>

Per il valore della corrente di intervento del dispositivo automatico, si considera il valore di 3 A ovvero il massimo valore presente nell'impianto.

Dalle considerazioni di cui sopra, vale quanto segue:

$$I_{dn} < \frac{V_L}{R_E} \rightarrow 3 < \frac{50}{7.37} = 6.78$$

**La verifica è pertanto positiva e l'impianto risulta protetto nei confronti dei contatti indiretti per effetto dell'intervento dei dispositivi automatici installati.**