

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE:



DIREZIONE TECNICA

U.O. TECNOLOGIE CENTRO

PROGETTO DEFINITIVO

ITINERARIO NAPOLI – BARI
RADDOPPIO BOVINO – ORSARA

SSE BOVINO

Relazione e progetto impianto di terra

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.


I F 1 W 0 0 D 1 8 C L S E 0 1 0 0 0 0 1 A

| Rev. | Descrizione | Redatto | Data | Verificato | Data | Approvato | Data | Autorizzato Data |
|------|----------------------|-----------------------------|------------------|-----------------------------|------------------|---------------------------|------------------|------------------------------------|
| A | EMISSIONE DEFINITIVA | G.Trezza <i>G.Trezza</i> | Novembre 2018 | G.Trezza <i>G.Trezza</i> | Novembre 2018 | D.Aprea <i>D.Aprea</i> | Novembre 2018 | G.Guidi Buffarini Novembre 2018 |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

ITALFERR S.p.A.
U.O. Tecnologie Centro
Ing. Guido Buffarini
Ordine Ingegneri Provincia di Bari
n° 77812


File: IF1W00D18CLSE0100001A.doc

n. Elab.: 407_1

| | | | | | | |
|--|--|------------------|----------------|-------------------------|-----------|-------------------|
|  ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO BOVINO - ORSARA | | | | | |
| SSE BOVINO RELAZIONE PROGETTO IMPIANTO DI TERRA | COMMESSA IF1W | LOTTO 00 D 18 | CODIFICA CL | DOCUMENTO SE0100 001 | REV. A | FOGLIO 2 di 20 |

INDICE

| | | |
|--------------|--|-----------|
| 1.-.. | PREMESSA E SCOPO | 3 |
| 1. | RIFERIMENTI | 4 |
| 1.1.-.. | RIFERIMENTI NORMATIVI | 4 |
| 1.2.-.. | RIFERIMENTI AD ELABORATI DI PROGETTO..... | 5 |
| 2.-.. | CONFIGURAZIONE DELL'IMPIANTO..... | 6 |
| 2.1.-.. | IMPIANTO DI TERRA DI PIAZZALE | 6 |
| 3.-.. | DIMENSIONAMENTO | 7 |
| 3.1.-.. | CALCOLO DELLA RESISTENZA DI TERRA DEL DISPERSORE | 7 |
| 3.2.-.. | VERIFICA DELLE TENSIONI DI PASSO E DI CONTATTO PER GUASTI IN C.A. | 9 |
| 3.2.1.-.. | <i>Scelta dei parametri progettuali.....</i> | 9 |
| 3.2.2.-.. | <i>Verifica delle tensioni di passo e di contatto.....</i> | 10 |
| 3.3.-.. | VERIFICA DELLE TENSIONI DI PASSO E DI CONTATTO PER GUASTI IN C.C. | 12 |
| 3.3.1.-.. | <i>Scelta dei parametri progettuali.....</i> | 12 |
| 3.3.2.-.. | <i>Verifica delle tensioni di passo e di contatto.....</i> | 14 |
| 3.4.-.. | DIMENSIONAMENTO IN RELAZIONE ALLA CORROSIONE E ALLE SOLLECITAZIONI MECCANICHE..... | 17 |
| 3.5.-.. | DIMENSIONAMENTO CON RIFERIMENTO AL COMPORTAMENTO TERMICO | 18 |
| 4.-.. | CONCLUSIONI | 20 |

| | | | | | | |
|--|---|------------------|----------------|-------------------------|-----------|-------------------|
|  <p>ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> | ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO BOVINO - ORSARA | | | | | |
| SSE BOVINO RELAZIONE PROGETTO IMPIANTO DI TERRA | COMMESSA IF1W | LOTTO 00 D 18 | CODIFICA CL | DOCUMENTO SE0100 001 | REV. A | FOGLIO 3 di 20 |

1.-. **PREMESSA E SCOPO**

Nella presente relazione tecnica viene descritto il dimensionamento dell'impianto di terra che è stato adattato alla trasformazione della Cabina TE in SSE, che sarà prevista sulla tratta Apice-Orsara nell'ambito della realizzazione della Nuova Linea Napoli-Bari.

Al presente documento verrà allegata la relazione già realizzata nell'ambito della costruzione della Cabina TE, ove sono presenti i parametri utilizzati per il calcolo:


- Resistività del terreno;
- Resistività, lunghezza e diametro dei picchetti utilizzati;
- Sezione della corda di terra;

La presente relazione illustra i calcoli sviluppati per poter garantire la sicurezza della vita umana e l'integrità dei componenti elettrici collegati al sistema.

A tal fine saranno prese a riferimento le norme tecniche vigenti e verranno tenuti in debita considerazione anche i criteri progettuali e costruttivi di Italferr/RFI, dato il particolare carattere dell'impianto in oggetto.

La SSE di BOVINO è costruita su di un'area di circa 7300m², come si evince dall'elaborato:

- **IF1W00D18P9SE0100006**: SSE BOVINO – Piazzale di SSE / Impianto di terra.

| | | | | | | |
|---|---|------------------|----------------|-------------------------|-----------|-------------------|
|  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> | ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO BOVINO - ORSARA | | | | | |
| SSE BOVINO RELAZIONE PROGETTO IMPIANTO DI TERRA | COMMESSA IF1W | LOTTO 00 D 18 | CODIFICA CL | DOCUMENTO SE0100 001 | REV. A | FOGLIO 4 di 20 |

1. RIFERIMENTI


La presente relazione di calcolo, nonché tutta la documentazione progettuale che verrà successivamente citata, è conforme alle prescrizioni tecniche contenute nelle Norme CEI e le norme tecniche di RFI.

Nei punti seguenti vengono citati i principali documenti tecnici cui nel prosieguo della relazione verrà fatto esplicito od implicito riferimento.

1.1.-..RIFERIMENTI NORMATIVI

Per la esecuzione del presente progetto sono state adottate le Norme CEI nella loro edizione più recente nonché le Norme Tecniche, Istruzioni e Circolari RFI vigenti, delle quali si elencano qui di seguito le principali:

- **NT TE118:** Norme Tecniche per la costruzione delle condutture di contatto e di alimentazione a corrente continua a 3kV;
- **RFI DMA IM LA SP IFS 370 A:** Dispositivo di collegamento del negativo 3kVcc all'impianto di terra di SSE e cabine TE;
- **Norme CEI EN50119 (9.2):** Linee di Trazione Elettrica;
- **Norme CEI EN50122-1 (9.6):** Applicazioni ferroviarie – Installazioni fisse; Parte 1^a: Provvedimenti concernenti la sicurezza elettrica e la messa a terra;
- **Norme CEI EN 50522** Messa a terra degli impianti elettrici a tensione superiore a 1 kV in c.a.;
- **Norme CEI EN60865 -1 (11-26):** Correnti di corto circuito – Calcolo degli effetti; parte 1^a: Definizioni e metodi di calcolo;
- **Istruzione FS C.3/70:** Istruzione per il circuito di ritorno TE e per i circuiti di terra sulle linee elettrificate a 3kV;
- **D.M. 22-1-2008 n. 37:** Regolamento concernente l'attuazione dell'articolo 11- quaterdecies, comma 13, lettera a) della legge n. 248 del 2 dicembre 2005, recante riordino delle disposizioni in materia di attività di installazione degli impianti all'interno degli edifici;
- **DL n°81 del 9.04.2008** concernente le procedure di attuazione per la sicurezza sul lavoro;
- **ANSI / IEEE Std 80:** Guide for Safety in AC Substation Grounding;


| | | | | | | |
|--|--|------------------|----------------|-------------------------|-----------|-------------------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO BOVINO - ORSARA | | | | | |
| SSE BOVINO RELAZIONE PROGETTO IMPIANTO DI TERRA | COMMESSA IF1W | LOTTO 00 D 18 | CODIFICA CL | DOCUMENTO SE0100 001 | REV. A | FOGLIO 5 di 20 |

Per quanto non esplicitamente indicato, dovranno in ogni caso essere sempre adottate tutte le indicazioni normative e di legge atte a garantire la realizzazione dell'impianto a regola d'arte e nel rispetto della sicurezza.

1.2.-..RIFERIMENTI AD ELABORATI DI PROGETTO

Per i riferimenti progettuali impliciti, sono stati presi in esame gli elaborati di progetto qui di seguito elencati:

- **IF1W00D18DXSE0100001**: SSE BOVINO – Schema Elettrico Generale;
- **IF1W00D18P9SE0100004**: SSE BOVINO - Piazzale di SSE/Disposizione apparecchiature (Layout);
- **IF1W00D18P9SE0100006**: SSE BOVINO - Piazzale di SSE/Impianto di terra;
- **IF1W00D18PBSE0100002**: SSE BOVINO - Fabbricato di SSE - Impianto di terra e Relé di massa
- **Allegato**: Relazione di calcolo impianto di Terra.

| | | | | | | |
|---|--|------------------|----------------|-------------------------|-----------|-------------------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO BOVINO - ORSARA | | | | | |
| SSE BOVINO RELAZIONE PROGETTO IMPIANTO DI TERRA | COMMESSA IF1W | LOTTO 00 D 18 | CODIFICA CL | DOCUMENTO SE0100 001 | REV. A | FOGLIO 6 di 20 |

2.-.. CONFIGURAZIONE DELL'IMPIANTO

2.1.-..IMPIANTO DI TERRA DI PIAZZALE

Così come riportato sull'elaborato grafico:

- **IF1W00D18P9SE0100006**: SSE BOVINO - Piazzale di SSE/Impianto di terra;

l'impianto di terra di piazzale è costituito essenzialmente da un dispersore orizzontale a rete magliata realizzata in corda di rame nudo da 120mm², interrato a circa 100cm di profondità in corrispondenza delle zone interne e dell'anello perimetrale.


L'impianto sarà integrato con dispersori verticali, costituiti da puntazze in acciaio ramato infisse nel terreno corredate di pozzetti ispezionabili e dai "dispersori di fatto" rappresentati dalle armature metalliche relative alle fondazioni sia del fabbricato sia delle apparecchiature di piazzale.

Il numero, la collocazione e le dimensioni dei dispersori verticali verranno verificati nell'ambito del presente documento, trascurando, a titolo precauzionale, il contributo dei dispersori di fatto.

In caso di guasto, tanto la tensione di passo e che la tensione di contatto (definite dalla norma CEI EN 50522 cap. 3.4.14, 3.4.15, 3.4.16) possono assumere valori pericolosi nell'area di sottostazione e pertanto il progetto del dispersore verrà eseguito con particolare riferimento a questi valori.

Solo nelle zone periferiche, cioè in prossimità del conduttore perimetrale, le tensioni di passo possono assumere valori più elevati. Per fronteggiare questa evenienza, i conduttori perimetrali saranno interrati a profondità maggiore in modo da modificare il profilo del gradiente di potenziale.

Ad ogni buon conto, anche le tensioni di passo nella zona a ridosso della recinzione saranno oggetto di verifica.

| | | | | | | |
|--|---|------------------|------------------|----------------|-------------------------|-----------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO BOVINO - ORSARA | | | | | |
| | SSE BOVINO RELAZIONE PROGETTO IMPIANTO DI TERRA | COMMESSA IF1W | LOTTO 00 D 18 | CODIFICA CL | DOCUMENTO SE0100 001 | REV. A |

3.-. DIMENSIONAMENTO

3.1.-. CALCOLO DELLA RESISTENZA DI TERRA DEL DISPERSORE

Come mostrato dal citato elaborato:

- **IF1W00D18P9SE0100006**: SSE BOVINO - Piazzale di SSE/Impianto di terra;

Il dispersore di piazzale è costituito da una rete magliata di superficie pari a circa 5860m², con lato di magliatura mediamente pari a circa 5m.

Per la determinazione della resistenza di terra R_t del dispersore è essenziale conoscere il valore ρ_t della resistività del terreno.

In accordo a quanto indicato nella tabella J.1 dell'allegato J (Norma CEI EN 50522):

Tabella J.1 - Resistività del terreno per correnti alternate
(Gamma dei valori che sono stati misurati frequentemente)

| Tipo di terreno | Resistività del terreno ρ _E Ωm | |
|---------------------------|--|---------|
| Terreno paludoso | da 5 | a 40 |
| Terriccio, argilla, humus | da 20 | a 200 |
| Sabbia | da 200 | a 2 500 |
| Ghiaietto | da 2 000 | a 3 000 |
| Pietrisco | Per lo più sotto 1 000 | |
| Arenaria | da 2 000 | a 3 000 |
| Granito | fino a 50 000 | |
| Morena | fino a 30 000 | |

per quanto riguarda la resistività elettrica del terreno superficiale si assume cautelativamente un valore pari a:

$$\rho_E = 100\Omega m$$


mentre per gli strati più profondi, destinati ad accogliere i dispersori verticali a picchetto, si assume un valore medio pari a:

$$\rho_P = 500\Omega m$$

La resistenza R_r della rete magliata può essere calcolata con la formula (CEI 50522, allegato J2)

$$R_r = \frac{\rho_E}{2D}$$

dove D è il diametro del cerchio di area equivalente alla rete magliata, pari a circa 86m.

| | | | | | | |
|---|---|------------------|------------------|----------------|-------------------------|-----------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO BOVINO - ORSARA | | | | | |
| | SSE BOVINO RELAZIONE PROGETTO IMPIANTO DI TERRA | COMMESSA IF1W | LOTTO 00 D 18 | CODIFICA CL | DOCUMENTO SE0100 001 | REV. A |

Sostituendo i valori numerici si ricava il seguente valore:

$$R_r = 0,581\Omega$$

L'impianto era costituito da dispersori verticali, costituiti da paletti di acciaio ramato di diametro pari a 20mm e lunghezza 4,5m, ciascuno dei quali presenta una resistenza di terra R'_p pari a:

$$R'_p = \frac{\rho}{2\pi L} \times \ln \frac{4 \cdot L}{d}$$

in cui L e d sono rispettivamente la profondità d'infissione (lunghezza) ed il diametro del tondo di cui è costituito il picchetto. Con i valori già forniti, si ottiene:

$$R_{p1}' = 121,2\Omega$$

Ai fini della verifica verranno considerati n°25 picchetti distribuiti nel piazzale di SSE; pertanto la resistenza di terra dei picchetti, considerati in parallelo, sarà:

$$R_{PP1} = R_{p1}' / 25 = 4,85\Omega$$

L'impianto sarà integrato da dispersori verticali aggiuntivi, costituiti da paletti di acciaio ramato di diametro pari a 20mm e lunghezza 9m, ciascuno dei quali presenta una resistenza di terra R'_p pari a:

$$R_{p2}' = 66\Omega$$


Ai fini della verifica verranno considerati n°15 picchetti distribuiti nel piazzale di SSE; pertanto la resistenza di terra dei picchetti, considerati in parallelo, sarà:

$$R_{PP2} = R_{p2}' / 15 = 4,40\Omega$$

La resistenza totale del sistema costituito dai picchetti è la seguente:

$$R_{pp} = \frac{R_{pp1} R_{pp2}}{R_{pp1} + R_{pp2}} = 2,3\Omega$$

Pertanto la resistenza teorica totale R_T dell'intero dispositivo di dispersione, costituito dal parallelo dei due dispersori parziali (rete e picchetti) sarà pari a:

| | | | | | | |
|--|---|------------------|------------------|----------------|-------------------------|-----------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO BOVINO - ORSARA | | | | | |
| | SSE BOVINO RELAZIONE PROGETTO IMPIANTO DI TERRA | COMMESSA IF1W | LOTTO 00 D 18 | CODIFICA CL | DOCUMENTO SE0100 001 | REV. A |

$$R_T = \frac{R_r R_{pp}}{R_r + R_{pp}} = 0,46 \Omega$$

Si noti che nella determinazione di R_T non si è tenuto conto del contributo (tutt'altro che trascurabile) dei dispersori di fatto.

3.2.-..VERIFICA DELLE TENSIONI DI PASSO E DI CONTATTO PER GUASTI IN C.A.

3.2.1.-..SCELTA DEI PARAMETRI PROGETTUALI

I parametri significativi per il dimensionamento dell'impianto di terra sono:

- la corrente totale di guasto a terra I_{GT} ;
- il tempo d'eliminazione del guasto t_G ;

La corrente di guasto I_{GT} da introdurre nel calcolo è quella che circola per effetto del cedimento dell'isolamento del sistema elettrico d'alimentazione. Tale corrente, che dipende dalle caratteristiche della rete di alimentazione in AT, è fornita dall'Ente produttore insieme al tempo d'eliminazione del guasto.

In questa fase di progetto viene utilizzato come valore di corrente di guasto e tempo di intervento delle protezioni, quelli già adottati nelle tratte precedenti. Nel seguito del progetto, sarà cura dell'appaltatore chiedere i valori locali per la SSE in oggetto.


Il valore ipotizzato per la corrente di guasto è:

$$I_t = 10 \text{ Ka } (*),$$

mentre come tempo di eliminazione del guasto da parte delle protezioni a monte si assume il valore tipologico di:

$$t_G = 0,5 \text{ s.}$$

(*) Nota: Tale valore è stato desunto dal documento "Qualità del servizio di trasmissione – valori minimi e massimi convenzionali della corrente di corto circuito e della potenza di corto circuito della rete rilevante con tensione 380-220-150-132 kV – anno 2016" in riferimento alla stazione TERNA esistente di Bovino.

| | | | | | | |
|---|--|------------------|------------------|----------------|-------------------------|-----------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO BOVINO - ORSARA | | | | | |
| | SSE BOVINO RELAZIONE PROGETTO IMPIANTO DI TERRA | COMMESSA IF1W | LOTTO 00 D 18 | CODIFICA CL | DOCUMENTO SE0100 001 | REV. A |

3.2.2.-.VERIFICA DELLE TENSIONI DI PASSO E DI CONTATTO

Il dispersore così dimensionato dovrà essere tale da impedire che, con la corrente di guasto a terra di cui al precedente paragrafo si verificano in qualsivoglia punto dell'impianto tensioni di contatto e di passo pari o superiori ai valori della seguente tabella:

Tensione ammissibile nel corpo umano in funzione della durata del guasto (EN 50522 tab. B.3)

| Tempo di eliminazione del guasto [s] | Tensione [V] |
|--------------------------------------|--------------|
| 0,05 | 716 |
| 0,10 | 654 |
| 0,20 | 537 |
| 0,50 | 220 |
| 1,00 | 117 |
| 2,00 | 96 |
| 5,00 | 86 |
| 10,00 | 85 |

Nel caso in esame (tempo di intervento delle protezioni pari a 0,5s), interpolando i valori della tabella si ottiene che il valore di tensione da non superare è pari a:

$$U_{tp} = 220.$$


Poiché, specialmente nelle zone interne alla rete di terra, la tensione di contatto V_c assume valori sempre superiori a quelli della tensione di passo V_p , conviene riferirsi alla prima, il cui valore, per il dispersore impiegato, viene fornito dalla formula semiempirica:

$$V_c = 0,7 \frac{\rho_E \cdot I_{tr}}{L_M}$$

in cui I_{tr} è l'aliquota della corrente di terra I_t dispersa dal solo dispersore a rete magliata e L_M è lo sviluppo totale della magliatura, che nel caso specifico vale $L_M=2410m$.

Poiché la rete ed il sistema dei paletti aggiuntivi si ripartiscono la corrente di terra in ragione inversa delle loro resistenze di terra, si ricava:

$$I_{tr} = I_t \frac{R_{pp}}{R_r + R_{pp}} = 7983 A$$

| | | | | | | |
|--|---|------------------|------------------|----------------|-------------------------|-----------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO BOVINO - ORSARA | | | | | |
| | SSE BOVINO RELAZIONE PROGETTO IMPIANTO DI TERRA | COMMESSA IF1W | LOTTO 00 D 18 | CODIFICA CL | DOCUMENTO SE0100 001 | REV. A |

$$I_{ip} = I_t \frac{R_r}{R_r + R_{pp}} = 4840 \text{ A}$$

e, con gli altri valori precedentemente forniti, risulta:

$$V_c = 232 \text{ V}$$

Tale valore risulta superiore a quello limite di 220V, pertanto l'impianto così configurato non può considerarsi sufficiente alla protezione nei confronti di tensionamenti indebiti; ma avendo applicato i provvedimenti M consentiti dalla norma CEI EN 50522 (Allegato E), il limite che si deve rispettare per avere un impianto che risulti protetto è:

$$U_E \leq 4xU_{TP}$$

nel nostro caso abbiamo:

$$U_E = 220*4 = 880V \leq 232V$$

La relazione è verificata quindi l'impianto risulta protetto pertanto l'impianto così configurato può considerarsi sufficiente alla protezione nei confronti di tensionamenti indebiti.

Si verifica il valore della tensione di contatto applicando i criteri presenti nell'allegato A della Norma CEI EN 50522, per cui:

$$U'_{TP} = \frac{I_b * Z_t * BF}{HF}$$

nella quale i simboli hanno il significato riportato di seguito:

- Limite di corrente nel corpo umano:

$$I_b = 0,45 \text{ A (ottenuto interpolando i valori di tabella B.1 dell'allegato A per } t = 0,3s);$$

- Fattore cardiaco di corrente:


$$HF = 1,0$$

- Impedenza corporea:

$$Z_t = 900\Omega \text{ (ottenuto interpolando i valori di tabella B.2 dell'allegato A per } V = 431,3V);$$

- Fattore corporeo:

$$BF = 0,5 \text{ (contatto con entrambe le mani ed entrambi i piedi).}$$

| | | | | | | |
|--|--|------------------|------------------|----------------|-------------------------|-----------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO BOVINO - ORSARA | | | | | |
| | SSE BOVINO RELAZIONE PROGETTO IMPIANTO DI TERRA | COMMESSA IF1W | LOTTO 00 D 18 | CODIFICA CL | DOCUMENTO SE0100 001 | REV. A |

Con i valori riportati la tensione di contatto ammissibile assume il nuovo valore:

$$U'_{TP} = 202,5V < U_{TP}$$

Nelle zone più periferiche del piazzale conviene valutare anche il valore che assume la tensione di passo V_p , poiché in corrispondenza del perimetro esterno la dispersione di corrente è più attiva e quindi aumentano i gradienti di potenziale.

Per le zone suddette viene impiegata la formula prudenziale:

$$V_p = 4 \cdot \frac{\rho_E \cdot I_{tr}}{d^2}$$

che tiene conto dei fenomeni suddetti maggiorando il valore della V_p di oltre tre volte rispetto a quelli che la stessa tensione di passo assume all'interno della rete. Nella formula il termine "d" rappresenta la diagonale della superficie rettangolare occupata dalla rete di terra, che nel caso in oggetto è pari a circa 115m.

Sostituendo i valori, si ha:

$$V_p = 241 V$$

Tale valore risulta superiore a quello limite di 202,5 V pertanto sarà necessario utilizzare opportuni provvedimenti migliorativi.

3.3.-..VERIFICA DELLE TENSIONI DI PASSO E DI CONTATTO PER GUASTI IN C.C.


3.3.1.-..SCELTA DEI PARAMETRI PROGETTUALI

In caso di guasto del sistema in corrente continua, la corrente di guasto può essere calcolata con il rapporto tra la tensione a vuoto del sistema elettrico di trazione e l'impedenza totale data dalla somma di quella propria della SSE e della resistenza di terra dell'impianto.

Tale rapporto, in base ai valori della tensione $V=3,6$ kV e dell'impedenza $Z=0,56$ Ω (supponendo l'impedenza di SSE pari a 0,1 Ω e quella dell'impianto di terra pari a 0,46 Ω), risulta di circa 6428A che, considerando il contributo delle SSE limitrofe, viene cautelativamente aumentato al valore:

$$I_G = 12 \text{ kA.}$$

Le protezioni dai guasti TE sono costituite dagli interruttori extrarapidi e dagli ultrarapidi di gruppo, il cui tempo d'intervento viene normalmente assunto pari a:

| | | | | | | |
|--|---|------------------|------------------|----------------|-------------------------|-----------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO BOVINO - ORSARA | | | | | |
| | SSE BOVINO RELAZIONE PROGETTO IMPIANTO DI TERRA | COMMESSA IF1W | LOTTO 00 D 18 | CODIFICA CL | DOCUMENTO SE0100 001 | REV. A |

$$t = 0,1s$$

Per la determinazione della reale corrente di terra I_t che il dispersore di SSE è chiamato a smaltire, in questo caso non si può prescindere dall'effetto disperdente dei binari, cui l'impianto di terra principale è connesso tramite una valvola di tensione, valutando l'aliquota I_b della corrente di guasto che, fin dai primissimi istanti del corto circuito, fluisce verso il binario attraverso il collegamento dispersore – diodo – negativo – binario, e decurtando la corrente totale di guasto I_g di questa quantità.

Infatti, dopo il tempo t_v di intervento del cortocircuitatore (si assume realisticamente $t_v=0,01s$), si chiude il collegamento diretto tra questi due dispersori, il che consente al binario di dissipare la maggior parte della corrente di guasto, riservando alla rete di terra il compito di disperdere solo la quantità residua.

Detti r_b e g_b rispettivamente la resistenza unitaria e la conduttanza unitaria di un binario 60UNI, cui vengono mediamente attribuiti i valori:

$$r_b = 0,021 \Omega/km \qquad g_b = 0,1 S/km$$

si ricava la resistenza di questo dispersore di "soccorso" mediante l'espressione:

$$R_b = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{r_b}{g_b}} = 0,229 \Omega$$

La corrente di guasto I_t realmente dispersa dalla rete di terra di SSE viene calcolata dunque mediante l'espressione:

$$I_t = I_G \cdot \frac{R_b}{R_T + R_b}$$


e, con i valori già forniti per le varie grandezze, vale:

$$I_t = 3988 A$$

La residua parte:

$$I_b = I_G - I_t \approx 8012 A$$

verrà invece dispersa dai binari.

| | | | | | | |
|---|--|------------------|------------------|----------------|-------------------------|-----------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO BOVINO - ORSARA | | | | | |
| | SSE BOVINO RELAZIONE PROGETTO IMPIANTO DI TERRA | COMMESSA IF1W | LOTTO 00 D 18 | CODIFICA CL | DOCUMENTO SE0100 001 | REV. A |

3.3.2.-.VERIFICA DELLE TENSIONI DI PASSO E DI CONTATTO

Il dispersore così dimensionato dovrà essere tale da impedire che, con la corrente di guasto a terra di cui al precedente paragrafo si verificano in qualsivoglia punto dell'impianto tensioni di contatto e di passo pari o superiori ai valori della seguente tabella:

Condizioni di breve durata (EN 50122 tab. 6)

| Tempo di eliminazione del guasto [s] | Tensione [V] |
|--------------------------------------|--------------|
| 0,02 | 870 |
| 0,05 | 735 |
| 0,10 | 625 |
| 0,20 | 520 |
| 0,30 | 460 |
| 0,40 | 420 |
| 0,50 | 385 |
| 0,60 | 360 |
| 0,70 | 350 |

Nel caso in esame (tempo di intervento delle protezioni pari a 0,1s) si ottiene che il valore di tensione da non superare è pari a:

$$U_{tp} = 625V.$$


Poiché, specialmente nelle zone interne alla rete di terra, la tensione di contatto V_c assume valori sempre superiori a quelli della tensione di passo V_p , conviene riferirsi alla prima, il cui valore, per il dispersore impiegato, viene fornito dalla formula semiempirica:

$$V_c = 0,7 \frac{\rho_E \cdot I_{tr}}{L_M}$$

in cui I_{tr} è l'aliquota della corrente di terra I_t dispersa dal solo dispersore a rete magliata ed L_M è lo sviluppo complessivo della rete di terra, nel caso specifico pari a $L_M=2410m$.

.Poiché la rete ed il sistema dei paletti aggiuntivi si ripartiscono la corrente di terra in ragione inversa delle loro resistenze di terra, si ricava:

$$I_{tr} = I_t \frac{R_{pp}}{R_r + R_{pp}} = 3184A$$

| | | | | | | |
|---|--|------------------|------------------|----------------|-------------------------|-----------|
|  ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO BOVINO - ORSARA | | | | | |
| | SSE BOVINO RELAZIONE PROGETTO IMPIANTO DI TERRA | COMMESSA IF1W | LOTTO 00 D 18 | CODIFICA CL | DOCUMENTO SE0100 001 | REV. A |

$$I_{ip} = I_t \frac{R_r}{R_r + R_{pp}} = 804 \text{ A}$$

e, con gli altri valori precedentemente forniti, risulta:

$$V_c = 92,5V$$

Tale valore risulta inferiore a quello limite di 385V, pertanto l'impianto così configurato può considerarsi sufficiente alla protezione nei confronti di tensionamenti indebiti.

Si verifica il valore della tensione di contatto applicando i criteri presenti nell'allegato A della Norma CEI EN 50522, per cui:

$$U'_{TP} = \frac{I_b * Z_t * BF}{HF}$$

nella quale i simboli hanno il significato riportato di seguito:

- Limite di corrente nel corpo umano:

$$I_b = 0,75 \text{ A (ottenuto interpolando i valori di tabella B.1 dell'allegato A per } t = 0,1s);$$

- Fattore cardiaco di corrente:

$$HF = 1,0$$

- Impedenza corporea:

$$Z_t = 800\Omega \text{ (ottenuto interpolando i valori di tabella B.2 dell'allegato A per } V = 625V);$$


- Fattore corporeo:

$$BF = 0,5 \text{ (contatto con entrambe le mani ed entrambi i piedi).}$$

Con i valori riportati la tensione di contatto ammissibile assume il nuovo valore:

$$U'_{TP} = 300V < U_{TP}$$

Nelle zone più periferiche del piazzale conviene valutare anche il valore che assume la tensione di passo V_p , poiché in corrispondenza del perimetro esterno la dispersione di corrente è più attiva e quindi aumentano i gradienti di potenziale.

| | | | | | | |
|--|---|------------------|----------------|-------------------------|-----------|--------------------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO BOVINO - ORSARA | | | | | |
| SSE BOVINO RELAZIONE PROGETTO IMPIANTO DI TERRA | COMMESSA IF1W | LOTTO 00 D 18 | CODIFICA CL | DOCUMENTO SE0100 001 | REV. A | FOGLIO 16 di 20 |

Per le zone suddette viene impiegata la formula prudenziale:

$$V_p = 4 \cdot \frac{\rho_E \cdot I_{tr}}{d^2}$$

che tiene conto dei fenomeni suddetti maggiorando il valore della V_p di oltre tre volte rispetto a quelli che la stessa tensione di passo assume all'interno della rete. Nella formula il termine "d" rappresenta la diagonale della superficie rettangolare occupata dalla rete di terra, che nel caso in oggetto è pari a circa 115m.

Sostituendo i valori, si ha:

$$V_p = 96,3V$$

Pur risultando tale valore inferiore a quello massimo ammissibile di 385V esposto nella precedente tabella per $t \approx 0,5s$.

3.4.--DIMENSIONAMENTO IN RELAZIONE ALLA CORROSIONE E ALLE SOLLECITAZIONI MECCANICHE

I dispersori, essendo direttamente a contatto con il terreno, devono essere costruiti con materiale in grado di sopportare la corrosione. Essi devono resistere alle sollecitazioni meccaniche durante la loro installazione e a quelle che si verificano durante il servizio ordinario.

L'allegato C della norma CEI EN 50522, fornisce i valori minimi della sezione dei conduttori per garantire la resistenza meccanica e alla corrosione.

Allegato C (normativo)


Materiale e dimensioni minime dei dispersori per garantirne la resistenza meccanica e alla corrosione

| Materiale | Tipo di dispersore | Dimensione minima | | | | | |
|----------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|----------------------------|-------------------|-------------------------|----------------------|----|
| | | Corpo | | | Rivestimento/guaina | | |
| | | Diametro mm | Sezione mm ² | Spessore mm | Valori singoli µm | Valori medi µm | |
| Acciaio | Zincato a caldo | Piattina ^(b) | 90 | 3 | 63 | 70 | |
| | | Profilati (incl. piatti) | 90 | 3 | 63 | 70 | |
| | | Tubo | 25 | | 2 | 47 | 55 |
| | | Barra tonda per picchetto | 16 | | | 63 | 70 |
| | | Tondo per dispersore orizzontale | 10 | | | | 50 |
| | Con guaina di piombo ^(a) | Tondo per dispersore orizzontale | 8 | | | 1 000 | |
| | Con guaina di rame estrusa | Barra tonda per picchetto | 15 | | | 2 000 | |
| Con guaina di rame elettrolitico | Barra tonda per picchetto | 14,2 | | | 90 | 100 | |
| Rame | Nudo | Piattina | | 50 | 2 | | |
| | | Tondo per dispersore orizzontale | | 25 ^(c) | | | |
| | | Corda | 1,8 ^(d) | 25 | | | |
| | | Tubo | 20 | | 2 | | |
| | Stagnato | Corda | 1,8 ^(d) | 25 | | 1 | 5 |
| | Zincato | Piattina | | 50 | 2 | 20 | 40 |
| | Con guaina di piombo ^(a) | Corda | 1,8 ^(d) | 25 | | 1 000 | |
| | Filo tondo | | 25 | | 1 000 | | |

(a) Non idoneo per posa diretta in calcestruzzo. Si raccomanda di non usare il piombo per ragioni di inquinamento.
(b) Piattina, arrotondata o tagliata con angoli arrotondati.
(c) In condizioni eccezionali, dove l'esperienza mostra che il rischio di corrosione e di danno meccanico è estremamente basso, si può usare 16 mm².
(d) Per fili singoli.

Dimensioni minime dei conduttori – EN50522

Quindi nel caso di conduttore in corda di rame, la sezione minima indicata dalla norma è pari a 25 mm² rispettata dalla scelta del conduttore di rame nudo da 120 mm² ipotizzato per la rete di terra in esame.

| | | | | | | |
|--|--|------------------|------------------|----------------|-------------------------|-----------|
|  ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO BOVINO - ORSARA | | | | | |
| | SSE BOVINO RELAZIONE PROGETTO IMPIANTO DI TERRA | COMMESSA IF1W | LOTTO 00 D 18 | CODIFICA CL | DOCUMENTO SE0100 001 | REV. A |

3.5.-...DIMENSIONAMENTO CON RIFERIMENTO AL COMPORTAMENTO TERMICO

Il calcolo della sezione dei conduttori di terra o dei dispersori di protezione, in funzione del valore e della durata della corrente di guasto è indicato nell'allegato D della norma CEI EN 50522.

La metodologia proposta fa una distinzione in funzione della durata del guasto. In particolare, nel caso in cui il guasto abbia una durata inferiore a 5 s, l'aumento di temperatura è considerato come un fenomeno adiabatico e la sezione minima del conduttore di terra o del dispersore è pari a:

$$A = \frac{I}{k} \sqrt{\frac{t_f}{\ln \frac{\theta_f + \beta}{\theta_i + \beta}}}$$

Dove:

A = *sezione trasversale del conduttore [mm²]*

I = $I_F \cdot k_M$ - *corrente di guasto [A]*

k_M = *fattore di divisione*

I_F = *Valore di corrente di guasto a terra [A]*

t_f = *tempo di durata del guasto [sec]*

k = *costante che dipende dal materiale; per rame $k = 226$*


β = *costante che dipende dal materiale; per rame $\beta = 234,5$*

θ_i = *temperatura iniziale del conduttore [°C]*

θ_f = *temperatura finale del conduttore [°C]*

Come indicato dalla norma EN 50522, è possibile considerare i seguenti valori di temperature per il conduttore del sistema di messa a terra:

$$\theta_i = 20^\circ\text{C} \text{ e } \theta_f = 300^\circ\text{C}$$

| | | | | | | |
|--|---|------------------|------------------|----------------|-------------------------|-----------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO BOVINO - ORSARA | | | | | |
| | SSE BOVINO RELAZIONE PROGETTO IMPIANTO DI TERRA | COMMESSA IF1W | LOTTO 00 D 18 | CODIFICA CL | DOCUMENTO SE0100 001 | REV. A |

Ciascuna struttura metallica di sostegno agli apparati MT (3kV) sarà connessa al sistema di messa a terra attraverso due conduttori da 120mm² connessi in due punti differenti dell'impianto. Con questa configurazione è possibile affermare che la corrente di guasto si dividerà nei diversi conduttori.

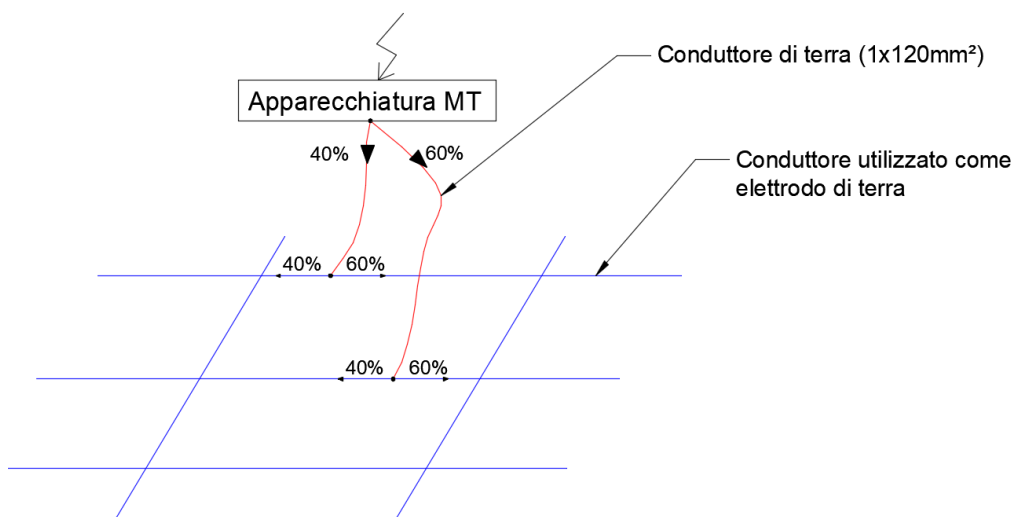


Fig. 1 – fattore di divisione k_M


Come mostrato dalla figura, in via cautelativa è stato considerato un conduttore più carico – rapporto 60/40 ($k_M = 0,6$).

Nella tabella seguente è mostrato che le sezioni adottate sono adeguate alle sezioni minime calcolate con le formule prescritte dalla norma.

| Conduttore di Terra | | | | | | | | | |
|---------------------|-----|-------|-----|----------|-------|------------|------------|---|---|
| IF [A] | kM | I [A] | k | tf [sec] | b | θ_f | θ_i | Sezione trasversale minima - A [mm ²] | Sezione trasversale utilizzata - A [mm ²] |
| 10000 | 0,6 | 6000 | 226 | 0,5 | 234,5 | 300 | 20 | 21,83 | 120 |

| Conduttore di terra utilizzato come elettrodo di terra (Maglia di terra) | | | | | | | | | |
|--|-----|-------|-----|----------|-------|------------|------------|---|---|
| IF [A] | kM | I [A] | k | tf [sec] | b | θ_f | θ_i | Sezione trasversale minima - A [mm ²] | Sezione trasversale utilizzata - A [mm ²] |
| 6000 | 0,6 | 3600 | 226 | 0,5 | 234,5 | 300 | 20 | 13,09 | 120 |

Tab. – Dimensionamento termico - Calcolo della Sezione minima

| | | | | | | |
|---|--|------------------|----------------|-------------------------|-----------|--------------------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO BOVINO - ORSARA | | | | | |
| SSE BOVINO RELAZIONE PROGETTO IMPIANTO DI TERRA | COMMESSA IF1W | LOTTO 00 D 18 | CODIFICA CL | DOCUMENTO SE0100 001 | REV. A | FOGLIO 20 di 20 |

4.-.. CONCLUSIONI

Dalle ipotesi di calcolo effettuate e quanto confrontato rispetto ai valori suggeriti dalle Normative di riferimento per le tensioni contatto e per quelle di passo ammissibili dalle Normative Vigenti il progetto può ritenersi corretto.

Il dimensionamento dell'impianto di terra è stato condotto sulla base di 3 criteri fondamentali:

- Resistenza meccanica e alla corrosione;
- Tenuta termica;
- Sicurezza delle persone.

Si ricorda che il DPR 462 del 2001 prescrive, al Capo II, che la messa in esercizio degli impianti elettrici di messa a terra non può essere effettuata prima della verifica eseguita dall'installatore che deve rilasciare la dichiarazione di conformità. Tale dichiarazione equivale a tutti gli effetti ad omologazione dell'impianto.

Per quanto concerne le verifiche periodiche, lo stesso DPR (cfr. punto 4 Capo II) prescrive quanto segue:

“il datore di lavoro è tenuto ad effettuare regolare manutenzione dell'impianto, nonché a far sottoporre lo stesso a verifica periodica ogni 5 anni, ad esclusione di quelli installati nei cantieri, in locali adibiti ad uso medico e negli ambienti a maggior rischio in caso di incendio per i quali la periodicità è biennale.”

Pertanto, le successive verifiche saranno di competenza dell'Ente Distributore e di RFI per le rispettive parti d'impianto.

Le Sottostazioni elettriche devono quindi essere verificate a scadenze non superiori i 5 anni.

Inoltre, la norma tecnica TE 13 del 1984 stabilisce di verificare l'efficienza dell'impianto di terra mediante le seguenti prove periodiche:

- Misura della resistenza della maglia di terra;
- Verifica dell'integrità dei conduttori di protezione e dei conduttori di terra;
- Misura delle tensioni di passo e delle tensioni di contatto;

La stessa Norma Tecnica stabilisce anche le modalità di esecuzione delle prove da eseguire.