

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE



CUP: J47I09000030009

U.O. TECNOLOGIE NORD

PROGETTO DEFINITIVO

POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO – GENOVA

QUADRUPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA

FASE 1 – QUADRUPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE

SOTTOSTAZIONI ELETTRICHE

SSE di Pieve Emanuele - Relazione e progetto impianto di terra

SCALA:

-

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

N M 0 Z 1 0 D 5 8 C L S E 0 1 0 0 0 7 5 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	M. Arcieri	Nov. 2018	A. Sperduto	Nov. 2018	S. Borelli	Nov. 2018	M. Gambaro Novembre 2018



 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA FASE 1 – QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE					
	SSE PIEVE EMANUELE RELAZIONE PROGETTO IMPIANTO DI TERRA	COMMESSA NM0Z	LOTTO 10 D 58	CODIFICA CL	DOCUMENTO SE0100 075	REV. A

INDICE

1.-..	PREMESSA E SCOPO	3
2.-..	RIFERIMENTI	4
2.1.-..	RIFERIMENTI NORMATIVI	4
2.2.-..	RIFERIMENTI AD ELABORATI DI PROGETTO	5
3.-..	CRITERI PROGETTUALI	6
4.-..	CONFIGURAZIONE DELL'IMPIANTO	8
4.1.-..	IMPIANTO DI TERRA DI PIAZZALE	8
4.2.-..	IMPIANTO DI TERRA DEL FABBRICATO	9
5.-..	DIMENSIONAMENTO	11
5.1.-..	CALCOLO DELLA RESISTENZA DI TERRA DEL DISPERSORE	11
5.2.-..	VERIFICA DELLE TENSIONI DI PASSO E DI CONTATTO PER GUASTI IN C.A.	12
5.2.1.-..	<i>Scelta dei parametri progettuali</i>	<i>12</i>
5.2.2.-..	<i>Verifica delle tensioni di passo e di contatto.....</i>	<i>13</i>
5.3.-..	VERIFICA DELLE TENSIONI DI PASSO E DI CONTATTO PER GUASTI IN C.C.	16
5.3.1.-..	<i>Scelta dei parametri progettuali</i>	<i>16</i>
5.3.2.-..	<i>Verifica delle tensioni di passo e di contatto.....</i>	<i>17</i>
6.-..	CONCLUSIONI	20

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA FASE 1 – QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE					
	SSE PIEVE EMANUELE RELAZIONE PROGETTO IMPIANTO DI TERRA	COMMESSA NM0Z	LOTTO 10 D 58	CODIFICA CL	DOCUMENTO SE0100 075	REV. A

1.-. **PREMESSA E SCOPO**

Nella presente relazione tecnica viene descritto il dimensionamento dell'impianto di terra da realizzarsi nell'area della nuova SSE di Pieve Emanuele prevista sulla tratta Milano Rogoredo-Pavia nell'ambito del quadruplicamento della Linea Milano Rogoredo – Pieve Emanuele.

La presente relazione illustra i criteri tecnici adottati per il progetto del suddetto impianto, ed indica le prescrizioni da adottare per realizzare un impianto che garantisca la sicurezza della vita umana e l'integrità dei componenti elettrici collegati al sistema.

La SSE di Pieve Emanuele verrà costruita su di un'area di circa 5490m², come si evince dall'elaborato:

- **NM0Z10D58P9SE0100088**: SSE Pieve Emanuele – Piazzale di SSE / Impianto di terra.

Poiché nella suddetta sottostazione confluiscono sistemi elettrici di varie categorie, l'impianto di messa a terra oggetto della presente relazione tecnica dovrà soddisfare le esigenze di sicurezza di tutti i sistemi afferenti. Trattandosi inoltre di impianto ferroviario, verranno attuati i criteri progettuali previsti dalla normativa tecnica valida per gli impianti di trazione elettrica e, più in particolare, dalle Norme CEI citate nei successivi paragrafi.

Scopo della presente relazione è quello di fornire le soluzioni progettuali da adottare per la realizzazione dell'impianto di terra della nuova SSE. 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.

Le caratteristiche di dettaglio e la descrizione dei singoli elementi componenti sono desumibili dagli specifici elaborati grafici e tutte le prescrizioni tecniche desumibili dal Progetto Definitivo.

	PROGETTO DEFINITIVO QUADRUPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA FASE 1 – QUADRUPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE					
	SSE PIEVE EMANUELE RELAZIONE PROGETTO IMPIANTO DI TERRA	COMMESSA NM0Z	LOTTO 10 D 58	CODIFICA CL	DOCUMENTO SE0100 075	REV. A

2.-.. 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.

2.1.-..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;

	PROGETTO DEFINITIVO QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA FASE 1 – QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE					
	SSE PIEVE EMANUELE RELAZIONE PROGETTO IMPIANTO DI TERRA	COMMESSA NM0Z	LOTTO 10 D 58	CODIFICA CL	DOCUMENTO SE0100 075	REV. A

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.

2.2.-..RIFERIMENTI AD ELABORATI DI PROGETTO

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

- **NM0Z10D58DXSE0100077**: SSE Pieve Emanuele – Schema Elettrico Generale;
- **NM0Z10D58P9SE0100087**: SSE Pieve Emanuele - Piazzale di SSE/Disposizione apparecchiature (Layout);
- **NM0Z10D58P9SE0100088**: SSE Pieve Emanuele - Piazzale di SSE/Impianto di terra;
- **NM0Z10D58PBSE0100091**: SSE Pieve Emanuele - Fabbricato di SSE - Impianto di terra e Relé di massa

	PROGETTO DEFINITIVO QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA FASE 1 – QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE					
	SSE PIEVE EMANUELE RELAZIONE PROGETTO IMPIANTO DI TERRA	COMMESSA NM0Z	LOTTO 10 D 58	CODIFICA CL	DOCUMENTO SE0100 075	REV. A

3.-. CRITERI PROGETTUALI

L'impianto di terra della nuova SSE di Pieve Emanuele dovrà essere progettato secondo i riferimenti richiamati al punto precedente e soddisfare inoltre i seguenti requisiti:

- a) avere adeguata resistenza meccanica e resistenza alla corrosione;
- b) essere in grado di sopportare, dal un punto di vista termico, le più elevate correnti di guasto prevedibili;
- c) essere in grado di evitare danni a componenti elettrici ed a beni;
- d) garantire la sicurezza delle persone contro le tensioni che si manifestano sugli impianti di terra per effetto delle correnti di guasto.

I parametri da prendere in considerazione nel dimensionamento degli impianti di terra sono quindi:

- Valore della corrente di guasto a terra;
- Tempo di eliminazione del guasto a terra;
- Resistività del terreno.

In un impianto in cui sono presenti sistemi elettrici in Bassa ed Alta Tensione (secondo definizione CEI 50522 par. 3.1.3 e 3.1.4), le prescrizioni precedenti devono essere soddisfatte per ciascuno dei sistemi.

Non è necessario prendere in considerazione la contemporaneità di guasti in sistemi con tensioni diverse.

L'impianto di terra realizza la protezione dai contatti indiretti mediante il criterio di **“interruzione automatica dell'alimentazione”**, che è il solo metodo ammesso per gli impianti elettrici alimentati da sistemi in Alta Tensione.

Per attuare un'efficace protezione dai contatti indiretti, la normativa vigente prevede che tutte le masse del sistema siano collegate direttamente e stabilmente a terra.

Se una qualunque delle apparecchiature appartenenti a tali sistemi diviene sede di un guasto, può verificarsi il “tensionamento” indebito di masse e parti metalliche normalmente fuori tensione, con il conseguente pericolo di contatti indiretti.

È inoltre previsto un collegamento, attraverso un dispositivo cortocircuitatore, tra la rete di terra ed il circuito di ritorno TE. Tale dispositivo pone in continuità metallica, e quindi elettrica, l'impianto di terra

	PROGETTO DEFINITIVO QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA FASE 1 – QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE					
	SSE PIEVE EMANUELE RELAZIONE PROGETTO IMPIANTO DI TERRA	COMMESSA NM0Z	LOTTO 10 D 58	CODIFICA CL	DOCUMENTO SE0100 075	REV. A

con in binario nel caso in cui la differenza di potenziale tra i due circuiti superiori, in caso di guasto, un valore prefissato.

In questo modo il circuito di ritorno contribuisce a disperdere la corrente di guasto, limitando di conseguenza l'aliquota che fluisce attraverso la maglia di terra e di conseguenza limitando le tensioni pericolose che si generano.

Pertanto la rete di terra deve avere caratteristiche tali da garantire che le tensioni di contatto e di passo che si stabiliscono durante il guasto si mantengano, in ogni caso, al di sotto dei valori consentiti dalle norme. Per quanto riguarda il dispositivo cortocircuitatore, la specifica di riferimento è la:

- **RFI DMA IM LA SP IFS 370 A:** *Dispositivo di collegamento del negativo 3kVcc all'impianto di terra di SSE e cabine TE.*

Poiché poi all'interno del fabbricato esistono altri impianti elettrici utilizzatori, sia in MT che in bt, anche per essi occorrerà prevedere la messa a terra di sicurezza.

In relazione al fatto che il fabbricato e tutti gli impianti residenti cadono all'interno del piazzale di SSE e che pertanto non è possibile realizzare per essi impianti di terra elettricamente indipendenti dal precedente, l'impianto di messa a terra sarà **UNICO** e ad esso saranno collegate tutte le masse e le masse estranee delle apparecchiature presenti all'interno del fabbricato.

In particolare saranno collegati direttamente al dispersore, per mezzo di conduttori di rame nudi, tutte le masse metalliche del piazzale (cioè le armature metalliche dei cavi, l'involucro del trasformatore d'isolamento, i tubi d'acciaio e tutte le altre eventuali masse metalliche accessibili poste all'interno dell'anello perimetrale della rete di terra).

Le masse metalliche all'interno del fabbricato saranno invece collegate al dispersore tramite appositi relè di massa, i quali hanno la funzione di comandare l'immediato intervento delle protezioni TE in caso di basso isolamento o guasto a terra.

Questo tipo di protezione aumenta di fatto il livello di sicurezza degli ambienti interni al fabbricato, dove è più frequente la presenza di operatori.

Tutte le masse metalliche che fuoriescono dall'area di piazzale quali tubazioni per l'allacciamento a servizi vari, potenzialmente pericolose perché potrebbero "portare" fuori dal piazzale tensioni pericolose in caso di guasto, andranno opportunamente isolate per mezzo di giunti isolanti.

	PROGETTO DEFINITIVO QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA FASE 1 – QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE					
	SSE PIEVE EMANUELE RELAZIONE PROGETTO IMPIANTO DI TERRA	COMMESSA NM0Z	LOTTO 10 D 58	CODIFICA CL	DOCUMENTO SE0100 075	REV. A

4.-.. CONFIGURAZIONE DELL'IMPIANTO

4.1.-..IMPIANTO DI TERRA DI PIAZZALE

Così come riportato sull'elaborato grafico:

- **NM0Z10D58P9SE0100088**: SSE Pieve Emanuele - Piazzale di SSE/Impianto di terra;

l'impianto di terra di piazzale sarà costituito essenzialmente da un dispersore orizzontale a rete magliata realizzata in corda di rame nudo da 120mm², interrato a circa 60cm di profondità in corrispondenza delle zone interne di piazzale ed a circa 120cm di profondità in corrispondenza dell'anello perimetrale.

La sezione della corda di rame che costituisce il dispersore è ampiamente sovrabbondante rispetto a quella minima prescritta dalla normativa in relazione alle sollecitazioni termiche ed alla loro resistenza meccanica. Tuttavia essa viene normalmente impiegata negli impianti ferroviari, sia per la facile reperibilità del conduttore (corde portanti per TE) sia per tenere conto della eventualità che sui conduttori stessi si verificano migrazioni di materiale per effetto delle corrosioni elettrolitiche prodotte dalle correnti vaganti.

La dimensione delle singole maglie sarà mediamente di 3x3m, in modo da realizzare una superficie pressoché equipotenziale su tutta l'area interessata dall'impianto. Lo sviluppo superficiale complessivo della rete, con particolare riferimento alla lunghezza del conduttore perimetrale, sarà oggetto di verifica nel presente calcolo.

L'impianto verrà 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.

Le fondazioni delle strutture realizzate in cemento armato contribuiscono notevolmente alla dispersione delle correnti di guasto, a condizione di realizzare la continuità metallica tra le fondazioni ed il dispersore intenzionale. Ciò si ottiene collegando tra loro, con efficaci legature in fil di ferro o meglio con punti di saldatura forte, tutti i ferri d'armatura delle fondazioni durante la loro formazione.

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.

Oltre a presentare i valori di resistenza di terra tali da contenere le tensioni pericolose, l'impianto di terra dovrà essere tale da contenere al proprio interno tutte le apparecchiature che possono diventare

	PROGETTO DEFINITIVO QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA FASE 1 – QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE					
	SSE PIEVE EMANUELE RELAZIONE PROGETTO IMPIANTO DI TERRA	COMMESSA NM0Z	LOTTO 10 D 58	CODIFICA CL	DOCUMENTO SE0100 075	REV. A

sede di tensioni pericolose a seguito di guasto a terra. Inoltre per evitare che possano instaurarsi tensioni pericolose al suolo a ridosso del confine dell'area di SSE l'elemento disperdente più periferico dovrà trovarsi "abbondantemente" all'interno dell'area di SSE.

Pertanto il conduttore perimetrale risulterà circa 5m più interno rispetto alla recinzione dell'area, e presenterà un andamento il più possibile morbido e regolare, poiché la presenza di vertici o antenne favorirebbe lo stabilirsi di zone ad intensa attività disperdente, con conseguenze indesiderabili sul gradiente di potenziale che si stabilisce nel terreno.

Per lo stesso motivo gli elementi dei cancelli metallici di accesso al piazzale non saranno collegati alla rete di terra di sottostazione, ma saranno dotati di un dispersore proprio. Tale accorgimento si rende necessario per evitare l'instaurarsi di tensioni pericolose tra le masse metalliche dei cancelli e le eventuali masse esterne all'area di piazzale.

In caso di guasto, tanto la tensione di passo 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.

4.2.-..IMPIANTO DI TERRA DEL FABBRICATO

Per quanto riguarda l'impianto di terra del fabbricato destinato al contenimento delle apparecchiature di sottostazione, la sua realizzazione consisterà in:

- installazione di un collettore di terra in piatto di rame 50x4mm in ogni locale, graffettato alle pareti;
- esecuzione delle derivazioni di terra, con piatto di rame 40x3mm, dalle masse metalliche fisse al collettore;
- installazione di un relè di massa di tipo elettromeccanico a parete (complementare a quelli di tipo elettronico a corredo delle celle blindate degli interruttori extrarapidi e dei filtri), montato su supporti isolanti all'interno della cella negativo;

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA FASE 1 – QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE					
	SSE PIEVE EMANUELE RELAZIONE PROGETTO IMPIANTO DI TERRA	COMMESSA NM0Z	LOTTO 10 D 58	CODIFICA CL	DOCUMENTO SE0100 075	REV. A

- posa e collegamento di un doppio cavo in rame da 120mm², dal relè di massa sino alla rete di terra di piazzale;
- connessioni di continuità elettrica delle carpenterie mobili, con conduttori flessibili delle seguenti sezioni:
 - 50mm², per la messa a terra dei pannelli mobili (ante di celle ed armadi);
 - 70mm², per la messa a terra delle altre parti mobili, tipo aste di manovra.

L'installazione del collettore di terra e delle relative derivazioni alle masse metalliche dovrà essere opportunamente distanziata dalla parete mediante interposizione di distanziali in resina autoestinguente, ed il fissaggio a parete dovrà essere eseguito con viti in acciaio e tasselli in PVC.

Le sbarre in rame dell'impianto di terra interno al fabbricato (collettore e relative derivazioni) dovranno essere verniciate sulle parti a vista, in GIALLO con strisce VERDI, oppure con il simbolo di terra (verniciato o prestampato, ben adesivo e resistente).

	PROGETTO DEFINITIVO QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA FASE 1 – QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE					
	SSE PIEVE EMANUELE RELAZIONE PROGETTO IMPIANTO DI TERRA	COMMESSA NM0Z	LOTTO 10 D 58	CODIFICA CL	DOCUMENTO SE0100 075	REV. A

5.-. DIMENSIONAMENTO

5.1.-. CALCOLO DELLA RESISTENZA DI TERRA DEL DISPERSORE

Come mostrato dal citato elaborato:

- **NM0Z10D58P9SE0100088**: SSE Pieve Emanuele - Piazzale di SSE/Impianto di terra;

Il dispersore di piazzale è costituito da una rete magliata di superficie pari a circa 3900m², con lato di magliatura mediamente pari a circa 3m.

Per la determinazione della resistenza di terra R_t del dispersore è essenziale conoscere il valore ρ_t della resistività del terreno. Poiché, alla data in cui viene compilata la presente relazione di progetto l'area che accoglierà la nuova SSE non è stata ancora definitivamente formata, non è stato possibile eseguire misure utili della resistività elettrica.

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)

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA FASE 1 – QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE					
	SSE PIEVE EMANUELE RELAZIONE PROGETTO IMPIANTO DI TERRA	COMMESSA NM0Z	LOTTO 10 D 58	CODIFICA CL	DOCUMENTO SE0100 075	REV. A

dove D è il diametro del cerchio di area equivalente alla rete magliata, pari a circa 105m.

Sostituendo i valori numerici si ricava il seguente valore:

$$R_r = 0,48\Omega$$

L'impianto sarà integrato da dispersori verticali aggiuntivi, costituiti da paletti di acciaio ramato di diametro pari a 20mm e lunghezza 6,0m, 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:

$$R_p = 94\Omega$$

Ai fini della verifica verranno considerati n°35 picchetti distribuiti nel piazzale di SSE; pertanto la resistenza di terra dei picchetti, considerati in parallelo, sarà:

$$R_{pp} = R_p / 37 = 2,55 \Omega$$

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:

$$R_T = \frac{R_r R_{pp}}{R_r + R_{pp}} = 0,40 \Omega$$

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

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

5.2.1.-...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

	PROGETTO DEFINITIVO QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA FASE 1 – QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE					
	SSE PIEVE EMANUELE RELAZIONE PROGETTO IMPIANTO DI TERRA	COMMESSA NM0Z	LOTTO 10 D 58	CODIFICA CL	DOCUMENTO SE0100 075	REV. A

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 non conoscendo tali valori, quelli peggiorativi. 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:

$$I_t = 31,5 \text{ kA},$$

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

$$t_G = 0,3 \text{ s}.$$

5.2.2.-..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 0,3s), interpolando i valori della tabella si ottiene che il valore di tensione da non superare è pari a:

$$U_{tp} = 431,3 \text{ V}.$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA FASE 1 – QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE					
	SSE PIEVE EMANUELE RELAZIONE PROGETTO IMPIANTO DI TERRA	COMMESSA NM0Z	LOTTO 10 D 58	CODIFICA CL	DOCUMENTO SE0100 075	REV. A

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 $L_M=3170m$.

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:

$$I_{tr} = I_t \frac{R_{pp}}{R_r + R_{pp}} = 26509 \text{ A}$$

$$I_{ip} = I_t \frac{R_r}{R_r + R_{pp}} = 4990 \text{ A}$$

e, con gli altri valori precedentemente forniti, risulta:

$$V_c = 585.37V$$

Tale valore risulta superiore a quello limite di 431,30V, pertanto per far sì che l'impianto possa risultare protetto così configurato nei confronti della V_c si devono adottare i provvedimenti "M" riportati nell'allegato "E" della normativa CEI EN 50522.

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

$$U'_{TF} = \frac{I_b * Z_c * BF}{HF}$$

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 $t = 0,3s$);

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA FASE 1 – QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE					
	SSE PIEVE EMANUELE RELAZIONE PROGETTO IMPIANTO DI TERRA	COMMESSA NM0Z	LOTTO 10 D 58	CODIFICA CL	DOCUMENTO SE0100 075	REV. A

- Fattore cardiaco di corrente:

$$HF = 1,0$$

- Impedenza corporea:

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

- 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:

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

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 105m.

Sostituendo i valori, si ha:

$$V_p = 961.77 V$$

Tale valore risulta superiore a quello limite di 431,3 V pertanto sarà necessario utilizzare opportuni provvedimenti migliorativi.

Il metodo più efficiente per migliorare l'efficienza dell'impianto nei confronti della tensione di contatto e di passo è quello di rivestire tutta l'area di piazzale contenente apparecchiature e masse metalliche con pavimentazioni ad elevata resistività (pietrisco, conglomerato bituminoso, pavimentazioni in calcestruzzo, ecc) in modo da aumentare sensibilmente la resistenza di contatto con il suolo; si possono anche utilizzare i provvedimenti M presenti nella Norma CEI EN 50522 all'Allegato E.

	PROGETTO DEFINITIVO QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA FASE 1 – QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE					
	SSE PIEVE EMANUELE RELAZIONE PROGETTO IMPIANTO DI TERRA	COMMESSA NM0Z	LOTTO 10 D 58	CODIFICA CL	DOCUMENTO SE0100 075	REV. A

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

5.3.1.-..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 $Z=0,5$ Ω (supponendo l'impedenza di SSE pari a $0,1$ Ω e quella dell'impianto di terra pari a $0,4$ Ω), risulta di circa 7200A 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:

$$t = 0,1\text{s}$$

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 $t_v=0,01\text{s}$), 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:

$$r_b = 0,021 \text{ } \Omega/\text{km}$$

$$g_b = 0,1 \text{ S/km}$$

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

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO QUADRUPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA FASE 1 – QUADRUPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE					
	SSE PIEVE EMANUELE RELAZIONE PROGETTO IMPIANTO DI TERRA	COMMESSA NM0Z	LOTTO 10 D 58	CODIFICA CL	DOCUMENTO SE0100 075	REV. A

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:

$$I_t = 4369 \text{ A}$$

La residua parte:

$$I_b = I_G - I_t \approx 7631 \text{ A}$$

verrà invece dispersa dai binari.

5.3.2.-..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 verifichino 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:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA FASE 1 – QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE					
	SSE PIEVE EMANUELE RELAZIONE PROGETTO IMPIANTO DI TERRA	COMMESSA NM0Z	LOTTO 10 D 58	CODIFICA CL	DOCUMENTO SE0100 075	REV. A

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

in cui I_{tr} è l'aliquota della corrente di terra I_t dispersa dal solo dispersore a rete magliata.

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:

$$I_{tr} = I_t \frac{R_{pp}}{R_r + R_{pp}} = 3677 \text{ A}$$

$$I_{tp} = I_t \frac{R_r}{R_r + R_{pp}} = 576.76 \text{ A}$$

e, con gli altri valori precedentemente forniti, risulta:

$$V_c = 81,19\text{V}$$

Tale valore risulta inferiore a quello limite di 625V, 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:

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

- Fattore cardiaco di corrente:

$$HF = 1,0$$

- Impedenza corporea:

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

- Fattore corporeo:

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

	PROGETTO DEFINITIVO QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA FASE 1 – QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE					
	SSE PIEVE EMANUELE RELAZIONE PROGETTO IMPIANTO DI TERRA	COMMESSA NM0Z	LOTTO 10 D 58	CODIFICA CL	DOCUMENTO SE0100 075	REV. A

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.

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 105m.

Sostituendo i valori, si ha:

$$V_p = 158.51V$$

Pur risultando tale valore inferiore a quello massimo ammissibile di 625V esposto nella precedente tabella per $t \approx 0,1s$, anche nel caso di guasto in c.c. l'interramento dei conduttori periferici della rete, come già detto, ad una profondità sensibilmente maggiore rispetto agli altri elementi del dispersore (1,2m per quello più esterno e 0,6m per quello precedente) renderà sensibilmente più basso il gradiente di tensione nelle zone marginali del piazzale.

	PROGETTO DEFINITIVO QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA FASE 1 – QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE					
	SSE PIEVE EMANUELE RELAZIONE PROGETTO IMPIANTO DI TERRA	COMMESSA NM0Z	LOTTO 10 D 58	CODIFICA CL	DOCUMENTO SE0100 075	REV. A

6.-.. 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.