

COMMITTENTE:



Aps Holding s.p.a.  
Società soggetta all'attività di direzione e coordinamento del Comune di Padova

IL DIRETTORE FUNZIONALE  
Dott. Ing. Diego Galiazzo

IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO  
Arch. Gaetano Panetta

PROGETTAZIONE:

MANDATARIA



MANDANTE



MANDANTE



MANDANTE



## ITALFERR

### PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3

#### TRAZIONE ELETTRICA

Relazione e progetto impianto di terra

IL PROGETTISTA RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE  
Dott. Ing. Luca Bernardini

SCALA:

-

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

NP000 00 D 18 CL SE0000 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	M. Laurini	Apr.2020	N. Carones	Apr.2020	A. Peresso	Apr.2020	G. Guidi Buffarini Apr. 2020

ITALFERR SpA  
U.O. Progettazione  
Ing. Guido Buffarini  
Ordine Ingegneri Padova n° 17912

File: NP0000D18CLSE0000001A\_Impianto\_di\_terra.doc

n. Elab.:

 MANDANTE  MANDANTE 	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA  NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3  PROGETTO DEFINITIVO</b>												
<b>Relazione e progetto impianto di terra</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NP00</td> <td>00 D 18</td> <td>CL</td> <td>SE0000 001</td> <td>A</td> <td>2 di 22</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NP00	00 D 18	CL	SE0000 001	A	2 di 22
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NP00	00 D 18	CL	SE0000 001	A	2 di 22								

## INDICE

1	INQUADRAMENTO GENERALE DEL PROGETTO .....	3
2	SCOPO.....	5
3	NORME E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	5
3.1	RIFERIMENTI NORMATIVI .....	5
3.2	RIFERIMENTI PROGETTUALI.....	6
4	CRITERI PROGETTUALI .....	7
5	CONFIGURAZIONE DELL'IMPIANTO .....	8
5.1	IMPIANTO DI TERRA ESTERNO AL FABBRICATO .....	8
5.2	IMPIANTO DI TERRA INTERNO AL FABBRICATO.....	9
6	VERIFICA DEL SISTEMA DI MESSA A TERRA .....	10
6.1	DIMENSIONAMENTO IN RELAZIONE ALLA CORROSIONE E ALLE SOLLECITAZIONI MECCANICHE .....	10
6.2	DIMENSIONAMENTO CON RIFERIMENTO AL COMPORTAMENTO TERMICO .....	12
6.3	VERIFICA DELLE TENSIONI DI PASSO E CONTATTO.....	14
6.3.1	<i>Generalità.....</i>	14
6.3.2	<i>Calcolo della resistenza di terra del dispersore.....</i>	14
6.3.3	<i>Verifica delle tensioni ammissibili – sistema MT ac .....</i>	15
6.3.3.1	<i>Corrente di guasto del sistema MT Corrente alternata.....</i>	15
6.3.3.2	<i>Limiti delle tensioni di passo e contatto.....</i>	15
6.3.3.3	<i>Verifica delle tensioni ammissibili .....</i>	16
6.3.4	<i>Verifica delle tensioni ammissibili – sistema 750Vcc.....</i>	17
6.3.4.1	<i>Corrente di guasto del sistema 750V Corrente continua .....</i>	17
6.3.4.2	<i>Limiti delle tensioni di passo e contatto.....</i>	19
6.3.4.3	<i>Verifica delle tensioni ammissibili .....</i>	21
7	CONCLUSIONI.....	21

<p style="text-align: center;">MANDATARIA</p>  <p style="text-align: center;">GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> <p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p> <p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA E ARCHITETTURA</p> <p>MANDANTE</p>  <p>SWISS</p>	<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>												
<p><b>Relazione e progetto impianto di terra</b></p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">COMMESSA</th> <th style="text-align: center;">LOTTO</th> <th style="text-align: center;">CODIFICA</th> <th style="text-align: center;">DOCUMENTO</th> <th style="text-align: center;">REV.</th> <th style="text-align: center;">FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">NP00</td> <td style="text-align: center;">00 D 18</td> <td style="text-align: center;">CL</td> <td style="text-align: center;">SE0000 001</td> <td style="text-align: center;">A</td> <td style="text-align: center;">3 di 22</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NP00	00 D 18	CL	SE0000 001	A	3 di 22
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NP00	00 D 18	CL	SE0000 001	A	3 di 22								

## 1 INQUADRAMENTO GENERALE DEL PROGETTO

Oggetto del seguente Appalto, è la progettazione Definitiva della linea tramviaria SIR 3 della città di Padova.

La linea si estenderà tra la stazione ferroviaria centrale e la periferia, in località Voltabarozzo.

La lunghezza complessiva del tracciato è di circa 5,4km su percorso cittadino con le differenti tipologie di percorso:

- Su corsia dedicata;
- Su corsia dedicata ai mezzi pubblici
- Su corsia promiscua al trasporto pubblico e privato.

Inoltre, oltre ai 2 capolinea, saranno previste 11 fermate intermedie dislocate lungo il tracciato.

La linea sarà alimentata con sistema 750Vcc, e sarà dotata della medesima tecnologia e sistema del SIR 1 del tipo "Translohr".

Nei pressi della stazione ferroviaria FS, la nuova linea SIR 3 si interconetterà con la linea tramviaria esistente SIR 1. L'interconnessione permetterà il transito dei mezzi dalla linea linea SIR 1 alla linea SIR 3. Pertanto, l'attrezzaggio tecnologico della nuova linea dovrà essere compatibile con la linea esistente permettendo l'interoperabilità del materiale rotabile.

La linea SIR 2, non sarà oggetto del seguente Appalto, ma nella progettazione e nella realizzazione del SIR 3, oltre a prevedere l'integrazione con il SIR 1, si terrà conto che la futura linea transiterà per un tratto sul SIR 3.

<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>		<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>ENTRETI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>PINI SWISS</p>					
<p><b>Relazione e progetto impianto di terra</b></p>		<p>COMMESSA</p> <p>NP00</p>	<p>LOTTO</p> <p>00 D 18</p>	<p>CODIFICA</p> <p>CL</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>SE0000 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>4 di 22</p>



**Figura 1 - Inquadramento Territoriale SIR1, SIR2 e SIR 3**

<p style="text-align: center;">MANDATARIA</p>  <p style="text-align: center;">MANDANTE</p>  <p style="text-align: center;">MANDANTE</p>  <p style="text-align: center;">MANDANTE</p> 	<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>												
<p><b>Relazione e progetto impianto di terra</b></p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">COMMESSA</th> <th style="text-align: left;">LOTTO</th> <th style="text-align: left;">CODIFICA</th> <th style="text-align: left;">DOCUMENTO</th> <th style="text-align: left;">REV.</th> <th style="text-align: left;">FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NP00</td> <td>00 D 18</td> <td>CL</td> <td>SE0000 001</td> <td>A</td> <td>5 di 22</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NP00	00 D 18	CL	SE0000 001	A	5 di 22
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NP00	00 D 18	CL	SE0000 001	A	5 di 22								

## 2 SCOPO

Nella presente relazione tecnica viene descritto il dimensionamento dell'impianto di terra da realizzarsi nell'area di ciascuna sottostazione elettrica di trazione a servizio della nuova linea tramviaria SIR 3.

Di seguito saranno illustrati i criteri tecnici adottati per il dimensionamento e saranno indicate le prescrizioni da adottare per realizzare un impianto che garantisca la sicurezza della vita umana e l'integrità dei componenti elettrici collegati al sistema.

Poiché in ciascuna sottostazione confluiscono sistemi elettrici di varie categorie, l'impianto di messa a terra, dovrà soddisfare le esigenze di sicurezza di tutti i suddetti sistemi. Inoltre, trattandosi 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 nel capitolo successivo.

## 3 NORME E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

### 3.1 Riferimenti Normativi

La presente relazione tecnica generale, nonché tutta la documentazione progettuale implicitamente od esplicitamente richiamata nel prosieguo, è conforme norme CEI nella loro edizione più recente, delle quali di seguito si elencano le principali.

- D.lgs. del 9/04/2008 - Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 Agosto 2007, n°123 in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro;
- DPR n° 462 del 22/10/2001 - Regolamento di semplificazione del procedimento per la denuncia di installazioni e dispositivi di protezione contro le scariche atmosferiche, di dispositivi di messa a terra di impianti elettrici e di impianti elettrici pericolosi;
- D.M.n°37 del 22-1-2008 - Regolamento concernente l'attuazione dell'articolo 11-quaterdecies, comma 13, lettera a) della legge n. 248 del 2005, recante riordino delle disposizioni in materia di attività di installazione degli impianti all'interno degli edifici;
- ANSI / IEEE Std 80 - Guide for Safety in AC Substation Grounding.
- CEI EN 50119 - Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane Impianti fissi Linee aeree di contatto per trazione elettrica;
- CEI EN 50122-1 - Applicazioni ferroviarie Installazioni fisse Parte 1: Provvedimenti di protezione concernenti la sicurezza elettrica e la messa a terra;
- CEI EN 50122-2 - Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane Impianti fissi Parte 2: Protezione contro gli effetti delle correnti vaganti causate da sistemi di trazione a corrente continua;
- CEI EN 60865 -1 - Correnti di corto circuito Calcolo degli effetti Parte 1: Definizioni e metodi di calcolo;

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b>												
<b>Relazione e progetto impianto di terra</b>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">COMMESSA</td> <td style="text-align: center;">LOTTO</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO</td> <td style="text-align: center;">REV.</td> <td style="text-align: center;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">NP00</td> <td style="text-align: center;">00 D 18</td> <td style="text-align: center;">CL</td> <td style="text-align: center;">SE0000 001</td> <td style="text-align: center;">A</td> <td style="text-align: center;">6 di 22</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NP00	00 D 18	CL	SE0000 001	A	6 di 22
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NP00	00 D 18	CL	SE0000 001	A	6 di 22								

- CEI EN 60865 -1/Ec - Correnti di corto circuito Calcolo degli effetti Parte 1: Definizioni e metodi di calcolo;
- CEI EN 50522 - Messa a terra degli impianti elettrici a tensione superiore a 1 kV in c.a.;

### 3.2 Riferimenti Progettuali

Di seguito si riportano i documenti di progetto ai quali si farà riferimento nella lettura del documento:

<b>ELABORATI GENERALI</b>	
NP0000D18SDTE0000001A	Schema TE
NP0000D18SDSE0000001A	Studio di dimensionamento elettrico del sistema di Trazione
<b>SOTTOSTAZIONI ELETTRICHE</b>	
NP0000D18PBSE0100002A	SSE Viale della Pace - Fabbriato di SSE - Impianto di terra
NP0000D18DXSE0100001A	SSE Viale della Pace - Schema Elettrico Generale
NP0000D18PBSE0200002A	SSE Forcellini - Fabbriato di SSE - Impianto di terra
NP0000D18DXSE0200001A	SSE Forcellini - Schema Elettrico Generale
NP0000D18PBSE0300002A	SSE Voltabarozzo - Fabbriato di SSE - Impianto di terra
NP0000D18DXSE0300001A	SSE Voltabarozzo - Schema Elettrico Generale

<p style="text-align: center;">MANDATARIA</p>  <p style="text-align: center;">GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> <p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p> <p>MANDANTE</p>  <p>ENTRETI</p> <p>MANDANTE</p>  <p>PINI SWISS</p>	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>Relazione e progetto impianto di terra</b>	COMMESSA NP00	LOTTO 00 D 18	CODIFICA CL	DOCUMENTO SE0000 001	REV. A	FOGLIO 7 di 22

#### 4 CRITERI PROGETTUALI

Ciascun impianto di terra di ognuna SSE dovrà essere progettato secondo i criteri richiamati negli elaborati di riferimento e dovrà inoltre soddisfare i seguenti requisiti:

- Avere adeguata resistenza meccanica e resistenza alla corrosione;
- Essere in grado di sopportare, dal un punto di vista termico, le più elevate correnti di guasto prevedibili;
- Essere in grado di evitare danni a componenti elettrici ed a cose/beni;
- 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 di diverse categorie 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.

Per attuare un'efficace protezione i 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, parti metalliche normalmente fuori tensione, con il conseguente pericolo di contatti indiretti.

In ciascuna SSE, 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 con il binario nel caso in cui la differenza di potenziale tra i due circuiti superi, 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.

Le masse metalliche presenti all'interno del fabbricato saranno collegate al dispersore tramite apposito relè di massa (conforme alla specifica RFI DMA IM LA SP IFS 371 A), il quale ha la funzione di comandare l'intervento immediato delle protezioni TE in caso di basso isolamento o guasto a terra.

<p style="text-align: center;">MANDATARIA</p>  <p style="text-align: center;">GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> <p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p> <p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA E ARCHITETTURA</p> <p>MANDANTE</p>  <p>SWISS</p>	<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>												
<p><b>Relazione e progetto impianto di terra</b></p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">COMMESSA</th> <th style="text-align: center;">LOTTO</th> <th style="text-align: center;">CODIFICA</th> <th style="text-align: center;">DOCUMENTO</th> <th style="text-align: center;">REV.</th> <th style="text-align: center;">FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">NP00</td> <td style="text-align: center;">00 D 18</td> <td style="text-align: center;">CL</td> <td style="text-align: center;">SE0000 001</td> <td style="text-align: center;">A</td> <td style="text-align: center;">8 di 22</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NP00	00 D 18	CL	SE0000 001	A	8 di 22
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NP00	00 D 18	CL	SE0000 001	A	8 di 22								

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 d'impianto, quali tubazioni per l'allacciamento a servizi vari, sono potenzialmente pericolose poichè potrebbero "portare" fuori dall'impianto tensioni pericolose in caso di guasto; pertanto tali sistemi andranno opportunamente isolati per mezzo giunti isolanti.

Oggetto del seguente Appalto sarà la costruzione, realizzazione, installazione e collaudo degli impianti di messa a terra delle seguenti sottostazioni elettriche di trazione:

- SSE Viale della Pace
- SSE Forcellini
- SSE Voltabarozzo.

L'architettura generale del sistema elettrico di trazione è presentata nel seguente documento di dettaglio:

- NP0000D18SDTE0000001A Schema TE

## **5 CONFIGURAZIONE DELL'IMPIANTO**

### **5.1 Impianto di terra esterno al fabbricato**

L'impianto di terra di sarà costituito essenzialmente da un dispersore orizzontale realizzato in corda di rame nudo da 120 mm<sup>2</sup>. Tale dispersore sarà installato ad una quota di 150 cm di profondità realizzando un anello perimetrale.

L'impianto sarà integrato da una serie di dispersori verticali costituiti da puntazze di acciaio ramato infisse nel terreno profonde 3m. L'estremità superiore del dispersore verticale dovrà essere protetta da dei pozzetti ispezionabili del tipo a fondo aperto e completi di relativi chiusini.

Le armature metalliche delle strutture realizzate in cemento armato contribuiscono notevolmente alla dispersione della corrente di terra a condizione di realizzare le armature come sistemi metallici continui. 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 e le dimensioni dei dispersori verticali saranno verificati nell'ambito del seguente calcolo di progetto, trascurando in prima analisi ed a titolo precauzionale, i contributi dei dispersori di fatto.

Il dispersore orizzontale dell'impianto di messa a terra dovrà inoltre avere un'estensione tale da contenere abbondantemente al proprio interno tutte le apparecchiature tensionabili in modo evitare l'insorgere di tensioni pericolose nel suolo degli ambienti esterni limitrofi.



<p style="text-align: center;">MANDATARIA</p>  <p style="text-align: center;">MANDANTE</p>  <p style="text-align: center;">MANDANTE</p>  <p style="text-align: center;">MANDANTE</p> 	<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>												
<p><b>Relazione e progetto impianto di terra</b></p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">COMMESSA</th> <th style="text-align: center;">LOTTO</th> <th style="text-align: center;">CODIFICA</th> <th style="text-align: center;">DOCUMENTO</th> <th style="text-align: center;">REV.</th> <th style="text-align: center;">FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">NP00</td> <td style="text-align: center;">00 D 18</td> <td style="text-align: center;">CL</td> <td style="text-align: center;">SE0000 001</td> <td style="text-align: center;">A</td> <td style="text-align: center;">9 di 22</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NP00	00 D 18	CL	SE0000 001	A	9 di 22
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NP00	00 D 18	CL	SE0000 001	A	9 di 22								

Per quanto riguarda la geometria del dispersore, sarà evitata la presenza di vertici o antenne che favorirebbero lo stabilirsi di zone ad intensa attività disperdente con conseguenze indesiderate (tensioni pericolose) sul gradiente di potenziale che si stabilisce nel terreno.

Come indicato dalla norma CEI EN 50522, al fine di soddisfare i criteri di sicurezza, è regola generale che, osservando le prescrizioni per la tensione di contatto, vengano soddisfatte le prescrizioni per la tensione di passo.

I dettagli di ciascun impianto sono riportati nei rispettivi layout.

## 5.2 Impianto di terra interno al fabbricato

Per quanto riguarda l'impianto di terra del fabbricato di SSE, destinato all'alloggiamento delle apparecchiature, la sua realizzazione consisterà in:

- Installazione di un collettore di terra in piatto Cu 60x6mm forato e fissato a parete ad altezza 60cm dal pavimento con isolatori in poliestere (isolamento > 1kV). La collocazione di ciascun collettore è rappresentata sul rispettivo layout;
- Installazione di un collettore di terra in piatto di rame 50x4mm, fissato alla carpenteria dei quadri;
- Installazione di pannelli d'isolamento in vetroresina (isolamento >2kV per l') tra celle alimentatore;
- Esecuzione dei diversi collegamenti con cavi del tipo 1x120mm<sup>2</sup> FG17 (450/750V);
- canali di misura corrente di guasto verso terra nelle celle alimentatori e nelle celle raddrizzatori (parte in cc), diretta al dispersore magliato esterno.
- Connessioni di continuità elettrica delle carpenterie mobili, con conduttori flessibili delle seguenti sezioni:
  - 50mm<sup>2</sup>, per la messa a terra dei pannelli mobili (tipo ante dei quadri);
  - 70mm<sup>2</sup>, 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 autoestingente, 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).

<p style="text-align: center;">MANDATARIA</p>  <p style="text-align: center;">GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> <p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p> <p>MANDANTE</p>  <p>ENTRETI</p> <p>MANDANTE</p>  <p>PINI SWISS</p>	<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>												
<p><b>Relazione e progetto impianto di terra</b></p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">COMMESSA</th> <th style="text-align: left;">LOTTO</th> <th style="text-align: left;">CODIFICA</th> <th style="text-align: left;">DOCUMENTO</th> <th style="text-align: left;">REV.</th> <th style="text-align: left;">FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NP00</td> <td>00 D 18</td> <td>CL</td> <td>SE0000 001</td> <td>A</td> <td>10 di 22</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NP00	00 D 18	CL	SE0000 001	A	10 di 22
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NP00	00 D 18	CL	SE0000 001	A	10 di 22								

## 6 VERIFICA DEL SISTEMA DI MESSA A TERRA

Il dimensionamento / verifica della rete di terra sarà effettuato secondo le indicazioni fornite dalla normativa di riferimento in relazione alla/al:

1. Corrosione e alle sollecitazioni meccaniche;
2. Verifica delle tensioni di passo e di contatto;
3. Comportamento termico.

Per la valutazione dei potenziali di passo e contatto, è stato utilizzato il software commerciale XGSLab. Modellando gli elementi di dispersione, le caratteristiche del terreno e le caratteristiche della corrente di guasto a terra, il software calcola la resistenza di terra, la tensione totale di terra e determina il potenziale di contatto da confrontare con i limiti prescritti dalla norma al fine di verificare l' idoneità del sistema di messa a terra.

### 6.1 Dimensionamento in relazione alla corrosione e alle sollecitazioni meccaniche

I dispersori, essendo direttamente a contatto con il terreno, dovranno essere costruiti con materiale in grado di sopportare la corrosione. Essi dovranno 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.

<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>							
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA ED ARCHITETTURA</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>SWISS</p>						
<p><b>Relazione e progetto impianto di terra</b></p>			<p>COMMESSA <b>NP00</b></p>	<p>LOTTO <b>00 D 18</b></p>	<p>CODIFICA <b>CL</b></p>	<p>DOCUMENTO <b>SE0000 001</b></p>	<p>REV. <b>A</b></p>	<p>FOGLIO <b>11 di 22</b></p>

**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		
		Diame- tro mm	Sezio- ne mm <sup>2</sup>	Spes- sore mm	Valori singoli µm	Valori medi µm	
Acciaio	Zincato a caldo	Piattina <sup>(b)</sup>		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 <sup>(a)</sup>	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 <sup>(c)</sup>			
		Corda	1,8 <sup>(d)</sup>	25			
		Tubo		20	2		
	Stagnato	Corda	1,8 <sup>(d)</sup>	25		1	5
	Zincato	Piattina		50	2	20	40
	Con guaina di piombo <sup>(a)</sup>	Corda	1,8 <sup>(d)</sup>	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 mm<sup>2</sup>.  
(d) Per fili singoli.

**Figura 2 - Dimensioni minime dei conduttori – EN50522**

Come indicato dalla norma, nel caso di conduttore in corda di rame, la sezione minima è pari a 25 mm<sup>2</sup>. L'impianto di terra di ciascuna SSE sarà realizzato con corda di rame nudo da 120 mm<sup>2</sup>, pertanto tale prescrizione risulta essere verificata.

<p style="text-align: center;">MANDATARIA</p> <p style="text-align: center;"> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> <p>MANDANTE</p> <p> <b>SDAprogetti</b> ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p> <p>MANDANTE</p> <p> <b>ENTRETI</b> INGEGNERIA E ARCHITETTURA</p> <p>MANDANTE</p> <p> <b>PINI</b> SWISS</p>	<p style="text-align: center;"><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>												
<p><b>Relazione e progetto impianto di terra</b></p>		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">COMMESSA</th> <th style="text-align: left;">LOTTO</th> <th style="text-align: left;">CODIFICA</th> <th style="text-align: left;">DOCUMENTO</th> <th style="text-align: left;">REV.</th> <th style="text-align: left;">FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NP00</td> <td>00 D 18</td> <td>CL</td> <td>SE0000 001</td> <td>A</td> <td>12 di 22</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NP00	00 D 18	CL	SE0000 001	A
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NP00	00 D 18	CL	SE0000 001	A	12 di 22								

## 6.2 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 [ $mm^2$ ]

$I = I_F \cdot k_M$  – 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  $k = 226$

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

$\Theta_i$  = temperatura iniziale del conduttore [ $^{\circ}C$ ]

$\Theta_f$  = temperatura finale del conduttore [ $^{\circ}C$ ]

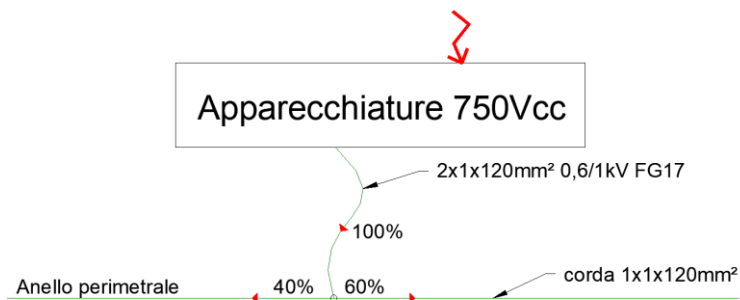
Come indicato dalla norma EN 50522, è possibile considerare i seguenti valori di temperatura per il conduttore nudo utilizzato a contatto con il terreno:

$\Theta_i = 20^{\circ}C$  e  $\Theta_f = 300^{\circ}C$

MANDATARIA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA          NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3          PROGETTO DEFINITIVO</b>							
MANDANTE  ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI	MANDANTE  STUDIO ASSOCIATO DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA	MANDANTE 	COMMESSA <b>NP00</b>	LOTTO <b>00 D 18</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>SE0000 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>13 di 22</b>
<b>Relazione e progetto impianto di terra</b>								

Come riportato nel “NP0000D18SDSE0000001A - Relazione Dimensionamento Trazione elettrica”, il massimo valore della corrente di cortocircuito si ottiene per guasto lato corrente continua, dove il valore di corrente assume un valore di circa 50kA che perdura per circa 0,06 sec. pari al tempo d’intervento degli interruttori extrarapidi.

In questo scenario, che corrisponde ad un guasto di sbarra, la corrente transiterà sul collegamento tra la carpenteria dei quadri (attraverso il relè di massa) e la maglia di terra.



**Figura 3– fattore di divisione  $k_M$**

Come mostrato dalla figura, la corrente si dividerà in due parti sull’anello perimetrale. 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 nella condizione più gravosa.


Conduttore di collegamento alla maglia di Terra									
IF [A]	$k_M$	I [A]	k	tf [sec]	b	$\theta_f$	$\theta_i$	Sezione trasversale minima - A [mm <sup>2</sup> ]	Sezione trasversale utilizzata - A [mm <sup>2</sup> ]
50000	1	50000	226	0,06	234,5	250	40	71,9	2x1x120

Conduttore di terra utilizzato come elettrodo di terra (Maglia di terra)									
IF [A]	$k_M$	I [A]	k	tf [sec]	b	$\theta_f$	$\theta_i$	Sezione trasversale minima - A [mm <sup>2</sup> ]	Sezione trasversale utilizzata - A [mm <sup>2</sup> ]
50000	0,6	30000	226	0,06	234,5	300	20	37,7	120

**Tabella 1– Dimensionamento termico - Calcolo della Sezione minima**

Si fa presente che per il cavo di collegamento è stata utilizzata una temperatura iniziale di 40°C e finale di 250°C in linea con le caratteristiche dei cavi FG17.

<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>ENTRETI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>PINI SWISS</p>				
<p><b>Relazione e progetto impianto di terra</b></p>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	NP00	00 D 18	CL	SE0000 001	A	14 di 22

### 6.3 Verifica delle tensioni di passo e contatto

#### 6.3.1 Generalità

La verifica delle tensioni di passo e contatto è stata condotta sul solo impianto della SSE di Forcellini. In questa SSE l'estensione della maglia di terra è ridotta rispetto agli altri impianti, pertanto, a parità di condizioni è possibile affermare che tale verifica risulta essere dimensionante.

La presente analisi sarà condotta verificando le tensioni di passo e contatto che possono verificarsi in caso di guasto a terra del sistema di allaccio MT in corrente alternata ed in caso di guasto a terra del sistema di trazione elettrica in corrente continua. In linea a quanto previsto dalla norma, non sarà necessario prendere in considerazione la contemporaneità di guasti in sistemi con tensioni diverse.

Per il calcolo è stata ipotizzata una resistività del terreno 100Ω/m.

#### 6.3.2 Calcolo della resistenza di terra del dispersore

Per il calcolo della resistenza di terra, è stato utilizzato il software commerciale XGSLab. Nel software è stata implementata la geometria e le caratteristiche dei conduttori dell'impianto di terra.



**Figura 4– Implementazione dell'impianto di terra**

Con queste caratteristiche il software calcola una resistenza di terra pari a circa  $R_T=3,405\Omega$

Inoltre, è stato considerato uno strato superficiale (SCL) di 13cm con resistività pari a 10.000 Ω\*m per le zone ricoperte da asfalto perimetralmente all'area di SSE (cfr. Tab. 7 standard IEEE 80 – asfalto umido).

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>Relazione e progetto impianto di terra</b>	COMMESSA NP00	LOTTO 00 D 18	CODIFICA CL	DOCUMENTO SE0000 001	REV. A	FOGLIO 15 di 22

### 6.3.3 Verifica delle tensioni ammissibili – sistema MT ac

#### 6.3.3.1 Corrente di guasto del sistema MT Corrente alternata

Alla base della verifica sono state effettuate le seguenti assunzioni per tutti e tre gli impianti di Sottostazione:

- Corrente di guasto a terra del sistema MT pari a 300A
- Tempo d'intervento delle protezioni MT pari a 0,64sec

I valori della corrente di guasto e d il tempo d'intervento delle relative protezioni MT, sono in linea con i valori per sistemi MT con neutro isolato (caso peggiore).

#### 6.3.3.2 Limiti delle tensioni di passo e contatto

Per la verifica delle tensioni di passo e contatto a seguito di un guasto lato MT, si farà riferimento alla norma EN50522.

Il dispersore dovrà essere tale da impedire che, con la corrente di guasto a terra  $I_g$ , si verifichino tensioni di contatto superiori ai valori indicati dalla norma.

**Tabella B.3 - Valori calcolati della tensione di contatto  $U_{Tp}$  ammissibile in funzione della durata  $t_f$  del guasto**

Durata guasto $t_f$ s	Tensione di contatto ammissibile $U_{Tp}$ 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

**Tabella 2 – Limiti tensione di contatto EN 50522**

Considerando il tempo d'intervento della protezione per l'eliminazione del guasto, si ricavano i seguenti valori ammissibili:

Tensione di Contatto ammissibile  $U_{tp}=165,60V$

Tensione di Passo ammissibile  $U_{sp}=496,80V$

Come indicato dalla norma (cfr. cap. 5.4.1 EN 50522), i limiti delle tensioni di contatto ammissibili riportati in tabella sono basati soltanto sul contatto mano-mano nude o mano nuda – piedi nudi. È ammesso il calcolo fornito dall'Allegato A della norma stessa per tener conto delle resistenze addizionali quali ad es. scarpe, materiali ad alta resistività de del piano del calpestio.

<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA E ARCHITETTURA</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>SWISS</p>				
<p><b>Relazione e progetto impianto di terra</b></p>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	NP00	00 D 18	CL	SE0000 001	A	16 di 22

A tal proposito di seguito sono stati calcolati i seguenti limiti:

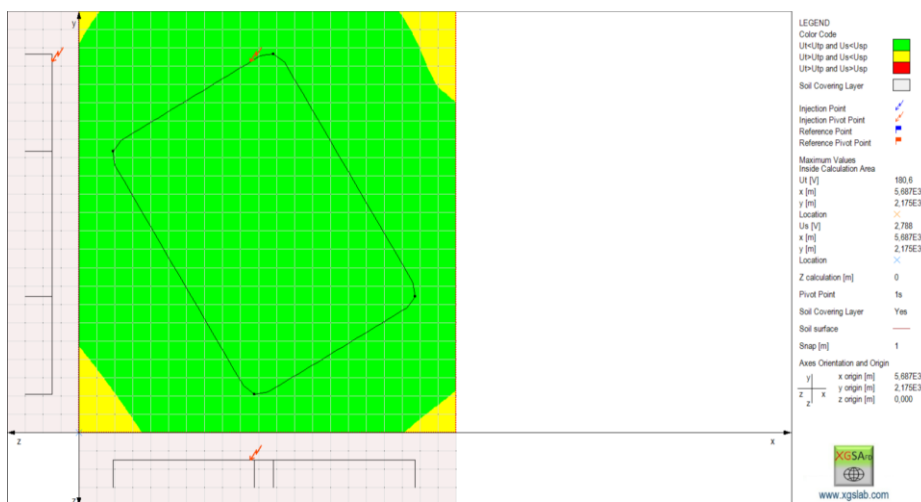
- Tensione di Contatto ammissibile a vuoto  $U_{stp}=185,66V$  considerando  $1000\Omega$  per scarpe vecchie e umide
- Tensione di Passo ammissibile a vuoto  $U_{ssp}=749,66V$  considerando  $1000\Omega$  per scarpe vecchie e umide.
- Tensione di Contatto ammissibile a vuoto considerando lo strato superficiale SCL e  $1000\Omega$  per scarpe vecchie e umide  $U_{stp} + SCL=630,84$
- Tensione di Passo ammissibile a vuoto considerando lo strato superficiale SCL e  $1000\Omega$  per scarpe vecchie e umide  $U_{ssp} + SCL= 6360,48$

### 6.3.3.3 Verifica delle tensioni ammissibili

Al fine di valutare i potenziali pericolosi che si presentano a seguito di un guasto a terra, in accordo al cap. 5.4.2 della norma EN 50522 che indica “Si possono prendere in considerazione le resistenze addizionali per determinare tensione di contatto ammissibile a vuoto  $U_{stp}$  in accordo con l’Allegato A e l’Allegato B.”.

Con il software di calcolo è stata calcolata la tensione di contatto a vuoto  $U_{st}$  e la tensione di passo a vuoto  $U_{ss}$  con l’obiettivo verificare che:

- $U_{st} < U_{stp} + SCL$
- $U_{ss} < U_{ssp} + SCL$



**Figura 5 – Aree di Sicurezza con tensioni di contatto e passo a Vuoto – considerando lo strato superficiale di asfalto (SCL)**



<p style="text-align: center;">MANDATARIA</p>  <p style="text-align: center;">MANDANTE</p>  <p style="text-align: center;">MANDANTE</p>  <p style="text-align: center;">MANDANTE</p> 	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b>												
<b>Relazione e progetto impianto di terra</b>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">COMMESSA</th> <th style="text-align: left;">LOTTO</th> <th style="text-align: left;">CODIFICA</th> <th style="text-align: left;">DOCUMENTO</th> <th style="text-align: left;">REV.</th> <th style="text-align: left;">FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NP00</td> <td>00 D 18</td> <td>CL</td> <td>SE0000 001</td> <td>A</td> <td>17 di 22</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NP00	00 D 18	CL	SE0000 001	A	17 di 22
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NP00	00 D 18	CL	SE0000 001	A	17 di 22								

Come mostrato dal calcolo e riportato in Figura, considerando lo strato di asfalto superficiale, le tensioni calcolate di passo e contatto a vuoto sono sempre al di sotto dei limiti prescritti dalla normativa (area verde=area sicura). Pertanto, nelle ipotesi considerate, è possibile affermare che il dimensionamento e la geometria della maglia di terra soddisfano le prescrizioni normative.

È rilevante evidenziare che la presenza dello strato superficiale di asfalto che circonda la SSE è determinante nella verifica delle tensioni ammissibili nelle ipotesi considerate.

Si fa presente che, nel calcolo a favore di sicurezza non è stato considerato:

- Il fattore di riduzione della corrente di guasto a terra dovuto alla corrente di guasto che circola sullo schermo dei cavi di consegna MT;
- Il sistema di terra globale. Infatti, le maglie di terra di ciascun impianto di SSE saranno connesse attraverso gli schermi dei cavi alimentatori del sistema 750Vcc.

### 6.3.4 Verifica delle tensioni ammissibili – sistema 750Vcc

#### 6.3.4.1 Corrente di guasto del sistema 750V Corrente continua

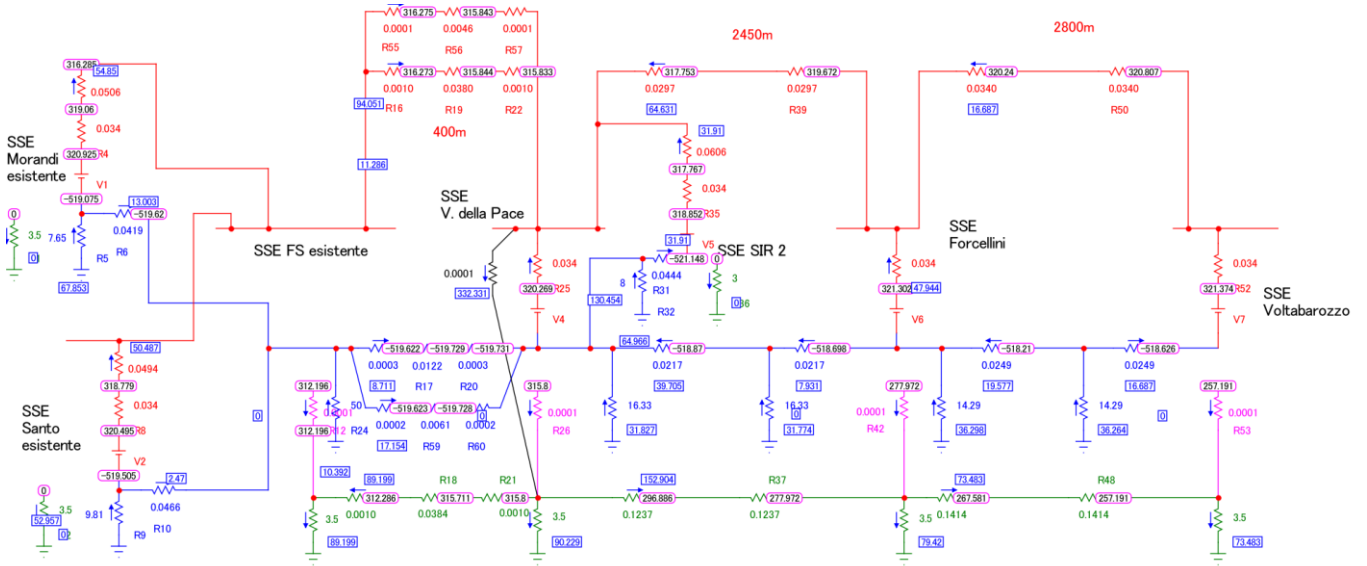
Si seguito viene presentato il calcolo della corrente di cortocircuito che può presentarsi nella sbarra omnibus 750Vcc del quadro a corrente continua installato nelle SSE.

Considerando che, la corrente di guasto sarà la somma dei contributi dei singoli gruppi in parallelo afferenti alla linea, è possibile affermare che la corrente massima si registrerà nella SSE di Via Della Pace che gestirà il futuro Bivio tra il SIR 3 ed il SIR2.

Per il calcolo è stato ipotizzato:

- Una conduttanza della rotaia verso terra pari a 0,05 S/km (resistore blu trasversale);
- È stata ipotizzata una resistenza di terra pari a 3,5  $\Omega$  per ciascuna SSE (resistore verde).
- una SSE che alimenta la futura linea SIR 2 distante circa 2,5km dalla SSE di via della Pace che contribuisce alla corrente di guasto.
- Che la SSE FS esistente è funzionante come Cabina di Trazione elettrica (TE) per la gestione del bivio con il SIR1.

MANDATARIA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANO		<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA          NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3          PROGETTO DEFINITIVO</b>					
MANDANTE  ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI	MANDANTE  STUDIO ASSOCIATO DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA					MANDANTE  SWISS	
<b>Relazione e progetto impianto di terra</b>		COMMESSA <b>NP00</b>	LOTTO <b>00 D 18</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>SE0000 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>18 di 22</b>



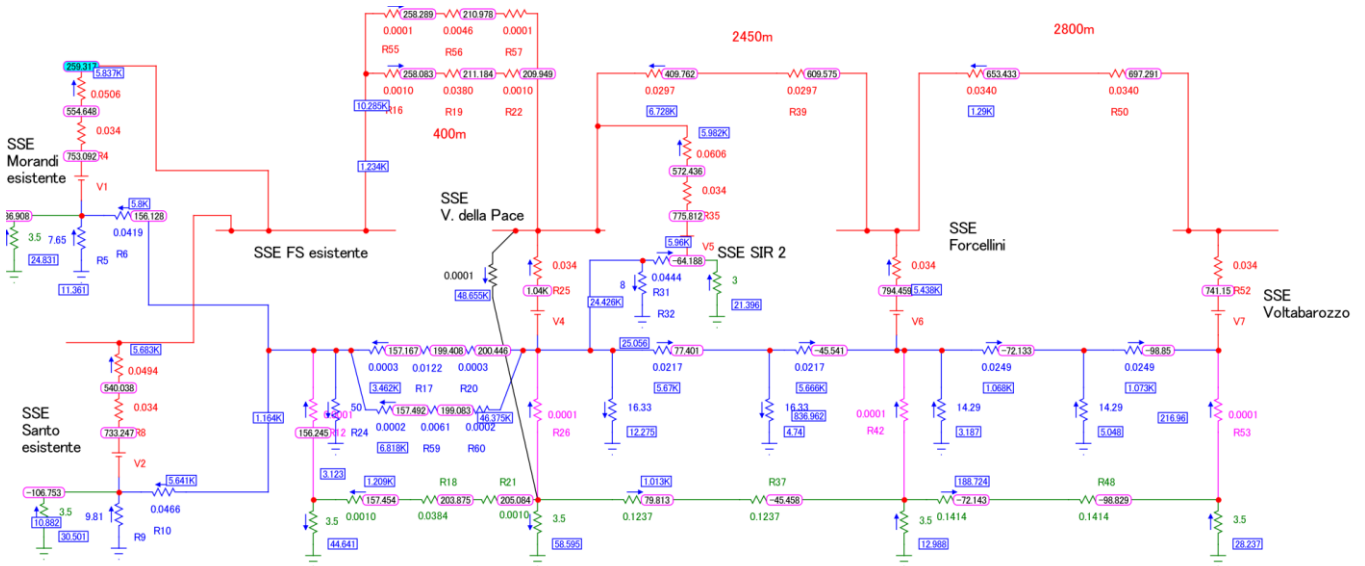
**Figura 6 - Corrente e tensione registrati prima dell'intervento del VLD**

Come mostrato dalla figura, in caso di un guasto di sbarra a terra, si stabilisce una corrente di guasto  $I_{t1}$  pari a circa 91A. Questa corrente si registra prima dell'intervento dei cortocircuitatori (VLD) installati nella cella negativi di ciascun quadro di SSE (resistore viola).

In questo scenario, si registra una differenza di potenziale tra terra e negativo pari a circa 840V.

Analogamente a quanto esposto, di seguito viene riportato il calcolo a seguito dell'intervento dei dispositivi cortocircuitatori (VLD) installati nella cella negativi di ciascun quadro di SSE intervenuti a seguito della differenza di potenziale tra impianto di terra e negativo.

<p style="text-align: center;">MANDATARIA</p>  <p style="text-align: center;">GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANO</p>		<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>						
MANDANTE	MANDANTE					MANDANTE		
 <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	 <p>ENTRETI</p>	 <p>PINI SWISS</p>						
<p><b>Relazione e progetto impianto di terra</b></p>			<p>COMMESSA</p> <p><b>NP00</b></p>	<p>LOTTO</p> <p><b>00 D 18</b></p>	<p>CODIFICA</p> <p><b>CL</b></p>	<p>DOCUMENTO</p> <p><b>SE0000 001</b></p>	<p>REV.</p> <p><b>A</b></p>	<p>FOGLIO</p> <p><b>19 di 22</b></p>



**Figura 7 - Corrente e tensione registrati dopo dell'intervento del VLD**

Come mostrato dalla figura, in caso di un guasto di sbarra a terra, si stabilisce una corrente di guasto  $I_{I2}$  pari a circa 60A. Questa corrente si registra dopo l'intervento dei cortocircuitatori (VLD) installati nella cella negativi di ciascun quadro di SSE (resistore viola) a seguito della differenza di potenziale tra negativo e terra.

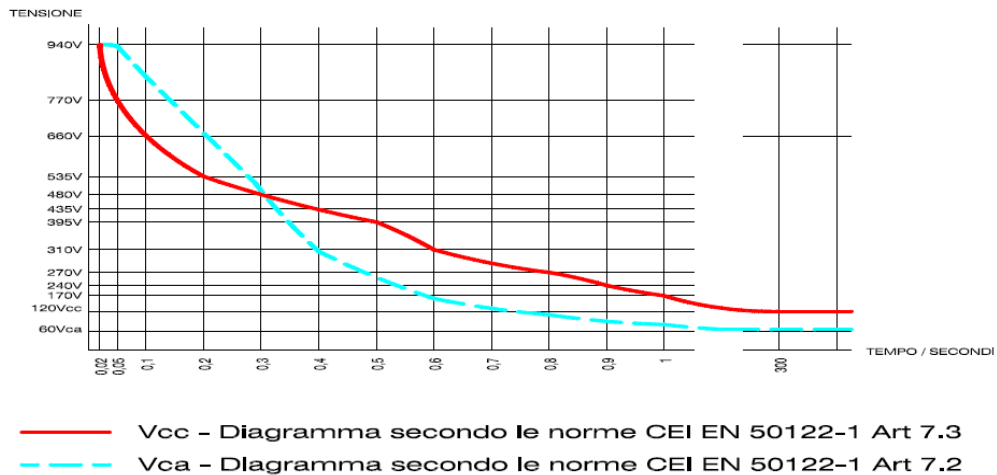
In questo scenario, si registra una tensione di terra pari a circa 206V.

### 6.3.4.2 Limiti delle tensioni di passo e contatto

Il dispersore dovrà essere tale da impedire che, con la corrente di guasto  $I_{I1}$  e la corrente di guasto  $I_{I2}$  calcolate al paragrafo precedente, si verifichino tensioni di contatto superiori ai valori indicati dalla norma.

La corrente  $I_{I1}$  drenata dall'impianto di terra perdurerà fino all'intervento del dispositivo cortocircuitatore. L'intervento di detto cortocircuitatore, ha lo scopo di stabilire un collegamento tra il circuito corrispondente al negativo 750Vcc e l'impianto di terra locale relativo all'impianto di conversione e/o distribuzione dell'energia elettrica in cc per cui l'apparecchiatura svolge la preposta funzione di limitazione della tensione. Tale collegamento "equipotenziale" dovrà essere attuato dal dispositivo quando la differenza di potenziale tra il tra il circuito negativo TE e l'impianto di terra supera i valori limite di tensione/tempo previsti. Tale collegamento, deve avvenire nel rispetto della seguente curva tensione/tempo d'intervento in linea alla norma EN 50122.

<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>		<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA E ARCHITETTURA</p>					<p>MANDANTE</p>  <p>SWISS</p>	
<p><b>Relazione e progetto impianto di terra</b></p>		<p>COMMESSA</p> <p><b>NP00</b></p>	<p>LOTTO</p> <p><b>00 D 18</b></p>	<p>CODIFICA</p> <p><b>CL</b></p>	<p>DOCUMENTO</p> <p><b>SE0000 001</b></p>	<p>REV.</p> <p><b>A</b></p>	<p>FOGLIO</p> <p><b>20 di 22</b></p>



**Figura 8 – Diagramma delle tensioni di contatto/accessibili dispositivo cortocircuitatore**

Dalle simulazioni svolte, nei primi istanti del guasto a terra, il potenziale di terra raggiunge una differenza di potenziale tra terra e negativo pari a circa 840V che corrisponde ad un tempo d'intervento del cortocircuitatore  $t_{F1}=0,02\text{sec}$ .

A seguito dell'intervento del dispositivo, l'impianto di terra drenerà la corrente di terra  $I_2$  fino all'intervento degli interruttori extrarapidi. Nel dettaglio, per tenere conto dei ritardi introdotti dalla catena di apertura generale, è stato assunto  $t_{F2}=0,1\text{sec}$ .

Dato il tempo di eliminazione del guasto, dalla figura seguente è possibile determinare il valore della tensione di contatto ammissibile.

$t$	$U_{te, max}$ lunga durata	$U_{te, max}$ breve durata
s	V	V
> 300	120	-
300	150	-
1	160	-
0,9	165	-
0,8	170	-
0,7	175	-
< 0,7	-	350
0,6	-	360
0,5	-	385
0,4	-	420
0,3	-	460
0,2	-	520
0,1	-	625
0,05	-	735
0,02	-	870

**Legenda**  
 $t$  tempo di durata  
 $U_{te, max}$  tensione di contatto effettiva ammissibile

<p>MANDATARIA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>					
<p>MANDANTE</p>  <p>ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>INGEGNERIA E ARCHITETTURA</p>	<p>MANDANTE</p>  <p>SWISS</p>				
<p><b>Relazione e progetto impianto di terra</b></p>	<p>COMMESSA</p> <p>NP00</p>	<p>LOTTO</p> <p>00 D 18</p>	<p>CODIFICA</p> <p>CL</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>SE0000 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>21 di 22</p>

**Figura 9 – Limiti tensione di contatto Tab.6 EN 50122**

Comi riportato dalla norma, il valore della tensione di contatto effettiva ammissibile  $U_{te}$  considera una resistenza supplementare di  $1000\Omega$  per scarpe vecchie e umide.

Pertanto, di seguito vengono riassunti i limiti nelle due differenti casistiche:

- Prima dell'intervento del cortocircuitatore, per  $I_{t1} = 91A$  e  $t_{F1}=0,02sec$  ne deriva  $U_{te}=870V$ .
- A seguito dell'intervento del cortocircuitatore per  $I_{t2} = 60A$  e  $t_{F2}=0,1sec$  ne deriva  $U_{te}=625V$ .

I limiti, prescritti dalla normativa, dei potenziali di contatto  $U_{te}$  sono da considerarsi applicati al solo corpo umano ed in condizioni di passaggio di corrente.

#### **6.3.4.3 Verifica delle tensioni ammissibili**

Al fine di valutare i potenziali pericolosi che si presentano a seguito di un guasto a terra ne segue che:

$$U_t < U_{te}$$

Prima e dopo l'intervento del cortocircuitatore.

Come mostrato nella sezione precedente, la tensione di terra registrata nelle simulazioni è per entrambi i casi è inferiore alla tensione  $U_{te}$ , pertanto la verifica è soddisfatta.

## **7 CONCLUSIONI**

Il dimensionamento dell'impianto di terra, condotto sulla base dei criteri fondamentali (resistenza meccanica e alla corrosione, tenuta termica, sicurezza delle persone) indicati dalle normative di riferimento, determina valori di tensioni di contatto conformi ai limiti normativi.

È bene notare che, il DPR n° 462 del 22/10/2001 prescrive, 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.

Pertanto, la verifica finale e le prove ad impianto costruito da effettuare in sito secondo gli allegati H, L ed M della norma EN 50522, sono necessarie e fondamentali.

Per quanto concerne le verifiche periodiche, lo stesso DPR 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.”

<p style="text-align: center;">MANDATARIA</p> <p style="text-align: center;"> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> <p>MANDANTE</p> <p> <b>SDAprogetti</b> ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI</p> <p>MANDANTE</p> <p> <b>ENTRECI</b> INGEGNERIA E ARCHITETTURA</p> <p>MANDANTE</p> <p> <b>PINI</b> SWISS</p>	<p><b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLA NUOVA LINEA TRAMVIARIA NELLA CITTÀ DI PADOVA SIR 3 PROGETTO DEFINITIVO</b></p>												
<p><b>Relazione e progetto impianto di terra</b></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NP00</td> <td>00 D 18</td> <td>CL</td> <td>SE0000 001</td> <td>A</td> <td>22 di 22</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NP00	00 D 18	CL	SE0000 001	A	22 di 22
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NP00	00 D 18	CL	SE0000 001	A	22 di 22								

Pertanto, la SSE dovrà essere verificata a scadenze non superiori di 5 anni analizzando l'efficienza dell'impianto di terra mediante prove periodiche previste in conformità alle norme tecniche.