

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE:



U.O. TECNOLOGIE NORD

PROGETTO DEFINITIVO

LINEA MODANE-TORINO

ADEGUAMENTO LINEA STORICA TRATTA BUSSOLENO-AVIGLIANA

REALIZZAZIONE SOTTOSTAZIONI ELETTRICHE NELLE LOCALITA' DI
BORGONE E AVIGLIANA

SOTTOSTAZIONI ELETTRICHE

SSE "INNOVATIVA" DI AVIGLIANA

Relazione e progetto impianto di terra

SCALA:

-

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

NT01 05 D 58 CL SE0200 001 C

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	F. Serrau	Apr.2019	M. Reggiani	Apr.2019	F. Perrone	Apr.2019	Ing. M. Gambaro Gennaio 2020
B	Revisione generale ubicazione e layout SSE	F. Serrau	Ago.2019	M. Reggiani	Ago.2019	F. Perrone	Ago.2019	
C	Rev. generale a seguito modifica ubicazione impianti	B. Tutino	Gennaio 2020	M. Reggiani	Gennaio 2020	F. Perrone	Gennaio 2020	

File: NT0105D58CLSE0200001C.docx

n. Elab.:

	LINEA MODANE-TORINO, ADEGUAMENTO LINEA STORICA TRATTA BUSSOLENO-AVIGLIANA REALIZZAZIONE SOTTOSTAZIONI ELETTRICHE NELLE LOCALITA' DI BORGONE E AVIGLIANA					
Sottostazione "innovativa" di Avigliana Relazione e progetto impianto di terra	COMMESSA NT01	LOTTO 05 D 58	CODIFICA CL	DOCUMENTO SE0200 001	REV. C	FOGLIO 2 di 18

INDICE

1. PREMESSA.....	3
2. OGGETTO.....	3
3. RIFERIMENTI.....	3
3.1 RIFERIMENTI NORMATIVI.....	4
3.2 RIFERIMENTI PROGETTUALI.....	5
4. CRITERI PROGETTUALI.....	5
5. CONFIGURAZIONE DELL'IMPIANTO.....	7
5.1 IMPIANTO DI TERRA DI PIAZZALE.....	7
5.2 IMPIANTO DI TERRA DEL FABBRICATO	9
6. DIMENSIONAMENTO.....	10
6.1 CALCOLO DELLA RESISTENZA DI TERRA DEL DISPERSORE	10
6.2 VERIFICA DELLE TENSIONI DI PASSO E DI CONTATTO PER GUASTI IN C.A.	12
6.3 VERIFICA DELLE TENSIONI DI PASSO E DI CONTATTO PER GUASTI IN C.C.....	14
6.3.1 Calcolo della corrente di guasto dispersa	14
6.3.2 Verifica delle tensioni di passo e di contatto.....	16
7. CONCLUSIONI.....	18
8. VALORI CORRENTI DI GUASTO	18



LINEA MODANE-TORINO, ADEGUAMENTO LINEA STORICA TRATTA
BUSSOLENO-AVIGLIANA
REALIZZAZIONE SOTTOSTAZIONI ELETTRICHE NELLE LOCALITA' DI
BORGONE E AVIGLIANA

Sottostazione "innovativa" di Avigliana
Relazione e progetto impianto di terra

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NT0I	05 D 58	CL	SE0200 001	C	3 di 18

1. PREMESSA

Nella presente relazione tecnica viene descritto il dimensionamento dell'impianto di terra da realizzarsi nell'area della nuova SSE "innovativa" di Avigliana.

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 "Innovativa" di Avigliana verrà costruita su di un'area di circa 5800 m², come si evince dall'elaborato:

NT0I05D58P9SE0200006

SSE "Innovativa" di Avigliana – Impianto di terra

Poiché nella suddetta sottostazione confluiscono sistemi elettrici di varie categorie, l'impianto di messa a terra, oggetto della presente relazione tecnica di progetto, dovrà soddisfare le esigenze di sicurezza di tutti i sistemi suddetti. 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 3.

2. OGGETTO

Oggetto della presente relazione è quello di fornire i dettagli progettuali dell'impianto di terra della nuova SSE "Innovativa" di Avigliana.

Come detto, per l'individuazione e valorizzazione dei suddetti parametri saranno prese a riferimento le norme tecniche vigenti, ma verranno tenuti in debita considerazione anche i criteri progettuali e costruttivi di Italferr e di RFI.

3. RIFERIMENTI

La presente relazione di calcolo, nonché tutta la documentazione progettuale che verrà successivamente citata, è conforme alle indicazioni contenute negli elaborati standard a riferimento, in quanto applicabili.

Nei punti seguenti vengono citati i principali documenti tecnici cui nel prosieguo della



LINEA MODANE-TORINO, ADEGUAMENTO LINEA STORICA TRATTA
BUSSOLENO-AVIGLIANA
REALIZZAZIONE SOTTOSTAZIONI ELETTRICHE NELLE LOCALITA' DI
BORGONE E AVIGLIANA

Sottostazione "innovativa" di Avigliana
Relazione e progetto impianto di terra

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NT0I	05 D 58	CL	SE0200 001	C	4 di 18

relazione verrà fatto esplicito od implicito riferimento.

3.1 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 principali¹:

- **NT TE118** : Norme Tecniche per la costruzione delle condutture di contatto e di alimentazione a corrente continua a 3kV;
- **Norme CEI EN 50119**: Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane Impianti fissi - Linee aeree di contatto per trazione elettrica;
- **Norme CEI EN 50122-1**: Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane – Impianti fissi - Sicurezza elettrica, messa a terra e circuito di ritorno Parte 1: Provvedimenti di protezione contro lo shock elettrico;
- **Norme CEI EN 50522**: Messa a terra degli impianti elettrici a tensione superiore a 1kV in c.a.;
- **Norme CEI EN 60865-1**: Correnti di corto circuito – Calcolo degli effetti; parte 1a: Definizioni e metodi di calcolo;
- **RFI DTC ST E SP IFS TE 101A**: Istruzione per la realizzazione del circuito di terra e di protezione delle linee a 3kVcc;
- **ANSI / IEEE Std 80**: Guide for Safety in AC Substation Grounding.
- **RFI DMA IM LA SP IFS 370 A** Dispositivo di collegamento del negativo 3kVcc all'impianto di terra di SSE e cabine TE.

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

¹ Per una panoramica generale dei riferimenti adottati si rimanda a quelli elencati nel documento NT0I05D58RGTE0000001 "Relazione generale interventi di trazione elettrica".



LINEA MODANE-TORINO, ADEGUAMENTO LINEA STORICA TRATTA
BUSSOLENO-AVIGLIANA
REALIZZAZIONE SOTTOSTAZIONI ELETTRICHE NELLE LOCALITA' DI
BORGONE E AVIGLIANA

Sottostazione "innovativa" di Avigliana
Relazione e progetto impianto di terra

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NT0I	05 D 58	CL	SE0200 001	C	5 di 18

3.2 Riferimenti progettuali

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

NT0I05D58PBSE0200002	SSE "Innovativa" di Avigliana – Fabbricato di SSE - Disposizione apparecchiature interne al fabbricato
NT0I05D58PBSE0200003	SSE "Innovativa" di Avigliana – Fabbricato di SSE - Impianto di terra e relè di massa.
NT0I05D58P9SE0200006	SSE "Innovativa" di Avigliana – Piazzale di SSE – Impianto di terra.

4. CRITERI PROGETTUALI

L'impianto di terra asservito alla sottostazione elettrica di cui al presente elaborato, dovrà essere progettato secondo i riferimenti sopra richiamati e soddisfare le seguenti prescrizioni:

- avere sufficienti resistenza meccanica e resistenza alla corrosione;
- essere in grado di sopportare, da un punto di vista termico, le più elevate correnti di guasto prevedibili (che generalmente sono determinate mediante calcolo);
- evitare danni a componenti elettrici ed a 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;
- durata del guasto a terra;
- caratteristiche del terreno.

In un impianto con diversi livelli di tensione, le prescrizioni precedenti devono essere soddisfatte per ciascuno dei sistemi di tensione. Non è necessario prendere in considerazione la contemporaneità di guasti in sistemi con tensioni diverse.



LINEA MODANE-TORINO, ADEGUAMENTO LINEA STORICA TRATTA
BUSSOLENO-AVIGLIANA
REALIZZAZIONE SOTTOSTAZIONI ELETTRICHE NELLE LOCALITA' DI
BORGONE E AVIGLIANA

Sottostazione "innovativa" di Avigliana
Relazione e progetto impianto di terra

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NT01	05 D 58	CL	SE0200 001	C	6 di 18

A tale impianto devono essere collegate le parti metalliche (masse, masse estranee, il neutro o altro punto dell'impianto) per cui è prescritto il collegamento a terra.

L'impianto di messa a terra in oggetto è destinato a realizzare il sistema di protezione dai contatti indiretti denominato **"Protezione mediante interruzione automatica dell'alimentazione"**, che è il solo metodo ammesso per gli impianti elettrici alimentati da sistemi di categoria superiore alla I.

Nel piazzale e nel fabbricato di SSE i rischi dai quali proteggere le persone derivano principalmente dal sistema a 3kV c.c., e dal sistema 132 kVc.a.

Se una qualunque delle apparecchiature appartenenti a tale sistema diviene sede di un guasto, può verificarsi il "tensionamento" indebito di masse normalmente fuori tensione, con il conseguente il pericolo di contatti indiretti.

Per attuare un'efficace protezione contro questi rischi, la normativa vigente prevede che tutte le masse metalliche del sistema siano collegate direttamente e stabilmente a terra.

Inoltre, in caso di guasto sul sistema 3 kVc.c., tutte le masse vengono connesse anche al binario tramite un cortocircuitatore, allo scopo di consentire la chiusura del circuito di guasto e favorire così il pronto intervento delle protezioni.

Il collegamento a terra deve essere effettuato per il tramite di un apposito dispersore, avente caratteristiche tali da garantire che le tensioni di contatto e di passo che si stabiliscono sulle masse metalliche durante il guasto si mantengano al di sotto dei valori massimi ammessi. Il dispersore, a sua volta, sarà collegato al circuito di ritorno TE non direttamente, bensì per il tramite di un dispositivo cortocircuitatore conforme alla specifica

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

Tale dispositivo effettua il collegamento tra maglia di terra e binario solo in caso di guasto a terra, in modo da consentire la rapida eliminazione del guasto ed evitare, nel contempo, l'effetto corrosivo delle correnti di ritorno sul dispersore medesimo.

In base a questi parametri verrà dimensionato il dispersore di terra principale della SSE, che è quello del piazzale all'aperto (sede delle sbarre e delle apparecchiature AT 132 kVc.a, delle condutture elettriche degli alimentatori a 3kV c.c. e di altre apparecchiature accessorie).



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 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, che possano essere oggetto di indebiti tensionamenti in caso di guasto.

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 prefabbricato 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, integrativo di quello già descritto, 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 "trasmettere" fuori dal piazzale tensioni pericolose in caso di guasto, andranno opportunamente isolate per mezzo di giunti isolanti.

5. CONFIGURAZIONE DELL'IMPIANTO

5.1 Impianto di terra di piazzale

Come riscontrabile dall'elaborato **NT0105D58P9SE0200006** SSE "Innovativa" di Avigliana – Piazzale di SSE – Impianto di terra, l'impianto di terra generale di piazzale sarà costituito essenzialmente da un dispersore orizzontale a rete magliata, in corda di rame nudo da 120 mm², interrato a circa 0,8 m di profondità in corrispondenza delle zone interne di piazzale, e a 1,2 m di profondità in corrispondenza dell'anello perimetrale.

Tale sezione è ampiamente superiore rispetto a quella minima prescritta dalla normativa in



**LINEA MODANE-TORINO, ADEGUAMENTO LINEA STORICA TRATTA
BUSSOLENO-AVIGLIANA
REALIZZAZIONE SOTTOSTAZIONI ELETTRICHE NELLE LOCALITA' DI
BORGONE E AVIGLIANA**

**Sottostazione "innovativa" di Avigliana
Relazione e progetto impianto di terra**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NT01	05 D 58	CL	SE0200 001	C	8 di 18

relazione al riscaldamento dei conduttori ed alla loro resistenza meccanica agli urti ed usure varie. Tuttavia essa viene normalmente impiegata negli impianti ferroviari, sia per la facile reperibilità del conduttore (corde portanti per TE) che per tenere conto della eventualità che sui conduttori stessi si verifichino perdite di materiale per effetto delle corrosioni elettrolitiche prodotte dalle correnti vaganti.

La rete di terra sarà a maglia prevalentemente regolare con dimensione della maglia elementare 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 da una serie di dispersori verticali, costituiti da puntazze in acciaio ramato, infisse nel terreno entro appositi pozzetti e dai "dispersori di fatto" rappresentati dalle armature metalliche relative alle fondazione delle apparecchiature di piazzale.

Le armature di tali strutture realizzate in cemento armato contribuiscono notevolmente alla dispersione delle correnti di terra, a condizione di realizzarle 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, la collocazione e le dimensioni dei dispersori verticali verranno verificati nell'ambito del seguente calcolo di progetto, trascurando, in prima analisi ed a titolo precauzionale, i contributi dei dispersori di fatto.

Oltre a realizzare i prescritti valori di resistenza di terra e a contenere quelli delle tensioni pericolose, l'estensione del dispersore dell'impianto di messa a terra dovrà essere tale da contenere abbondantemente al proprio interno tutte le apparecchiature che possono diventare sede di "tensionamenti" indebiti e presenterà un andamento il più possibile "morbido" e regolare, poiché la presenza di pendenze eccessive favorirebbe lo stabilirsi, nel piazzale, di zone ad intensa attività disperdente, con conseguenze indesiderabili sul gradiente di potenziale che si stabilisce nel terreno.

Per lo stesso motivo, gli elementi del cancello metallico di accesso al piazzale non saranno collegati alla rete di terra, ma dotati di un dispersore proprio. L'accorgimento si rende necessario al fine di garantire che le strutture metalliche suddette non possano in alcun caso

assumere i potenziali del dispersore magliato, per evitare ogni pericolo per gli estranei all'impianto.

In caso di guasto, le tensioni che possono assumere valori preoccupanti nell'area di sottostazione sono quelle "di passo" e "di contatto", come definite dalla normativa. Tuttavia il progetto del dispersore verrà eseguito soprattutto con riferimento alle tensioni di contatto, poiché queste assumono normalmente valori di gran lunga superiori a quelle di passo.

Solo nelle zone più periferiche, cioè in prossimità del conduttore perimetrale, le tensioni di passo possono assumere valori più elevati. Per fronteggiare questa evenienza, i conduttori perimetrali verranno interrati, come detto, a profondità maggiore del resto della rete, in modo da ridurre il gradiente di potenziale che si registra in superficie.

5.2 Impianto di terra del fabbricato

Per quanto riguarda l'impianto di terra del fabbricato contenente le apparecchiature di sottostazione, la sua realizzazione consisterà in:

- collettore di terra piatto in Cu forato e fissato a parete ad altezza 60cm dal pavimento galleggiante con isolatori in poliestere (isolamento > 1kV);
- collettore di terra celle raddrizzatori in piatto Cu 60x6mm forato e fissato a parete ad altezza di 60cm dal pavimento con isolatori in poliestere (isolamento > 1kV);
- esecuzione delle derivazioni di terra dalle masse metalliche fisse al collettore tramite piatto di rame 50x4mm;
- conduttore di protezione per il collegamento a terra di apparecchiature e carpenterie (cavo FG7H1R 1x120 mm²);
- collegamento alla maglia di terra di piazzale con cavi FG7H1R 2x1x120 mm²;
- canali di misura corrente di guasto verso terra nelle celle alimentatori, nelle celle di sez. gruppo e filtro e nelle celle raddrizzatori (parte in cc);
- connessioni di continuità elettrica delle carpenterie mobili, con conduttori flessibili.

L'installazione del collettore di terra e delle relative derivazioni alle masse metalliche dovrà essere opportunamente distanziata dalla parete mediante interposizione di distanziali in



**LINEA MODANE-TORINO, ADEGUAMENTO LINEA STORICA TRATTA
BUSSOLENO-AVIGLIANA
REALIZZAZIONE SOTTOSTAZIONI ELETTRICHE NELLE LOCALITA' DI
BORGONE E AVIGLIANA**

**Sottostazione "innovativa" di Avigliana
Relazione e progetto impianto di terra**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NT0I	05 D 58	CL	SE0200 001	C	10 di 18

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).

6. DIMENSIONAMENTO

6.1 Calcolo della resistenza di terra del dispersore

Come mostrato dal citato elaborato **NT0I05D58P9SE0200006** SSE "Innovativa" di Avigliana – Piazzale di SSE – Impianto di terra, il dispersore di piazzale è stato dimensionato come una rete di terra a maglie regolari, di superficie pari a circa **4300 m²**, con lato elementare di maglia mediamente pari a circa 3m e con sviluppo totale L_m della maglia:

$$L_m = 3000 \text{ m}$$

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 si assume cautelativamente un valore pari a:

$$\rho_t = 100 \, \Omega\text{m}$$

intesa sia per gli strati superficiali che per quelli più profondi.

Per il calcolo, sono stati presi in considerazione i dati di input di seguito riportati:

Resistività superficiale terreno	ρ_t	100	Ωm
Area coperta dalla maglia di terra	a	4300	m^2
Picchetti dislocati sulla maglia	N°	25	-
Lunghezza picchetti	L_p	6	m
Diametro picchetti	$\emptyset$	30	mm
Profondità interrimento maglia di terra	P_i	0,8	m
Profondità interrimento anello periferico	P_e	1,2	m

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

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

dove D è il diametro del cerchio di area equivalente alla rete a maglie, pari a circa 74 m.

Sostituendo i valori numerici si ricava il seguente valore:

$$R_r = 0,676 \, \Omega$$

L'impianto sarà integrato da dispersori verticali aggiuntivi, costituiti da paletti di acciaio ramato di diametro $d=30$ mm e lunghezza 6 m, ciascuno dei quali presenta una resistenza di terra R_p' pari a²:

$$R_p' = \frac{\rho}{2\pi L_p} \times \ln \frac{4 \cdot L_p}{d}$$

² In modo semplificativo, ma cautelativo dal punto di vista numerico, si è considerato che il picchetto abbia la "testa" al livello del suolo assumendo quindi l'insieme del dispersore reale ed immagine come un unico dispersore di lunghezza $2L_p$.



Con i valori già forniti, si ottiene:

$$R_p' = 17,73 \, \Omega$$

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:

$$R_{PP} = R_p' / 25 = 0,71 \, \Omega$$

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:

$$R_T = \frac{R_r \times R_{pp}}{R_r + R_{pp}} = 0,33 \, \Omega$$

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

Per quanto detto, il valore della resistenza di terra della SSE di Avigliana è assumibile pari a:

$$R_t = 0,35 \, \Omega$$

Si fa presente come il dimensionamento della maglia di terra della SSE di Avigliana sia stato eseguito, in modo cautelativo, non considerando il contributo al drenaggio della corrente di guasto legato all'alimentazione in cavo della sottostazione in riferimento alle guaine metalliche che avvolgono lo stesso.

6.2 Verifica delle tensioni di passo e di contatto per guasti in C.A.

I parametri significativi al fine del dimensionamento del dispersore di terra sono la corrente di terra, il tempo d'intervento delle protezioni AT e la resistenza di terra del dispersore medesimo.

Per quanto attiene alla corrente di guasto a terra ed al tempo d'interruzione, si terrà conto di quanto comunicato dall'ente gestore della rete, che prevede, come indicato nella *comunicazione correnti di guasto della rete AT*:

$$I_g = 12 \, \text{kA}$$

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

Il dispersore così dimensionato dovrà essere tale da impedire che, con tale corrente di terra, si verifichino in qualsivoglia punto dell'impianto, tensioni di contatto e di passo pari o superiori ai valori della seguente tabella (in riferimento alla Normativa CEI EN 50522):

Condizioni di breve durata

Tempo di eliminazione del guasto [s]	Tensione [V]
0.05	716
0.1	654
0.2	537
0.5	220
1.0	117
2.00	96
5.00	86
10.00	85

Nel caso in esame il valore da non superare è pari a **654 V**.

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:

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

in cui I_{tr} è l'aliquota della corrente di terra I_t dispersa dal solo dispersore a maglie ed L_M è lo sviluppo totale della maglia, che nel caso specifico vale $L_M=3000m$.

Poiché la rete ed il sistema dei paletti aggiuntivi si ripartiscono la corrente di terra in ragione inversa delle loro resistenze di terra, si ricava³:

$$I_{tr} = I_t \frac{R_{pp}}{R_{pp} + R_r} = 6147 A$$

$$I_{tp} = I_t \frac{R_r}{R_{pp} + R_r} = 5853 A$$

³ Assumendo la corrente di terra I_t pari alla totale corrente di guasto I_g .

e, con gli altri valori precedentemente forniti, risulta:

$$V_c = 143,43 \text{ V}$$

Tale valore risulta inferiore a quello limite di 654V, pertanto l'impianto così configurato può considerarsi sufficiente alla protezione nei confronti di tensionamenti indebiti.

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:

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

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 100 m.

Sostituendo i valori, si ha:

$$V_p = 4 \frac{100 \times 6147}{(100)^2} = 245,88 \text{ V}$$

$$V_p = 245,88 \text{ V}$$

Pur risultando tale valore inferiore a quello massimo ammissibile di 654V esposto nella precedente tabella per $t \approx 0,1s$, conviene ridurne ugualmente gli effetti, interrando i conduttori periferici della rete, come già detto, ad una profondità maggiore rispetto agli altri elementi del dispersore (1,2 m per quello più esterno e 0,8 m per quello precedente). In tal modo risulterà sensibilmente più basso il gradiente di tensione nelle zone marginali del piazzale.

6.3 Verifica delle tensioni di passo e di contatto per guasti in C.C.

6.3.1 Calcolo della corrente di guasto dispersa

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.



LINEA MODANE-TORINO, ADEGUAMENTO LINEA STORICA TRATTA
BUSSOLENO-AVIGLIANA
REALIZZAZIONE SOTTOSTAZIONI ELETTRICHE NELLE LOCALITA' DI
BORGONE E AVIGLIANA

Sottostazione "innovativa" di Avigliana
Relazione e progetto impianto di terra

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NT01	05 D 58	CL	SE0200 001	C	15 di 18

Tale rapporto, in base ai valori della tensione $V=3,6$ kV e dell'impedenza $Z=0,42$ Ω (supponendo l'impedenza di SSE pari a $0,07$ Ω e quella dell'impianto di terra pari a $0,35$ Ω come calcolato), risulta di circa 8600 A che, cautelativamente, viene aumentato al valore:

$$I_G = 10,5 \text{ kA.}$$

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:

$$t = 0,5 \text{ s}$$

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 $t_v=0,1$ 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:

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

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:

$$I_t = 4746 \text{ A}$$



LINEA MODANE-TORINO, ADEGUAMENTO LINEA STORICA TRATTA
BUSSOLENO-AVIGLIANA
REALIZZAZIONE SOTTOSTAZIONI ELETTRICHE NELLE LOCALITA' DI
BORGONE E AVIGLIANA

Sottostazione "innovativa" di Avigliana
Relazione e progetto impianto di terra

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NT01	05 D 58	CL	SE0200 001	C	16 di 18

La residua parte:

$$I_b = I_G - I_t \approx 5754 \text{ A}$$

verrà invece dispersa dai binari.

6.3.2 Verifica delle tensioni di passo e di contatto

Il dispersore così dimensionato dovrà essere tale da impedire che, con la corrente di terra I_t calcolata precedentemente, si verifichino in qualsivoglia punto dell'impianto, tensioni di contatto e di passo superiori ai valori della seguente tabella, valida per i sistemi in corrente continua (in riferimento alla Normativa CEI EN 50122-1):

Tempo di eliminazione del guasto [s]	Tensione [V]
0.02	870
0.05	735
0.1	625
0.2	520
0.3	460
0.4	420
0.5	385

Il tempo t di intervento degli interruttori extrarapidi di cabina viene normalmente assunto pari a:

$$t = 0,5 \text{ s}$$

Nel caso in esame quindi il valore da non superare è pari a **385 V**.

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:

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

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

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:

$$I_{tr} = I_t \frac{R_{pp}}{R_{pp} + R_r} = 2431 \text{ A}$$

$$I_{tp} = I_t \frac{R_r}{R_{pp} + R_r} = 2315 \text{ A}$$

La tensione di contatto è pari a:

$$V_c = 0,7 \frac{100 \times 2431}{3000} = 56,72 \text{ V}$$

$$\mathbf{V_c = 56,72 \text{ V}}$$

Questo valore è inferiore a quello limite esposto nella precedente tabella per $t \approx 0,5 \text{ s}$.

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 aumenta il gradiente di potenziale.

Per le zone suddette viene impiegata la formula prudenziale:

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

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 100 m.

Sostituendo i valori, si ha:

$$V_p = 4 \frac{100 \times 2431}{(100)^2} = 97,24 \text{ V}$$

$$\mathbf{V_p = 97,24 \text{ V}}$$

Pur risultando tale valore inferiore a quello massimo ammissibile di 385 V esposto nella precedente tabella per $t \approx 0,5 \text{ s}$, anche nel caso di guasto in c.c. l'interramento dei conduttori



LINEA MODANE-TORINO, ADEGUAMENTO LINEA STORICA TRATTA
BUSSOLENO-AVIGLIANA
REALIZZAZIONE SOTTOSTAZIONI ELETTRICHE NELLE LOCALITA' DI
BORGONE E AVIGLIANA

Sottostazione "innovativa" di Avigliana
Relazione e progetto impianto di terra

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NT01	05 D 58	CL	SE0200 001	C	18 di 18

periferici della rete, come già detto, ad una profondità maggiore rispetto agli altri elementi del dispersore (1,2 m per quello più esterno e 0,8 m per tutti gli altri) renderà sensibilmente più basso il gradiente di tensione nelle zone marginali del piazzale.

7. CONCLUSIONI

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

Tuttavia, la verifica di questi parametri dovrà essere opportunamente eseguita nelle successive fasi progettuali valutando la reale conformazione della maglia di terra e gli effettivi valori della resistività del terreno, delle correnti di guasto e del tempo di eliminazione dello stesso che verranno forniti dall'ente distributore all'appaltatore nella fase progettuale di competenza di quest'ultimo. Inoltre, l'istruzione DPR MO SL 13 11 stabilisce che sarà necessario 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 istruzione tecnica stabilisce anche le modalità di esecuzione delle prove da eseguire.

8. VALORI CORRENTI DI GUASTO

Di seguito la comunicazione della corrente di guasto della rete AT:

SSE "Innovativa" di Avigliana

Per la SSE "Innovativa" di Avigliana si assume:

I_{cc} monofase = 12 kA - Tempo di eliminazione del guasto = 0,1 s;

I_{cc} trifase 31,5 kA - Tempo di eliminazione del guasto = 0,3 s.