

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE:



CUP: J64H17000140001

U.O. TECNOLOGIE NORD

PROGETTO DEFINITIVO

RADDOPPIO PONTE S.PIETRO - BERGAMO - MONTELLO

LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP - Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo

SOTTOSTAZIONI ELETTRICHE:

Cabina TE di Bergamo Relazione e progetto impianto di terra

SCALA:

-

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

N B 1 R 0 9 D 5 8 C L S E 0 2 0 0 0 2 3 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	F. Serrau 	Mar.2020	M. Reggiani 	Mar.2020	M. Berlingieri 	Mar.2020	Ing. M. Gambaro Marzo 2020

File: NB1R09D58CLSE0200023A.docx

n. Elab.:

INDICE

1. PREMESSA	3
2. OGGETTO	3
3. RIFERIMENTI	4
3.1 RIFERIMENTI NORMATIVI.....	4
3.2 RIFERIMENTI AD ELABORATI PROGETTUALI	5
4. CRITERI PROGETTUALI	5
5. CONFIGURAZIONE DELL'IMPIANTO	7
5.1 IMPIANTO DI TERRA DI PIAZZALE	7
5.2 IMPIANTO DI TERRA INTERNO AL 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.C.	12
6.2.1 Calcolo della corrente di guasto dispersa	12
6.2.2 Verifica delle tensioni di passo e di contatto.....	13
6.4 VERIFICA DELLE SEZIONE DEL CONDUTTORE	15
7. CONCLUSIONI	17



RADDOPPIO PONTE S.PIETRO - BERGAMO – MONTELLO

LOTTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO

CTE Bergamo

Relazione e progetto impianto di terra

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

NBR1

09 D58

CL

SE0200023

A

3 di 17

1. PREMESSA

Nella presente relazione tecnica viene descritto il dimensionamento dell'impianto di terra da realizzarsi nell'area della nuova CTE di Bergamo.

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 CTE di Bergamo verrà costruita su di un'area di circa 1100m², come si evince dall'elaborato:

NBR102D58PASE0200031A CTE di Bergamo – Impianto di terra

Poiché nel suddetto impianto 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 cabina TE di Bergamo.

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.



RADDOPPIO PONTE S.PIETRO - BERGAMO – MONTELLO

LOTTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO

CTE Bergamo

Relazione e progetto impianto di terra

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

NBR1

09 D58

CL

SE0200023

A

4 di 17

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 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 principali:

- **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;
- **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;
- **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 – Installazioni fisse; Parte 1: Provvedimenti concernenti la sicurezza elettrica e la messa a terra;
- **Norme 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;
- **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:



RADDOPPIO PONTE S.PIETRO - BERGAMO – MONTELLO

LOTTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO

CTE Bergamo

Relazione e progetto impianto di terra

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

NBR1

09 D58

CL

SE0200023

A

5 di 17

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;
- **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;
- **RFI DMA IM LA SP IFS 371 A:** Relè monostabile di massima corrente a soglia fissa adirezionale ad inserzione diretta.

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.

3.2 Riferimenti ad elaborati progettuali

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

- **NBR102D58CLSE0200024A** CTE Bergamo – Schema Elettrico Generale.
- **NBR102D58PASE0200031A** CTE Bergamo – Impianto di Terra
- **NBR102D58PBSE0200034A** CTE Bergamo – Impianto di terra e relè di massa.

4. CRITERI PROGETTUALI

L'impianto di terra della nuova cabina TE di Bergamo 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, da 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

**RADDOPPIO PONTE S.PIETRO - BERGAMO – MONTELLO****LOTTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO****CTE Bergamo****Relazione e progetto impianto di terra**

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

NBR1

09 D58

CL

SE0200023

A

6 di 17

di terra per effetto delle correnti di guasto a terra.

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;
- Resistività del terreno e/o tipologia.

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.

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.

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.

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.

Inoltre, in caso di guasto sul sistema 3 kVcc, tutte le masse vengono connesse anche al binario (ritorno TE) 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.*



RADDOPPIO PONTE S.PIETRO - BERGAMO – MONTELLO

LOTTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO

CTE Bergamo

Relazione e progetto impianto di terra

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

NBR1

09 D58

CL

SE0200023

A

7 di 17

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 relazione al fatto che il fabbricato e tutti gli impianti cadono all'interno del piazzale 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 e tutte le altre eventuali masse metalliche accessibili poste all'interno dell'anello perimetrale della rete di terra).

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.

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 "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:

- **NBR102D58PASE0200031A** CTE Bergamo – Impianto di terra.

L'impianto di terra generale di piazzale sarà costituito essenzialmente da un dispersore

**RADDOPPIO PONTE S.PIETRO - BERGAMO – MONTELLO****LOTTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO****CTE Bergamo****Relazione e progetto impianto di terra**

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

NBR1

09 D58

CL

SE0200023

A

8 di 17

orizzontale a rete magliata, in corda di rame nudo da 120mm², interrato a circa 0,6m 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 esuberante rispetto a quella minima prescritta dalla normativa in 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 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 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.

Tali strutture, realizzate in cemento armato, contribuiscono notevolmente alla dispersione delle correnti 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, 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 vertici o antenne favorirebbe lo stabilirsi, nel piazzale, di zone ad intensa attività disperdente, con conseguenze indesiderabili sul gradiente di



RADDOPPIO PONTE S.PIETRO - BERGAMO – MONTELLO

LOTTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO

CTE Bergamo

Relazione e progetto impianto di terra

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

NBR1

09 D58

CL

SE0200023

A

9 di 17

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 piazzale 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 al proprio intorno, in superficie.

In ogni caso, saranno oggetto di verifica anche le tensioni di passo che si destano nelle zone periferiche.

5.2 Impianto di terra interno al fabbricato

Per quanto riguarda l'impianto di terra del fabbricato di contegno delle apparecchiature di cabina TE, la sua realizzazione consisterà in:

- Installazione di collettore di terra piatto C_u forato e fissato a parete ad altezza 50 cm dal pavimento galleggiante con isolatori in poliestere (isolamento > 1kV);
- Installazione di collettore di terra celle raddrizzatori – piatto C_u 50x4mm forato e fissato a parete ad altezza di 60cm dal pavimento con isolatori in poliestere (isolamento > 1kV);
- 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, conforme alla specifica RFI DMA IM LA SP IFS 371 A, montato a parete su supporti isolanti;



RADDOPPIO PONTE S.PIETRO - BERGAMO – MONTELLO

LOTTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO

CTE Bergamo

Relazione e progetto impianto di terra

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

NBR1

09 D58

CL

SE0200023

A

10 di 17

- 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.
- 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 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:

NBR102D58PASE0200031A CTE Bergamo – Impianto di terra.

Il dispersore di piazzale è stato dimensionato come una rete di terra magliata di superficie pari a circa **850 m²**, con lato di maglia mediamente pari a circa 3m, con sviluppo totale L_m della magliatura:

$$L_m = 560 \text{ m}$$

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 CTE 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):

**RADDOPPIO PONTE S.PIETRO - BERGAMO – MONTELLO****LOTTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO****CTE Bergamo****Relazione e progetto impianto di terra**

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

NBR1

09 D58

CL

SE0200023

A

11 di 17

**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:

$$\rho_t = 100 \Omega m$$

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	850	m^2
Picchetti dislocati sulla maglia	N	11	-
Lunghezza picchetti	L_p	6	m
Diametro picchetti	\emptyset	30	mm
Profondità interrimento maglia di terra	P_i	0,6	m
Profondità interrimento anello periferico	P_e	1,2	m

La resistenza R_r della rete magliata 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 magliata, pari a circa 32,9 m.

Sostituendo i valori numerici si ricava il seguente valore:

$$R_r = 1,52 \Omega$$

**RADDOPPIO PONTE S.PIETRO - BERGAMO – MONTELLO****LOTTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO****CTE Bergamo****Relazione e progetto impianto di terra**

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

NBR1

09 D58

CL

SE0200023

A

12 di 17

L'impianto sarà integrato da dispersori verticali aggiuntivi, costituiti da paletti di acciaio ramato di diametro pari a 30 mm e lunghezza 6m, 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 ed il diametro del tondo di cui è costituito il picchetto. Con i valori già forniti, si ottiene:

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

Ai fini della verifica verranno considerati n°11 picchetti distribuiti nel piazzale di CTE; pertanto la resistenza di terra dei picchetti, considerati in parallelo, sarà:

$$R_{pp} = R_p' / 11 = 1,61 \Omega$$

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:

$$R_T = \frac{R_r \times R_{pp}}{R_r + R_{pp}} = 0,78 \Omega$$

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

Il valore della resistenza di terra della CTE di Bergamo è pari a:

$$R_t = 0,78 \Omega$$

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

6.2.1 Calcolo della corrente di guasto dispersa

In caso di guasto del sistema in corrente continua, la corrente di guasto a terra 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 CTE e della resistenza di terra dell'impianto.

Tale rapporto, in base ai valori della tensione $V=3,6$ kVe dell'impedenza $Z=0,88 \Omega$ (supponendo l'impedenza pari a $0,1 \Omega$ e quella dell'impianto di terra calcolata sopra e pari a $0,78 \Omega$), risulta di circa 4100 A che, cautelativamente, viene aumentato al valore:

**RADDOPPIO PONTE S.PIETRO - BERGAMO – MONTELLO****LOTTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO****CTE Bergamo****Relazione e progetto impianto di terra**

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

NBR1

09 D58

CL

SE0200023

A

13 di 17

$$I_T = 6000 \text{ A.}$$

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:

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

6.2.2 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 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
0.10	625
0.20	520
0.30	460
0.40	420
0.50	385
0,60	360
0,70	350

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

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

Nel caso in esame quindi il valore da non superare è pari a $U_{tp}=625 \text{ V}$.

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:

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

**RADDOPPIO PONTE S.PIETRO - BERGAMO – MONTELLO****LOTTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO****CTE Bergamo****Relazione e progetto impianto di terra**

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

NBR1

09 D58

CL

SE0200023

A

14 di 17

in cui I_{tr} è l'aliquota della corrente di terra I_t dispersa dal solo dispersore a rete magliata ed L_m è la lunghezza totale di tale dispersore, pari a:

$$L_m = 560 \text{ m}$$

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:

$$I_{tr} = I_t \frac{R_{pp}}{R_{pp} + R_r} = 3086 \text{ A}$$

$$I_{tp} = I_t \frac{R_r}{R_{pp} + R_r} = 2914 \text{ A}$$

La tensione di contatto, è pari a:

$$V_c = 0,7 \frac{100 \times 3086}{560} = 385 \text{ V}$$

$$V_c = 385 \text{ V}$$

Questo valore è inferiore a quello limite di 625 V, 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 media della superficie rettangolare occupata dalla rete di terra, che nel caso in oggetto è pari a circa 60 m.

Sostituendo i valori, si ha:



RADDOPPIO PONTE S.PIETRO - BERGAMO – MONTELLO

LOTTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO

CTE Bergamo

Relazione e progetto impianto di terra

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

NBR1

09 D58

CL

SE0200023

A

15 di 17

$$V_p = 4 \frac{100 \times 3086}{(60)^2} = 342 \text{ V}$$

$$V_p = 342 \text{ V}$$

Pur risultando tale valore inferiore a quello massimo ammissibile di 625 V esposto nella precedente tabella per $t \approx 0,1$ s, 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 (1,2 m per quello più esterno e 0,6 m per quello precedente) renderà sensibilmente più basso il gradiente di tensione nelle zone marginali del piazzale.

6.4 Verifica delle sezione del conduttore

In funzione del valore stabilito per la corrente di guasto a terra, può essere eseguita la verifica della sezione scelta per il conduttore utilizzato per la costruzione della maglia.

Detta verifica verrà eseguita tramite l'algoritmo proposto dalla Norma CEI EN 50522 allegato D [D.1]:

$$A = \frac{I_T}{K} \sqrt{\frac{t}{\ln \frac{\Theta_f + \beta}{\Theta_i + \beta}}}$$

Nella quale è:

- A [mm²]: sezione del conduttore;
- I [A]: corrente di guasto;
- t [s]: tempo di permanenza del guasto;
- K [A mm⁻² s^{1/2}]: costante tipica del materiale del conduttore;
- β [°C]: reciproco del coefficiente di temperatura della resistenza del componente percorso dalla corrente a 0°C;
- Θ_i [°C]: temperatura iniziale in gradi Celsius;
- Θ_f [°C]: temperatura finale in gradi Celsius.

**RADDOPPIO PONTE S.PIETRO - BERGAMO – MONTELLO****LOTTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO****CTE Bergamo****Relazione e progetto impianto di terra**

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

NBR1

09 D58

CL

SE0200023

A

16 di 17

Assumendo per la corda di rame isolata in gomma G16 i valori (cfr. CEI EN 50522 all. D tab. D.1):

- $K = 226 [A \text{ mm}^{-2} \text{ s}^{1/2}]$
- $\beta = 234,5^\circ\text{C}$

ed ipotizzando per le temperature iniziale e finale i valori suggeriti dalla suddetta norma:

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

Si ottiene:

$$A = \frac{6000}{226} \sqrt{\frac{0,1}{\ln \frac{300+234,5}{20+234,5}}} = 9,75 \text{ mm}^2$$

Pertanto la sezione di 120 mm² scelta in prima approssimazione risulta adeguata alle esigenze anche dal punto di vista termico.

**RADDOPPIO PONTE S.PIETRO - BERGAMO – MONTELLO****LOTTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO****CTE Bergamo****Relazione e progetto impianto di terra**

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

NBR1

09 D58

CL

SE0200023

A

17 di 17

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. Inoltre, la norma tecnica TE 13 del 1984 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, ove necessario;

La stessa Norma Tecnica stabilisce anche le modalità di esecuzione delle prove da eseguire. Si ricorda, inoltre, che il DPR 462/2001 prescrive per gli impianti di terra una verifica prima della messa in funzione e periodicamente ad intervalli non superiori ai 2 anni.

La norma inoltre stabilisce di verificare l'efficienza dell'impianto di terra mediante esame a vista e prove prima della messa in servizio e ad intervalli non superiori a:

- 6 anni per le stazioni elettriche del distributore;
- 3 anni per gli impianti utilizzatori posti a valle del punto di consegna dell'energia da parte del distributore comprese le stazioni elettriche del cliente.

In condizioni di ordinario funzionamento deve essere verificata la continuità dei conduttori di terra, deve essere effettuata la misura della resistenza di terra e, ove necessario, la misura della tensione di contatto ed eventualmente di passo.