

COMMITTENTE:



DIREZIONE INVESTIMENTI
DIREZIONE PROGRAMMI INVESTIMENTI
DIRETTRICE SUD - PROGETTO ADRIATICA

DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:

Mandataria



Mandanti



PROGETTAZIONE:

MANDATARIA



MANDANTI



PROGETTO ESECUTIVO

LINEA PESCARA - BARI
RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA
LOTTI 2 e 3 - RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA

SSE S. Monica
Relazione di calcolo Impianto di Terra

L'Appaltatore

Ing. Gianguido Babini

A.A.D'AGOSTINO COSTRUZIONI GENERALI S.r.l.

Il Direttore Tecnico
(Ing. Gianguido Babini)

I progettisti (il Direttore della progettazione)

Ing. Massimo Facchini

Data 18/12/2022

firma

Data 18/12/2022

firma

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA / DISCIPLINA	PROGR	REV	SCALA
L I 0 B	0 2	E	Z Z	C L	S E 0 1 B 0	0 0 2	C	/

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato/Data
A	Emissione Esecutiva	Scognamiglio	Dicembre 2022	Cicero	Dicembre 2022	Sorbino	Dicembre 2022	
B	Aggiornamento per RDV	Scognamiglio	Marzo 2023	Cicero	Marzo 2023	Sorbino	Marzo 2023	
C	Aggiornamento per RIV	Scognamiglio	Ottobre 2023	Cicero	Ottobre 2023	Sorbino	Ottobre 2023	
D								

File: LI0B.0.2.E.ZZ.CL.SE01.B.0.002.C.DOCX

n. Elab 3091.

SSE S. Monica
Relazione di calcolo Impianto di Terra

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	CL	SE	01	B0	002	D	1

INDICE

1.. PREMESSA E SCOPO	2
2.. RIFERIMENTI	3
2.1 Riferimenti normativi.....	3
2.2 Riferimenti ad elaborati di progetto.....	3
3.. CRITERI PROGETTUALI	4
4.. CONFIGURAZIONE DELL'IMPIANTO	6
4.1 Impianto di terra di piazzale.....	6
4.2 Impianto di terra del fabbricato	6
5.. DIMENSIONAMENTO.....	8
5.1 Calcolo della resistenza di terra del dispersore	8
5.2 Verifica delle tensioni di passo e di contatto per guasti in C.A.	9
5.3 Verifica delle tensioni di passo e di contatto per guasti in C.C.	11
5.4 Verifica della sezione del conduttore	13
6.. CONCLUSIONI	14

 	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA										
	SSE S. Monica Relazione di calcolo Impianto di Terra	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV
	LI0B	02	E	ZZ	CL	SE	01	B0	002	D	2

1. PREMESSA E SCOPO

Nella presente relazione tecnica vengono descritti i criteri impiegati per il progetto dell'impianto di terra da realizzare nell'area della nuova SSE di Santa Monica, la cui realizzazione è prevista nell'ambito degli interventi di raddoppio della tratta ferroviaria Termoli-Lesina, lotti 2 e 3 Termoli-Ripalta, della linea Pescara-Bari.

La presente relazione illustra le scelte tecniche adottate per il dimensionamento del suddetto impianto ed indica le prescrizioni da adottare per realizzare un sistema che garantisca la sicurezza della vita umana e l'integrità dei componenti elettrici collegati al sistema.

Il piazzale della SSE di Santa Monica occuperà un'area di forma rettangolare di dimensioni pari a 61,25x35,75m, con superficie di circa 2190m² (compresa area occupata dal fabbricato di consegna MT) come si evince dall'elaborato:

LI0B02EZZPASE01B0006: SSE di Santa Monica – Planimetria / Layout impianto di terra di Piazzale.

L'alimentazione primaria della SSE sarà garantita da una fornitura in Media Tensione (20kV); essa a sua volta alimenterà gli impianti di Trazione Elettrica 3kVcc di una linea a doppio binario, pertanto sarà attrezzata con due gruppi di conversione della potenza di 5400kVA ciascuno.

Poiché nella suddetta sottostazione confluiscono sistemi elettrici di varie categorie, l'impianto di messa a terra oggetto della presente relazione tecnica dovrà soddisfare le esigenze di sicurezza di tutti i sistemi afferenti. Trattandosi inoltre di impianto ferroviario verranno attuati tutti i criteri progettuali previsti dalla normativa tecnica valida per gli impianti di trazione elettrica, con particolare riferimento alle Norme CEI citate nei successivi paragrafi. Inoltre verranno tenuti in debita considerazione anche i criteri progettuali e costruttivi di Italferr/RFI, dato il particolare carattere dell'impianto in oggetto.

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

MANDATARIA  <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE & P.L.</small>	MANDANTI 	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA									
		SSE S. Monica Relazione di calcolo Impianto di Terra	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR
	LI0B	02	E	ZZ	CL	SE	01	B0	002	D	3

2. RIFERIMENTI

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

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

2.1 RIFERIMENTI NORMATIVI

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

NT TE118: Norme Tecniche per la costruzione delle condutture di contatto e di alimentazione a corrente continua a 3kV;

RFI DTC ST E SP IFS 370 A: Dispositivo cortocircuitatore limitatore di tensione per SSE e cabine TE a 3kV;

Norme CEI EN50119 (9.2): Linee di Trazione Elettrica;

Norme CEI EN50122-1 (9.6): Applicazioni ferroviarie – Installazioni fisse; Parte 1^a: Provvedimenti concernenti la sicurezza elettrica e la messa a terra;

Norme CEI EN 50522: Messa a terra degli impianti elettrici a tensione superiore a 1 kV in c.a.;

Norme CEI EN60865 -1 (11-26): Correnti di corto circuito – Calcolo degli effetti; parte 1^a: Definizioni e metodi di calcolo;

Istruzione FS C.3/70: Istruzione per il circuito di ritorno TE e per i circuiti di terra sulle linee elettrificate a 3kV;

D.M. 22-1-2008 n. 37: Regolamento concernente l'attuazione dell'articolo 11-quaterdecies, comma 13, lettera a) della legge n. 248 del 2 dicembre 2005, recante riordino delle disposizioni in materia di attività di installazione degli impianti all'interno degli edifici;

DL n°81 del 9.04.2008: concernente le procedure di attuazione per la sicurezza sul lavoro;

ANSI / IEEE Std 80: Guide for Safety in AC Substation Grounding;

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

2.2 RIFERIMENTI AD ELABORATI DI PROGETTO

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

LI0B02EZZPASE01B0006: SSE di Santa Monica – Planimetria / Layout impianto di terra di Piazzale.

 	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA										
	SSE S. Monica Relazione di calcolo Impianto di Terra	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV
	LI0B	02	E	ZZ	CL	SE	01	B0	002	D	4

3. CRITERI PROGETTUALI

L'impianto di terra della nuova SSE di Santa Monica dovrà essere progettato secondo i riferimenti richiamati al punto precedente e soddisfare inoltre 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 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 in Bassa ed Alta Tensione (secondo definizione CEI 50522 par. 3.1.3 e 3.1.4), le prescrizioni precedenti devono essere soddisfatte per ciascuno dei sistemi.

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

L'impianto di terra realizza la protezione dai contatti indiretti mediante il criterio di “**interruzione automatica dell'alimentazione**”, che è il solo metodo ammesso per gli impianti elettrici alimentati da sistemi in Alta Tensione. Per attuare un'efficace protezione dai contatti indiretti, la normativa vigente prevede che tutte le masse del sistema siano collegate direttamente e stabilmente a terra.

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

È inoltre previsto un collegamento, attraverso un dispositivo cortocircuitatore, tra la rete di terra ed il circuito di ritorno TE. Tale dispositivo pone in continuità metallica, e quindi elettrica, l'impianto di terra con in 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. Per quanto riguarda il dispositivo cortocircuitatore, la specifica di riferimento è la:

- **RFI DTC ST E SP IFS 370 A**

Nella presente relazione verrà dimensionato l'impianto di protezione di terra del piazzale e dei Fabbricati di SSE in relazione ad eventuali guasti e conseguenti rischi di contatti indiretti derivanti dal solo sistema di trazione elettrica a 3kVcc.

Tale criterio è giustificato dal fatto che il sistema in MT viene alimentato con neutro isolato, e pertanto è sede di correnti di guasto notevolmente inferiori a quelle del sistema a 3kVcc poiché dovute unicamente all'accoppiamento capacitivo dei conduttori in cavo tra loro e verso massa.

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

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

SSE S. Monica

Relazione di calcolo Impianto di Terra

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	CL	SE	01	B0	002	D	5

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

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

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

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

MANDATARIA  MANDANTI 	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA										
	SSE S. Monica Relazione di calcolo Impianto di Terra	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV
	LI0B	02	E	ZZ	CL	SE	01	B0	002	D	6

4. CONFIGURAZIONE DELL'IMPIANTO

4.1 IMPIANTO DI TERRA DI PIAZZALE

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

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

La dimensione delle singole maglie sarà mediamente di circa 4x4m, in modo da realizzare una superficie pressoché equipotenziale su tutta l'area interessata dall'impianto. Lo sviluppo superficiale complessivo della rete, con particolare riferimento alla lunghezza del conduttore perimetrale, sarà oggetto di verifica nel presente calcolo.

L'impianto verrà integrato con dispersori verticali, costituiti da picchetti in acciaio ramato infissi nel terreno, corredati da apposita "puntazza" e disposti all'interno di pozzetti ispezionabili; inoltre saranno presenti i "dispersori di fatto" rappresentati dalle armature metalliche relative alle fondazioni sia del fabbricato sia delle apparecchiature di piazzale.

Dette fondazioni, realizzate in cemento armato, contribuiscono notevolmente alla dispersione delle correnti di guasto, a condizione di realizzare la continuità metallica tra esse ed il dispersore intenzionale. Ciò si ottiene collegando tra loro, con efficaci legature in fil di ferro o meglio con punti di saldatura forte, tutti i ferri d'armatura durante la loro formazione. Le gabbie metalliche così formate dovranno poi essere collegate alla rete di terra a mezzo di "frustoni" in corda di rame.

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

Oltre a presentare i valori di resistenza di terra tali da contenere le tensioni pericolose, l'impianto di terra dovrà essere tale da contenere al proprio interno tutte le apparecchiature che possono diventare sede di tensioni pericolose a seguito di guasto a terra. Inoltre per evitare che possano instaurarsi tensioni pericolose al suolo a ridosso del confine dell'area di SSE l'elemento disperdente più periferico dovrà trovarsi a debita distanza (circa 2,5m) dalla recinzione dell'area di SSE.

Esso inoltre dovrà presentare un andamento il più possibile morbido e regolare, poiché la presenza di vertici o antenne favorirebbe lo stabilirsi di zone ad intensa attività disperdente, con conseguenze indesiderabili sul gradiente di potenziale che si stabilisce nel terreno.

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

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

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

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

4.2 IMPIANTO DI TERRA DEL FABBRICATO

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

- installazione di un collettore di terra in piatto di rame 50x4mm in ogni locale, graffettato alle pareti;
- esecuzione delle derivazioni di terra, con piatto di rame 40x3mm, dalle masse metalliche fisse al collettore;

SSE S. Monica

Relazione di calcolo Impianto di Terra

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	CL	SE	01	B0	002	D	7

installazione di un relè di massa di tipo elettromeccanico a parete (complementare a quelli di tipo elettronico a corredo delle celle blindate degli interruttori extrarapidi e dei filtri), montato su supporti isolanti all'interno della cella negativo;

posa e collegamento di un doppio cavo in rame da 120mm², dal relè di massa sino alla rete di terra di piazzale;

connessioni di continuità elettrica delle carpenterie mobili, con conduttori flessibili delle seguenti sezioni:

- 50mm², per la messa a terra dei pannelli mobili (ante di celle ed armadi);
- 70mm², per la messa a terra delle altre parti mobili, tipo aste di manovra.

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

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

MANDATARIA  <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE & P.L.</small>	MANDANTI 	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA										
		SSE S. Monica Relazione di calcolo Impianto di Terra	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV
		LI0B	02	E	ZZ	CL	SE	01	B0	002	D	8

5. DIMENSIONAMENTO

5.1 CALCOLO DELLA RESISTENZA DI TERRA DEL DISPERSORE

Come mostrato dal citato elaborato Planimetria / Layout impianto di terra di Piazzale il dispersore di piazzale è costituito da una rete magliata di superficie pari a circa 1680m², con lato di magliatura mediamente pari a circa 4,45x4,15m.

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

In questa fase si assumeranno valori cautelativi; in fase esecutiva dovranno essere svolti opportuni sondaggi al fine di individuare il corretto valore della resistività del terreno.

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

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

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

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

$$\rho_E = 100 \Omega m$$

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

$$\rho_P = 200 \Omega m$$

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

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

dove D è il diametro del cerchio di area equivalente alla rete magliata, pari a circa 46,22m.

Sostituendo i valori numerici si ricava il seguente valore:

$$R_r = 1,08 \Omega$$

L'impianto sarà integrato da dispersori verticali aggiuntivi, costituiti da paletti di acciaio ramato di diametro pari a 30mm e lunghezza 6m, ciascuno dei quali presenta una resistenza di terra R'_P pari a:

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

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

$$R_P = 70,96 \Omega$$

Ai fini della verifica verranno considerati n°12 picchetti distribuiti nel piazzale di SSE; pertanto la resistenza di terra dei picchetti, considerati in parallelo, sarà:

$$R_{PP} = R_P / 12 = 5,91 \Omega$$

MANDATARIA 		MANDANTI 		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA								
SSE S. Monica Relazione di calcolo Impianto di Terra		COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA		PROGR	REV	FOGLIO	
		LI0B	02	E	ZZ	CL	SE	01	B0	002	D	9

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:

$$R_T = \frac{R_r \cdot R_{pp}}{R_r + R_{pp}} = 0.63 \Omega =$$

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

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

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

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

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

Nel caso specifico il valore è definito dalla norma CEI 0-16 e il valore è di:

$$I_{gt} = 40 \text{ A}$$

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

$$t_g = 0,1 \text{ s.}$$

▪ VERIFICA DELLE TENSIONI DI PASSO E DI CONTATTO

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

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

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

$$U_{tp} = 625 \text{ V}$$

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 ricavata dalla norma IEEE Std 80-2000 "IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding":

MANDATARIA  CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE & P.L.	MANDANTI 	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA									
		SSE S. Monica Relazione di calcolo Impianto di Terra	COMMESSA LI0B	LOTTO 02	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC CL	OPERA 7 DISCIPLINA SE 01 B0			PROGR 002

$$UC = \frac{\rho \cdot K_m \cdot K_i \cdot I_G}{L_M}$$

in cui

Ig: massima corrente dispersa a terra dall'impianto disperdente.

Lm: lo sviluppo totale in lunghezza della magliatura effettiva, compresi i picchetti, è:

$$L_M = L_C + \left[1.55 + 1.22 \left(\frac{L_r}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} \right) \right] L_R$$

Dove:

Lc = lunghezza complessiva del conduttore orizzontale in m; 695m

LR = Lunghezza totale dei picchetti di terra in m; 12x6=72m

Lr = Lunghezza singolo picchetto di messa a terra in m; 6m

Lx ed Ly = Lunghezza massima Orizzontale e verticale della griglia in m; Lx= 54m; Ly=43m

Km: fattore geometrico, funzione della maglia di terra, ottenuto con l'equazione:

$$K_m = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \left[\ln \left[\frac{D^2}{16 \cdot h \cdot d} + \frac{(D+2+h)^2}{8 \cdot D \cdot h} - \frac{h}{4 \cdot d} \right] + \frac{K_{ii}}{K_h} \cdot \ln \left[\frac{8}{\pi(2 \cdot n - 1)} \right] \right]$$

Dove:

Kii = 1 per griglie con picchetti disposti nei nodi e lungo il perimetro

$K_h = \sqrt{1 + \frac{h}{h_0}}$ costante di interrimento della griglia dove h0 =1m profondità di riferimento.

D = distanza tra conduttori di terra paralleli in m; =4,45m

d = diametro del conduttore della griglia in m; = 0.0123m

h = profondità di posa della rete magliata in m; = 0.6m

n = fattore geometrico = na*nb*nc*nd in questo caso ottenuto come

$$na = 2 \cdot LC / L_{\text{perimetro}}$$

nb = 1 per griglie rettangolari

nc = 1 per griglie rettangolari

nd = 1 per griglie rettangolari

Ki: fattore di irregolarità della griglia, utilizzato con il sopra definito "n" è:

$$K_i = 0.644 + 0.148 \cdot n$$

Quindi inserendo i valori della maglia di terra in oggetto, si ottengono i seguenti risultati:

$$n = n_a \cdot n_b \cdot n_c \cdot n_d = 11$$

$$K_h = \sqrt{1 + \frac{h}{h_0}} = 1.265$$

 	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA										
	SSE S. Monica Relazione di calcolo Impianto di Terra	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV
	LI0B	02	E	ZZ	CL	SE	01	B0	002	D	11

$$K_m = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \left[\ln \left[\frac{D^2}{16 \cdot h \cdot d} + \frac{(D+2+h)^2}{8 \cdot D \cdot h} - \frac{h}{4 \cdot d} \right] + \frac{K_{ii}}{K_h} \cdot \ln \left[\frac{8}{\pi(2 \cdot n - 1)} \right] \right] = 0,819$$

$$K_i = 0.644 + 0.148 \cdot n = 1,70$$

e, con gli altri valori precedentemente forniti, risulta:

$$E_m = V_c = \frac{\rho \cdot K_m \cdot K_i \cdot I_G}{L_M} = 8,02 \text{ V}$$

Tale valore risulta inferiore a quello massimo ammissibile di 625V.

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

▪ SCELTA DEI PARAMETRI PROGETTUALI

Come detto la SSE di Santa Monica si estende su un piazzale di superficie pari a circa 1680m². La determinazione della corrente continua di terra I_{cc} che l'impianto di terra di SSE è chiamato a disperdere è basata sulla schematizzazione del sistema elettrico composto dalla SSE stessa e dalle limitrofe SSE di Termoli e Ripalta, che distano rispettivamente circa 14.6km e 11,5km.

Il valore della corrente di guasto a terra è stato determinato facendo riferimento a schemi circuitali in cui si sono considerate:

La resistenza interna della SSE (assunto pari a 0,15Ω per tutte le SSE);

La resistenza di terra complessiva dell'impianto di SSE Santa Monica (R_t=1,58Ω);

Le resistenze delle Linee di Contatto ricavate considerando una resistenza chilometrica pari a 0,05Ω/km, caratteristica di una sezione equivalente di 440mmq.

Inoltre, si sono assunti valori di resistenza e conduttanza chilometrica del binario rispettivamente pari a:

$$R_b = 0,0166 \text{ } \Omega/\text{km};$$

$$G_b = 0,2 \text{ S/km.}$$

Supponendo un guasto franco a terra sulla sbarra positiva di SSE ed assumendo la tensione alle sbarre delle due sottostazioni adiacenti pari a 3600V, dalla simulazione si ricava, per la corrente I_T drenata a terra dall'impianto di SSE, valori piuttosto esigui, pari a circa 2,1kA. In via cautelativa, per la verifica dell'impianto nei confronti delle tensioni di passo e di contatto, si assumerà:

$$I_T = 4,0 \text{ kA}$$

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

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

▪ VERIFICA DELLE TENSIONI DI PASSO E DI CONTATTO

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

MANDATARIA HUB ENGINEERING CONSULENZA STRUTTURALE, INGEGNERIA CONSULENTI & P.L.	MANDANTI HYpro	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA								
		SSE S. Monica Relazione di calcolo Impianto di Terra	COMMESSA LI0B	LOTTO 02	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC CL	OPERA 7 DISCIPLINA SE 01 B0		PROGR 002

Condizioni di breve durata (EN 50122 tab. 6)

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

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

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

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

$$I_{Tr} = I_T \frac{R_{pp}}{R_r + R_{pp}} = 2392,72A \quad \mathbf{2.928 A}$$

$$I_{Tp} = I_T \frac{R_r}{R_r + R_{pp}} = 1607,28A \quad \mathbf{1.071A}$$

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 precedentemente ricavata:

$$E_m = \frac{\rho \cdot I_G \cdot K_m \cdot K_i}{L_C + \left[1.55 + 1.22 \cdot \left(\frac{L_r}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} \right) \right] \cdot L_R}$$

$$E_m = V_c = 215 V$$

in cui I_G è l'aliquota della corrente di terra dispersa dal solo impianto di terra di SSE, con gli altri valori precedentemente forniti, risulta

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

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

MANDATARIA  MANDANTI 	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA										
	SSE S. Monica Relazione di calcolo Impianto di Terra	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV
	LI0B	02	E	ZZ	CL	SE	01	B0	002	D	13

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 62,20m.

Sostituendo i valori, si ha:

$$V_p = 605,56 \text{ V}$$

Pur risultando tale valore inferiore a quello massimo ammissibile di 625V 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 sensibilmente maggiore rispetto agli altri elementi del dispersore (1,2m per quello più esterno e 0,6m per quello precedente). In tal modo risulterà sensibilmente più basso il gradiente di tensione nelle zone marginali del piazzale.

5.4 VERIFICA DELLA 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.

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

- K = 226 [A mm⁻² 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:

$$A = \frac{4000}{226} \sqrt{\frac{0,1}{\ln \frac{300 + 234,5}{20 + 234,5}}} = 6,50 \text{ mm}^2$$

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

MANDATARIA  <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE & P.L.</small>	MANDANTI 	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA									
		SSE S. Monica Relazione di calcolo Impianto di Terra	<small>COMMESSA</small> LI0B	<small>LOTTO</small> 02	<small>FASE</small> E	<small>ENTE</small> ZZ	<small>TIPO DOC</small> CL	<small>OPERA 7 DISCIPLINA</small> SE 01 B0	<small>PROGR</small> 002	<small>REV</small> D	<small>FOGLIO</small> 14

6. CONCLUSIONI

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

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

Resistenza meccanica e alla corrosione;

Tenuta termica;

Sicurezza delle persone.

Si ricorda che il DPR 462/2001 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.