

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. ENERGIA E TRAZIONE ELETTRICA

PROGETTO DEFINITIVO

RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

SSE PIETRA LIGURE

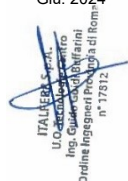
Relazione di calcolo impianto di terra

SCALA:

-

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

I V 0 1 0 0 D 1 8 C L S E 0 1 0 0 0 0 2 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	F. Pigato	Feb 2022	N. Carones	Feb 2022	G. Fadda	Feb 2022	G. Guidi Buffarini Giu. 2024 
B	Emissione a seguito VT RFI	M. Bonavigo	Giu. 2024	M. Laurini	Giu. 2024	M. Firpo	Giu. 2024	

File: IV0I00D18CLSE010002A - Relazione e progetto impianto di terra

INDICE

1 - GENERALITÀ.....	3
2 - OGGETTO.....	3
3 - RIFERIMENTI.....	3
3.1 – RIFERIMENTI NORMATIVI E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO.....	3
3.2 – RIFERIMENTI AD ELABORATI DI PROGETTO.....	4
4. CRITERI PROGETTUALI.....	5
5. CONFIGURAZIONE DELL’IMPIANTO.....	8
5.1 – IMPIANTO DI TERRA ESTERNO AL FABBRICATO.....	8
5.2 – IMPIANTO DI TERRA INTERNO AL FABBRICATO.....	9
6. VERIFICA DEL SISTEMA DI MESSA A TERRA.....	10
6.1 – DIMENSIONAMENTO IN RELAZIONE ALLA CORROSIONE E ALLE SOLLECITAZIONI MECCANICHE.....	11
6.2 - VERIFICA DELLE TENSIONI DI PASSO E CONTATTO.....	12
6.2.1 - CALCOLO DELLA RESISTENZA DI TERRA DEL DISPERSORE.....	12
6.2.2 - VERIFICA DELLE TENSIONI AMMISSIBILI.....	14
6.2.2.1 PARAMETRI DELLA CORRENTE DI GUASTO A TERRA.....	14
6.2.2.2 LIMITI DELLE TENSIONI DI PASSO E CONTATTO.....	14
6.2.2.3 VERIFICA DELLE TENSIONI AMMISSIBILI.....	16
6.3 – DIMENSIONAMENTO CON RIFERIMENTO AL COMPORTAMENTO TERMICO.....	23
7. CONCLUSIONI.....	25

	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
SSE Pietra Ligure – Relazione di calcolo impianto di terra	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 18 CL	DOCUMENTO SE 01 00 002	REV. B	FOGLIO 3 di 27

1 - GENERALITÀ

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

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.

2 - OGGETTO

Oggetto della presente relazione è quello di fornire i dettagli progettuali dell'impianto di terra della nuova Sottostazione elettrica di trazione.

Per la realizzazione dell'impianto saranno prese a riferimento le norme tecniche vigenti ed 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, per quanto applicabili, presi a riferimento.

Nei punti seguenti sono citati i principali documenti tecnici cui nel seguito della relazione sarà fatto esplicito o implicito riferimento.

3.1 – RIFERIMENTI NORMATIVI E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

Per la redazione 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.lgs. del 9/04/2008 - Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 Agosto 2007, n°123 in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro;

- DPR n° 462 del 22/10/2001 - Regolamento di semplificazione del procedimento per la denuncia di installazioni e dispositivi di protezione contro le scariche atmosferiche, di dispositivi di messa a terra di impianti elettrici e di impianti elettrici pericolosi;
- D.M.n°37 del 22-1-2008 - Regolamento concernente l'attuazione dell'articolo 11-quaterdecies, comma 13, lettera a) della legge n. 248 del 2005, recante riordino delle disposizioni in materia di attività di installazione degli impianti all'interno degli edifici;
- ANSI / IEEE Std 80 - Guide for Safety in AC Substation Grounding.
- CEI EN 50119 - Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane Impianti fissi Linee aeree di contatto per trazione elettrica;
- CEI EN 50122-1 - Applicazioni ferroviarie Installazioni fisse Parte 1: Provvedimenti di protezione concernenti la sicurezza elettrica e la messa a terra;
- CEI EN 50122-2 - Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane Impianti fissi Parte 2: Protezione contro gli effetti delle correnti vaganti causate da sistemi di trazione a corrente continua;
- CEI EN 60865 -1 - Correnti di corto circuito Calcolo degli effetti Parte 1: Definizioni e metodi di calcolo;
- CEI EN 60865 -1/Ed - Correnti di corto circuito Calcolo degli effetti Parte 1: Definizioni e metodi di calcolo;
- CEI EN 50522 - Messa a terra degli impianti elettrici a tensione superiore a 1 kV in c.a.;
- TE 13 - Prove e verifiche periodiche degli impianti di terra di protezione delle sottostazioni elettriche Edizione 1984;
- TE 50 - Norme tecniche per la fornitura di apparecchiature di misura per il rilievo della tensione di passo e di contatto negli impianti di messa a terra Edizione 1983
- DPRMOSL1311-2018 - Verifica degli impianti di terra di protezione delle SSE

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 DI PROGETTO

Costituiscono parte integrante della presente relazione gli elaborati di progetto di seguito

riepilogati, ai quali si rimanda per gli aspetti di dettaglio non esplicitamente menzionati nel presente documento:

- IV0I00D18P9SE0100005 - Piazzale SSE Pietra Ligure - Impianto di terra
- IV0I00D18PBSE0000003 - Fabbricato SSE Albenga e Pietra Ligure - Impianto di terra e Relé di massa

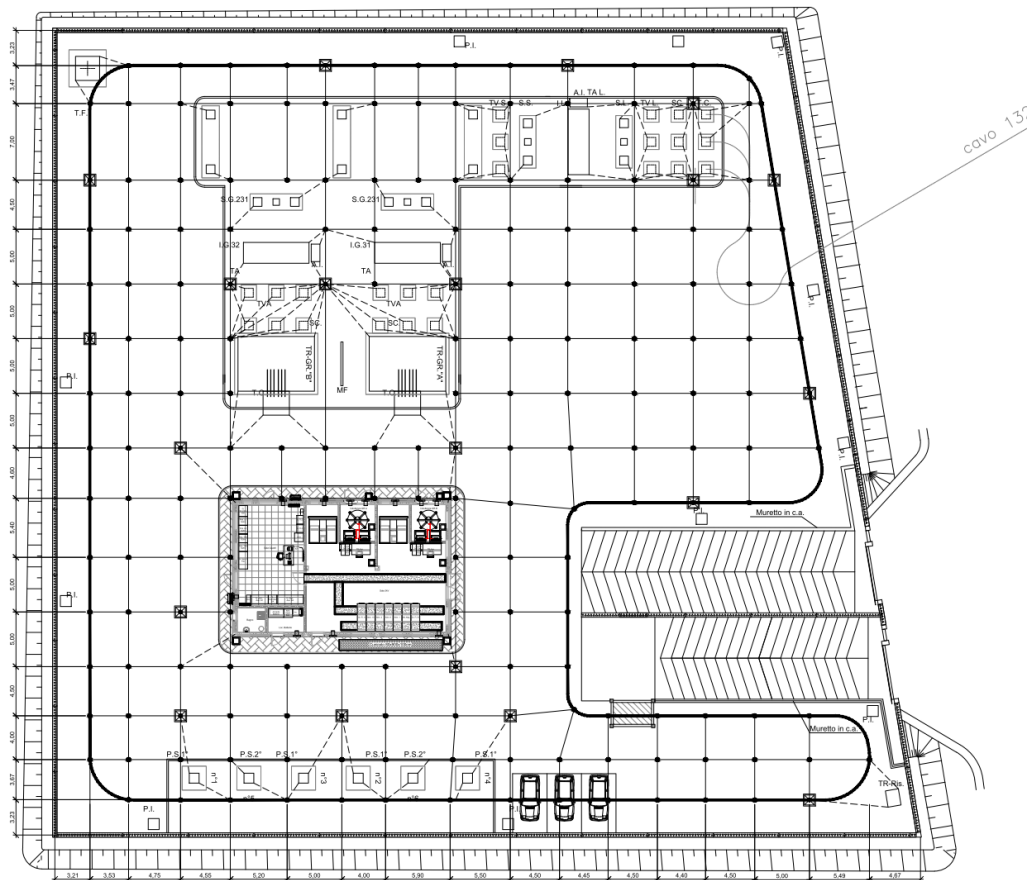


Figura 1– Impianto di terra di Piazzale

4. CRITERI PROGETTUALI

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

- Avere adeguata resistenza meccanica e resistenza alla corrosione;
- Essere in grado di sopportare, da 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.

L'impianto di terra realizza la protezione dai contatti indiretti mediante il criterio "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 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, 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 il binario nel caso in cui la differenza di potenziale tra i due circuiti superi, in caso di guasto, un valore prefissato.

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

Pertanto, la rete di terra deve avere caratteristiche tali da garantire che le tensioni di contatto e di passo che si stabiliscono durante il guasto si mantengano, in ogni caso, al di sotto dei valori consentiti dalle norme.

Per quanto riguarda il dispositivo cortocircuitatore, la specifica di riferimento è la **RFI DTC ST E SP IFS SS 370 A**: Dispositivo di collegamento del negativo 3kVcc all'impianto di terra di SSE e cabine TE.

Le masse metalliche presenti all'interno del fabbricato saranno collegate al dispersore tramite apposito relè di massa (conforme alla specifica TE 157 del 22.09.1997), 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 "portare" fuori dal piazzale tensioni pericolose in caso di guasto, andranno opportunamente isolate per mezzo giunti isolanti.

5. CONFIGURAZIONE DELL'IMPIANTO

5.1 – IMPIANTO DI TERRA ESTERNO AL FABBRICATO

L'impianto di terra di sarà costituito essenzialmente da un dispersore orizzontale a rete magliata realizzato in corda di rame nudo da 120 mm². Tale dispersore sarà realizzato al di sotto del piano di fondazione, ad una quota di 50 cm di profondità per le maglie interne e ad una quota di 150 cm di profondità per l'anello perimetrale.

La dimensione delle singole maglie sarà mediamente di 5x5 m, 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 del presente calcolo.

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

Le armature metalliche delle strutture realizzate in cemento armato contribuiscono notevolmente alla dispersione della corrente di terra a condizione di realizzare le armature come sistemi metallici continui. Ciò si ottiene collegando tra loro, con efficaci legature in fil di ferro o meglio con punti di saldatura forte, tutti i ferri d'armatura delle fondazioni durante la loro formazione.

Il numero e le dimensioni dei dispersori verticali saranno verificati nell'ambito del seguente calcolo di progetto, trascurando in prima analisi ed a titolo precauzionale, i contributi dei dispersori di fatto.

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

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

Al fine di soddisfare i criteri di sicurezza, è regola generale che, osservando le prescrizioni per la

	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
SSE Pietra Ligure – Relazione di calcolo impianto di terra	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 18 CL	DOCUMENTO SE 01 00 002	REV. B	FOGLIO 9 di 27

tensione di contatto, vengano soddisfatte le prescrizioni per la tensione di passo.

Nelle zone più periferiche, cioè in prossimità delle maglie d'angolo del dispersore orizzontale, le tensioni di passo possono assumere valori più elevati e pertanto, per fronteggiare questa evenienza, i conduttori perimetrali saranno interrati, come detto, a profondità maggiore dal resto della rete. In tal modo si riduce, in superficie, il gradiente di potenziale al proprio intorno.

5.2 – IMPIANTO DI TERRA INTERNO AL FABBRICATO

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

- Installazione di un collettore di terra in piatto Cu 60x6mm forato e fissato a parete ad altezza 60cm dal pavimento con isolatori in poliestere (isolamento > 1kV). Il numero e la collocazione di tale collettore sono riportati nel layout "Impianto di terra e Relè di massa";
- Installazione di un collettore di terra in piatto di rame 50x4mm, fissato sulle pareti come riportato nell'elaborato di riferimento;
- Installazione di pannelli d'isolamento in vetroresina (isolamento >2kV per 1') tra celle alimentatore e celle sezionatore;
- Esecuzione dei diversi collegamenti con cavi del tipo 2x120mm² FG17 (450/750V);
- canali di misura corrente di guasto verso terra nelle celle alimentatori, e nella cella misura e negativi;
- Relè di massa;
- Pulsante di apertura generale a fungo;
- Pulsanti di apertura generale in cassetta stagna con vetro a rompere;
- Connessioni di continuità elettrica delle carpenterie mobili, con conduttori flessibili delle seguenti sezioni:

- 50mm², per la messa a terra dei pannelli mobili (tipo ante dei quadri);
- 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).

6. VERIFICA DEL SISTEMA DI MESSA A TERRA

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

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

Per la valutazione dei potenziali di passo e contatto, è stato utilizzato il software commerciale XGSLab.

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

6.1 – DIMENSIONAMENTO IN RELAZIONE ALLA CORROSIONE E ALLE SOLLECITAZIONI MECCANICHE

I dispersori, essendo direttamente a contatto con il terreno, devono essere costruiti con materiale in grado di sopportare la corrosione. Essi devono resistere alle sollecitazioni meccaniche durante la loro installazione e a quelle che si verificano durante il servizio ordinario.

L'allegato C della norma CEI EN 50522, fornisce i valori minimi della sezione dei conduttori per garantire la resistenza meccanica e alla corrosione.

Allegato C (normativo)

Materiale e dimensioni minime dei dispersori per garantirne la resistenza meccanica e alla corrosione

Materiale	Tipo di dispersore	Dimensione minima					
		Corpo			Rivestimento/guaina		
		Diame- tro mm	Sezio- ne mm ²	Spes- sore mm	Valori singoli µm	Valori medi µm	
Acciaio	Zincato a caldo	Piattina ^(b)		90	3	63	70
		Profilati (incl. piatti)		90	3	63	70
		Tubo	25		2	47	55
		Barra tonda per picchetto	16			63	70
		Tondo per dispersore orizzontale	10				50
	Con guaina di piombo ^(a)	Tondo per dispersore orizzontale	8			1 000	
	Con guaina di rame estrusa	Barra tonda per picchetto	15			2 000	
Con guaina di rame elettrolitico	Barra tonda per picchetto	14,2			90	100	
Rame	Nudo	Piattina		50	2		
		Tondo per dispersore orizzontale		25 ^(c)			
		Corda	1,8 ^(d)	25			
		Tubo	20		2		
	Stagnato	Corda	1,8 ^(d)	25		1	5
	Zincato	Piattina		50	2	20	40
	Con guaina di piombo ^(a)	Corda	1,8 ^(d)	25		1 000	
	Filo tondo		25		1 000		

(a) Non idoneo per posa diretta in calcestruzzo. Si raccomanda di non usare il piombo per ragioni di inquinamento.
 (b) Piattina, arrotondata o tagliata con angoli arrotondati.
 (c) In condizioni eccezionali, dove l'esperienza mostra che il rischio di corrosione e di danno meccanico è estremamente basso, si può usare 16 mm².
 (d) Per fili singoli.

Figura 2 - Dimensioni minime dei conduttori – EN50522

Come indicato dalla norma, nel caso di conduttore in corda di rame, la sezione minima è pari a 25 mm². L'impianto di terra della SSE sarà realizzato con corda di rame nudo da 120 mm², pertanto tale prescrizione risulta essere verificata.

	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	SSE Pietra Ligure – Relazione di calcolo impianto di terra	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 18 CL	DOCUMENTO SE 01 00 002	REV. B

6.2 - VERIFICA DELLE TENSIONI DI PASSO E CONTATTO

6.2.1 - CALCOLO DELLA RESISTENZA DI TERRA DEL DISPERSORE

Per il calcolo della resistenza di terra nel software sono state implementate la geometria e le caratteristiche dei conduttori dell'impianto di terra.

Sulla base della formazione geo-litologica del suolo (terreno sabbioso) desunta a partire dall'ubicazione impianto, dalla relazione geotecnica generale della tratta (documento IV0100D26RBGE0005001A), essendo noto che la SSE sarà realizzata su un rilevato di circa 3m composto da materiali di riporto e sulla base, inoltre, di 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	

è stato implementato un modello uniforme del terreno con resistività del suolo pari a $\rho = 200 \Omega\text{m}$.

In via prudenziale è stata considerata nel calcolo la totale corrente di corto circuito del nodo, non considerando l'effetto che lo schermo del cavo comporta nel ridurre la corrente di guasto drenata dal terreno.

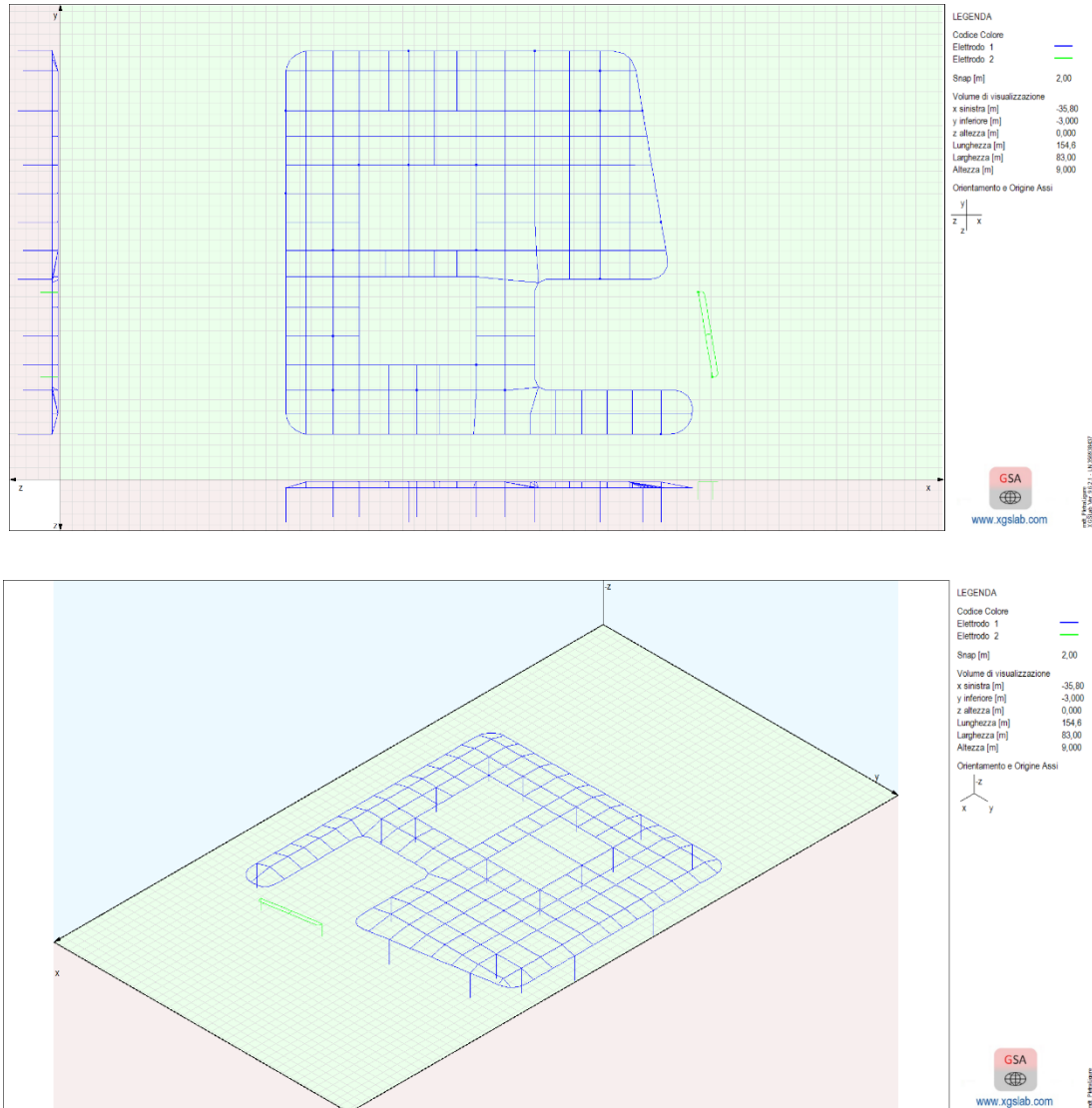


Figura 3 – Implementazione dell'impianto di terra

Con queste caratteristiche il software permette di calcolare una resistenza di terra pari a circa:

$$R_T = 1,33\Omega$$

Con l'obiettivo di contenere le tensioni potenzialmente pericolose, è stato considerato uno strato superficiale (SCL) di 13cm con resistività pari a 10.000 $\Omega \cdot m$ per le zone ricoperte da asfalto (cfr. standard IEEE 80 – asfalto umido) coerentemente alla finitura di piazzale che dovrà essere realizzata.

6.2.2 - VERIFICA DELLE TENSIONI AMMISSIBILI – guasto 132 kV

6.2.2.1 PARAMETRI DELLA CORRENTE DI GUASTO A TERRA

L'impianto di SSE sarà alimentato da una linea primaria a 132kV in cavo.

Nel calcolo sarà considerato il comportamento dell'impianto di terra considerando gli attuali valori di corrente di guasto a terra monofase e relativo tempo di eliminazione del guasto della Cabina Primaria e-distribuzione di Pietra Ligure.

Il valore della corrente di terra I_t che la maglia di terra è chiamata a disperdere è pari a:

$$I_t = 6,87 \text{ kA}$$

valore ricavato dal documento Terna *Valori minimi e massimi convenzionali della corrente di cortocircuito e della potenza di cortocircuito della rete rilevante con tensione 380-220-150-132 kV - 2020*. Il tempo di intervento delle protezioni (durata del guasto) risulta pari a:

$$t_f = 0,6 \text{ sec}$$

Tale valore è stato condiviso dalla committenza nella precedente relazione di calcolo dello stesso impianto, doc. L37100D18CLSE0200001A del 2010.

In via cautelativa, nel calcolo è stato considerato un valore di corrente dispersa a terra pari a

$$I_t = 7 \text{ kA}$$

Si fa presente che, in linea con il documento RFI DPRMOSL1311-2018 "Verifica degli impianti di terra di protezione delle SSE", nel calcolo è stato considerato solo il caso di guasto lato AT, in quanto questa casistica genera situazioni più critiche, poiché un guasto lato 3kVcc, interessa la maglia di terra per un tempo breve (prossimo a 0,02 sec.) fino all'intervento del dispositivo di collegamento al circuito di ritorno (cortocircuitatore). Dopo l'intervento di tale dispositivo la maglia di terra della SSE sarà interessata da una piccola parte della corrente di guasto.

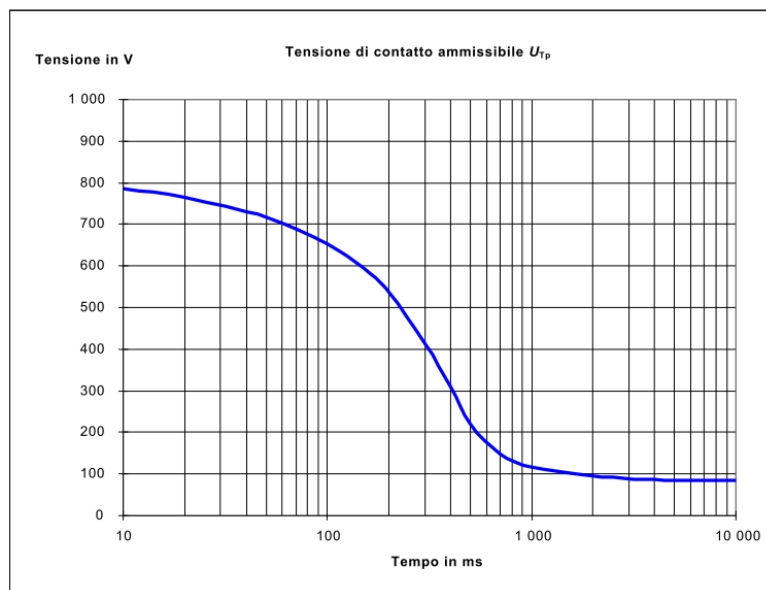
6.2.2.2 LIMITI DELLE TENSIONI DI PASSO E CONTATTO

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

Dato il tempo di eliminazione del guasto di 0,6s, il valore della tensione di contatto effettiva

ammissibile, desunto dalla norma EN 50522, è pari $U_{tp}=176V$, mentre il valore della tensione di passo ammissibile è pari a $U_{sp}= 528V$.

In conformità alla norma, tali valori tengono in considerazione un valore di resistenza delle scarpe pari a 1000Ω .



Tab. 1 – Tensione di Contatto ammissibile EN 50522

Si fa presente che come indicato dalla norma 50522, “È regola generale che, osservando le prescrizioni per la tensione di contatto, vengano soddisfatte le prescrizioni per la tensione di passo, perché i limiti delle tensioni di passo sono maggiori di quelli di contatto a causa del diverso percorso della corrente attraverso il corpo.”

6.2.2.3 VERIFICA DELLE TENSIONI AMMISSIBILI

Al fine di valutare i potenziali pericolosi che si presentano a seguito di un guasto a terra, con il software è stata determinata la tensione di contatto U_t con l'obiettivo di verificare che:

$$U_t < U_{tp}$$

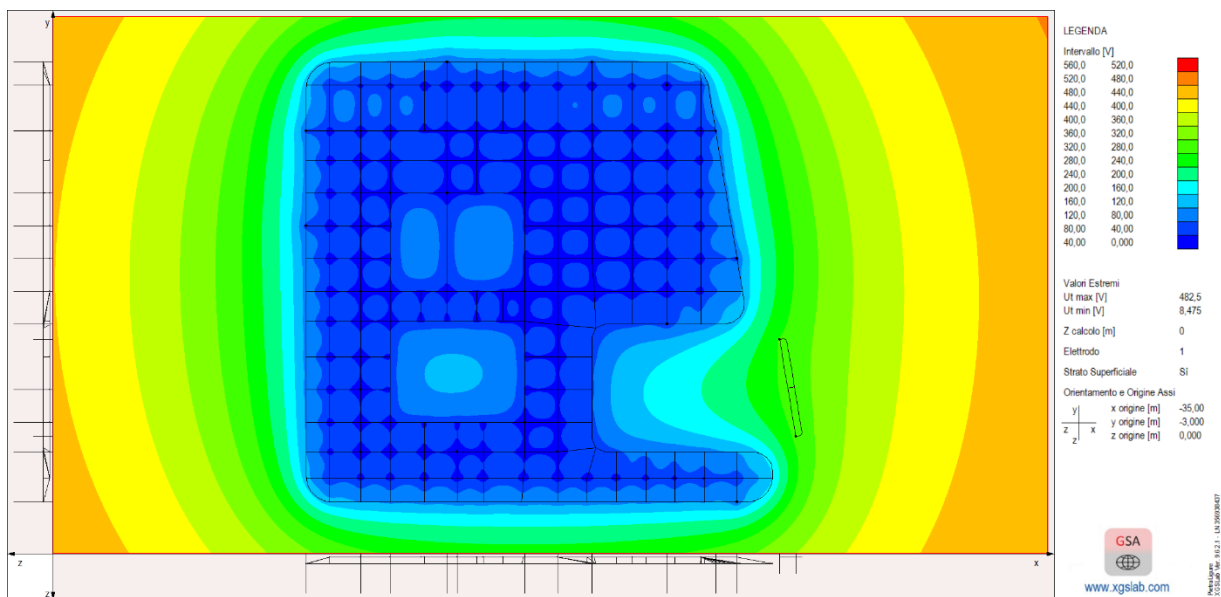


Figura 4 – Tensione di Contatto U_t calcolata considerando lo strato superficiale di asfalto (SCL)

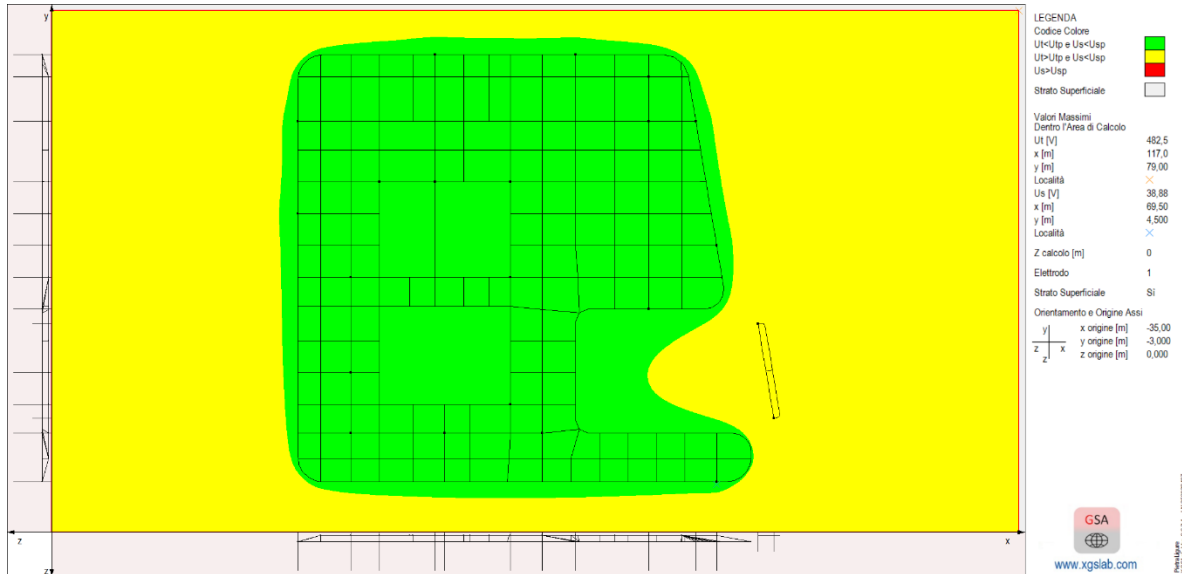


Figura 5 – Zona sicura (dove $U_t < U_{tp}$ ed $U_s < U_{usp}$) interna al piazzale, calcolata considerando lo strato superficiale di asfalto (SCL)

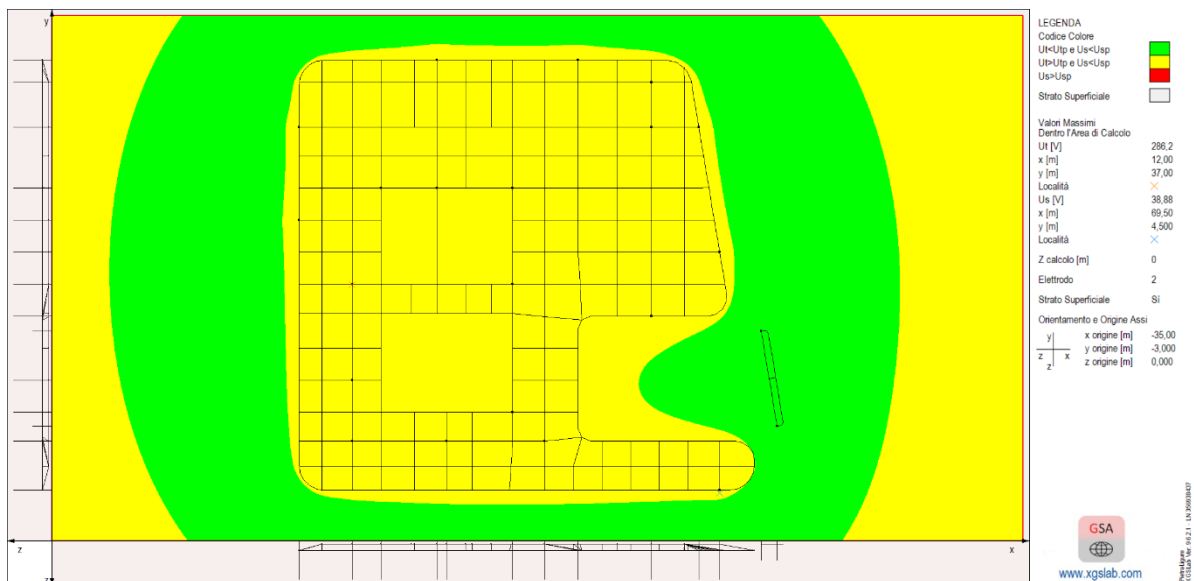


Figura 6 – Zona sicura (dove $U_t < U_{tp}$ ed $U_s < U_{usp}$), esterna al piazzale, calcolata considerando lo strato superficiale di asfalto (SCL)

Come mostrato dalla figura, la tensione di contatto U_t determinata con il software considerando lo strato superficiale di asfalto, è sempre inferiore alla tensione ammissibile U_{tp} prescritta dalla norma EN 50522. Pertanto, nelle ipotesi considerate, è possibile affermare che il dimensionamento e la geometria della maglia di terra soddisfano le prescrizioni normative.

6.2.3 - VERIFICA DELLE TENSIONI AMMISSIBILI – guasto 3kv

Per determinare il valore della corrente di guasto a terra è stato effettuato il seguente calcolo:

$$I_t = \frac{V_{vuoto}}{R_T + R_i} = \frac{3600}{1,33 + 0,1} = 2518 \text{ A}$$

V_{vuoto} tensione a vuoto in uscita dal raddrizzatore

R_T resistenza di terra calcolato con il software come descritto in § **Errore.**

L'origine riferimento non è stata trovata.

R_i resistenza interna dei gruppi di conversione.

A favore di sicurezza, è stata ipotizzata una corrente I_t che la maglia di terra è chiamata a disperdere è pari a

$$I_t = 2550 \text{ A} .$$

Tale valore interessa la maglia di terra per un tempo breve (prossimo a 0,02 s) fino all'intervento del dispositivo di collegamento al circuito di ritorno (cortocircuitatore). Dopo l'intervento di tale dispositivo la maglia di terra della SSE sarà interessata da una piccola parte della corrente di guasto.

Ad ogni modo, a favore di sicurezza è stato comunque considerato un tempo di intervento delle protezioni (durata del guasto) pari a

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

Tale valore è in linea con le tempistiche di eliminazione del guasto da parte degli organi di protezione (extrarapido).

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

Dato il tempo di eliminazione del guasto di 0,1s, il valore della tensione di contatto effettiva ammissibile, desunti dalla norma CEI EN 50122 (Tabella 1), sono pari a

$$U_{Tp} = 625 \text{ V} .$$

In conformità alla norma, tali valori tengono in considerazione un valore di resistenza delle scarpe pari a 1000 Ω .

In Figura 7 è riportato il risultato del calcolo della tensione di contatto U_T per la superficie del piazzale dell'impianto: in nessun punto il valore supera il limite normativo.

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

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

Tabella 1 Massime tensioni effettive di contatto ammissibili nei sistemi di trazione in c.c. in funzione del tempo di durata - CEI EN 50122

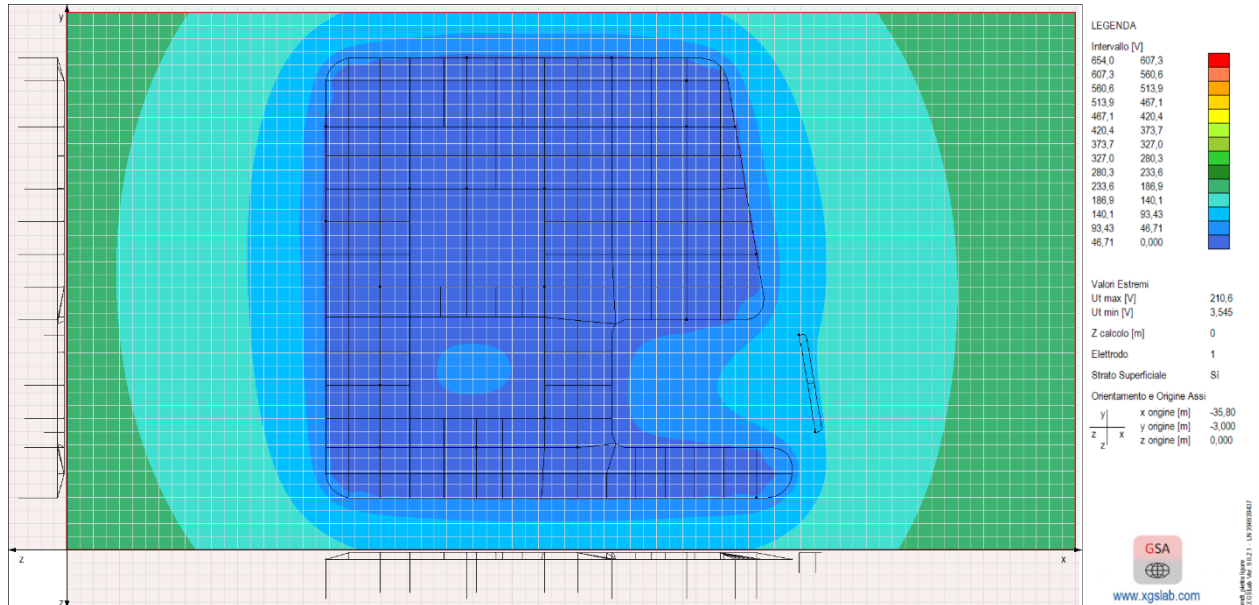


Figura 7 Tensione di Contatto U_T calcolata considerando lo strato superficiale di asfalto (SCL)

Al fine di valutare i potenziali pericolosi che si presentano a seguito di un guasto a terra, con il software è stata determinata la tensione di contatto U_T con l'obiettivo di verificare che:

$$U_T < U_{Tp} .$$

Come mostrato in Figura 8 (area sicura interna al piazzale) e Figura 9 (area esterna al piazzale), la tensione di contatto U_T determinata con il software considerando lo strato superficiale di asfalto, è sempre inferiore alla tensione ammissibile U_{Tp} prescritta dalla norma CEI EN 50522. Pertanto, nelle ipotesi considerate, è possibile affermare che il dimensionamento e la geometria della maglia di terra soddisfano le prescrizioni normative.

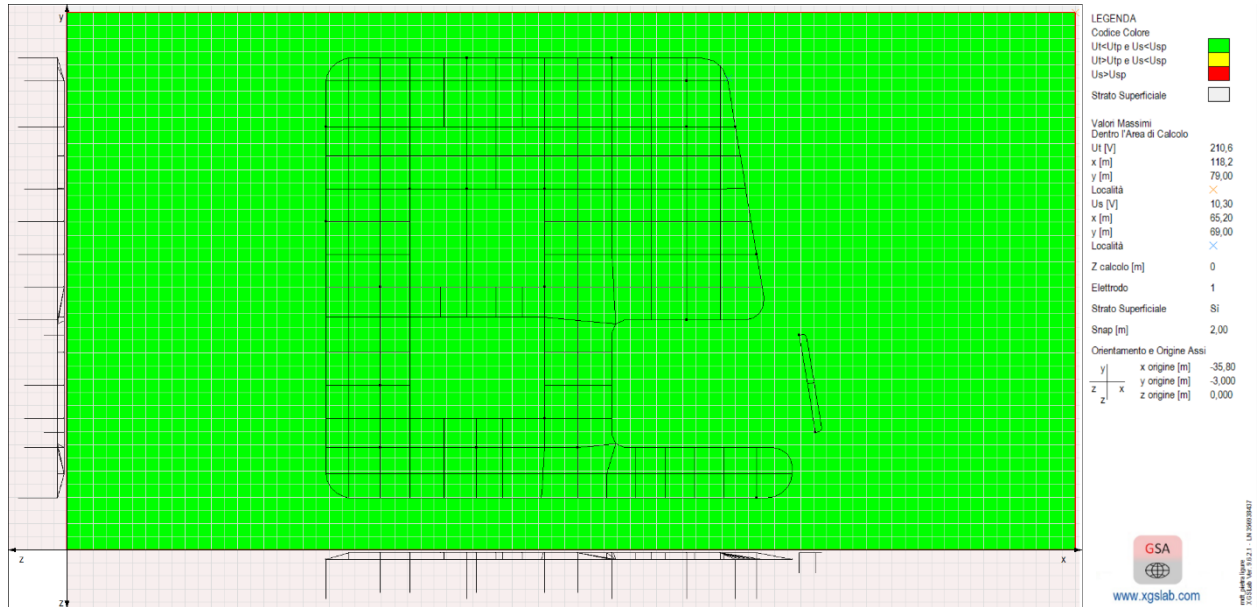


Figura 8 Zona sicura (dove $U_T < U_{Tp}$) interna al piazzale calcolata considerando lo strato superficiale di asfalto (SCL)

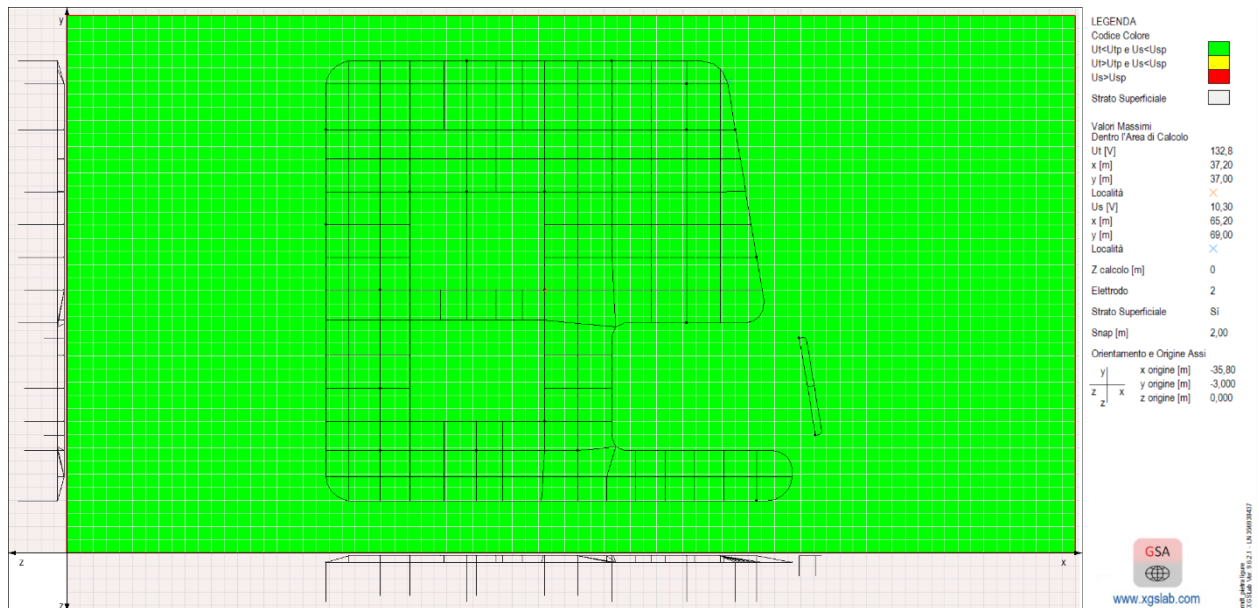


Figura 9 Zona sicura (dove $U_T < U_{Tp}$) interna al piazzale calcolata considerando lo strato superficiale di asfalto (SCL)

Sono stati svolti, per completezza, calcoli di cortocircuito nella SSE di Albenga (guasto in cc) per fornire evidenza del rispetto dei limiti normativi imposti dalla CEI EN 50388 (valore massimo della corrente di corto circuito ammessa pari a 50 kA). Per il calcolo è stato impiegato un software circuitale di tipo commerciale, facendo riferimento allo schema circuitale di Figura 11 e Figura 12.

Nel modello elettrico sono stati assunti i seguenti parametri:

- resistenza interna delle SSE con due gruppi di trazione assunta pari a $0,1 \Omega$
- resistenza linea di contatto pari a $0,0229 \Omega/\text{km}$ caratteristica di una sezione equivalente di 440 mm^2 per ogni tratta a doppio binario;
- resistenza linea di contatto pari a $0,0185 \Omega/\text{km}$ caratteristica di una sezione equivalente di 540 mm^2 per ogni tratta considerata a doppio binario;
- resistenza di terra dell'impianto pari a $1,33 \Omega$ (si veda § **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**)
- resistenza chilometrica del binario pari a $0,014 \Omega/\text{km}$.

L'intervento di detto cortocircuitatore viene schematizzato nel circuito equivalente con la chiusura dell'interruttore.

Per la schematizzazione del binario si è fatto riferimento al modello a "T" di riportato in Figura 10.

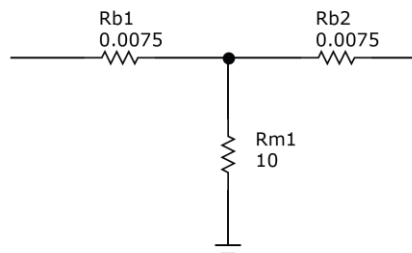


Figura 10 Modello elettrico del binario

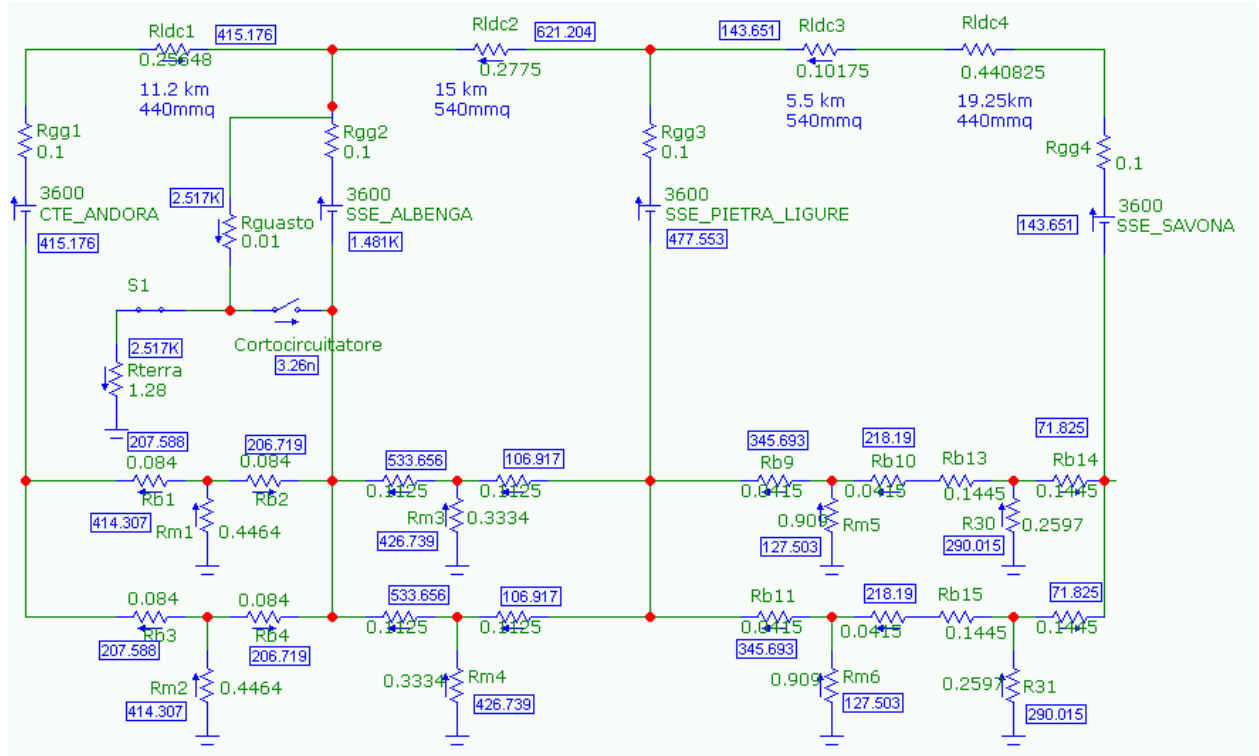


Figura 11 Guasto di Sbarra in cabina prima dell'intervento del cortocircuitatore

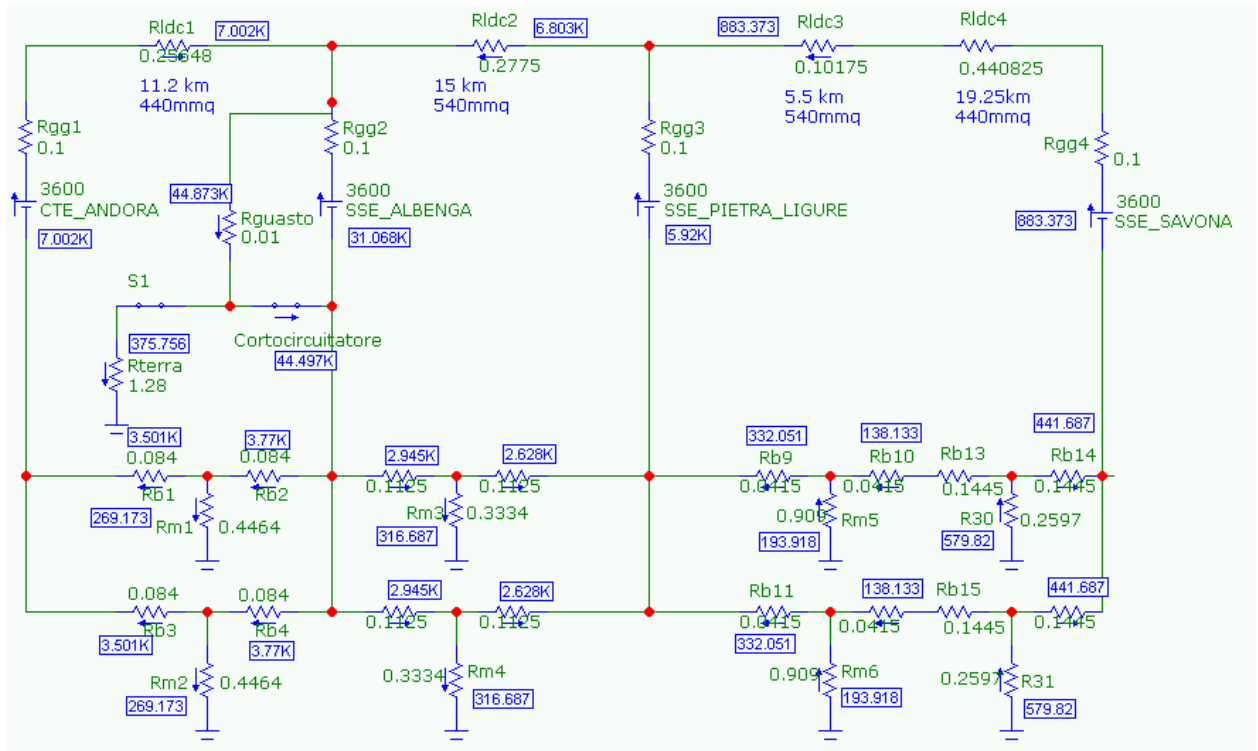


Figura 12 Guasto di Sbarra in cabina dopo l'intervento del cortocircuitatore

Il risultato del calcolo di corto circuito nella SSE di Albenga evidenzia un valore prossimo ai 50 kA (valore limite normativo). Si tenga presente che al valore della corrente di corto circuito ottenuta dal calcolo sopra riportato va applicata la riduzione del 14% (per cto distante) oppure del 28% (per cto vicino, <1 km) legata alla limitazione imposta dall'extrarapido.

6.3 – DIMENSIONAMENTO CON RIFERIMENTO AL COMPORTAMENTO TERMICO

Il calcolo della sezione dei conduttori di terra o dei dispersori di protezione, in funzione del valore e della durata della corrente di guasto è indicato nell'allegato D della norma CEI EN 50522.

La metodologia proposta fa una distinzione in funzione della durata del guasto. In particolare, nel caso in cui il guasto abbia una durata inferiore a 5 s, l'aumento di temperatura è considerato come un fenomeno adiabatico e la sezione minima del conduttore di terra o del dispersore è pari a:

$$A = \frac{I}{k} \sqrt{\frac{t_f}{\ln \frac{\Theta_f + \beta}{\Theta_i + \beta}}}$$

Dove:

A = sezione trasversale del conduttore [mm^2]

$I = I_F \cdot k_M$ – corrente di guasto [A]

k_M = fattore di divisione

I_F = Valore di corrente di guasto a terra [A]

t_f = tempo di durata del guasto [sec]

k = costante che dipende dal materiale; per rame $k = 226$

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

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

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

Come indicato dalla norma EN 50522, è possibile considerare i seguenti valori di temperature per il conduttore del sistema di messa a terra:

$$\theta_i = 20^{\circ}C \text{ e } \theta_f = 300^{\circ}C$$

Ciascuna struttura metallica di sostegno agli apparati AT ed MT (3kV) sarà connessa al sistema di messa a terra attraverso due conduttori da $115mm^2$ connessi in due punti differenti dell'impianto. Con questa configurazione è possibile affermare che la corrente di guasto si dividerà nei diversi conduttori.

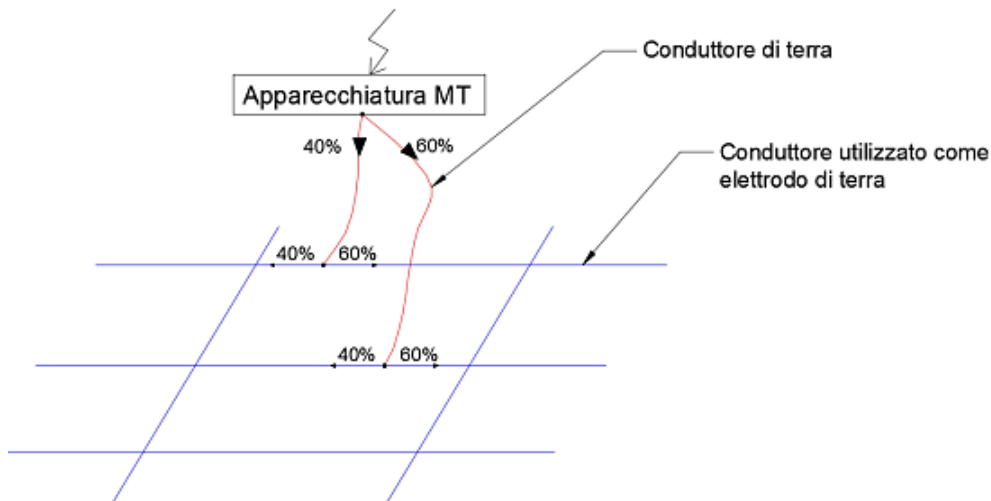


Figura 13 – Fattore di divisione k_M

Come mostrato dalla figura, in via cautelativa è stato considerato un conduttore più carico – rapporto 60/40 ($k_M = 0,6$).

Nella tabella seguente è mostrato che le sezioni adottate sono adeguate alle sezioni minime calcolate con le formule prescritte dalla norma nella condizione più gravosa considerando la corrente ed il tempo di eliminazione del guasto indicato nei capitoli precedenti.

Conduttore di Terra									
IF [A]	kM	I [A]	k	tf [sec]	b	θ_f	θ_i	Sezione trasversale minima - A [mm ²]	Sezione trasversale utilizzata - A [mm ²]
10000	0,6	6000	226	0,35	234,5	300	20	18,2	115
Conduttore di terra utilizzato come elettrodo di terra (Maglia di terra)									
IF [A]	kM	I [A]	k	tf [sec]	b	θ_f	θ_i	Sezione trasversale minima - A [mm ²]	Sezione trasversale utilizzata - A [mm ²]
6000	0,6	3600	226	0,35	234,5	300	20	10,9	120

Tab. 2 – Dimensionamento termico - Calcolo della Sezione minima

7. CONCLUSIONI

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

È bene notare che, il DPR n° 462 del 22/10/2001 prescrive, che la messa in esercizio degli impianti elettrici di messa a terra non può essere effettuata prima della verifica eseguita dall'installatore che deve rilasciare la dichiarazione di conformità. Tale dichiarazione equivale a tutti gli effetti ad omologazione dell'impianto.

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

Per quanto concerne le verifiche periodiche, lo stesso DPR prescrive quanto segue:

“il datore di lavoro è tenuto ad effettuare regolare manutenzione dell'impianto, nonché a far sottoporre lo stesso a verifica periodica ogni 5 anni, ad esclusione di quelli installati nei cantieri, in locali adibiti ad uso medico e negli ambienti a maggior rischio in caso di incendio per i quali la periodicità è biennale.”

Pertanto, l'impianto di terra dovrà essere verificato a scadenze non superiori di 5 anni analizzando l'efficienza dell'impianto di terra mediante le seguenti prove periodiche previste dalla TE13:

- 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.