

COMMITTENTE:



**DIREZIONE INVESTIMENTI  
DIREZIONE PROGRAMMI INVESTIMENTI  
DIRETTRICE SUD - PROGETTO ADRIATICA**

DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:



PROGETTAZIONE:

MANDATARIA

MANDANTI



PROGETTO ESECUTIVO

**LINEA PESCARA - BARI  
RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA  
LOTTO 1- RADDOPPIO RIPALTA - LESINA**

SSE RIPALTA

Relazione e progetto impianto di terra

L'Appaltatore

COMPAT S.c.a.r.l.  
Il Direttore Tecnico  
(Ing. Gianguido Babini)

I progettisti (il Direttore della progettazione)

data

firma

data

firma

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA / DISCIPLINA	PROGR	REV	SCALA
<b>L I 0 7</b>	<b>0 1</b>	<b>E</b>	<b>Z Z</b>	<b>C L</b>	<b>S E 0 0 0 0</b>	<b>0 0 1</b>	<b>B</b>	---

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato/Data
A	PRIMA EMISSIONE	A. Falasca	Ottobre 2021	G. Filippucci	Ottobre 2021	F. Nicchiarelli	Ottobre 2021	T. Pelella Aprile 2022
B	Revisione a seguito RDV LI07-RV-0000000091	A. Falasca	Aprile 2022	G. Filippucci	Aprile 2022	F. Nicchiarelli	Aprile 2022	

File: LI0701EZZCLSE0000001B.DOCX

n. Elab.

## INDICE

1.-. PREMESSA E SCOPO .....	7
2.-. RIFERIMENTI .....	8
2.1.-. RIFERIMENTI NORMATIVI .....	8
2.2.-. RIFERIMENTI AD ELABORATI DI PROGETTO .....	10
3.-. CRITERI PROGETTUALI .....	11
4.-. CONFIGURAZIONE DELL'IMPIANTO .....	13
4.1.-. IMPIANTO DI TERRA DI PIAZZALE .....	13
4.2.-. IMPIANTO DI TERRA DEL FABBRICATO DI SSE .....	14
4.3.-. IMPIANTO DI TERRA DEL FABBRICATO DI CONSEGNA ENERGIA ENEL .....	14
4.4.-. RIEPILOGO COMPONENTI IMPIANTO DI TERRA .....	15
5.-. VERIFICA DELL'IMPIANTO DI MESSA A TERRA .....	16
5.1.-. CALCOLO DELLA RESISTENZA DI TERRA DEL DISPERSORE .....	17
5.2.-. VERIFICA DELLE TENSIONI DI PASSO E DI CONTATTO PER GUASTI IN C.A. ....	20
5.2.1.-. Scelta dei parametri progettuali .....	20
5.2.2.-. Calcolo delle tensioni di passo e di contatto in c.a. ....	20
5.3.-. VERIFICA DELLE TENSIONI DI PASSO E DI CONTATTO PER GUASTI IN C.C. ....	23
5.3.1.-. Calcolo della corrente di guasto a terra .....	23
5.3.2.-. Calcolo delle tensioni di passo e di contatto in c.c. ....	26
5.4.-. DIMENSIONAMENTO IN RELAZIONE ALLA CORROSIONE E ALLE SOLLECITAZIONI MECCANICHE .....	32
5.5.-. DIMENSIONAMENTO CON RIFERIMENTO AL COMPORTAMENTO TERMICO .....	33
6.-. CONCLUSIONI .....	35
7.-. ALLEGATI .....	36

## INDICE DELLE FIGURE

<b>Figura 1</b> - Layout rete di terra implementata – Vista 2D.....	18
<b>Figura 2</b> - Layout rete di terra implementata – Vista 3D.....	18
<b>Figura 3</b> - Guasto c.a. – Potenziale di Terra UE – Distribuzione 2D.....	21
<b>Figura 4</b> - Guasto c.a. – Tensione di contatto $U_t$ – Distribuzione 2D.....	22
<b>Figura 5</b> - Guasto c.a. – Rappresentazione delle area sicura per la quale la $U_t < U_{tp}$ ed $U_s < U_{sp}$ .....	22
<b>Figura 6</b> - Circuito equivalente a “T” del binario .....	24
<b>Figura 7</b> - Guasto di sbarra in SSE prima dell’intervento del Corto-Circuitatore .....	25
<b>Figura 8</b> - Guasto di sbarra in SSE dopo l’intervento del Corto-Circuitatore.....	25
<b>Figura 9</b> - Diagramma delle tensioni di contatto/accessibili dispositivo corto-circuitatore .....	27
<b>Figura 10</b> - Guasto c.c. – CASO A - Potenziale di Terra $U_E$ -- Distribuzione 2D .....	28
<b>Figura 11</b> - Guasto c.c. – CASO A – Tensione di contatto $U_t$ - Distribuzione 2D .....	28
<b>Figura 12</b> - Guasto c.c. – CASO A - Rappresentazione delle area sicura per la quale la $U_t < U_{tp}$ ed $U_s < U_{sp}$ .....	29
<b>Figura 13</b> - Guasto c.c. – CASO B - Potenziale di Terra $U_E$ -- Distribuzione 2D .....	30
<b>Figura 14</b> - Guasto c.c. – CASO B – Tensione di contatto $U_t$ - Distribuzione 2D .....	30
<b>Figura 15</b> - Guasto c.c. – CASO B - Rappresentazione delle area sicura per la quale la $U_t < U_{tp}$ ed $U_s < U_{sp}$ .....	31
<b>Figura 16</b> - Fattore di divisione $k_M$ .....	34
<b>Figura 17</b> - Andamento della Resistività del Suolo.....	38
<b>Figura 18</b> - ALLEGATO 1 – Limiti Tensione di passo e contatto CEI EN 50522 .....	39
<b>Figura 19</b> – ALLEGATO 1 – “Linea di calcolo 1” .....	41
<b>Figura 20</b> – ALLEGATO 1 - Distribuzione lineare del potenziale di terra UE, della tensione di contatto $U_t$ e di passo $U_s$ “Linea di calcolo 1”.....	41
<b>Figura 21</b> – ALLEGATO 1 – “Linea di calcolo 2” .....	42
<b>Figura 22</b> – ALLEGATO 1 – Distribuzione lineare del potenziale di terra UE, della tensione di contatto $U_t$ e di passo $U_s$ “Linea di calcolo 2”.....	42
<b>Figura 23</b> – ALLEGATO 1 – Distribuzione delle correnti di guasto .....	43
<b>Figura 24</b> – ALLEGATO 1 – Area di calcolo.....	44
<b>Figura 25</b> – ALLEGATO 1 – Distribuzione 3D del Potenziale di terra UE.....	45

<b>Figura 26</b> – ALLEGATO 1 – Distribuzione 3D della Tensione di contatto $U_t$ .....	45
<b>Figura 27</b> – ALLEGATO 1 – Distribuzione 3D della Tensione di passo $U_s$ .....	46
<b>Figura 28</b> – ALLEGATO 2 – “Linea di calcolo 1” .....	50
<b>Figura 29</b> – ALLEGATO 2 – C.to circuitatore NON intervenuto - Distribuzione lineare del potenziale di terra UE, della tensione di contatto $U_t$ e di passo $U_s$ “Linea di calcolo 1” .....	50
<b>Figura 30</b> – ALLEGATO 2 — C.to circuitatore intervenuto - Distribuzione lineare del potenziale di terra UE, della tensione di contatto $U_t$ e di passo $U_s$ “Linea di calcolo 1” .....	51
<b>Figura 31</b> – ALLEGATO 2 – “Linea di calcolo 2” .....	52
<b>Figura 32</b> – ALLEGATO 2 – C.to circuitatore NON intervenuto - Distribuzione lineare del potenziale di terra UE, della tensione di contatto $U_t$ e di passo $U_s$ “Linea di calcolo 2” .....	52
<b>Figura 33</b> – ALLEGATO 2 – C.to circuitatore intervenuto - Distribuzione lineare del potenziale di terra UE, della tensione di contatto $U_t$ e di passo $U_s$ “Linea di calcolo 2” .....	53
<b>Figura 34</b> – ALLEGATO 2 – C.to circuitatore NON intervenuto - Distribuzione delle correnti di guasto .....	54
<b>Figura 35</b> – ALLEGATO 2 - C.to circuitatore intervenuto - Distribuzione delle correnti di guasto.....	54
<b>Figura 36</b> – ALLEGATO 2 - Area di calcolo.....	55
<b>Figura 37</b> – ALLEGATO 2 – C.to circuitatore NON intervenuto - Distribuzione 3D del Potenziale di terra UE.....	56
<b>Figura 38</b> – ALLEGATO 2 – C.to circuitatore intervenuto - Distribuzione 3D del Potenziale di terra UE.....	56
<b>Figura 39</b> – ALLEGATO 2 – C.to circuitatore NON intervenuto - Distribuzione 3D della Tensione di contatto $U_t$ .....	57
<b>Figura 40</b> – ALLEGATO 2 – C.to circuitatore intervenuto - Distribuzione 3D della Tensione di contatto $U_t$ .....	57
<b>Figura 42</b> – ALLEGATO 3 – “Rete di terra Fabbricato Consegna ENEL” .....	59
<b>Figura 42</b> – ALLEGATO 3 – “Linea di calcolo 1” .....	61
<b>Figura 43</b> – ALLEGATO 3 - Distribuzione lineare del potenziale di terra UE, della tensione di contatto $U_t$ e di passo $U_s$ “Linea di calcolo 1” .....	61
<b>Figura 44</b> – ALLEGATO 3 – “Linea di calcolo 2” .....	62
<b>Figura 45</b> – ALLEGATO 3 – Distribuzione lineare del potenziale di terra UE, della tensione di contatto $U_t$ e di passo $U_s$ “Linea di calcolo 2” .....	62
<b>Figura 46</b> – ALLEGATO 3 – Area di calcolo.....	63

<b>Figura 47</b> – ALLEGATO 3 – Distribuzione 3D del Potenziale di terra UE.....	63
<b>Figura 48</b> – ALLEGATO 3 – Distribuzione 3D della Tensione di contatto $U_t$ .....	64
<b>Figura 49</b> – ALLEGATO 3 – Distribuzione 3D della Tensione di passo $U_s$ .....	64
<b>Figura 50</b> – ALLEGATO 3 – Rappresentazione delle area sicura per la quale la $U_t < U_{tp}$ ed $U_s < U_{sp}$ .....	65

### INDICE DELLE TABELLE

<b>Tabella 1</b> – Riepilogo principali componenti impianto di terra.....	15
<b>Tabella 2</b> - Resistività del terreno per correnti alternate (Allegato J Norma CEI EN 50522) .....	17
<b>Tabella 3</b> - Tensione ammissibile nel corpo umano in funzione della durata del guasto (CEI EN 50522 tab. B.2) .....	20
<b>Tabella 4</b> - Distanze tra le SSE limitrofe.....	23
<b>Tabella 4</b> - Massime tensioni di contatto ammissibili nei sistemi di trazione in c.c. in funzione del tempo di durata (CEI EN 50122).....	26
<b>Tabella 6</b> - Dimensioni minime dei conduttori al fine di garantire la resistenza meccanica e alla corrosione (CEI EN 50522 – Allegato C).....	32
<b>Tabella 7</b> - Calcolo della sezione minima dei conduttori di terra per massima corrente di guasto in c.a. ...	34
<b>Tabella 8</b> - Calcolo della sezione minima dei conduttori di terra per massima corrente di guasto in c.c..	34

**SSE RIPALTA**

Relazione e progetto impianto di terra

COMMESSA  
LI07

LOTTO  
01

CODIFICA  
EZZ CL

DOCUMENTO  
SE 0000 001

REV.  
B

FOGLIO  
7 di 65

## 1.-.. **PREMESSA E SCOPO**

Nella presente relazione tecnica viene descritto il dimensionamento dell'impianto di terra da realizzarsi nell'area della nuova SSE di Ripalta prevista sulla tratta Ripalta-Lesina nell'ambito del raddoppio della Linea Termoli-Lesina.

La presente relazione illustra i criteri tecnici adottati per il progetto del suddetto impianto, ed indica le prescrizioni da adottare per realizzare un impianto che garantisca la sicurezza della vita umana e l'integrità dei componenti elettrici collegati al sistema.

La SSE di Ripalta verrà costruita su di un'area di circa 7700m<sup>2</sup>, come si evince dall'elaborato:

<b>LI0701EZZP9SE0000004</b>	SSE Ripalta – Piazzale di SSE / Impianto di terra
-----------------------------	---

Poiché nella suddetta sottostazione confluiscono sistemi elettrici di varie categorie:

- categoria I: Impianti BT 400/230 V c.a. – 50 Hz;
- categoria II: Impianti MT 20 kV c.a. – 50 Hz;
- categoria II: Impianti di trazione 3,6 kV c.c.;

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 i criteri progettuali previsti dalla normativa tecnica valida per gli impianti di trazione elettrica e, più in particolare, dalle Norme CEI citate nei successivi paragrafi.

Scopo della presente relazione è quello di fornire le soluzioni progettuali da adottare per la realizzazione dell'impianto di terra della nuova SSE. A tal fine saranno prese a riferimento le norme tecniche vigenti e 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 e la descrizione dei singoli elementi componenti sono desumibili dagli specifici elaborati grafici e tutte le prescrizioni tecniche desumibili dal Progetto Esecutivo.

## 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 o 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:

#### Leggi, Decreti e Circolari

- **D.Lgs. n.106 del 3 Agosto 2009:** Disposizioni integrative e correttive del decreto legislativo 9 Aprile 2008, n.81, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro;
- **D.Lgs. n.81 del 9 Aprile 2008 e s.m.i:** Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 Agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro.
- **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;

#### Norme CEI

- **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 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 50522:** Messa a terra degli impianti elettrici a tensione superiore a 1 kV in c.a.;
- **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;
- **ANSI / IEEE Std 80:** Guide for Safety in AC Substation Grounding;

#### Specifiche Tecniche RFI:

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



- **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;
- **RFL.DTC.STS.ENE.SP.IFS.TE.210.A:** Capitolato Tecnico per la costruzione delle linee aeree di contatto e di alimentazione a 3 kVcc;
- **DPR.MO.SL.131:** Verifica degli impianti di terra di protezione delle sottostazioni elettriche;
- **RFL.DTC.ST.E.SP.IFS.TE.101.A:** Istruzioni per la realizzazione del circuito di terra e di protezione delle linee a 3 kVcc
- **RFL.DMA.IM.LA.SP.IFS.371.A:** Relè monostabile di massima corrente a soglia fissa adirezionale ad inserzione diretta a 3 kV cc
- **RFL.DPRIM.STF.IFS.TE.086.A:** Cavo in lega di alluminio ad alta temperatura con portante in acciaio rivestita di alluminio TACSR Ø 19,62
- **NT TE118:** Norme Tecniche per la costruzione delle condutture di contatto e di alimentazione a corrente continua a 3kV;
- **Istruzione FS C.3/70:** Istruzione per il circuito di ritorno TE e per i circuiti di terra sulle linee elettrificate a 3kV;

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.

**SSE RIPALTA**

Relazione e progetto impianto di terra

COMMESSA  
LI07

LOTTO  
01

CODIFICA  
EZZ CL

DOCUMENTO  
SE 0000 001

REV.  
B

FOGLIO  
10 di 65

**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:

<b>LI0701EZZP9SE0000004</b>	SSE Ripalta – Piazzale di SSE / Impianto di terra.
<b>LI0701EZZDXSE0000001</b>	SSE Ripalta - Schema Elettrico Generale
<b>LI0701EZZP9SE0000002</b>	SSE Ripalta - Piazzale di SSE/Disposizione apparecchiature (Layout)
<b>LI0701EZZPBSE0000002</b>	SSE Ripalta - Fabbricato di SSE - Impianto di terra e Relé di massa

### 3.-.. CRITERI PROGETTUALI

L'impianto di terra della nuova SSE di Ripalta 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, dal 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 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 superiori, 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 DMA IM LA SP IFS 370 A:** *Dispositivo di collegamento del negativo 3kVcc all'impianto di terra di SSE e cabine TE.*

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

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

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 minori di quelle del sistema a 3kV c.c., poiché dovute unicamente all'accoppiamento capacitivo dei conduttori in cavo tra loro e verso massa.

**SSE RIPALTA**

Relazione e progetto impianto di terra

COMMESSA  
L107

LOTTO  
01

CODIFICA  
EZZ CL

DOCUMENTO  
SE 0000 001

REV.  
B

FOGLIO  
12 di 65

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.

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

Le masse metalliche all'interno del 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 di giunti isolanti.

#### 4.-.. CONFIGURAZIONE DELL'IMPIANTO

##### 4.1.-..Impianto di terra di piazzale

Così come riportato sull'elaborato grafico:

<b>LI0701EZZP9SE0000004</b>	SSE Ripalta – Piazzale di SSE / Impianto di terra
-----------------------------	---

L'impianto di terra di piazzale sarà costituito essenzialmente da un dispersore orizzontale a rete magliata realizzata in corda di rame nudo da 120mm<sup>2</sup>, 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 verificano migrazioni di materiale per effetto delle corrosioni elettrolitiche prodotte dalle correnti vaganti.

La dimensione delle singole maglie sarà mediamente di 5x5m, 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 puntazze in acciaio ramato infisse nel terreno corredate di pozzetti ispezionabili e dai "dispersori di fatto" rappresentati dalle armature metalliche relative alle fondazioni sia del fabbricato sia delle apparecchiature di piazzale.

Le fondazioni delle strutture realizzate in cemento armato contribuiscono notevolmente alla dispersione delle correnti di guasto, a condizione di realizzare la continuità metallica tra le fondazioni 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 delle fondazioni durante la loro formazione.

Il numero, la collocazione e le dimensioni dei dispersori verticali 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 "abbondantemente" all'interno dell'area di SSE.

Pertanto, il conduttore perimetrale risulterà circa 5m più interno rispetto alla recinzione dell'area, e presenterà 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) possono assumere valori pericolosi nell'area di sottostazione 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.

**SSE RIPALTA**

Relazione e progetto impianto di terra

COMMESSA  
LI07

LOTTO  
01

CODIFICA  
EZZ CL

DOCUMENTO  
SE 0000 001

REV.  
B

FOGLIO  
14 di 65

#### 4.2.-.Impianto di terra del Fabbricato di SSE

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;
- realizzazione dei collegamenti di terra tra le diverse apparecchiature e i collettori di terra, suddivisi per sezione/ambiente;
- Installazione di un relè di massa di tipo elettromeccanico, conforme alla specifica tecnica RFI.DMA.IM.LA.SP.IFS.371.A, montato su supporti isolanti all'interno della UFMN; la selettività dell'intervento dei relè di massa di tipo elettronico a corredo delle UFA rispetto a quello generale posto nella UFMN, deve essere garantita impostando sulle stesse una opportuna soglia di intervento in corrente e ritardo intenzionale in ms;
- collegamento con quattro cavi TACSR Ø19,62 mm, che dal relè di massa si attestano alla rete di terra esterna generale;

L'installazione dei collettori 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).

Per ulteriori dettagli circa l'impianto di terra del fabbricato della Sottostazione si faccia riferimento all'elaborato grafico avente codifica:

<b>LI0701EZZPBSE0000002</b>	SSE Ripalta - Fabbricato di SSE - Impianto di terra e Relé di massa
-----------------------------	---

#### 4.3.-.Impianto di terra del Fabbricato di Consegna Energia ENEL

L'impianto di terra del Fabbricato Consegna ENEL è costituita da una maglia perimetrale realizzata in corda di rame interrata alla quota di 1,2 m avente sezione 120mm<sup>2</sup>. L'impianto è integrato dalla presenza di n°4 dispersori verticali disposti ai quattro vertici della rete di terra, costituiti da puntazze in acciaio ramato infisse nel terreno installati all'interno di pozzetti ispezionabili.

L'impianto di terra interno del Fabbricato Consegna ENEL consisterà in:

- installazione di un collettore di terra in piatto di rame 50x4mm in ogni locale, graffettato alle pareti;
- realizzazione dei collegamenti di terra tra le diverse apparecchiature e i collettori di terra, suddivisi per sezione/ambiente.

La rete di terra del Fabbricato Consegna ENEL non verrà connessa alla rete di terra del piazzale di SSE, venendo considerata indipendente da essa. La verifica e il suo dimensionamento verrà riportato all'interno dell'ALLEGATO 3.

Per ulteriori dettagli circa l'impianto di terra del fabbricato ENEL si faccia riferimento all'elaborato grafico avente codifica:

<b>LI0701EZZPBSE0000008</b>	SSE Ripalta - Fabbricato ENEL - Impianto di terra e Relé di massa
-----------------------------	---

#### 4.4.-.Riepilogo componenti impianto di terra

Di seguito si riportano i principali componenti che costituiranno l'impianto di terra di piazzale:

<u><b>COMPONENTE</b></u>	<u><b>DESCRIZIONE</b></u>
<b>Maglia di terra</b>	Dispersore orizzontale in corda Cu 120 mm <sup>2</sup> interrata a: <ul style="list-style-type: none"> <li>- 120 cm di profondità per la maglia perimetrale esterna;</li> <li>- 60 cm di profondità per la maglia interna.</li> </ul>
<b>Picchetti Verticali</b>	Dispersore verticale a picchetto formato da aste componibili in acciaio Ø30mm rivestite in rame, lunghezza totale 6,0m posate in pozzetto in CLS dim. 40x40x50cm
<b>Collegamento delle masse metalliche</b>	Collegamento alle carpenterie metalliche di piazzale in corda flessibile Cu 115 mm <sup>2</sup>

**Tabella 1 – Riepilogo principali componenti impianto di terra**

### 5.-.. VERIFICA DELL'IMPIANTO DI MESSA A TERRA

Il dimensionamento e verifica della rete di terra verrà effettuato secondo le indicazioni fornite dalla normativa di riferimento in relazione ai seguenti punti:

- a) Verifica delle tensioni di passo e di contatto per guasti in c.a, per cui dovranno essere rispettati i limiti imposti dalla Norma CEI EN 50522;
- b) Verifica delle tensioni di passo e di contatto per guasti in c.c. per cui dovranno essere rispettati i limiti imposti dalla Norma CEI EN 50122. Questa verrà effettuata per il valore di corrente di guasto più elevata, che si ottiene con corto-circuitatore aperto e per il valore di corrente più basso che si ottiene con corto-circuitatore chiuso;
- c) Corrosione e alle sollecitazioni meccaniche;
- d) Comportamento termico.

Per la valutazione dei potenziali di passo e contatto, è stato utilizzato il software di calcolo “XGSLab - Electromagnetic Simulation For Power, Grounding And Lightning Protection Systems (Release 9.6.11.1 - 05/21)”.

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.



### 5.1.-.Calcolo della resistenza di terra del dispersore

Come mostrato dal citato elaborato:

<b>LI0701EZZP9SE0000004</b>	SSE Ripalta – Piazzale di SSE / Impianto di terra
-----------------------------	---

Il dispersore di piazzale è costituito da una rete magliata di superficie pari a circa 5900m<sup>2</sup>, con lato di magliatura mediamente pari a circa 5m.

Per la determinazione della resistenza di terra  $R_t$  del dispersore è essenziale conoscere il valore  $\rho_t$  della resistività del terreno. Poiché, alla data in cui viene compilata la presente relazione di progetto l'area che accoglierà la nuova SSE non è stata ancora definitivamente formata, non è stato possibile eseguire misure utili della resistività elettrica.

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

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

Tipo di terreno	Resistività del terreno $\rho_e$ $\Omega m$
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

**Tabella 2 - Resistività del terreno per correnti alternate (Allegato J Norma CEI EN 50522)**

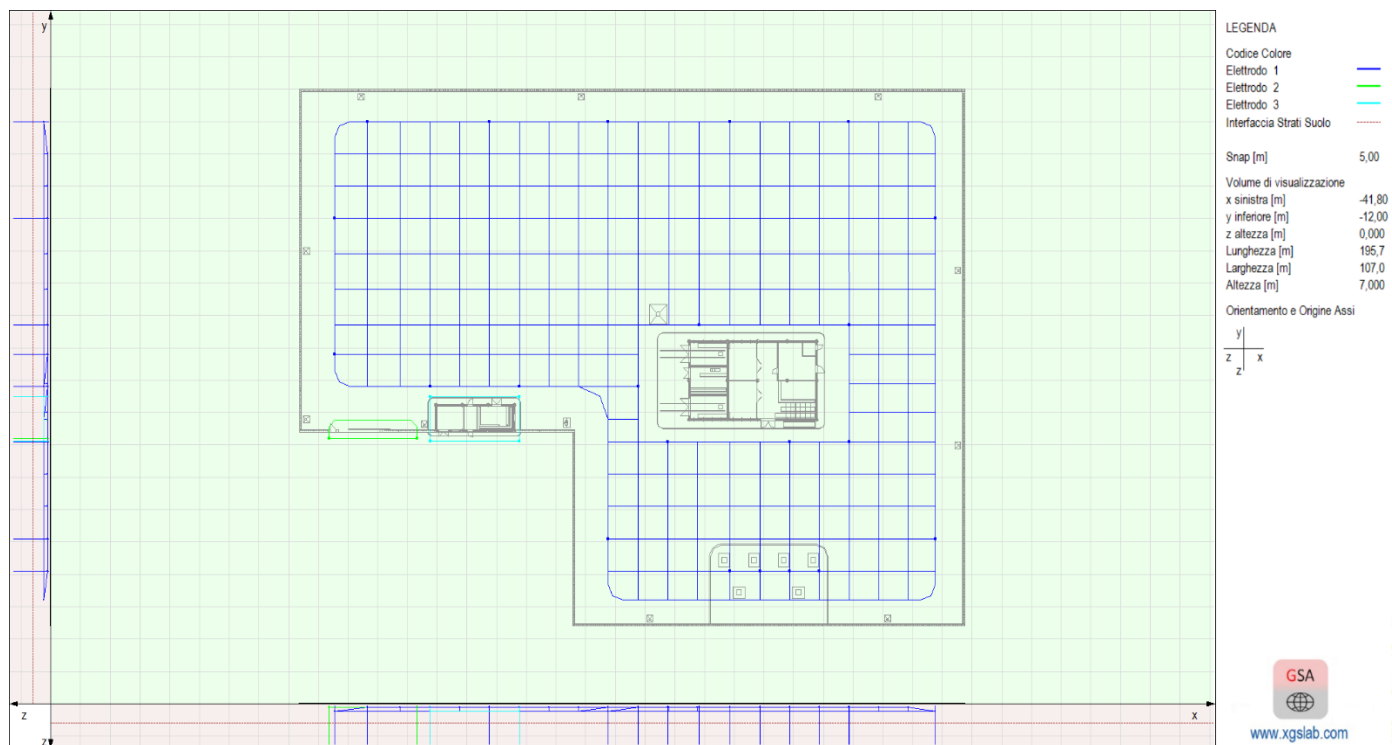
per quanto riguarda la resistività elettrica del terreno superficiale, considerando uno spessore del terreno pari a 3 m, si assume cautelativamente un valore pari a:

$$\rho_E = 100 \Omega m$$

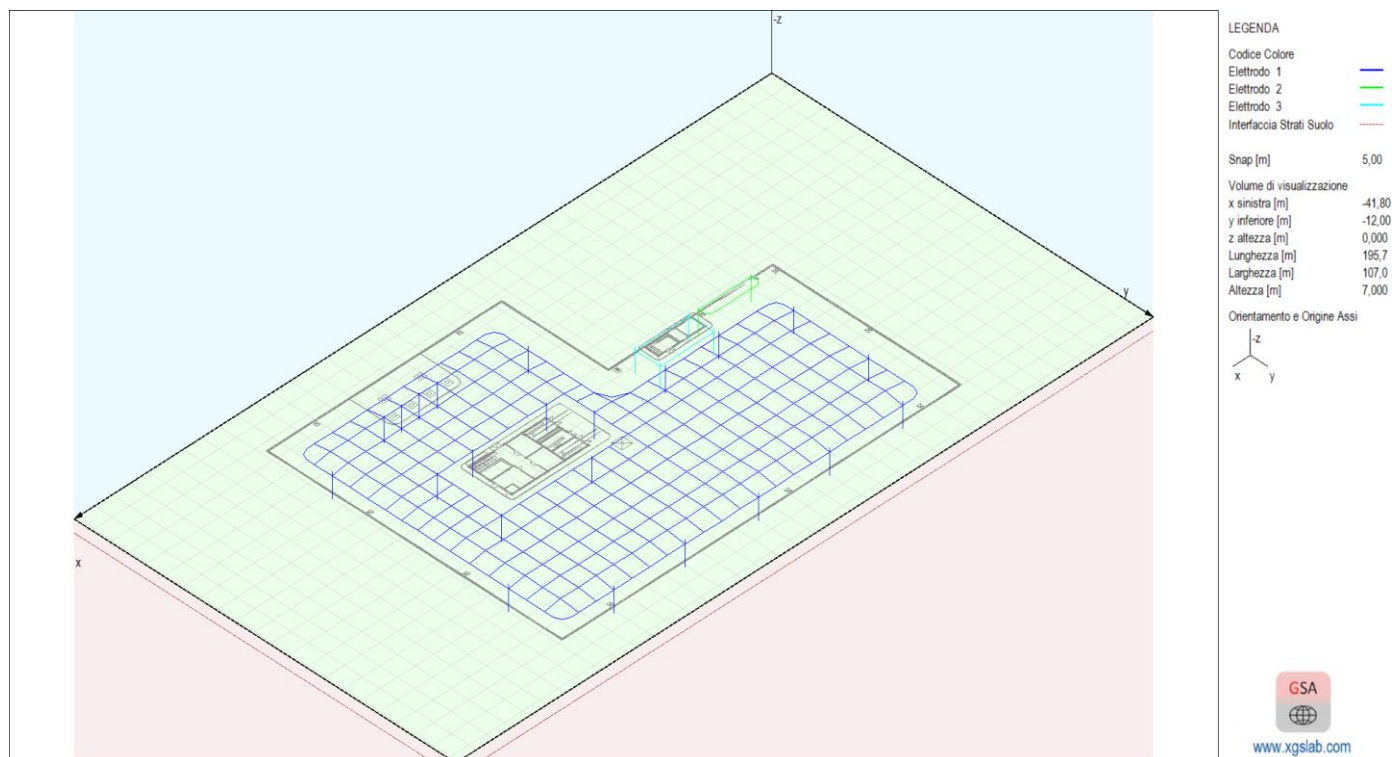
mentre per gli strati più profondi, destinati ad accogliere i dispersori verticali a picchetto, si assume un valore medio pari a:

$$\rho_P = 500 \Omega m$$

Mediante il software di calcolo è stata implementata la geometria e le caratteristiche dei conduttori dell'impianto di terra secondo il seguente layout:



**Figura 1 - Layout rete di terra implementata – Vista 2D**



**Figura 2 - Layout rete di terra implementata – Vista 3D**

**SSE RIPALTA**

Relazione e progetto impianto di terra

COMMESSA  
LI07

LOTTO  
01

CODIFICA  
EZZ CL

DOCUMENTO  
SE 0000 001

REV.  
B

FOGLIO  
19 di 65

Per tale configurazione è stato ottenuto un valore della resistenza di terra pari a:

$$R_T = 2,03 [\Omega]$$

Nella determinazione di  $R_T$  non si è tenuto conto del contributo (tutt'altro che trascurabile) dei "Dispensori di Fatto" e degli effetti di prossimità.

## 5.2.-.Verifica delle tensioni di passo e di contatto per guasti in c.a.

### 5.2.1.-.Scelta dei parametri progettuali

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, dipende dalle caratteristiche della rete di alimentazione in MT, che in questo caso, essendo un sistema con neutro compensato si è considerata pari a:

$$I_F = 50 \text{ [A]},$$

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

$$t_G = 10 \text{ [s]}.$$

### 5.2.2.-.Calcolo delle tensioni di passo e di contatto in c.a.

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 riportati nella Tabella 2.

Tempo di eliminazione del guasto [s]	Tensione [V]
0,05	716
0,10	654
0,20	537
0,50	220
1,00	117
2,00	96
5,00	86
10,00	85

**Tabella 3** - Tensione ammissibile nel corpo umano in funzione della durata del guasto (CEI EN 50522 tab. B.2)

Nel caso in esame (tempo di intervento delle protezioni pari a 10s), interpolando i valori della tabella si ottiene che il valore di tensione da non superare è pari a:

$$U_{TP} = 85 \text{ [V]}$$

Come previsto dalla norma CEI EN 50522 nell'Allegato I, alla corrente di guasto è possibile applicare un fattore riduttivo che permetta di tener conto del contributo degli schermi metallici dei cavi al ritorno delle correnti di guasto a terra. Nel caso in oggetto è stato utilizzato il valore seguente:

$$r = 0,8$$

E pertanto:

$$I_{RS} = r \times I_F = 40 \text{ [A]}$$

Sotto tali considerazioni, nel sistema in esame deve risultare che:

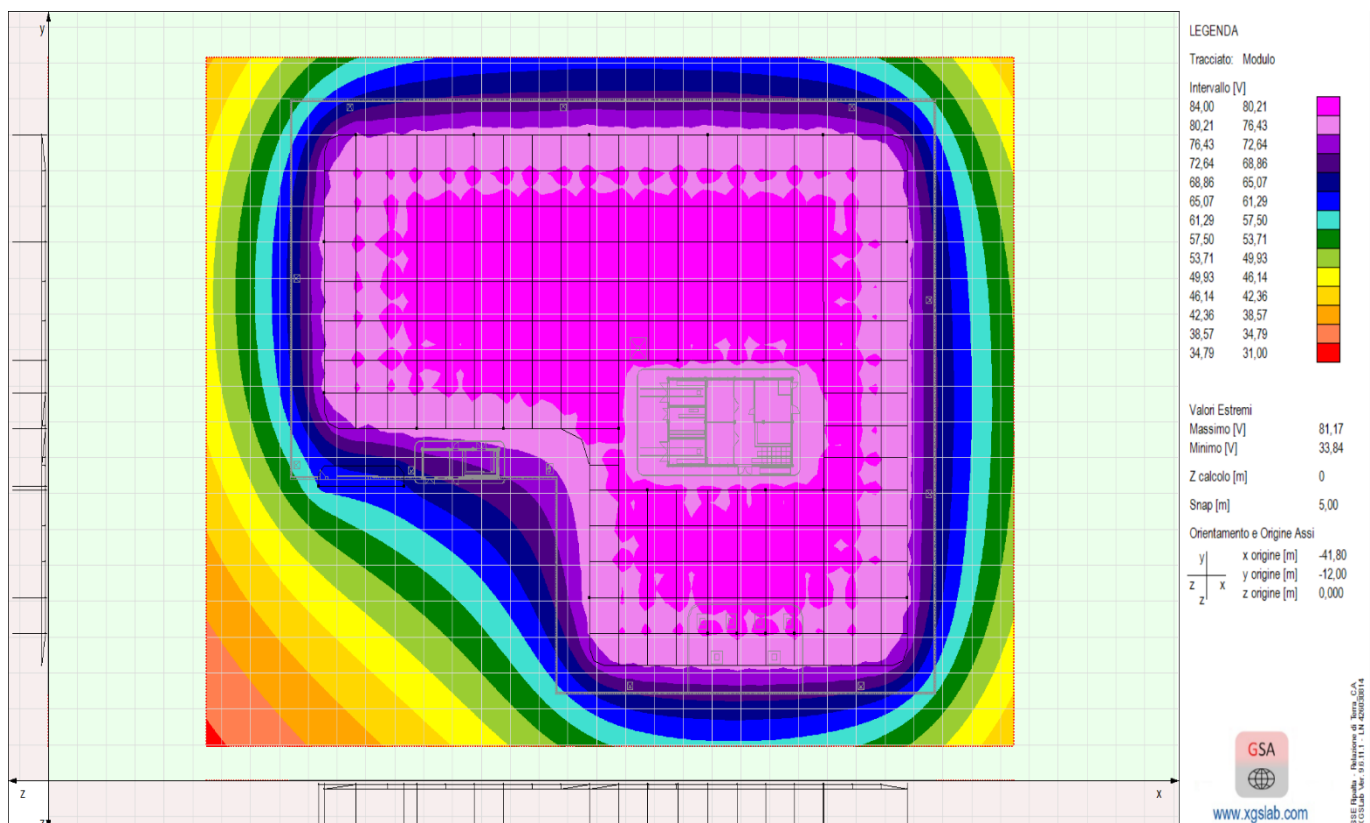
$$U_E = R_t \times I_{RS} \leq U_{TP}$$

$$= 1,056 [\Omega] \times 40 [A] = 42 [V] \leq 85 [V]$$

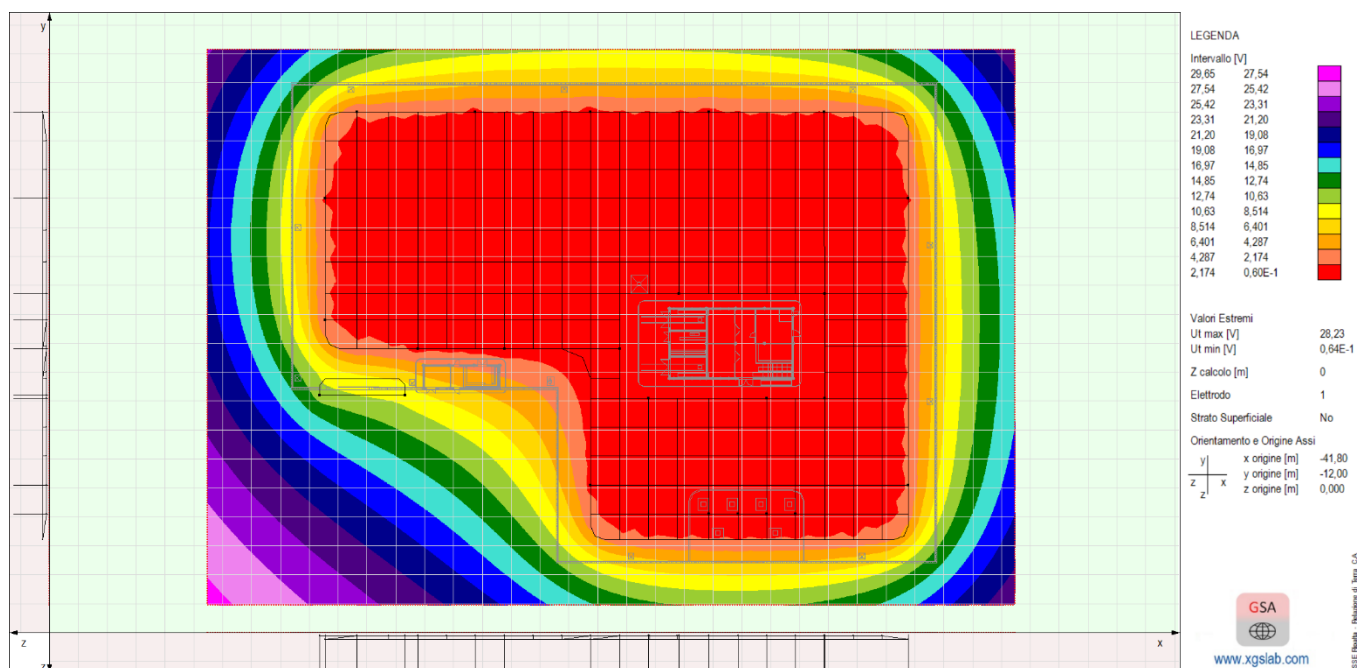
L'impianto di terra in esame rientra pertanto all'interno delle condizioni previste dalla norma CEI EN 50522.

Di seguito vengono riportati i grafici ottenuti mediante il software di calcolo delle reti di terra XGSLab relativi alla distribuzione di potenziale del terreno ed alla distribuzione dei valori di tensione di contatto. Si può verificare come tutti i valori della tensione di contatto, all'interno dell'area di interesse, risulti essere inferiore alla massima tensione di contatto ammissibile definita dalla Norma CEI EN 50522 nelle condizioni di calcolo definite.

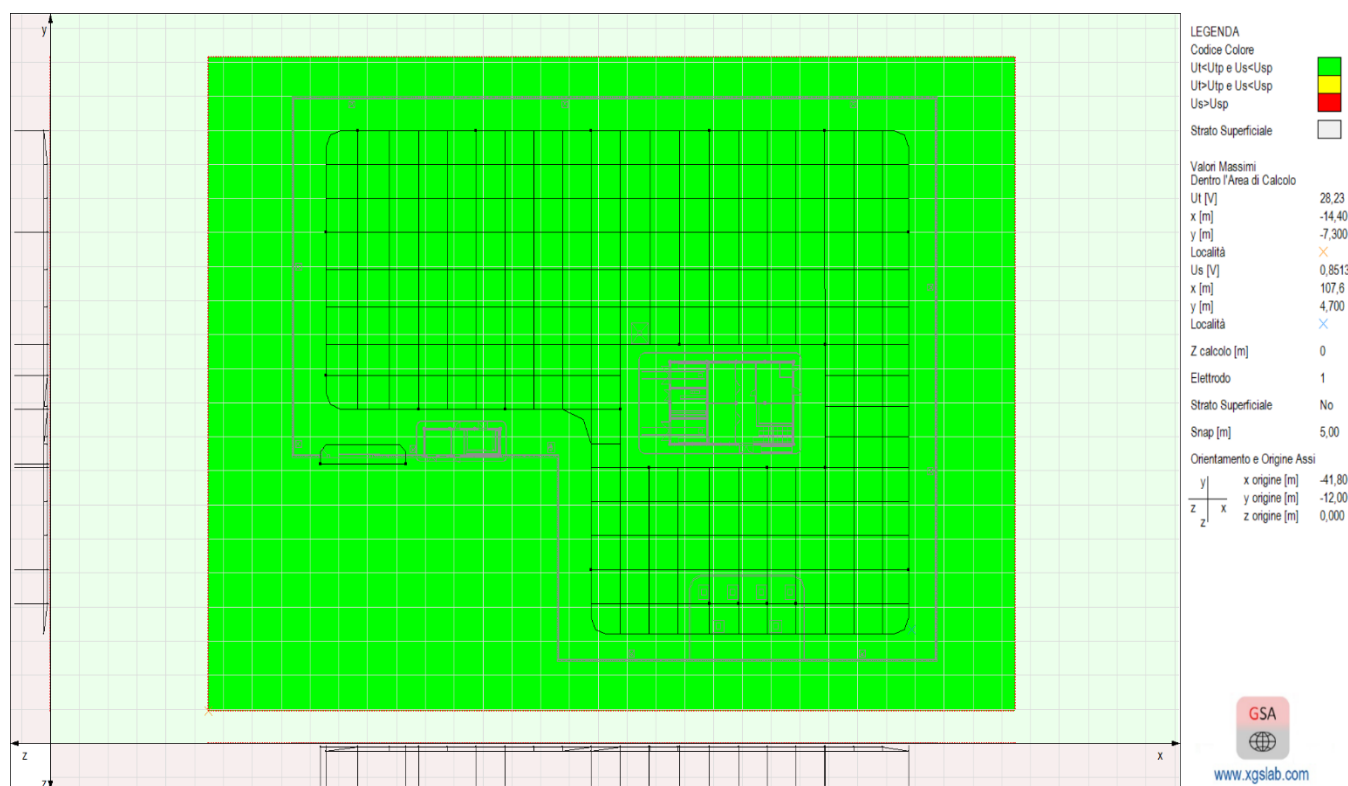
Ulteriori risultati ottenuti vengono riportati all'interno del capitolo 7 "ALLEGATI".




**Figura 3 - Guasto c.a. – Potenziale di Terra UE – Distribuzione 2D**



**Figura 4 - Guasto c.a. – Tensione di contatto  $U_t$  – Distribuzione 2D**



**Figura 5 - Guasto c.a. – Rappresentazione delle area sicura per la quale la  $U_t < U_{tp}$  ed  $U_s < U_{sp}$**

	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> LINEA PESCARA – BARI					
<b>SSE RIPALTA</b> Relazione e progetto impianto di terra	COMMESSA LI07	LOTTO 01	CODIFICA EZZ CL	DOCUMENTO SE 0000 001	REV. B	FOGLIO 23 di 65

### 5.3.-.Verifica delle tensioni di passo e di contatto per guasti in c.c.

#### 5.3.1.-.Calcolo della corrente di guasto a terra

Per la determinazione della corrente di guasto  $I_G$  che la maglia di terra della Sottostazione è chiamata a disperdere è necessario considerare due differenti casi:

- nella situazione antecedente alla chiusura del cortocircuitatore, che è la situazione più onerosa da valutare;
- nel caso successivo all'intervento del cortocircuitatore, che fa in modo di collegare il circuito di trazione alla rete di terra locale della Sottostazione.

Per la determinazione della corrente di terra  $I_G$  che la maglia di terra della Sottostazione è chiamata a disperdere, è stata effettuata un'analisi del circuito di trazione in oggetto, schematizzando la linea di contatto ed il binario mediante una configurazione a parametri distribuito, verificando i contributi al guasto delle SSE limitrofe.

La seguente tabella riporta le distanze “elettriche” parziali espresse in km tra gli impianti limitrofi che contribuiscono alla corrente di guasto a terra:

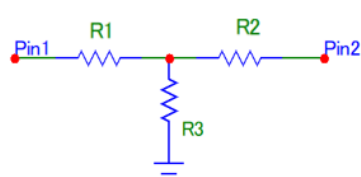
IMPIANTI		DISTANZE [km]
DA	A	
SSE Termoli	SSE Ripalta	~ 26
SSE Ripalta	SSE Lesina	~ 11

**Tabella 4 - Distanze tra le SSE limitrofe**

L'analisi del circuito elettrico equivalente, e di conseguenza la stima della corrente di guasto che l'impianto di terra è chiamato a disperdere sia prima che dopo l'intervento del cortocircuitatore, è stata effettuata mediante il software Microcap.

Supponendo un guasto franco a terra sulla sbarra positiva di Sottostazione ed assumendo come tensione alle sbarre delle sottostazioni adiacenti il valore 3600 V, si deve tener conto dei seguenti valori di resistenza:

- $R_{SSE}$  = Resistenza interna della SSE, assunta pari a:
  - 0,1  $\Omega$  per SSE con n°2 gruppi da 5,4 MW;
- $R_{LdC}$  = Resistenza della linea di contatto, considerata pari a:
  - 0,0458  $\Omega$ /km per una sezione equivalente filo-fune di 440 mm<sup>2</sup>;
- $R_T$  = Resistenza di terra dell'impianto (considerata pari a 2,03  $\Omega$  come indicato nel paragrafo 5.1.-.);
- $R_{cc}$  = Resistenza interna del corto-circuitatore verso terra (assunta pari a 0,001  $\Omega$ );
- Per la schematizzazione del binario è stato considerato un circuito equivalente a "T" (discretizzato con passo di 1 km) del tipo rappresentato in Fig. 6, composto dai seguenti parametri:
  - $R_b$  = Resistenza chilometrica del binario (assunta pari a 0,015  $\Omega$ /km per linee a singolo binario e 0,0075 per linee a doppio binario);
  - $G_b$  = Conduttanza del binario verso terra (assunta pari a 0,5 S/km);



$$R_{B1} = R_{B2} = \frac{R_b}{2} = 0,0075 \Omega$$

$$R_{B3} = \frac{1}{G_b} = 2 \Omega$$

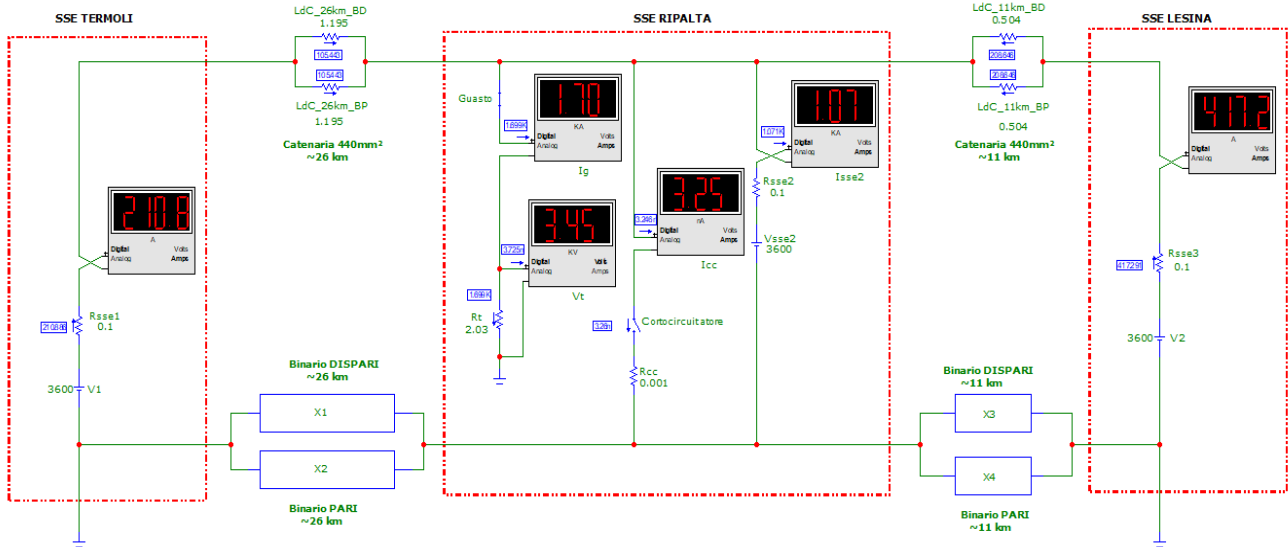
**Figura 6 - Circuito equivalente a "T" del binario**

Si possono ricavare mediante la risoluzione delle due configurazioni dei circuiti elettrici rappresentati in Fig. 7 e Fig. 8 i seguenti valori per la corrente drenata a terra dall'impianto di terra di Sottostazione rispettivamente prima e dopo l'intervento del dispositivo corto-circuitatore:

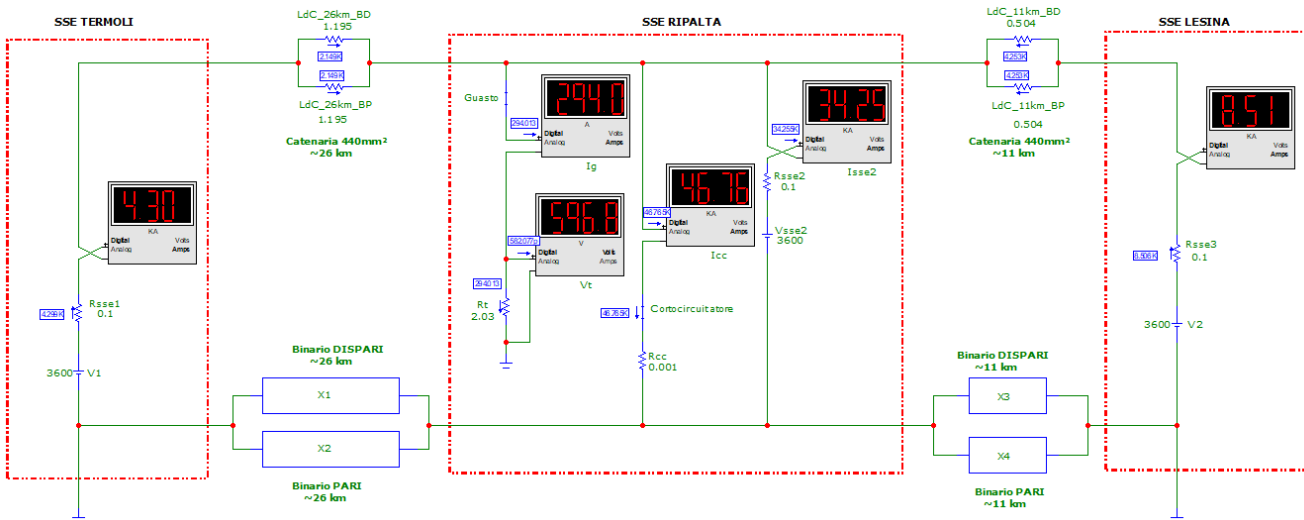
- $I_{11} = 1700$  A      con corto-circuitatore aperto,
- $I_{12} = 294$  A      con corto-circuitatore chiuso,

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





**Figura 7 - Guasto di sbarra in SSE prima dell'intervento del Corto-Circuitore**



**Figura 8 - Guasto di sbarra in SSE dopo l'intervento del Corto-Circuitore**

### 5.3.2.-.Calcolo delle tensioni di passo e di contatto in c.c.

Fissato il tempo di eliminazione del guasto, attraverso l'ausilio della Tabella 4 è possibile determinare il valore della tensione di contatto massima ammissibile definita dalla norma CEI EN 50122.

$t$	$U_{te, max}$ lunga durata V	$U_{te, max}$ breve durata 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

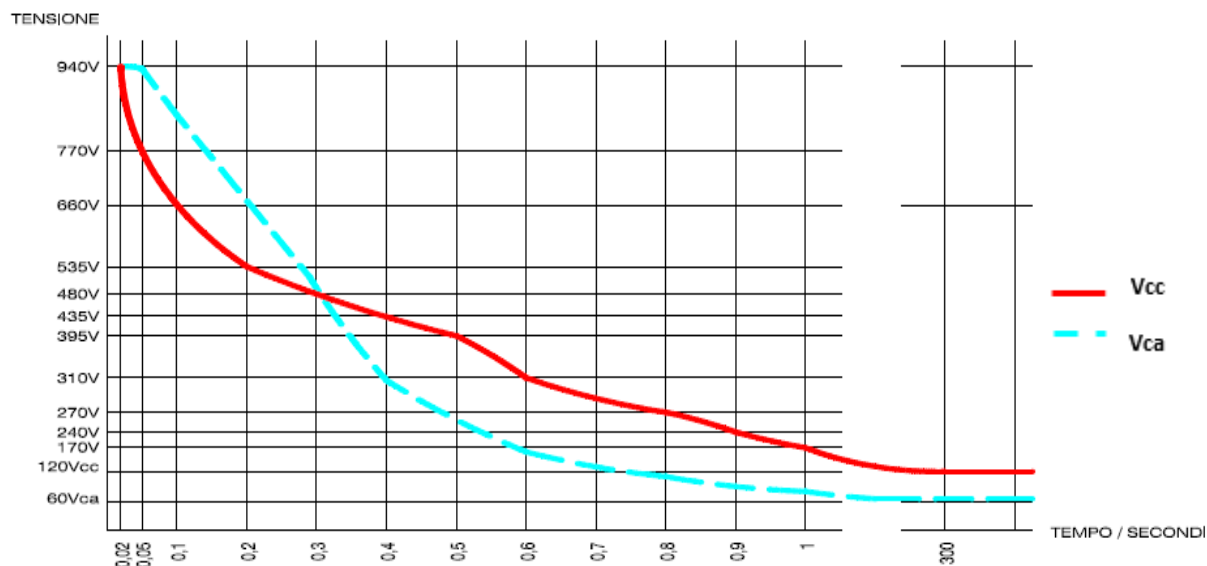
**Legenda**  
 $t$  tempo di durata  
 $U_{te, max}$  tensione di contatto effettiva ammissibile

**Tabella 5** - Massime tensioni di contatto ammissibili nei sistemi di trazione in c.c. in funzione del tempo di durata (CEI EN 50122)

Il dispersore dovrà essere tale da impedire che, con le correnti di guasto a terra  $I_{t1}$  e  $I_{t2}$  calcolate al paragrafo precedente, si verifichino tensioni di contatto superiori ai valori indicati dalla norma.

La corrente  $I_{t1}$  drenata dall'impianto di terra perdurerà fino all'intervento del dispositivo corto-circuitatore. In particolare, l'intervento di detto corto-circuitatore ha lo scopo di stabilire un collegamento tra il circuito corrispondente al negativo 3kVcc e l'impianto di terra locale relativo all'impianto di conversione e/o distribuzione dell'energia elettrica in corrente continua per cui l'apparecchiatura svolge la preposta funzione di limitazione della tensione.

Tale collegamento "equipotenziale" dovrà essere attuato dal dispositivo quando la differenza di potenziale tra il tra il circuito negativo TE e l'impianto di terra supera i valori limite di tensione/tempo d'intervento previsti dalla specifica RFI.DMA.IM.LA.SP.IFS.370.A, gli andamenti sono di seguito riportati:



**Figura 9 - Diagramma delle tensioni di contatto/accessibili dispositivo corto-circuitatore**

Successivamente, a seguito dell'intervento dello stesso, l'impianto di terra sarà interessato dalla sola corrente di terra  $I_{t2}$  fino all'intervento degli interruttori extrarapidi. Nel dettaglio, per tenere conto dei ritardi introdotti dalla catena di apertura generale, tale tempo è stato assunto pari a  $t_{F2} = 0,1$  sec.

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

CASO A: Prima dell'intervento del corto-circuitatore  $I_{t1} = 1700$  A  $U_{te,max} = 870$  V  
 $t_{F1} \leq 0,02$  sec

CASO B: a seguito dell'intervento del corto-circuitatore  $I_{t2} = 294$  A  $U_{te,max} = 625$  V  
 $0,02$  sec <  $t_{F2} \leq 0,1$  sec

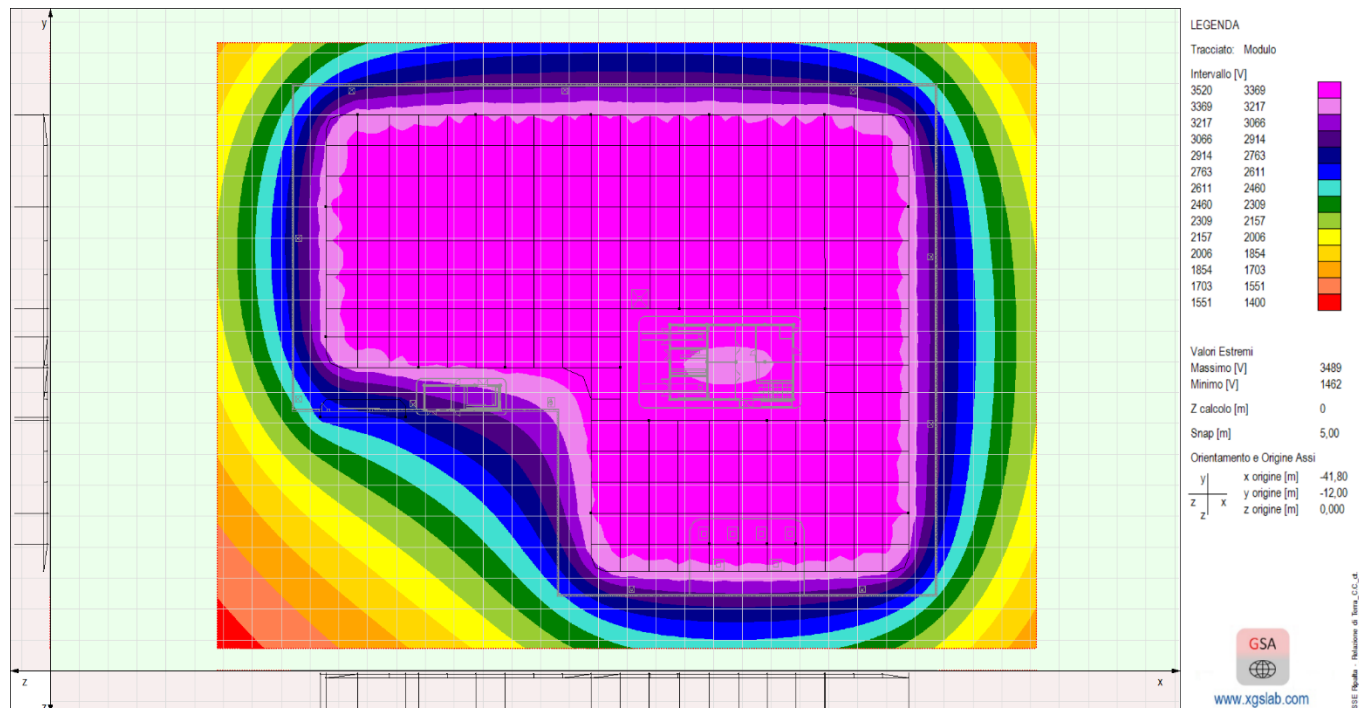
Nella norma CEI EN 50122, non si fa riferimento alle tensioni di passo, mentre, come indicato dalla norma CEI EN 50522 prg. 4.2.2: "È regola generale che, osservando le prescrizioni per la tensione di contatto, vengano soddisfatte le prescrizioni per la tensione di passo, perché i limiti delle tensioni di passo sono maggiori di quelli di contatto a causa del diverso percorso della corrente attraverso il corpo".

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

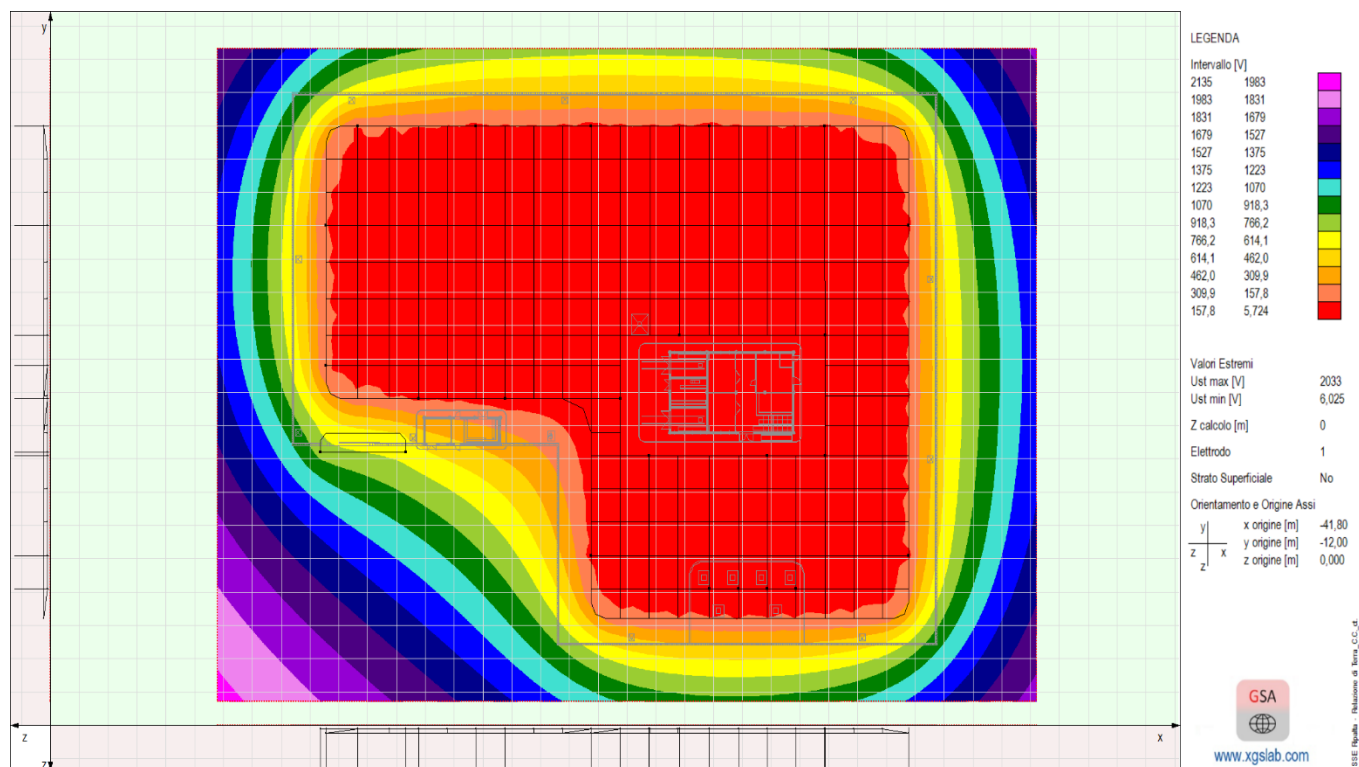
Di seguito vengono riportati i grafici ottenuti mediante il software di calcolo delle reti di terra XGSLab relativi alla distribuzione di potenziale del terreno ed alla distribuzione dei valori di tensione di contatto. Si può verificare come tutti i valori della tensione di contatto, all'interno dell'area di interesse, risultino essere inferiori alla massima tensione di contatto ammissibile definita dalla Norma CEI EN 50122 nelle condizioni di calcolo definite, per entrambi i casi analizzati.

Ulteriori risultati ottenuti vengono riportati all'interno del capitolo 7 "ALLEGATI2".

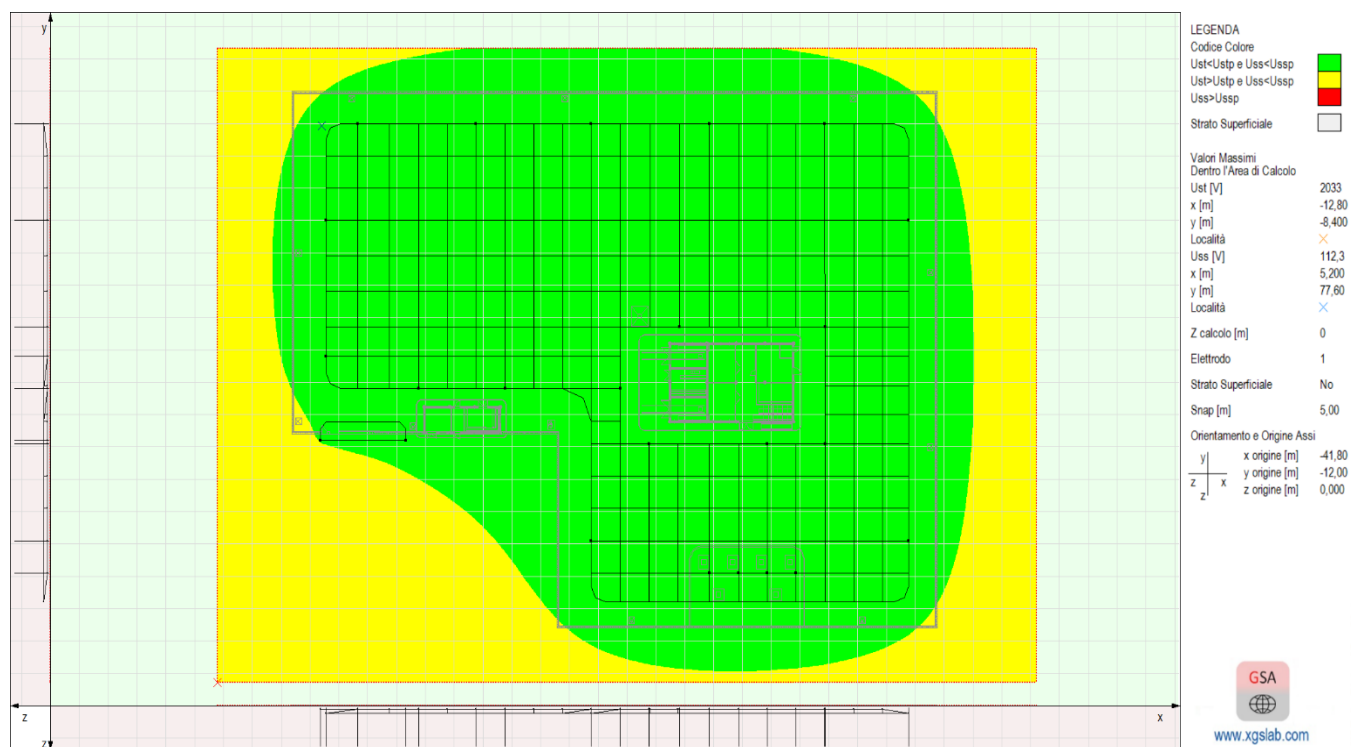
**CASO A):  $t_{r1} \leq 0,02$  s - Cortocircuitore non intervenuto**



**Figura 10 - Guasto c.c. – CASO A - Potenziale di Terra  $U_E$  -- Distribuzione 2D**



**Figura 11 - Guasto c.c. – CASO A – Tensione di contatto  $U_t$  - Distribuzione 2D**

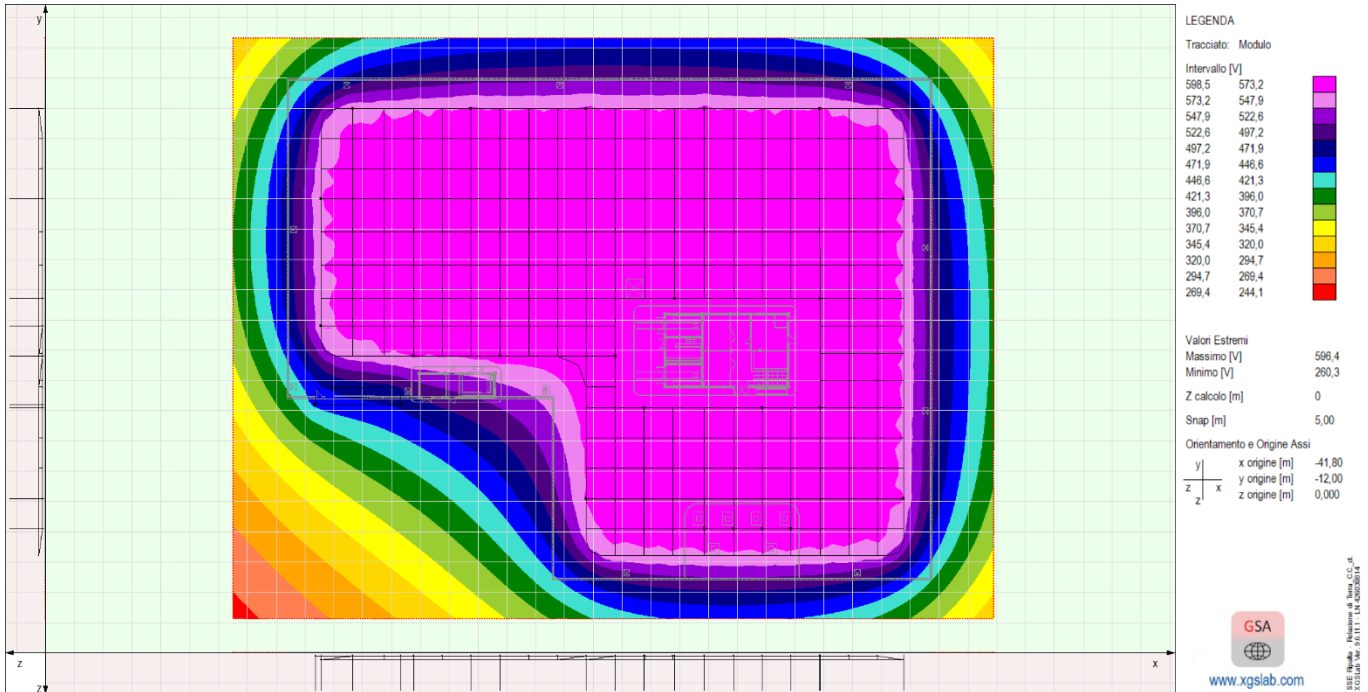


**Figura 12 - Guasto c.c. – CASO A - Rappresentazione delle area sicura per la quale la  $U_t < U_{ip}$  ed  $U_s < U_{sp}$**

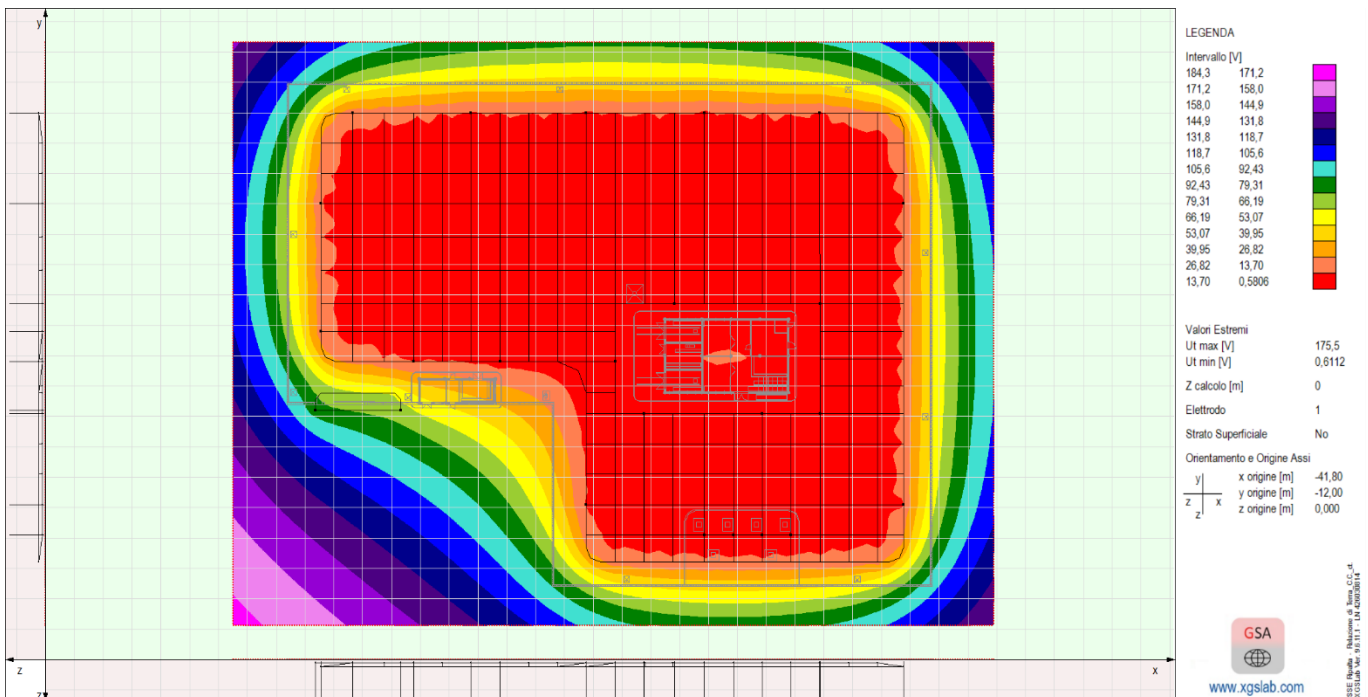
Come mostrato dalla figura, prima dell'intervento del cortocircuitatore, la tensione di contatto  $U_t$  determinata con il software per l'area di SSE, è inferiore alla tensione ammissibile  $U_{ie,max} = 870$  V, prescritta dalla norma CEI EN 50122, nell'area indicata in verde.

Pertanto, nelle ipotesi considerate, è possibile affermare che il dimensionamento e la geometria della maglia di terra soddisfano le prescrizioni normative.

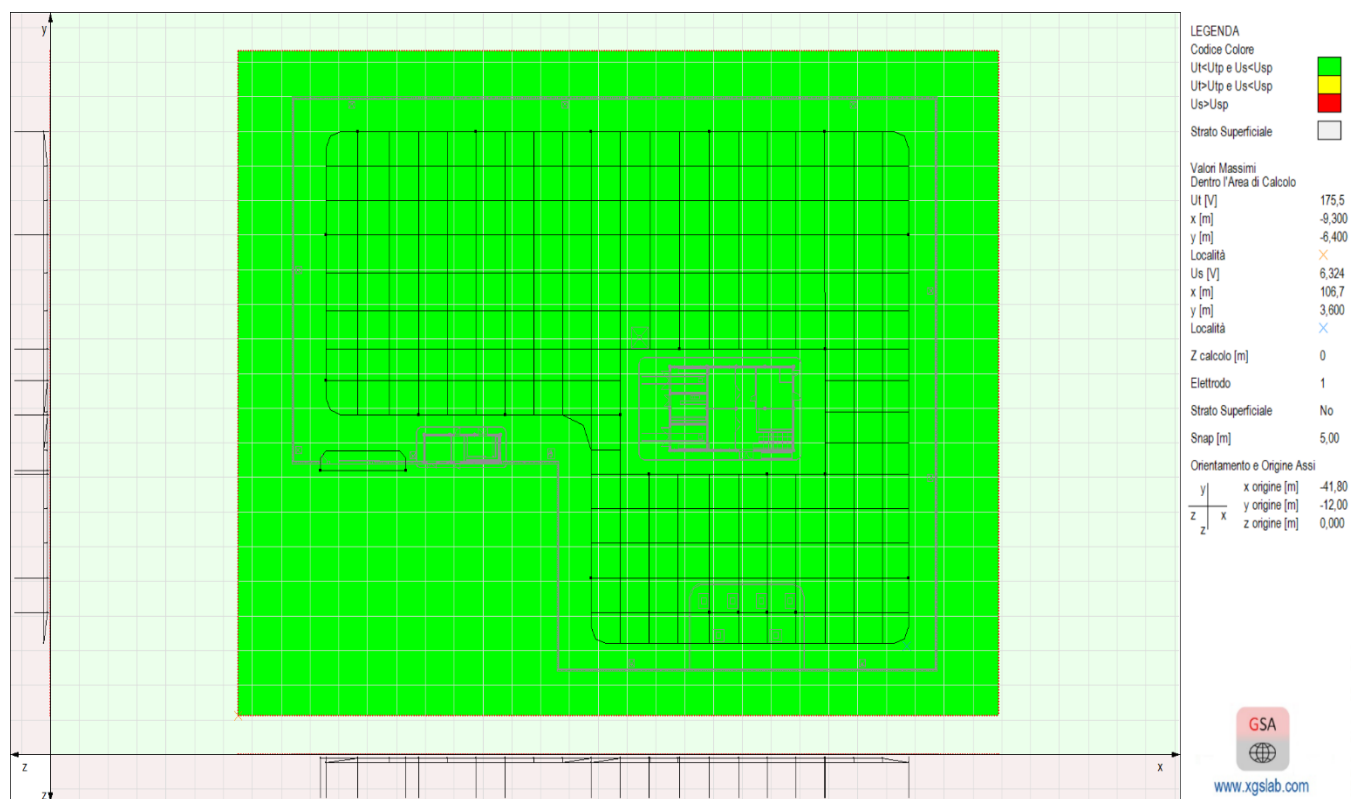
**CASO B:  $0,02 < t_{r2} \leq 0,1$  s - Cortocircuitore intervenuto**



**Figura 13 - Guasto c.c. – CASO B - Potenziale di Terra  $U_E$  -- Distribuzione 2D**



**Figura 14 - Guasto c.c. – CASO B – Tensione di contatto  $U_t$  - Distribuzione 2D**



**Figura 15 - Guasto c.c. – CASO B - Rappresentazione delle area sicura per la quale la  $U_t < U_{tp}$  ed  $U_s < U_{sp}$**

Come mostrato dalla figura, come prevedibile, dopo l'intervento del cortocircuitatore la tensione di contatto  $U_t$  determinata per l'area di SSE, è sempre inferiore alla tensione ammissibile  $U_{te,max} = 625$  V, prescritta dalla norma CEI EN 50122.

#### 5.4.-.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.

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

(a) Non idoneo per posa diretta in calcestruzzo. Si raccomanda di non usare il piombo per ragioni di inquinamento.  
 (b) Piattina, arrotondata o tagliata con angoli arrotondati.  
 (c) In condizioni eccezionali, dove l'esperienza mostra che il rischio di corrosione e di danno meccanico è estremamente basso, si può usare 16 mm<sup>2</sup>.  
 (d) Per fili singoli.

**Tabella 6 - Dimensioni minime dei conduttori al fine di garantire la resistenza meccanica e alla corrosione (CEI EN 50522 – Allegato C)**

Quindi nel caso di conduttore in corda di rame, la sezione minima indicata dalla norma è pari a 25 mm<sup>2</sup> rispettata dalla scelta del conduttore di rame nudo da 120 mm<sup>2</sup> ipotizzato per la rete di terra in esame.



### 5.5.-.Dimensionamento con riferimento al comportamento termico

In funzione del valore stabilito per la corrente di guasto a terra, e della durata della stessa, può essere eseguita la verifica della sezione scelta per il conduttore utilizzato per la costruzione della maglia, in accordo a quanto 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:

$$A = \frac{I}{k} \sqrt{\frac{t}{\ln\left(\frac{\theta_f + \beta}{\theta_i + \beta}\right)}}$$

Dove:

A [mm <sup>2</sup> ]	Sezione trasversale del conduttore
I = I <sub>F</sub> * k <sub>M</sub> [A]	Corrente di guasto
k <sub>M</sub>	Fattore di divisione
I <sub>F</sub> [A]	Corrente di guasto a terra
t [s]	tempo di permanenza del guasto
k [A mm <sup>-2</sup> s <sup>1/2</sup> ]	costante che dipende dal materiale
β [°C]:	reciproco del coefficiente di temperatura della resistenza del conduttore a 0°C
θ <sub>i</sub> [°C]:	temperatura iniziale del conduttore
θ <sub>f</sub> [°C]:	temperatura finale del conduttore

Ora considerando come conduttore una corda di rame, la norma CEI EN 50522 indica che i coefficienti k e β valgono rispettivamente:

$$k = 226 \text{ A mm}^{-2} \text{ s}^{1/2}$$

$$\beta = 234,5 \text{ [°C]}$$

Inoltre, come indicato nella suddetta norma, è possibile considerare i seguenti valori di temperature per il conduttore del sistema di messa a terra:

$$\theta_i = 20 \text{ [°C]}$$

$$\theta_f = 300 \text{ [°C]}$$

È possibile applicare un coefficiente di riduzione k<sub>M</sub> alla corrente di guasto, in quanto i collegamenti tra le masse metalliche afferenti alle apparecchiature MT ed il sistema di terra vengono effettuati attraverso due conduttori da 120mm<sup>2</sup> connessi in due punti differenti dell'impianto. Con questa configurazione è possibile affermare che la corrente di guasto si dividerà nei diversi conduttori.

Come mostrato dalla figura, in via cautelativa è stato considerato un conduttore più carico – rapporto 60/40 (k<sub>M</sub>=0,6).

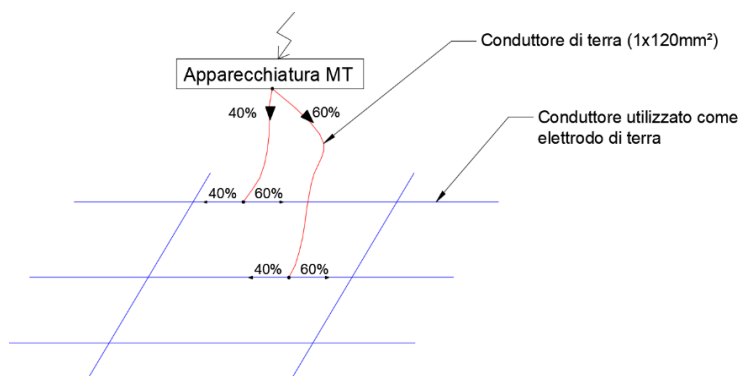


Figura 16 - Fattore di divisione  $k_M$

Si assume come tempo d'intervento delle protezioni per guasto lato c.a. il valore di 0,4 s, mentre si assume come tempo d'intervento per l'interruttore extrarapido, in caso di guasto in c.c., un valori pari a 0,1 s.

Nelle seguenti tabelle sono indicati i valori delle sezioni minime del conduttore di terra utilizzato per realizzare l'anello perimetrale e la maglia superficiale, calcolati con la formula indicata precedentemente, sia per guasti in c.a. che per guasti in c.c..

Conduttore di Terra - (Guasto in c.a.)									
$I_F$ [A]	$k_M$	$I$ [A]	$k$	$t_f$ [sec]	$\beta$	$\theta_f$	$\theta_i$	Sezione trasversale minima - A [mm <sup>2</sup> ]	Sezione trasversale utilizzata - A [mm <sup>2</sup> ]
40	0,6	24	226	0,4	234,5	300	20	0,1	120

**Tabella 7** - Calcolo della sezione minima dei conduttori di terra per massima corrente di guasto in c.a.

Conduttore di Terra - (Guasto in c.c.)									
$I_F$ [A]	$k_M$	$I$ [A]	$k$	$t_f$ [sec]	$\beta$	$\theta_f$	$\theta_i$	Sezione trasversale minima - A [mm <sup>2</sup> ]	Sezione trasversale utilizzata - A [mm <sup>2</sup> ]
1700	0,6	1020	226	0,1	234,5	300	20	1,70	120

Conduttore di terra utilizzato come elettrodo di terra (Maglia di terra) - (Guasto in c.c.)									
$I_F$ [A]	$k_M$	$I$ [A]	$k$	$t_f$ [sec]	$\beta$	$\theta_f$	$\theta_i$	Sezione trasversale minima - A [mm <sup>2</sup> ]	Sezione trasversale utilizzata - A [mm <sup>2</sup> ]
1020	0,6	612	226	0,1	234,5	300	20	1,00	120

**Tabella 8** - Calcolo della sezione minima dei conduttori di terra per massima corrente di guasto in c.c..

Come si può osservare dal calcolo svolto, la sezione della corda di rame scelta nel progetto è ampiamente sovradimensionata rispetto a quella minima prescritta dalla normativa, in relazione alle sollecitazioni termiche ed alla loro resistenza meccanica. Tale sezione 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.

## 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 del 2001 prescrive, al Capo II, 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.

Per quanto concerne le verifiche periodiche, lo stesso DPR (cfr. punto 4 Capo II) 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, le successive verifiche saranno di competenza dell'Ente Distributore e di RFI per le rispettive parti d'impianto.

Le Sottostazioni elettriche devono quindi essere verificate a scadenze non superiori i 5 anni.

Inoltre, la norma tecnica TE 13 del 1984 stabilisce di verificare l'efficienza dell'impianto di terra mediante le seguenti prove periodiche:

- Misura della resistenza della maglia di terra;
- Verifica dell'integrità dei conduttori di protezione e dei conduttori di terra;
- Misura delle tensioni di passo e delle tensioni di contatto;

La stessa Norma Tecnica stabilisce anche le modalità di esecuzione delle prove da eseguire.

## 7.-.. ALLEGATI

Di seguito vengono riportati i risultati ottenuti mediante il programma di analisi delle reti di terra “XGSLab-GSA”.

Gli allegati sono organizzati nei seguenti documenti:

- Allegato 1: Dimensionamento e verifica dell’impianto di terra per guasti in c.a.
- Allegato 2: Dimensionamento e verifica dell’impianto di terra per guasti in c.c.
- Allegato 3: Dimensionamento e verifica dell’impianto di terra del Fabbricato Consegna ENEL

## **ALLEGATO 1**

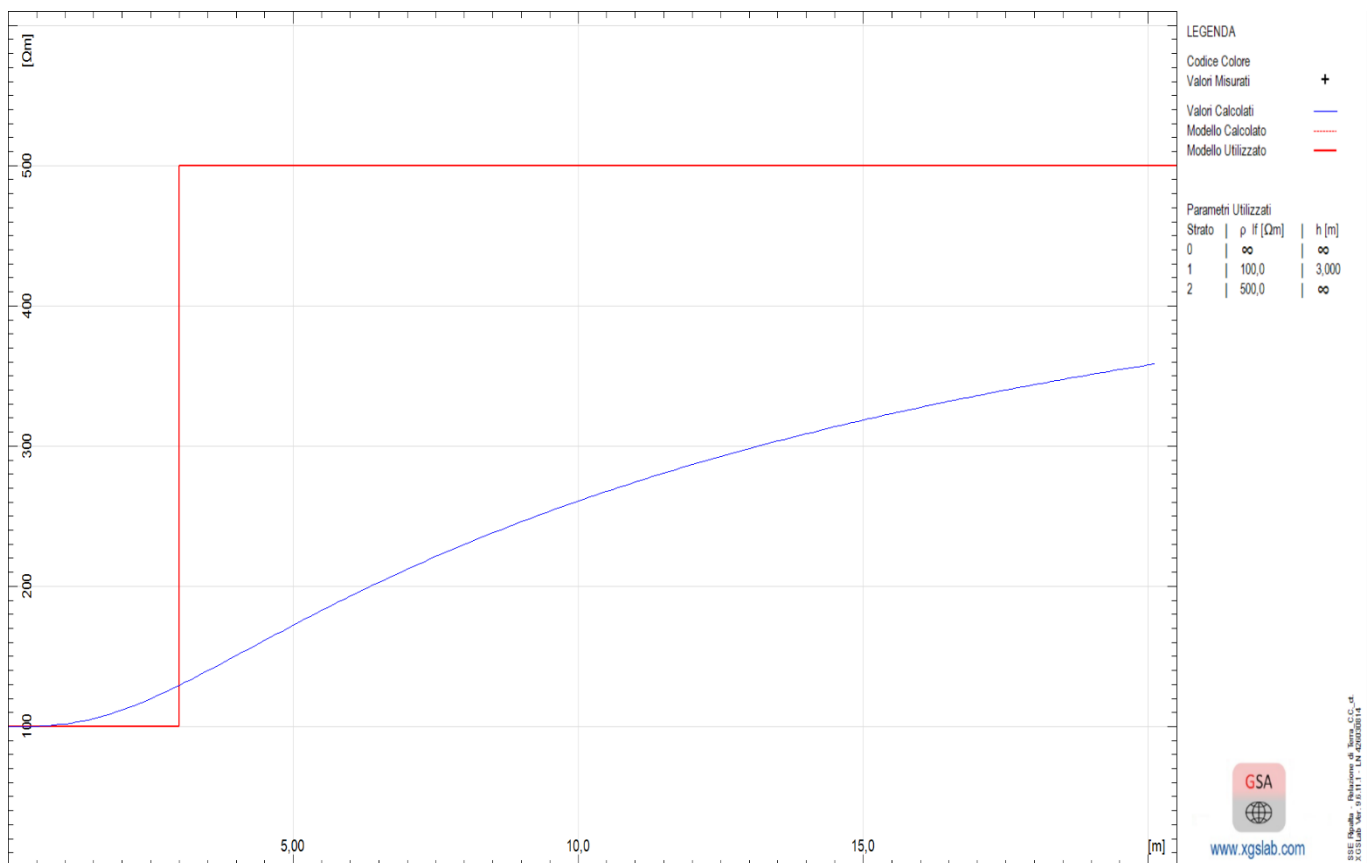
### **DIMENSIONAMENTO E VERIFICA IMPIANTO DI TERRA PER GUASTI IN C.A.**

## GENERALITA'

Nella presente sezione vengono illustrati i calcoli di verifica dell'impianto di terra della Sottostazione di Ripalta.

## MODELLO DEL SUOLO

Strato	Resistività $\rho$ [ $\Omega\text{m}$ ]	Altezza Strato L [m]
1	100	3
2	500	$\infty$



*Figura 17 - Andamento della Resistività del Suolo*

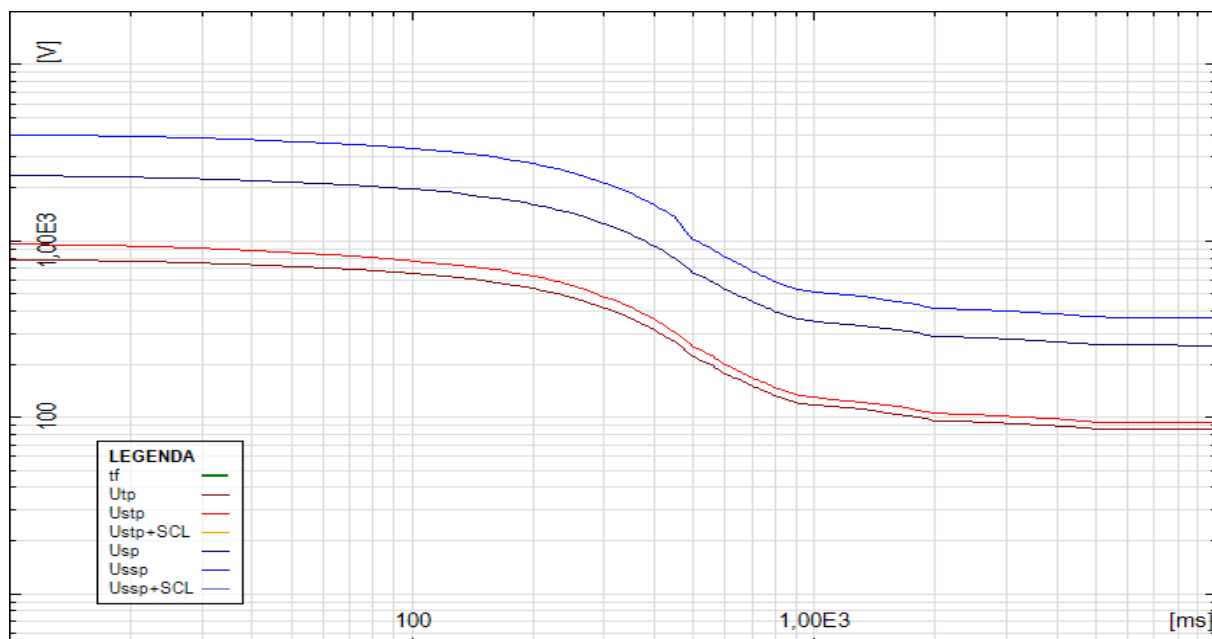
**VERIFICA IMPIANTO DI TERRA IN C.A.**

➤ Norma di riferimento: CEI EN 50522

$t_F$ [s]	$U_{tp}$ [V]	$U_{sp}$ [V]	$U_{stp}$ [V]	$U_{ssp}$ [V]
<b>10,00</b>	<b>85</b>	<b>255,00</b>	<b>92,81</b>	<b>365,95</b>

Dove:

- $t_F$ , tempo di eliminazione del guasto;
- $U_{tp}$  [V], Tensione di contatto massima ammissibile dalla Norma CEI EN 50522;
- $U_{sp}$  [V], Tensione di passo massima ammissibile dalla Norma CEI EN 50522;
- $U_{stp}$  [V], Tensione di contatto massima presunta;
- $U_{ssp}$  [V], Tensione di passo massima presunta.



**Figura 18 - ALLEGATO 1 – Limiti Tensione di passo e contatto CEI EN 50522**

➤ Tensione e impedenza di terra

$ I_E $ [A]	$\angle I_E$ [deg]	$ U_E $ [V]	$\angle U_E$ [deg]	$R_E =  U_E / I_E $ [Ω]	$\angle R_E = \angle(U_E / I_E)$ [deg]
<b>40</b>	<b>0,00</b>	<b>81,2</b>	<b>0,00</b>	<b>2,03</b>	<b>0,00</b>

➤ Potenziale di terra, tensione di contatto e di passo – Calcolo su linea

Di seguito vengono riportati i grafici relativi agli andamenti del potenziale di terra, della tensione di contatto e della tensione di passo ottenuti mediante l'utilizzo del software "XGSLab-GSA". Sono stati analizzati in particolare gli andamenti ottenuti nelle zone di maggior pericolo per le persone, che possono riassumersi nei seguenti casi di calcolo:

- "Linea di calcolo 1", in cui il calcolo è effettuato su una sezione longitudinale della Sottostazione;
- "Linea di calcolo 2", in cui il calcolo è effettuato su una sezione trasversale della Sottostazione;

Per una maggiore comprensione dei grafici si riporta brevemente la legenda delle grandezze rappresentate:

- $U_{tp}$  [V], Tensione di contatto massima ammissibile dalla Norma CEI EN 50522, tratteggiata di colore rosso;
- $\phi$  [V], Potenziale di terra, di colore verde;
- $U_E$  [V], Tensione totale di terra calcolata, pari a  $U_E = I_E \cdot R_E = 81,2$  V, di colore magenta;
- $U_t$  [V], Tensione di contatto, di colore rosso;
- $U_s$  [V], Tensione di passo, di colore blu.

In tutti i casi in esame si può verificare come i valori del potenziale di terra e di conseguenza della tensione di contatto e di passo risultino sempre inferiori al valore limite imposto dalla Norma.



▪ “Linea di calcolo 1” – Sezione longitudinale

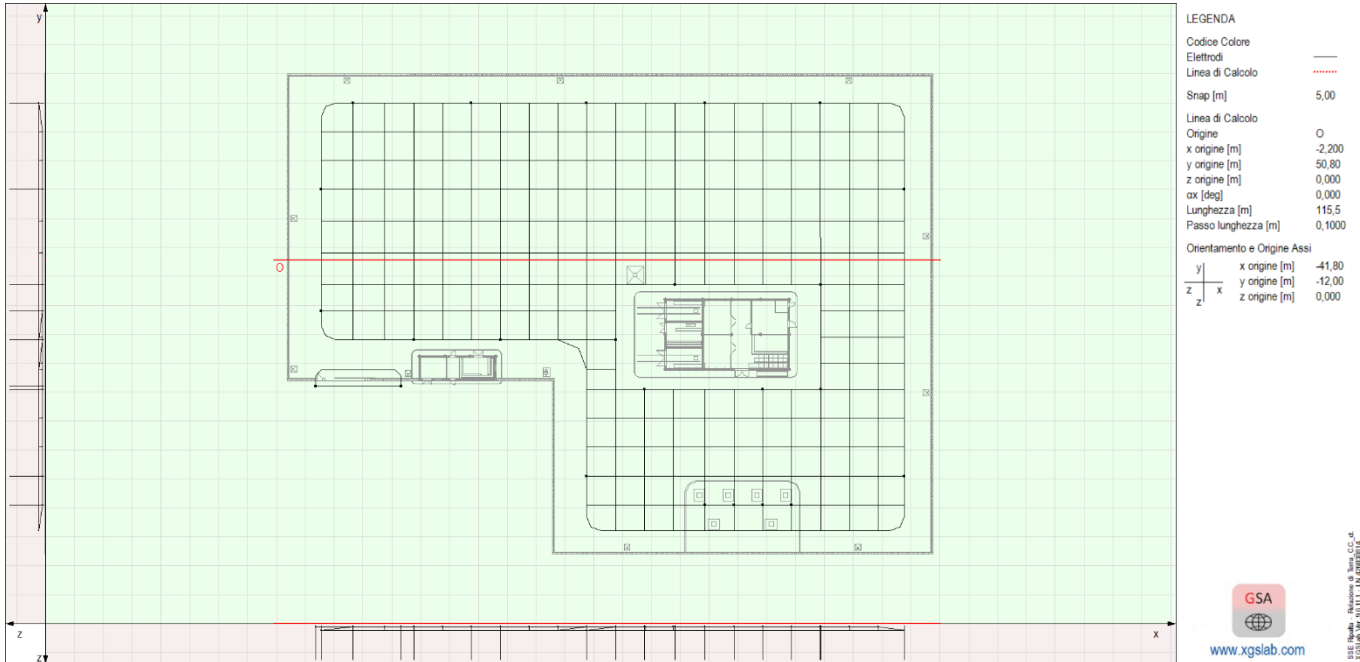


Figura 19 – ALLEGATO 1 – “Linea di calcolo 1”

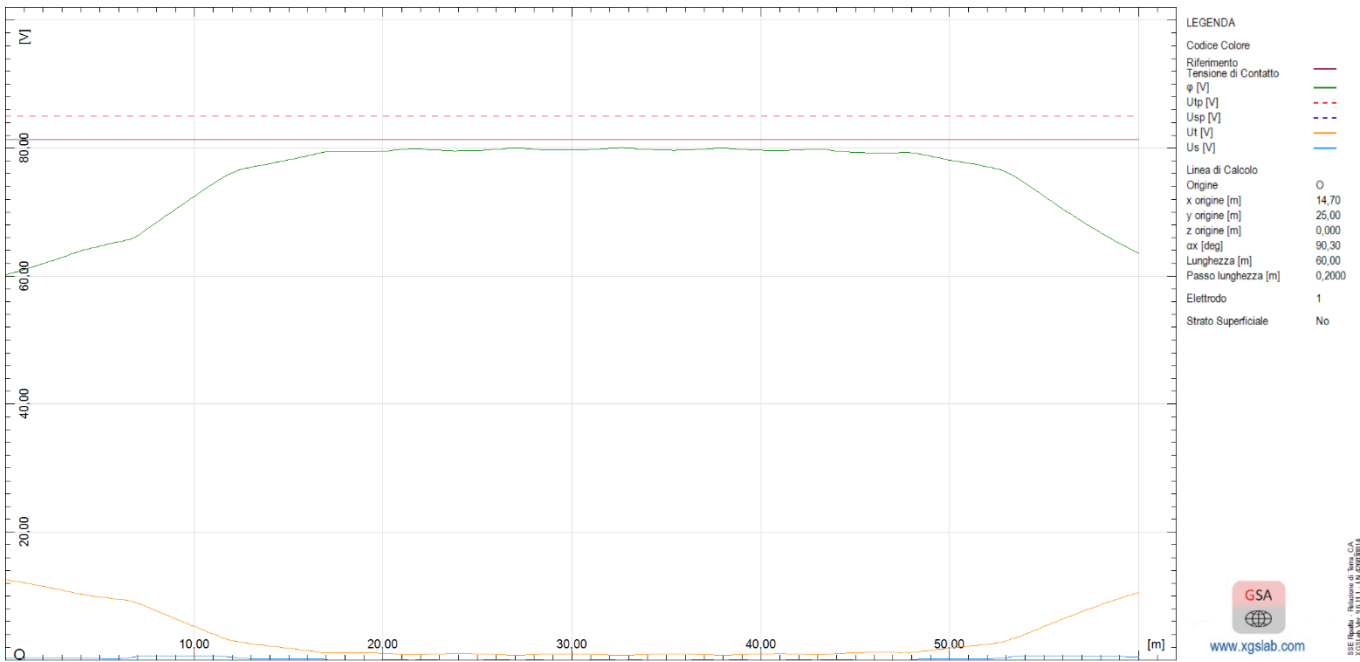
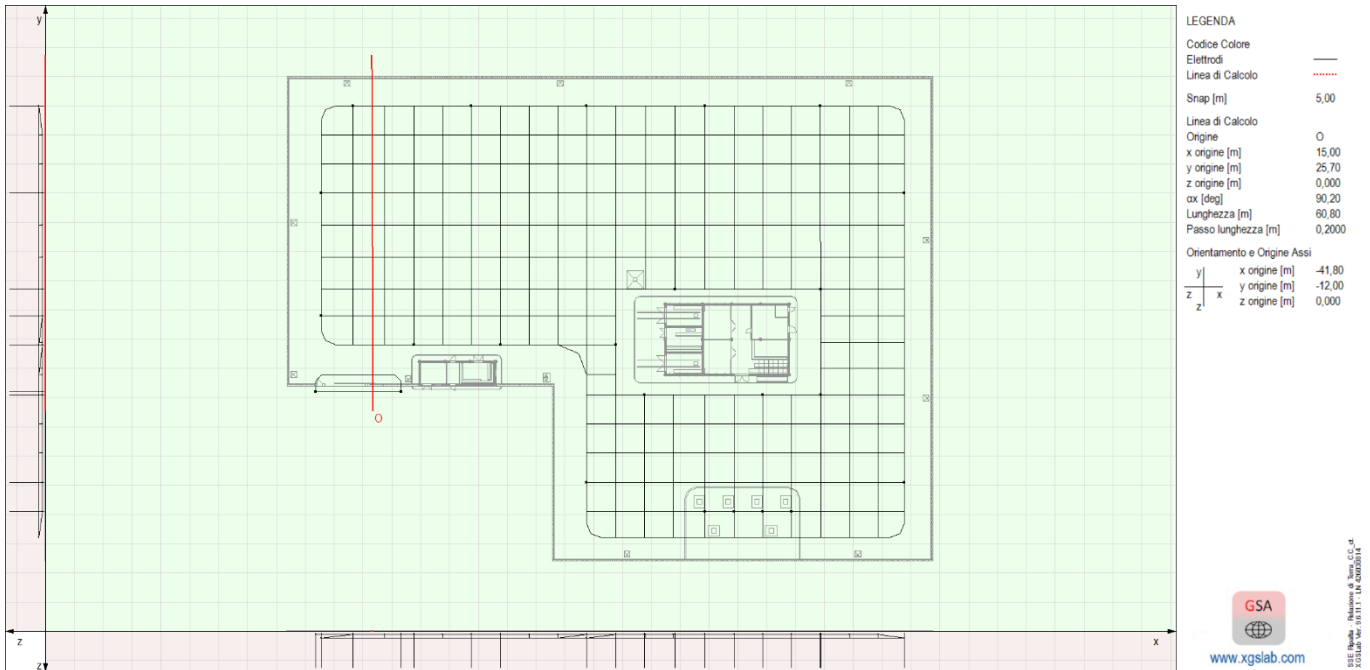
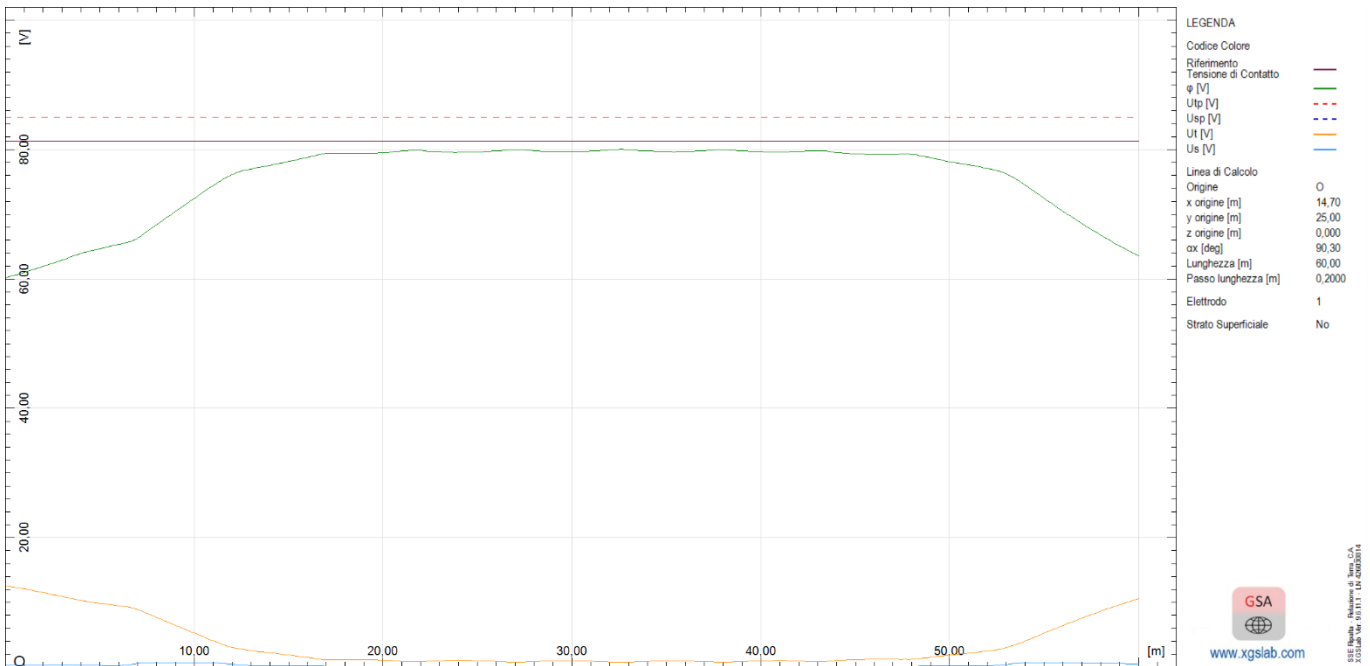


Figura 20 – ALLEGATO 1 - Distribuzione lineare del potenziale di terra UE, della tensione di contatto Ut e di passo Us “Linea di calcolo 1”

▪ “Linea di calcolo 2” – Sezione trasversale



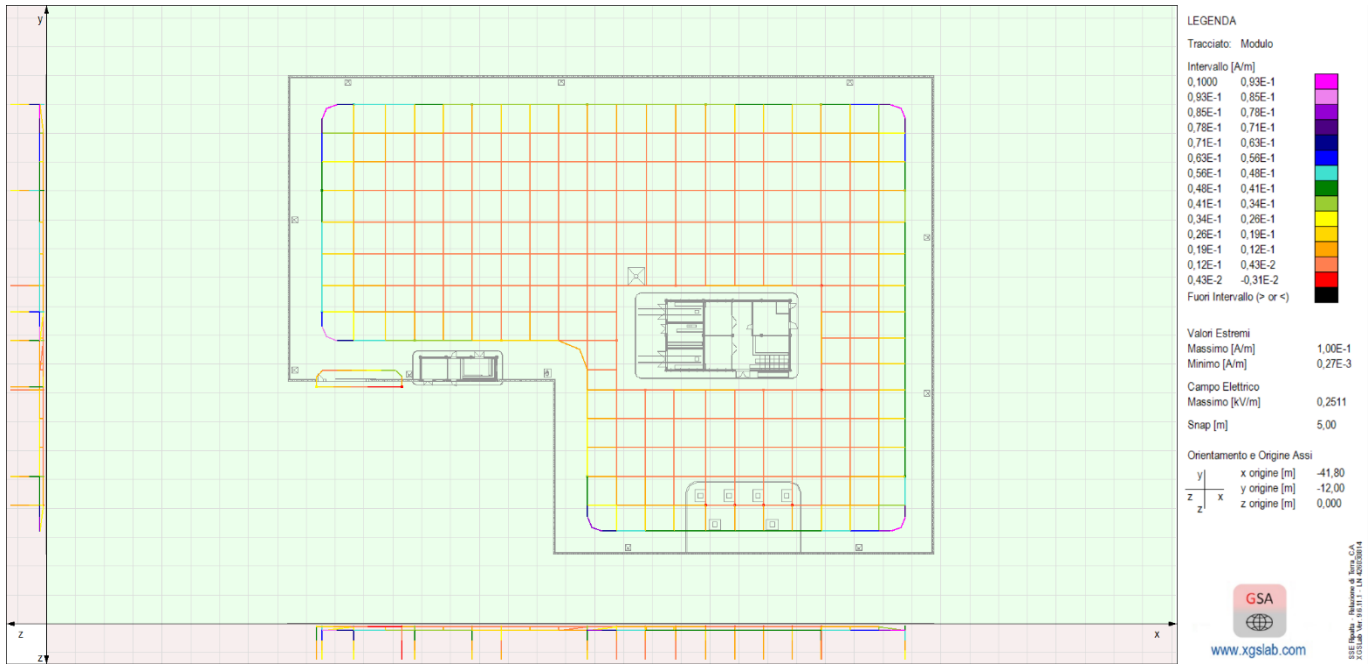
**Figura 21 – ALLEGATO 1 – “Linea di calcolo 2”**



**Figura 22 – ALLEGATO 1 – Distribuzione lineare del potenziale di terra UE, della tensione di contatto  $U_t$  e di passo  $U_s$  “Linea di calcolo 2”**

➤ Distribuzione delle correnti di guasto

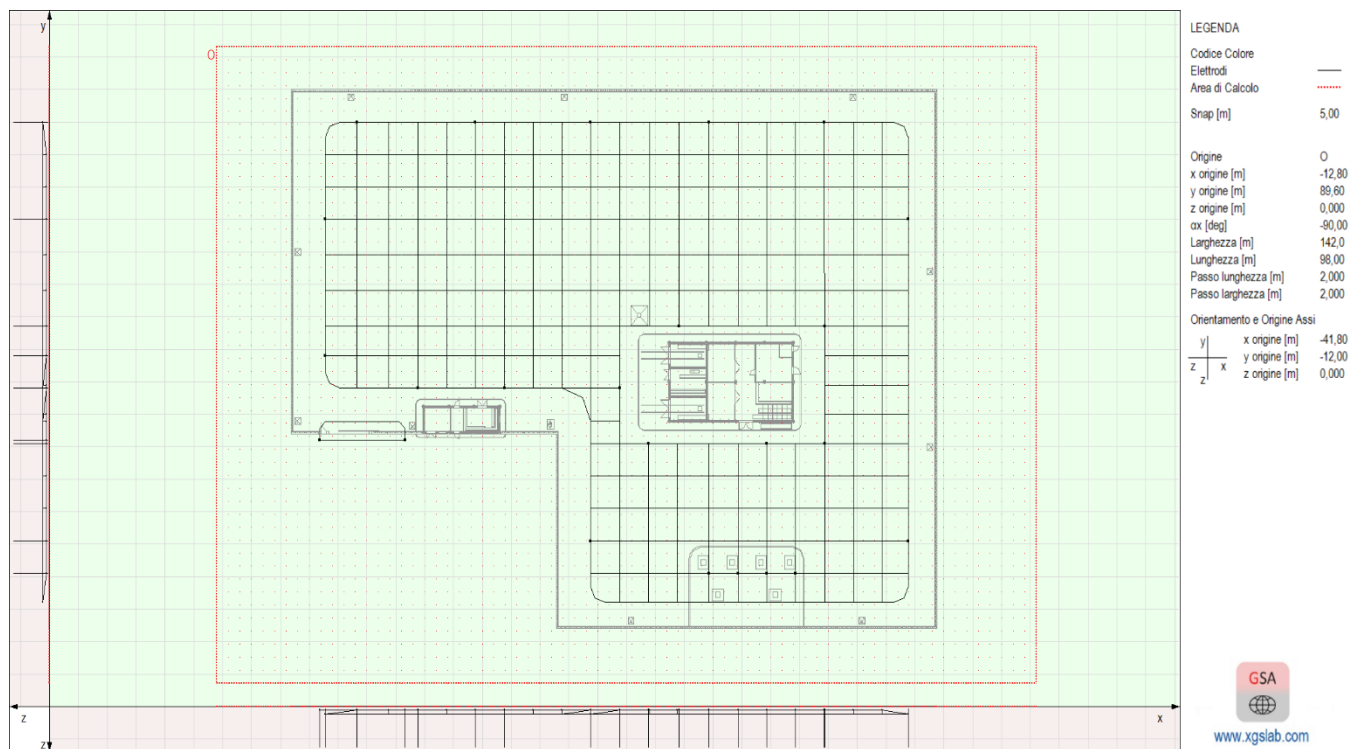
Di seguito viene riportata la distribuzioni delle correnti di guasto disperse dall'impianto di terra della Sottostazione, ricavate mediante l'utilizzo del software "XGSLab-GSA".



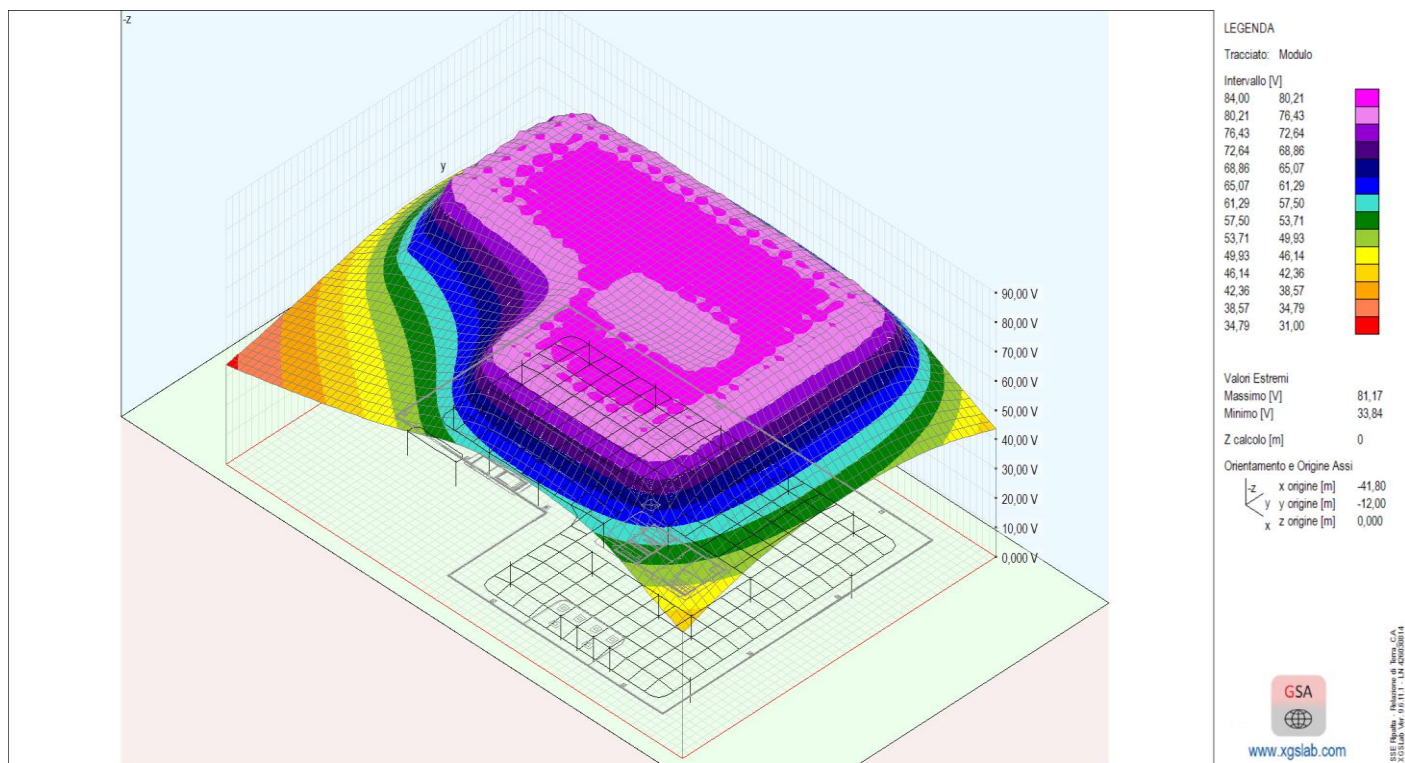
**Figura 23 – ALLEGATO 1 – Distribuzione delle correnti di guasto**

➤ Potenziale di terra, tensione di contatto e di passo – Calcolo su area

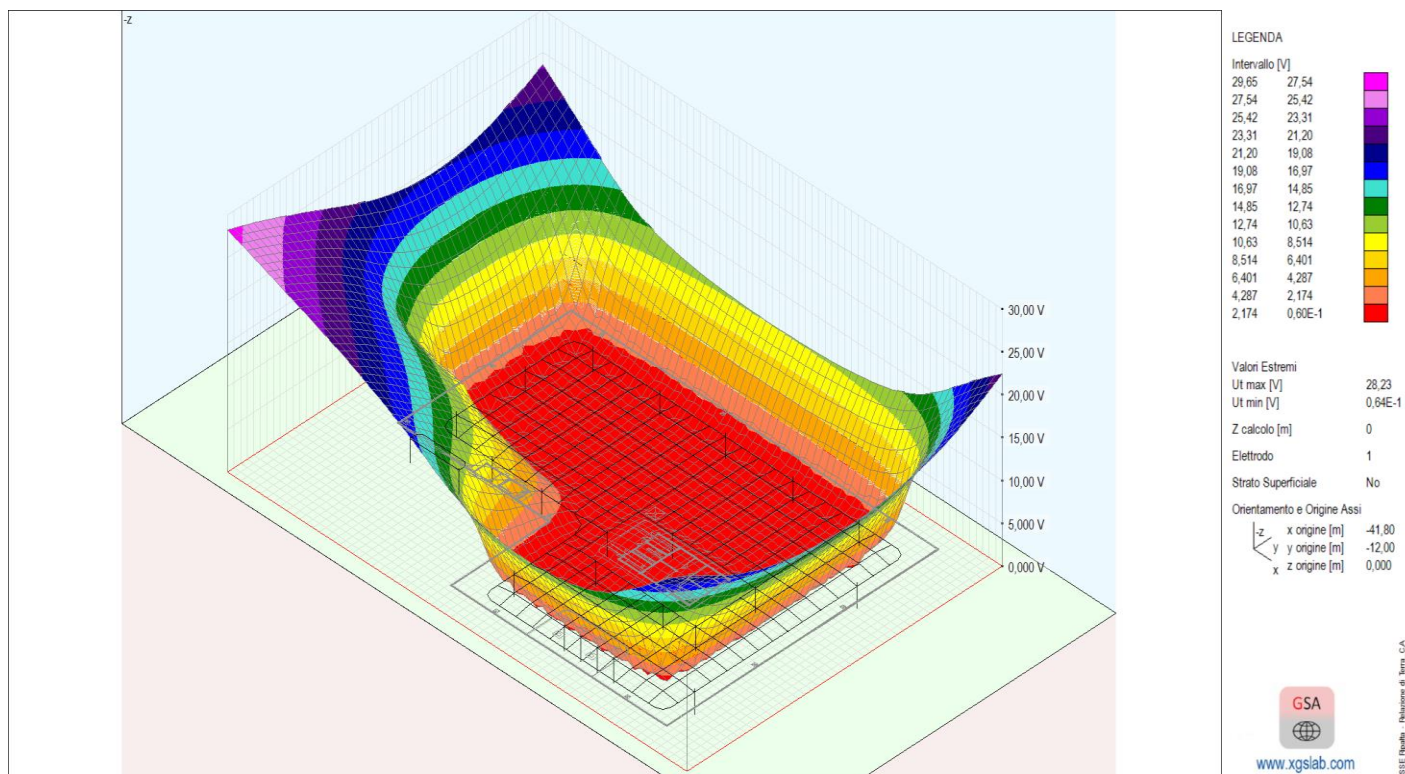
Di seguito vengono riportate le distribuzioni in 3D relative al potenziale di terra, alla tensione di contatto e di passo ricavate mediante l'utilizzo del software "XGSLab-GSA".



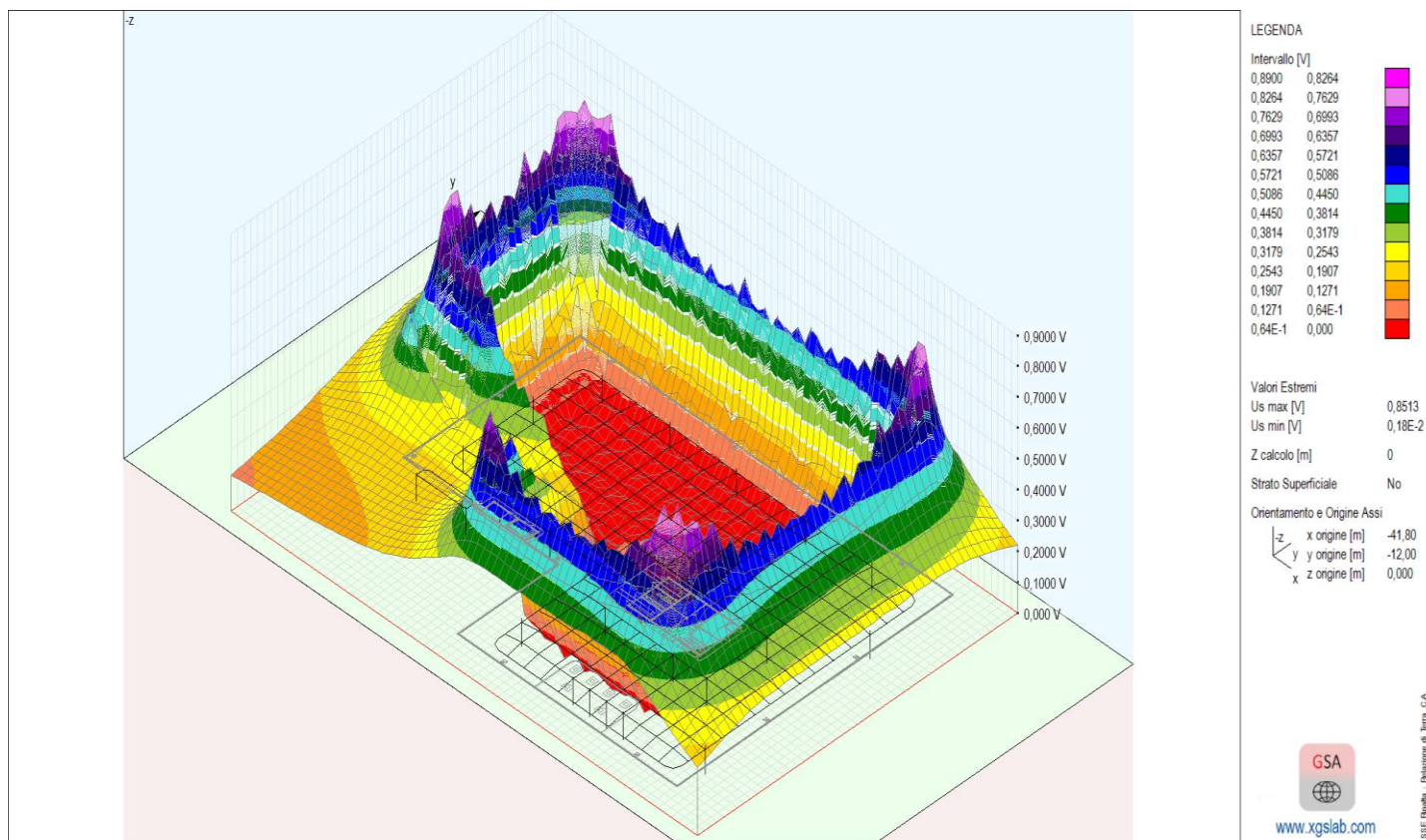
**Figura 24 – ALLEGATO 1 – Area di calcolo**



**Figura 25 – ALLEGATO 1 – Distribuzione 3D del Potenziale di terra UE**



**Figura 26 – ALLEGATO 1 – Distribuzione 3D della Tensione di contatto Ut**



**Figura 27 – ALLEGATO 1 – Distribuzione 3D della Tensione di passo Us**

**ALLEGATO 2**

**DIMENSIONAMENTO E VERIFICA IMPIANTO DI TERRA PER  
GUASTI IN C.C.**

**VERIFICA IMPIANTO DI TERRA IN C.C.**

➤ Norma di riferimento: CEI EN 50122

- Guasto c.c. con cortocircuitatore non intervenuto:

$t_F$ [s]	$U_{tp}$ [V]
<b>0,02</b>	<b>870</b>

- Guasto c.c. dopo intervento del cortocircuitatore:

$t_F$ [s]	$U_{tp}$ [V]
<b>0,1</b>	<b>625</b>

Dove:

- $t_F$ , tempo di eliminazione del guasto;
- $U_{tp}$  [V], Tensione di contatto massima ammissibile dalla Norma CEI EN 50122;

➤ Tensione e impedenza di terra

	$ I_E $ [A]	$\angle I_E$ [deg]	$ U_E $ [V]	$\angle U_E$ [deg]	$R_E =  U_E / I_E $ [Ω]	$\angle R_E = \angle(U_E / I_E)$ [deg]
<b>A) cortocircuitatore NON intervenuto</b>	<b>1700</b>	<b>0,00</b>	<b>3495</b>	<b>0,00</b>	<b>2,03</b>	<b>0,00</b>
<b>B) cortocircuitatore intervenuto</b>	<b>294</b>	<b>0,00</b>	<b>597</b>	<b>0,00</b>	<b>2,03</b>	<b>0,00</b>



➤ Potenziale di terra, tensione di contatto e di passo – Calcolo su linea

Di seguito vengono riportati i grafici relativi agli andamenti del potenziale di terra, della tensione di contatto e della tensione di passo ottenuti mediante l'utilizzo del software "XGSLab-GSA". Sono stati analizzati in particolare gli andamenti ottenuti nelle zone di maggior pericolo per le persone, che possono riassumersi nei seguenti casi di calcolo:

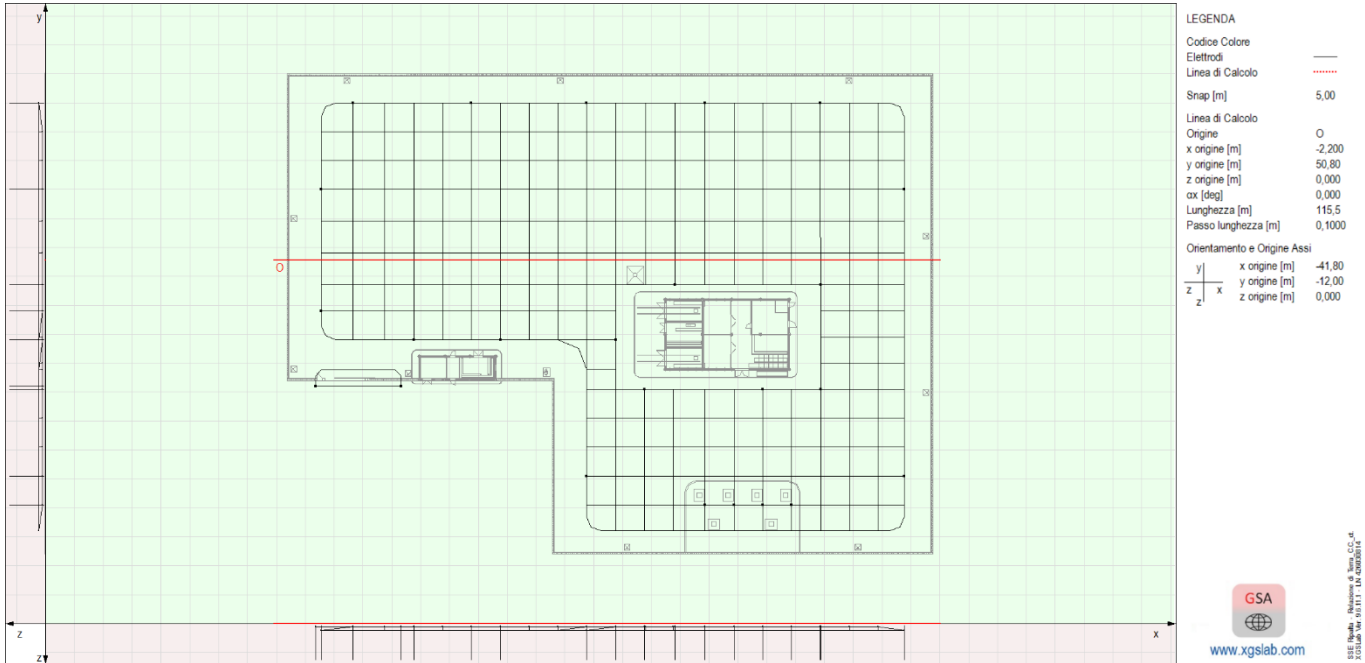
- "Linea di calcolo 1", in cui il calcolo è effettuato su una sezione longitudinale della Sottostazione;
- "Linea di calcolo 2", in cui il calcolo è effettuato su una sezione trasversale della Sottostazione;

Per una maggiore comprensione dei grafici si riporta brevemente la legenda delle grandezze rappresentate:

- $U_{tp}$  [V], Tensione di contatto massima ammissibile dalla Norma CEI EN 50522, tratteggiata di colore rosso;
- $\varphi$  [V], Potenziale di terra, di colore verde;
- $U_E$  [V], Tensione totale di terra calcolata, pari a  $U_E = I_E \cdot R_E = 3495$  V per cortocircuitatore non intervenuto e  $U_E = 597$  V dopo intervento del cortocircuitatore, di colore magenta;
- $U_t$  [V], Tensione di contatto, di colore rosso;
- $U_s$  [V], Tensione di passo, di colore blu.

In tutti i casi in esame si può verificare come i valori del potenziale di terra e di conseguenza della tensione di contatto e di passo risultino sempre inferiori al valore limite imposto dalla Norma.

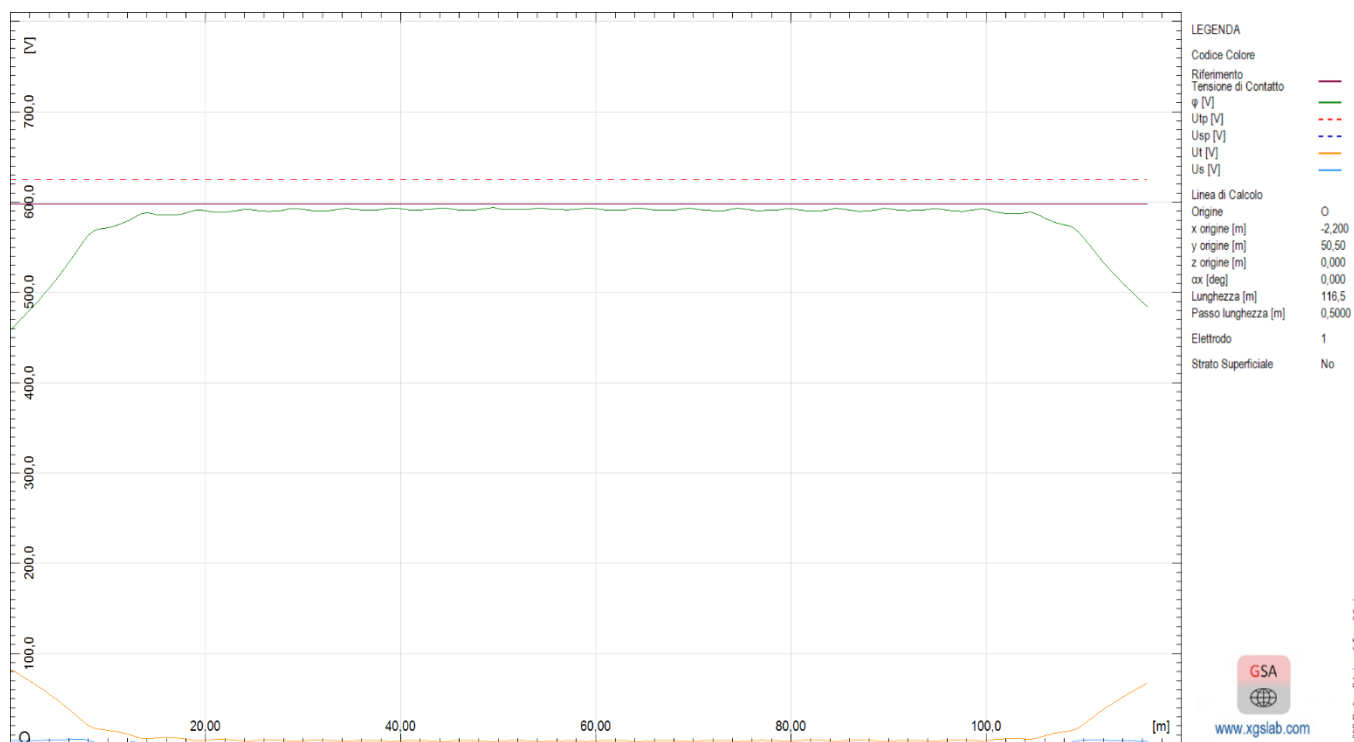
• “Linea di calcolo 1” – Sezione longitudinale



**Figura 28 – ALLEGATO 2 – “Linea di calcolo 1”**

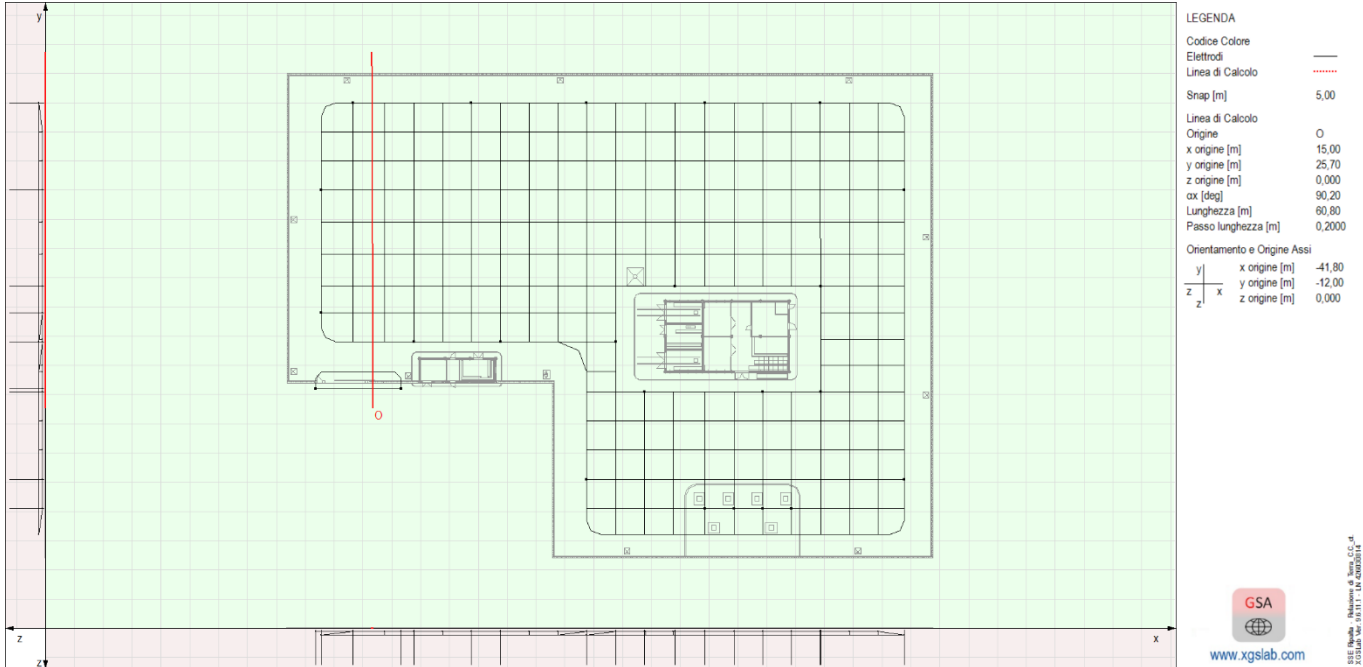


**Figura 29 – ALLEGATO 2 – C.to circuitatore NON intervenuto - Distribuzione lineare del potenziale di terra UE, della tensione di contatto  $U_t$  e di passo  $U_s$  “Linea di calcolo 1”**

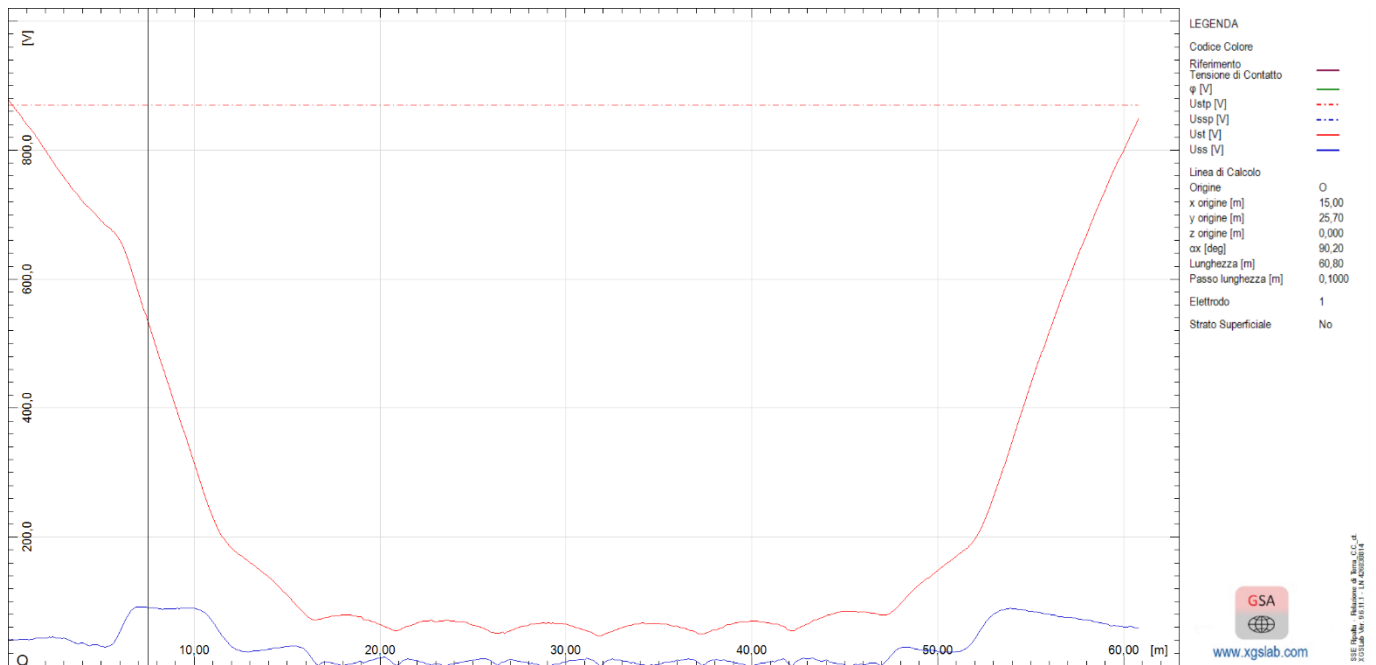


**Figura 30 – ALLEGATO 2 — C.to circuitatore intervenuto - Distribuzione lineare del potenziale di terra UE, della tensione di contatto  $U_t$  e di passo  $U_s$  “Linea di calcolo 1”**

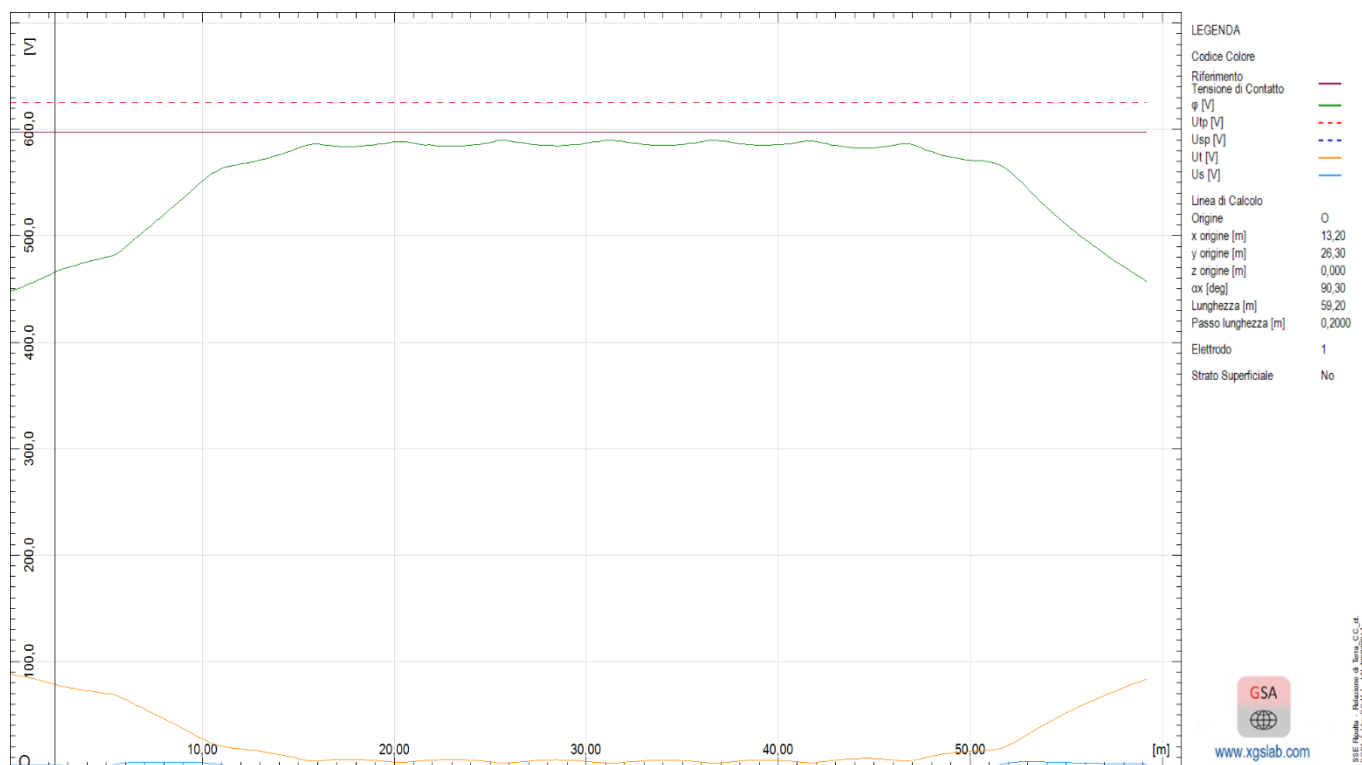
• “Linea di calcolo 2” – Sezione trasversale



**Figura 31 – ALLEGATO 2 – “Linea di calcolo 2”**



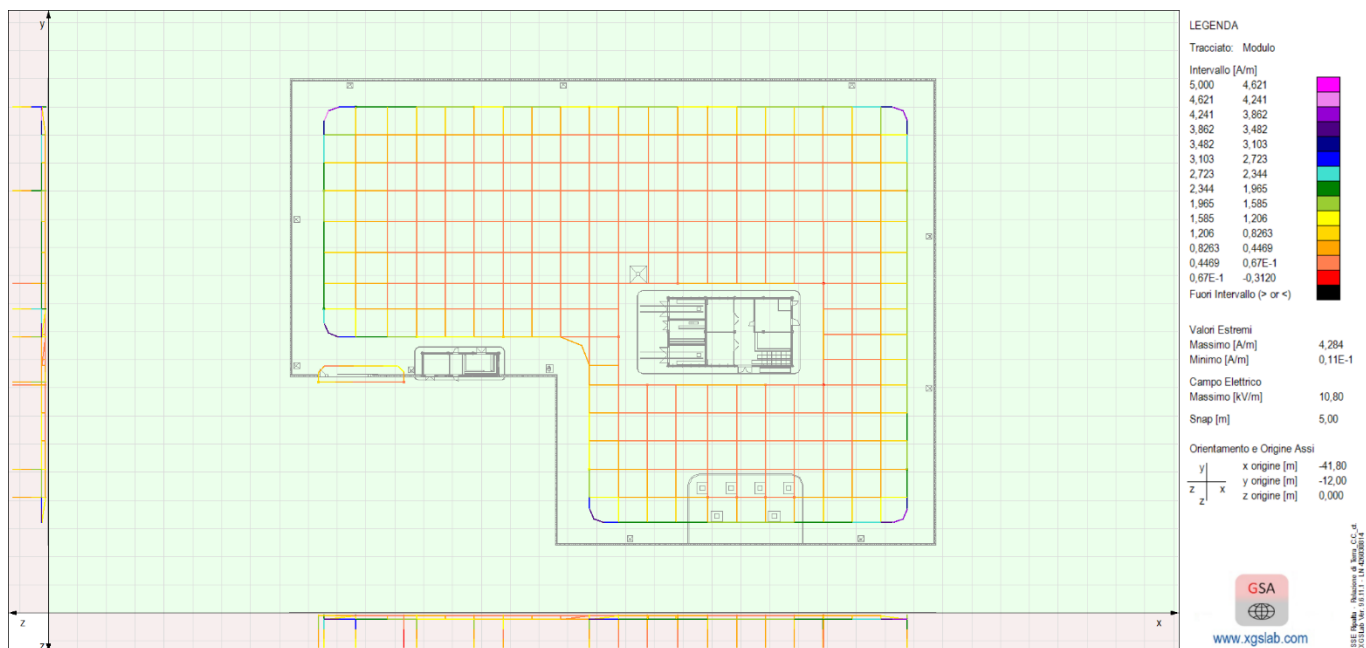
**Figura 32 – ALLEGATO 2 – C.to circuitatore NON intervenuto - Distribuzione lineare del potenziale di terra UE, della tensione di contatto Ut e di passo Us “Linea di calcolo 2”**



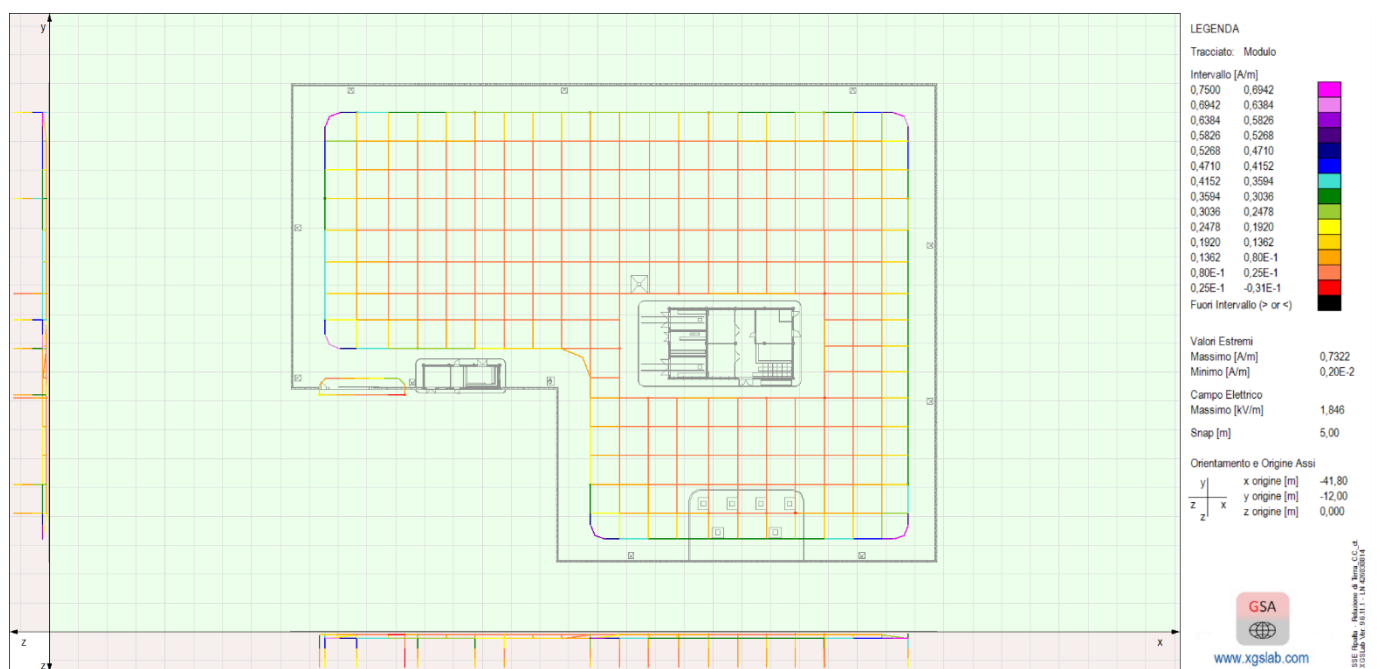
**Figura 33 – ALLEGATO 2 – C.to circuitatore intervenuto - Distribuzione lineare del potenziale di terra UE, della tensione di contatto  $U_t$  e di passo  $U_s$  “Linea di calcolo 2”**

➤ Distribuzione delle correnti di guasto

Di seguito viene riportata la distribuzioni delle correnti di guasto disperse dall'impianto di terra della Sottostazione, ricavate mediante l'utilizzo del software "XGSLab-GSA".



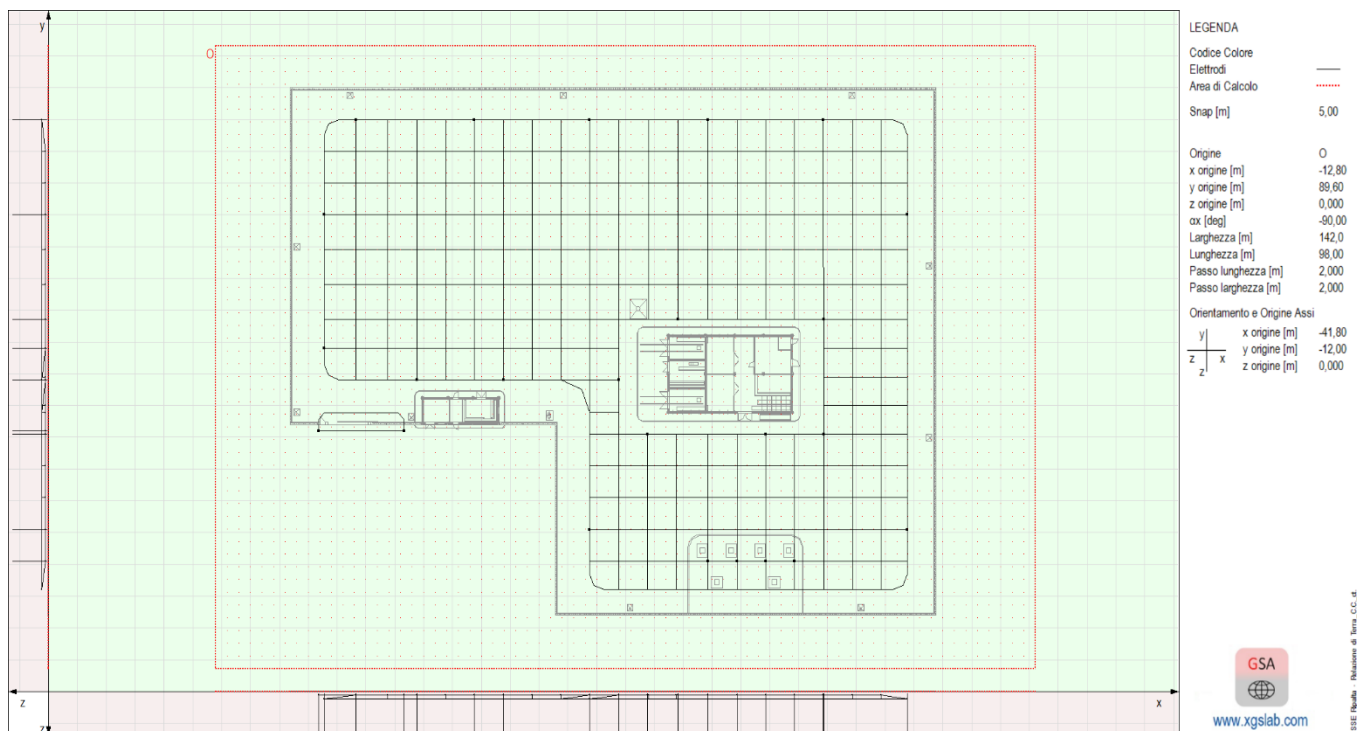
**Figura 34 – ALLEGATO 2 – C.to circuitatore NON intervenuto - Distribuzione delle correnti di guasto**



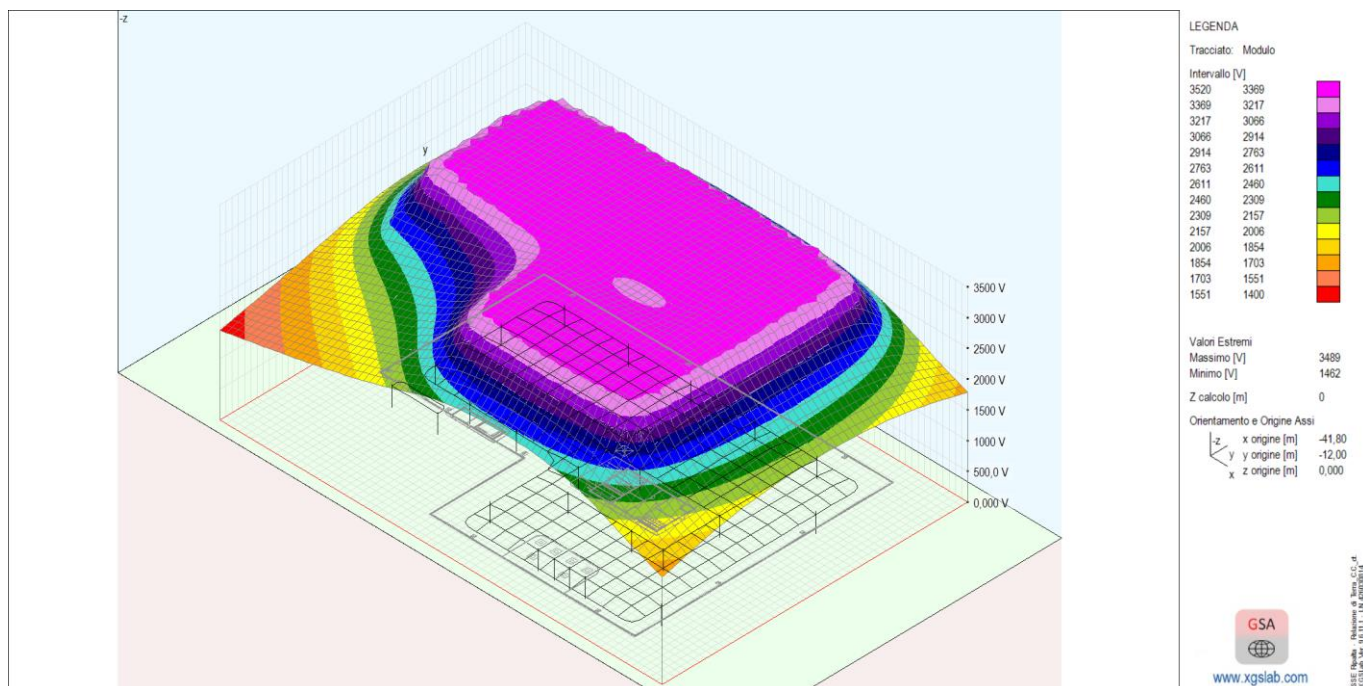
**Figura 35 – ALLEGATO 2 - C.to circuitatore intervenuto - Distribuzione delle correnti di guasto**

➤ Potenziale di terra, tensione di contatto e di passo – Calcolo su area

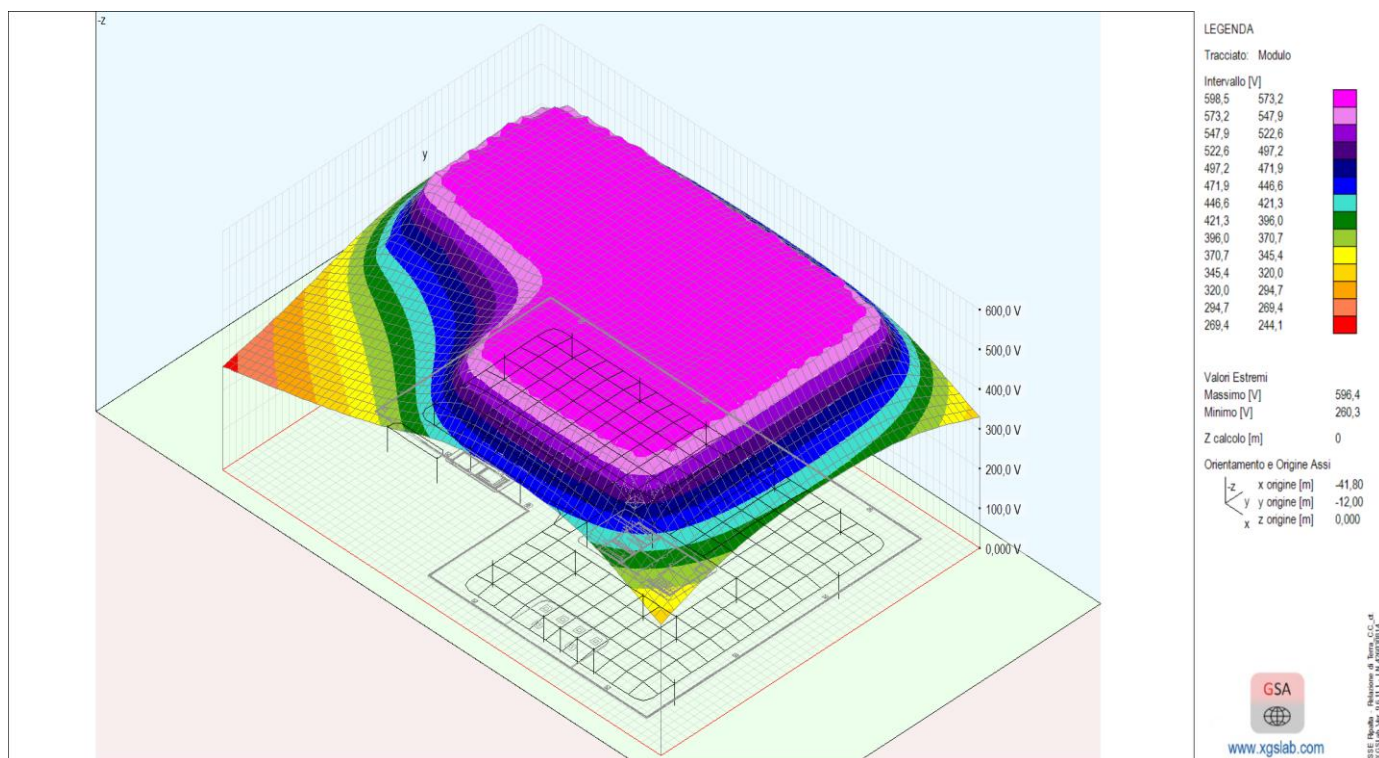
Di seguito vengono riportate le distribuzioni in 3D relative al potenziale di terra, alla tensione di contatto e di passo ricavate mediante l'utilizzo del software "XGSLab-GSA".



**Figura 36 – ALLEGATO 2 - Area di calcolo**

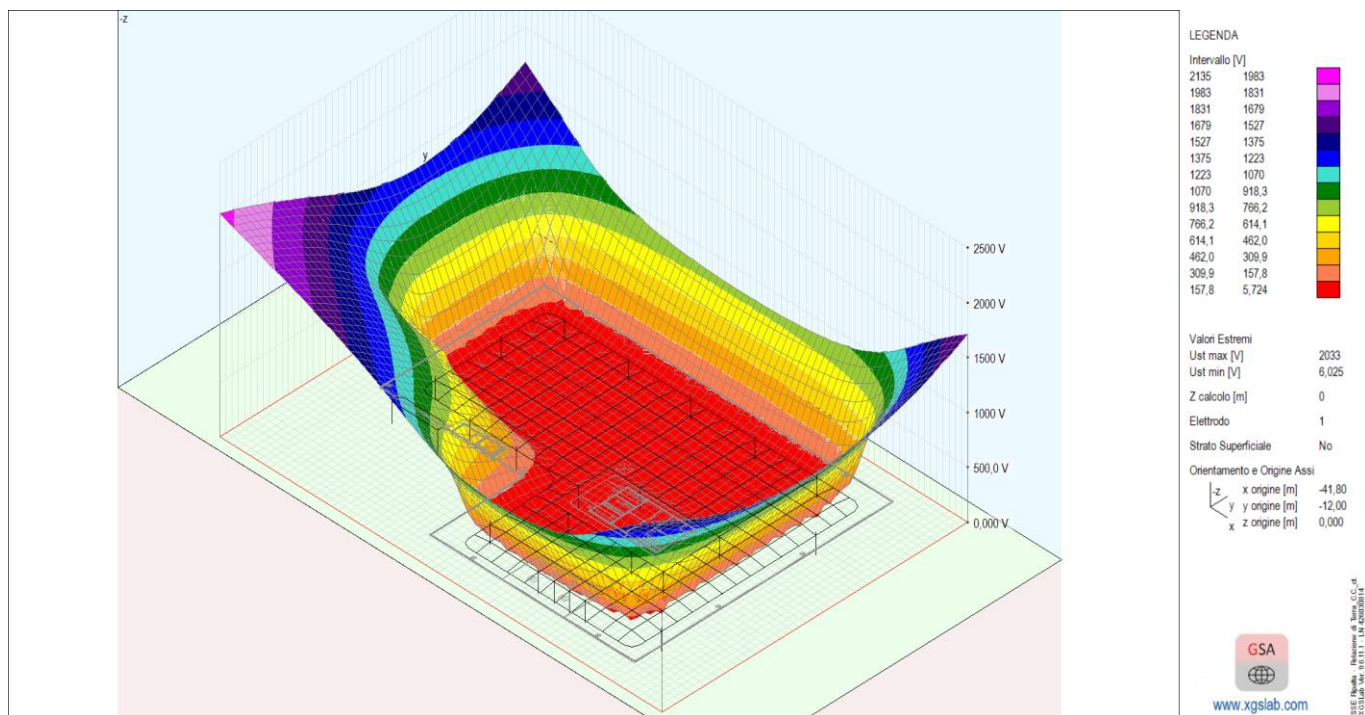


**Figura 37 – ALLEGATO 2 – C.to circuitatore NON intervenuto - Distribuzione 3D del Potenziale di terra UE**

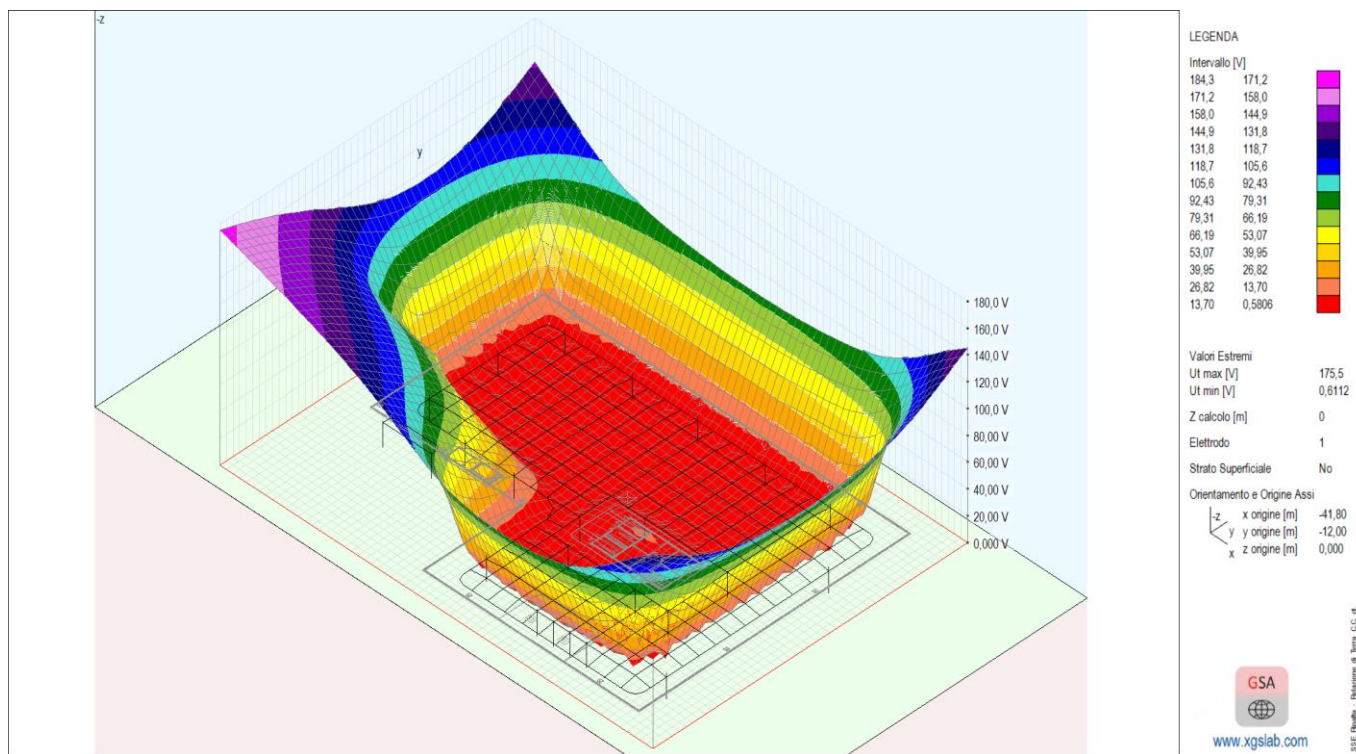


**Figura 38 – ALLEGATO 2 – C.to circuitatore intervenuto - Distribuzione 3D del Potenziale di terra UE**





**Figura 39** – ALLEGATO 2 – C.to circuitatore NON intervenuto - Distribuzione 3D della Tensione di contatto  $U_t$



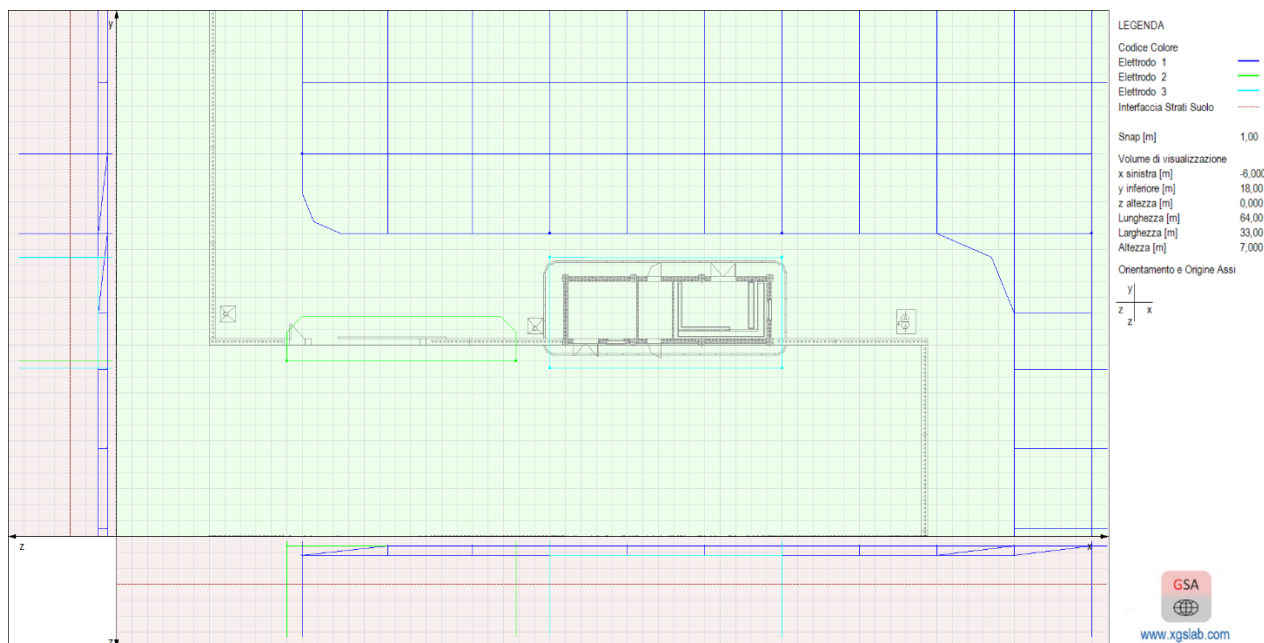
**Figura 40** – ALLEGATO 2 – C.to circuitatore intervenuto - Distribuzione 3D della Tensione di contatto  $U_t$

## **ALLEGATO 3**

### **DIMENSIONAMENTO E VERIFICA IMPIANTO DI TERRA DEL FABBRICATO CONSEGNA ENEL**

**VERIFICA IMPIANTO DI TERRA IN C.A. - FABBRICATO CONSEGNA ENEL**

➤ Layout Rete di Terra Fabbricato Consegna ENEL



**Figura 41 – ALLEGATO 3 – “Rete di terra Fabbricato Consegna ENEL”**

➤ Norma di riferimento: CEI EN 50522

$t_F$ [s]	$U_{tp}$ [V]	$U_{sp}$ [V]	$U_{stp}$ [V]	$U_{ssp}$ [V]
<b>10,00</b>	<b>85</b>	<b>255,00</b>	<b>92,81</b>	<b>365,95</b>

Dove:

- $t_F$ , tempo di eliminazione del guasto;
- $U_{tp}$  [V], Tensione di contatto massima ammissibile dalla Norma CEI EN 50522;
- $U_{sp}$  [V], Tensione di passo massima ammissibile dalla Norma CEI EN 50522;
- $U_{stp}$  [V], Tensione di contatto massima presunta;
- $U_{ssp}$  [V], Tensione di passo massima presunta.

➤ Tensione e impedenza di terra

$ I_E $ [A]	$\angle I_E$ [deg]	$ U_E $ [V]	$\angle U_E$ [deg]	$R_E =  U_E / I_E $ [Ω]	$\angle R_E = \angle(U_E / I_E)$ [deg]
<b>40</b>	<b>0,00</b>	<b>222,5</b>	<b>0,00</b>	<b>5,61</b>	<b>0,00</b>

➤ Potenziale di terra, tensione di contatto e di passo – Calcolo su linea

Di seguito vengono riportati i grafici relativi agli andamenti del potenziale di terra, della tensione di contatto e della tensione di passo ottenuti mediante l'utilizzo del software "XGSLab-GSA". Sono stati analizzati in particolare gli andamenti ottenuti nelle zone di maggior pericolo per le persone, che possono riassumersi nei seguenti casi di calcolo:

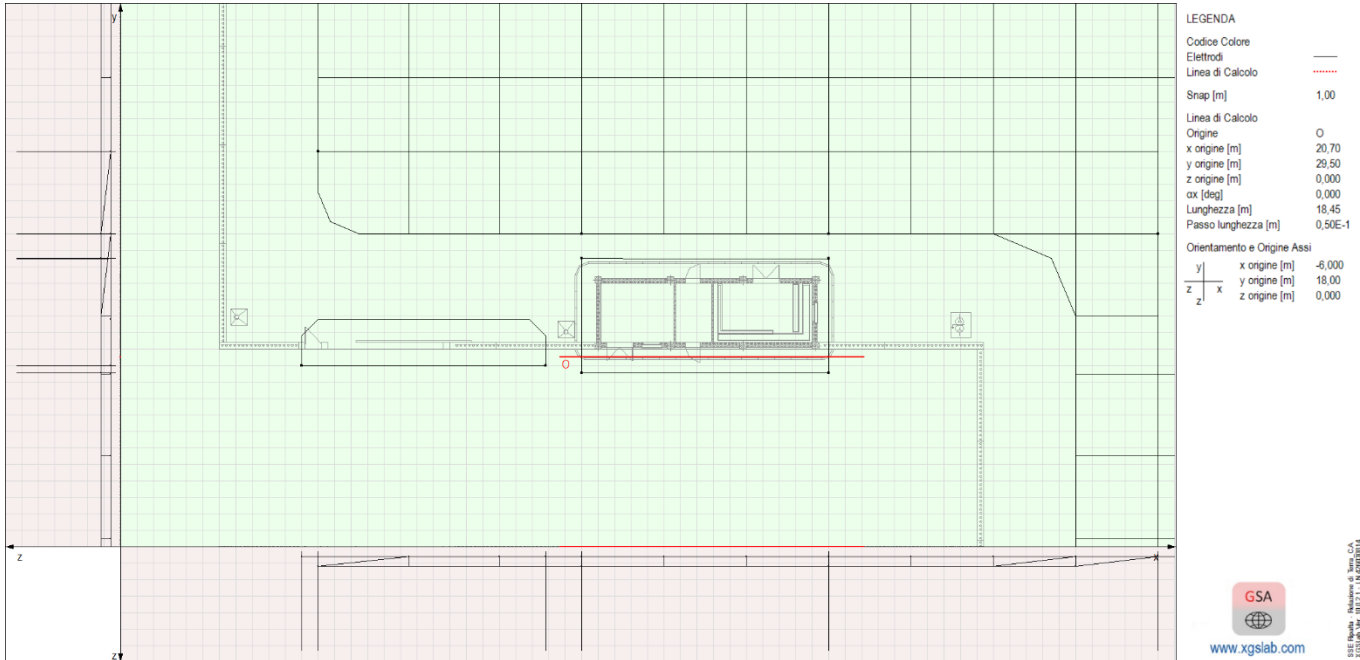
- "Linea di calcolo 1", in cui il calcolo è effettuato su una sezione longitudinale della Sottostazione;
- "Linea di calcolo 2", in cui il calcolo è effettuato su una sezione trasversale della Sottostazione;

Per una maggiore comprensione dei grafici si riporta brevemente la legenda delle grandezze rappresentate:

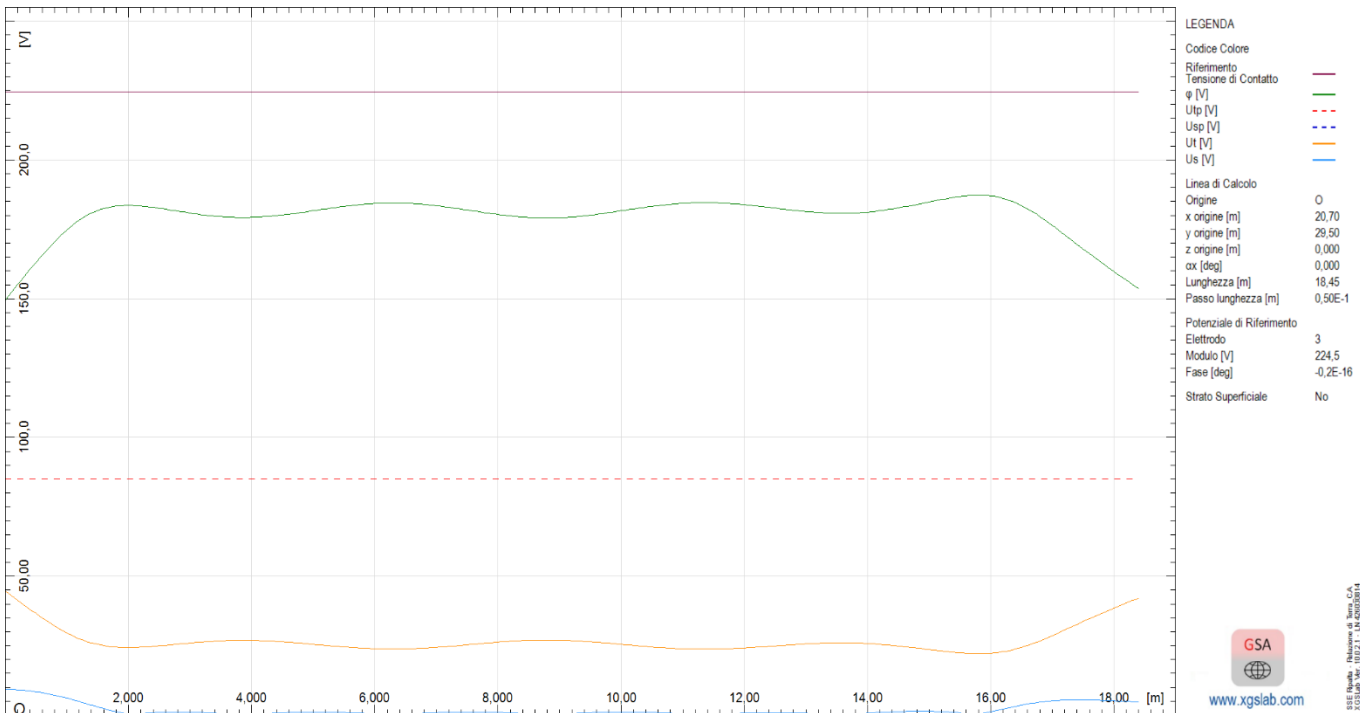
- $U_{tp}$  [V], Tensione di contatto massima ammissibile dalla Norma CEI EN 50522, tratteggiata di colore rosso;
- $\phi$  [V], Potenziale di terra, di colore verde;
- $U_E$  [V], Tensione totale di terra calcolata, di colore magenta;
- $U_t$  [V], Tensione di contatto, di colore rosso;
- $U_s$  [V], Tensione di passo, di colore blu.

In tutti i casi in esame si può verificare come i valori del potenziale di terra e di conseguenza della tensione di contatto e di passo risultino sempre inferiori al valore limite imposto dalla Norma.

▪ “Linea di calcolo 1” – Sezione longitudinale

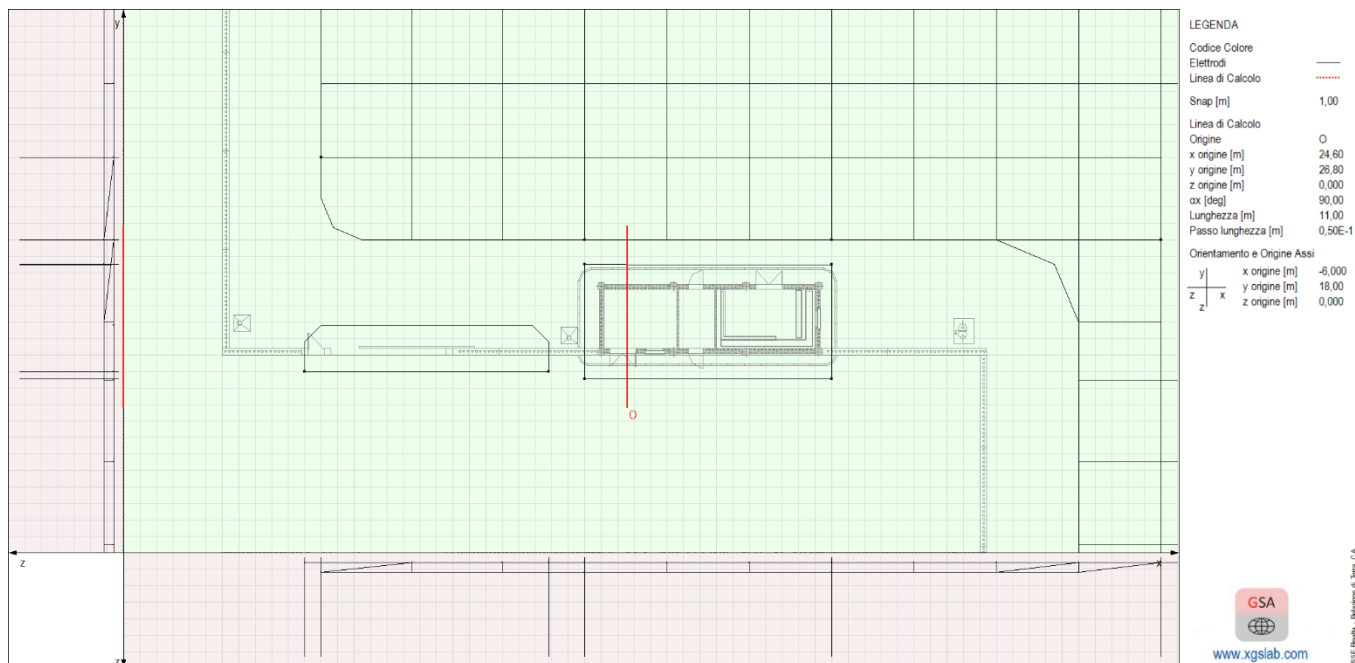


**Figura 42 – ALLEGATO 3 – “Linea di calcolo 1”**

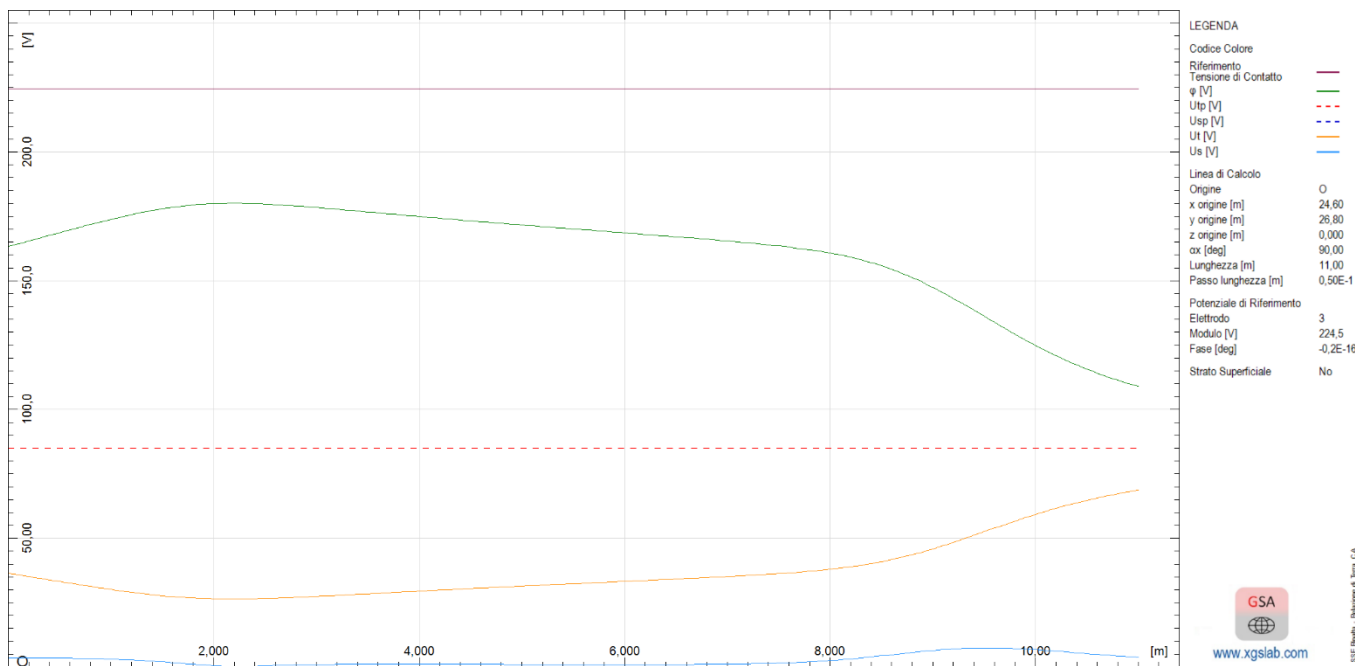


**Figura 43 – ALLEGATO 3 - Distribuzione lineare del potenziale di terra UE, della tensione di contatto Ut e di passo Us “Linea di calcolo 1”**

▪ “Linea di calcolo 2” – Sezione trasversale



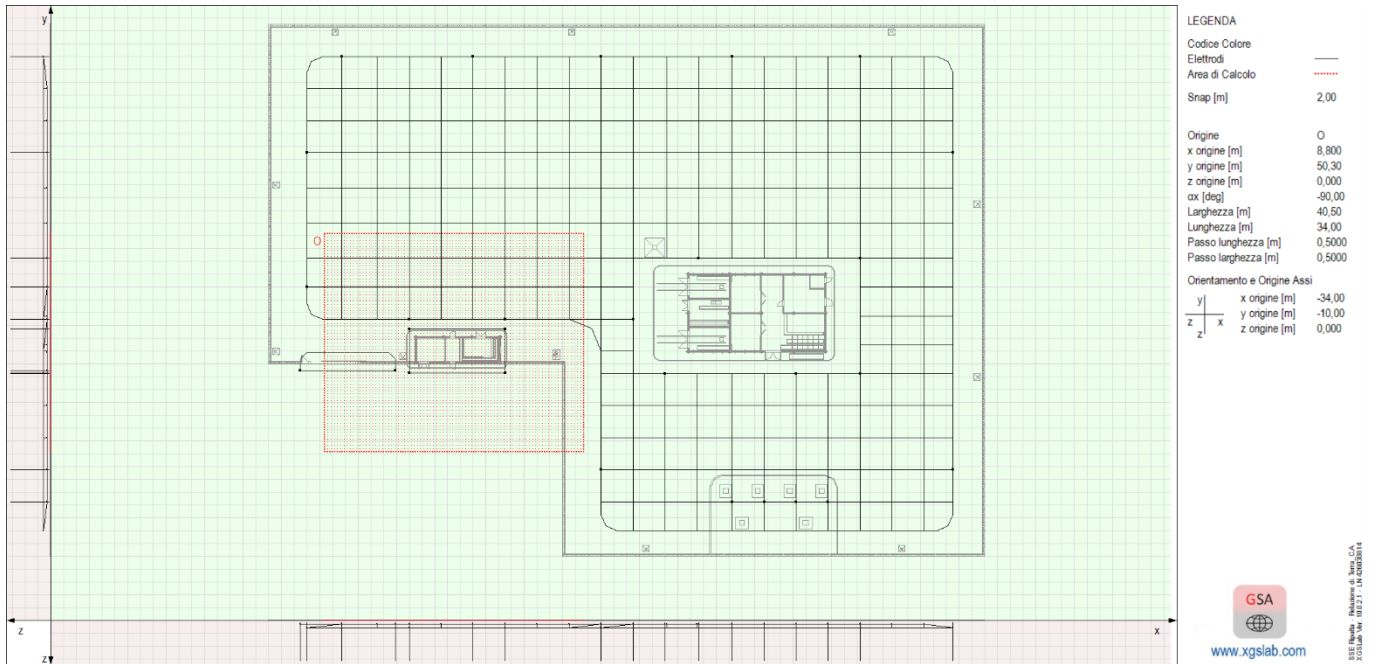
**Figura 44 – ALLEGATO 3 – “Linea di calcolo 2”**



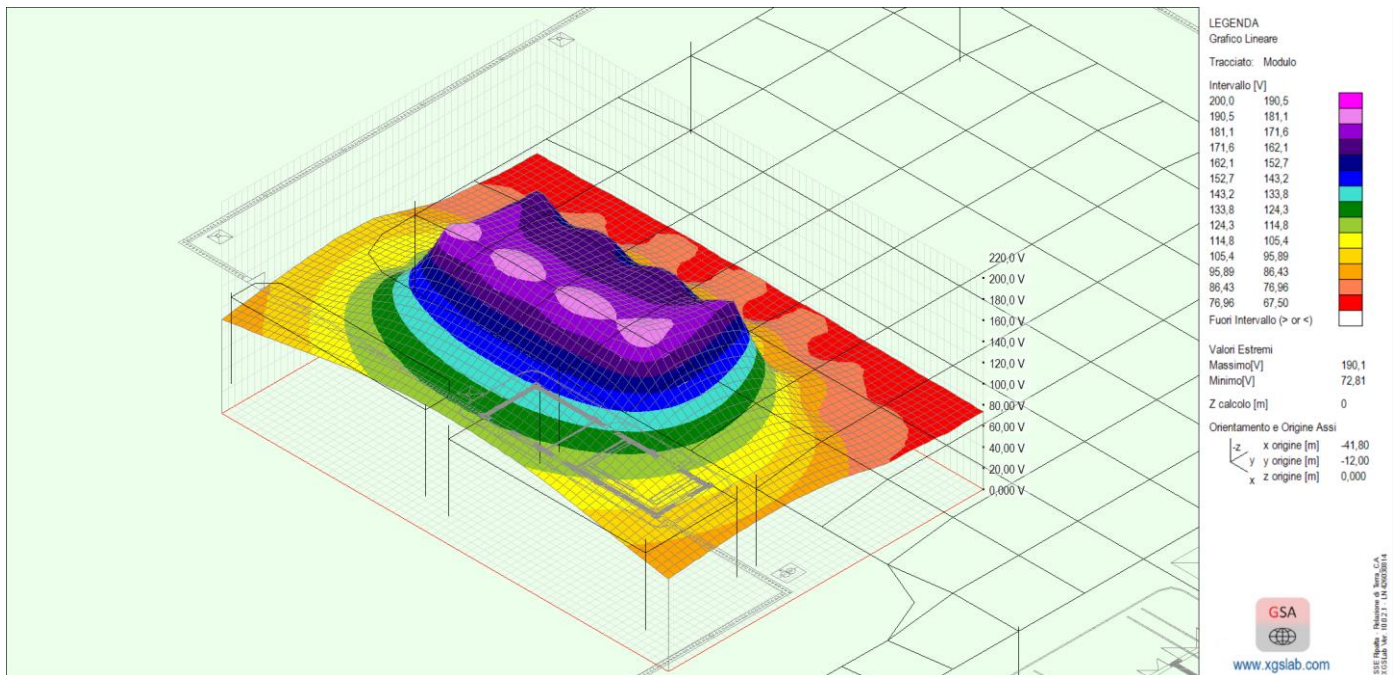
**Figura 45 – ALLEGATO 3 – Distribuzione lineare del potenziale di terra UE, della tensione di contatto Ut e di passo Us “Linea di calcolo 2”**

➤ Potenziale di terra, tensione di contatto e di passo – Calcolo su area

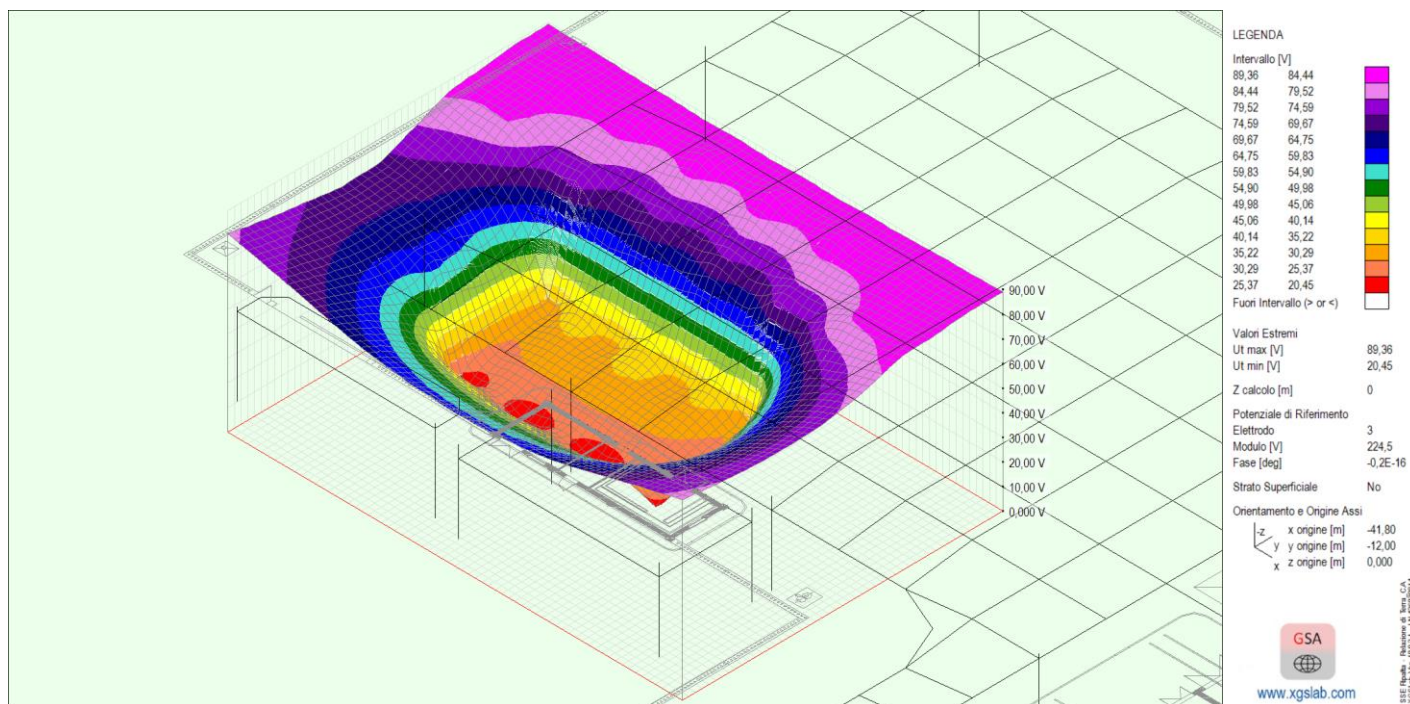
Di seguito vengono riportate le distribuzioni in 3D relative al potenziale di terra, alla tensione di contatto e di passo ricavate mediante l'utilizzo del software "XGSLab-GSA".



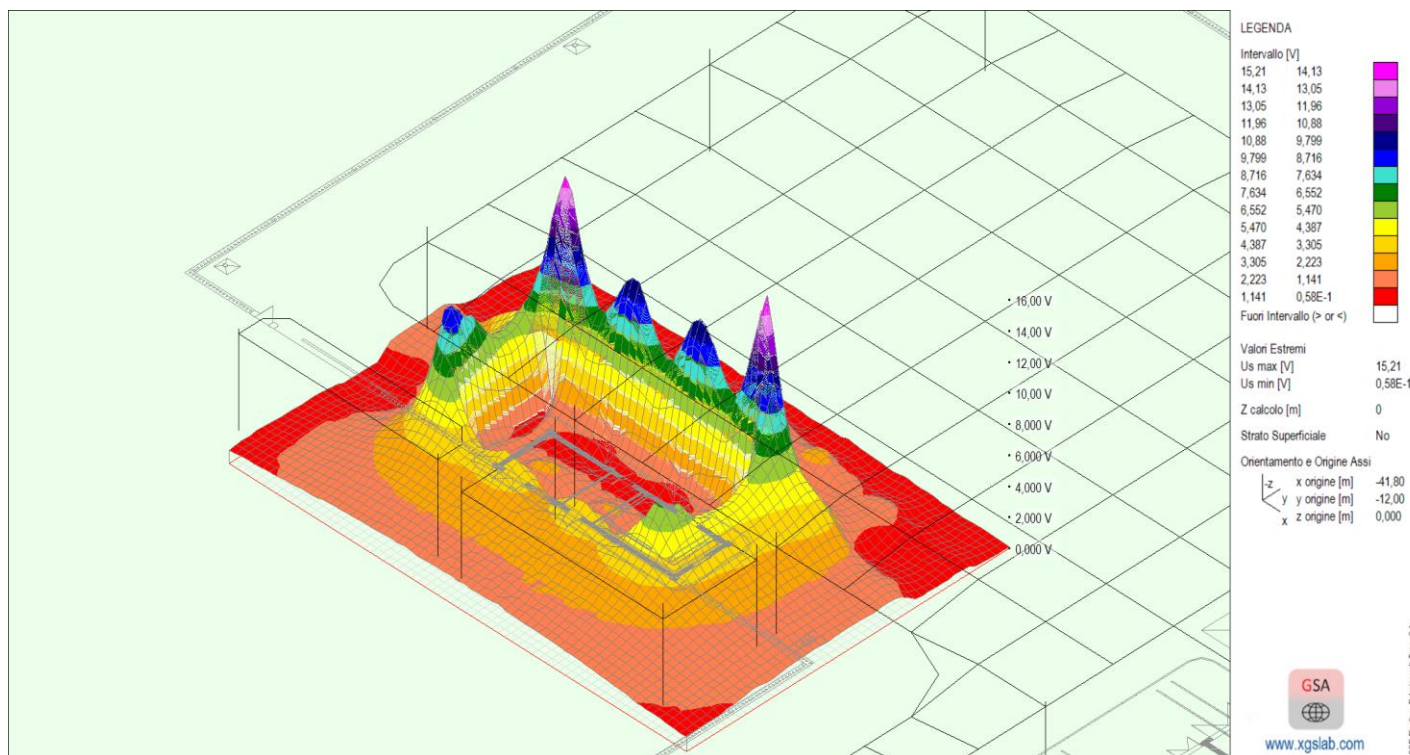
**Figura 46 – ALLEGATO 3 – Area di calcolo**



**Figura 47 – ALLEGATO 3 – Distribuzione 3D del Potenziale di terra UE**

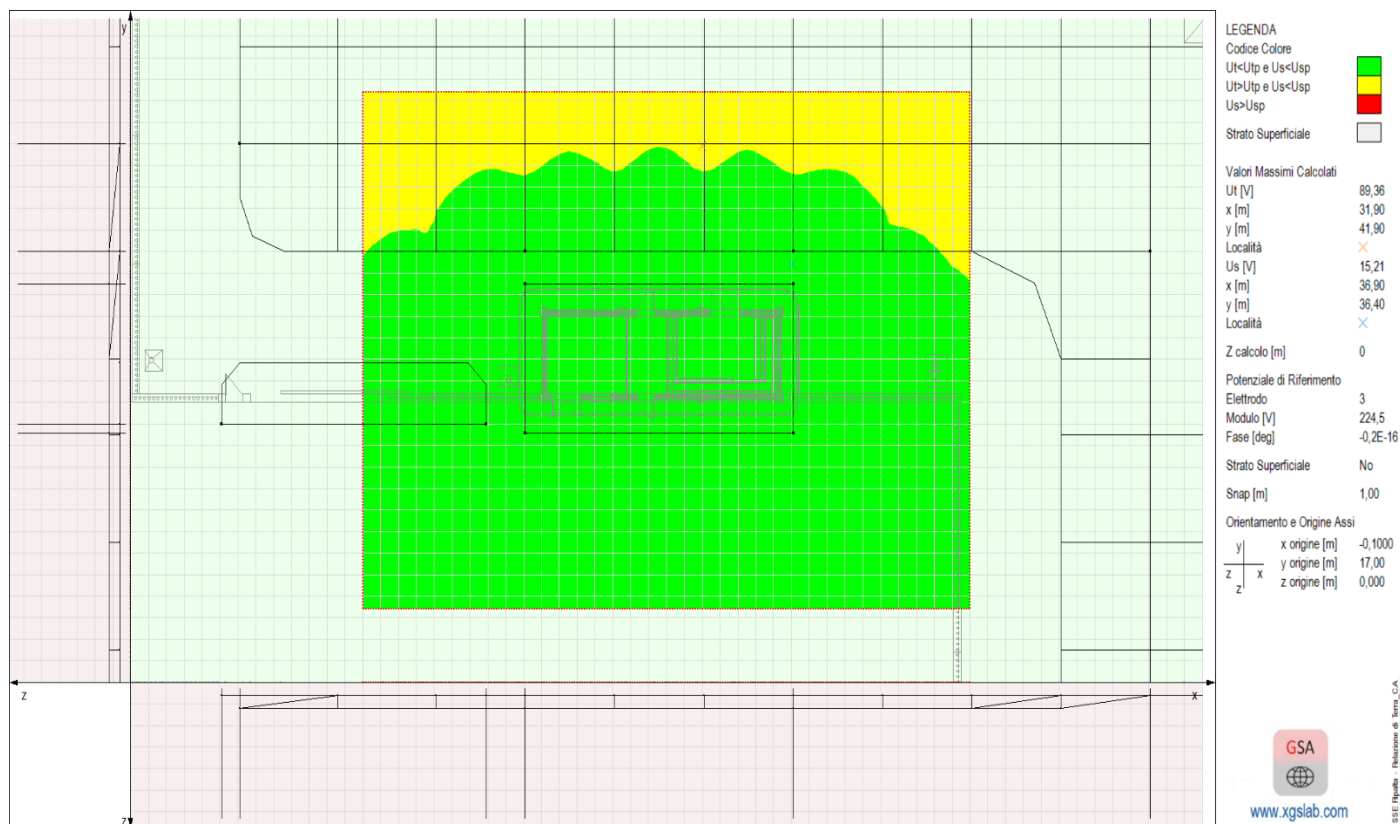


**Figura 48 – ALLEGATO 3 – Distribuzione 3D della Tensione di contatto  $U_t$**



**Figura 49 – ALLEGATO 3 – Distribuzione 3D della Tensione di passo  $U_s$**





**Figura 50 – ALLEGATO 3 – Rappresentazione delle area sicura per la quale la  $U_t < U_{tp}$  ed  $U_s < U_{sp}$**