

**MINISTERO
DELLE INFRASTRUTTURE E DELLA MOBILITÀ SOSTENIBILI
STRUTTURA TECNICA DI MISSIONE**



COMUNE DI TORINO



**METROPOLITANA AUTOMATICA DI TORINO
LINEA 2 – TRATTA POLITECNICO – REBAUDENGO**

**PROGETTAZIONE DEFINITIVA
Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo - Bologna**

PROGETTO DEFINITIVO		 INFRASTRUTTURE per la mobilità INFRA TRASPORTI S.r.l.												
DIRETTORE PROGETTAZIONE Responsabile integrazione discipline specialistiche	IL PROGETTISTA													
Ing. R. Crova Ordine degli Ingegneri della Provincia di Torino n. 60385	Ing. F. Azzarone Ordine degli Ingegneri della Provincia di Torino n. 12287J	IMPIANTI NON DI SISTEMA - STAZIONE REBAUDENGO IMPIANTO ELETTRICO RELAZIONE TECNICA E CALCOLI DI DIMENSIONAMENTO IMPIANTO DI MESSA A TERRA												
		ELABORATO							REV.		SCALA	DATA		
BIM MANAGER Geom. L. D'Accardi		MT	L2	T1	A1	D	IEL	SRB	R	003	Int.	Est.	-	31/03/22

AGGIORNAMENTI

Fg. 1 di 1

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO	VISTO
0	EMISSIONE	31/03/22	LBe	AGh	FAz	RCr
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-

<table border="1"> <tr> <td>LOTTO 1</td> <td>CARTELLA</td> <td>12.2.1</td> <td>8</td> <td>MTL2T1A1D</td> <td>IELSRBR003</td> </tr> </table>						LOTTO 1	CARTELLA	12.2.1	8	MTL2T1A1D	IELSRBR003	STAZIONE APPALTANTE DIRETTORE DI DIVISIONE INFRASTRUTTURE E MOBILITÀ Ing. R. Bertasio RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO Ing. A. Strozziro						
LOTTO 1	CARTELLA	12.2.1	8	MTL2T1A1D	IELSRBR003													

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto funzionale 1 Rebaudengo-Bologna
Relazione tecnica e calcoli di dimensionamento impianto di messa a terra	MTL2T1A1DIELSRBR003-0-0

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto funzionale 1 Rebaudengo-Bologna
Relazione tecnica e calcoli di dimensionamento impianto di messa a terra	MTL2T1A1DIELSRBR003-0-0

INDICE

1.	PREMESSA	5
2.	PRINCIPALE NORMATIVA DI RIFERIMENTO	5
3.	DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO DI TERRA DI STAZIONE	5
3.1	GENERALITÀ	5
3.2	STRUTTURA DELL'IMPIANTO DI TERRA DI PROTEZIONE E DI EQUIPOTENZIALIZZAZIONE	6
3.2.1	ULTERIORI PRESCRIZIONI E LAVORAZIONI INERENTI ALL'IMPIANTO DI TERRA	8
3.3	IMPIANTO DI TERRA FUNZIONALE	9
3.4	ACCORGIMENTI PER LA PROTEZIONE CONTRO LE CORRENTI VAGANTI	9
3.5	LIMITI DI FORNITURA	9
4.	DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA DI MESSA A TERRA	10
4.1	GENERALITÀ	10
4.2	DATI DI PROGETTO	10
4.3	DIMENSIONAMENTO RISPETTO ALLA CORROSIONE E ALLE SOLLECITAZIONI MECCANICHE	11
4.3.1	DISPERSORE DI TERRA	11
4.3.2	CONDUTTORI DI MESSA A TERRA	12
4.3.3	CONDUTTORI EQUIPOTENZIALI	13
4.4	DIMENSIONAMENTO CON RIFERIMENTO AL COMPORTAMENTO TERMICO	13
4.4.1	DISPERSORE DI TERRA	15
4.4.2	CONDUTTORI DI MESSA A TERRA	16
4.5	TENSIONI DI CONTATTO	20
4.6	PROVVEDIMENTI PER EVITARE POTENZIALI TRASFERITI	24
5.	CONSIDERAZIONI FINALI	25

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto funzionale 1 Rebaudengo-Bologna
Relazione tecnica e calcoli di dimensionamento impianto di messa a terra	MTL2T1A1DIELSRBR003-0-0

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1.	Collegamenti a terra in cabina	17
Figura 2.	Massima tensione di contatto ammissibile	20
Figura 3.	Progetto di un impianto di terra (rif. CEI 99-3)	21
Figura 4.	Modello del dispersore complessivo	22
Figura 5.	Distribuzione dei potenziali al livello sottobanchina (rappresentazione 3D)	23
Figura 6.	Distribuzione dei potenziali al livello sottobanchina (rappresentazione 2D)	24

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1.	Dimensioni minime degli elementi del dispersore (rif. Allegato C CEI 99-3)	12
Tabella 2.	Correnti relative alla progettazione di sistemi di messa a terra (rif. Tabella 1 CEI 99-3)	14
Tabella 3.	Verifica termica dei conduttori di messa a terra	19
Tabella 4.	Requisiti minimi per l'interconnessione di impianti di bassa e alta tensione basati sui limiti della EPR (rif. Tabella 2 CEI 99-3)	25

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto funzionale 1 Rebaudengo-Bologna
Relazione tecnica e calcoli di dimensionamento impianto di messa a terra	MTL2T1A1DIELSRBR003-0-0

1. PREMESSA

Il presente documento intende illustrare tecnicamente l'impianto di terra della stazione di Rebaudengo, nell'ambito degli interventi per la realizzazione della nuova Linea 2 della Metropolitana di Torino.

Sempre con riferimento all'impianto di terra di stazione, costituiscono oggetto della presente relazione anche i criteri alla base del dimensionamento dell'impianto di terra nonché l'illustrazione dei relativi risultati.

2. PRINCIPALE NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Si riporta nel seguito l'elenco delle principali Norme assunte a riferimento per lo studio e la definizione dell'impianto di terra di cui trattasi:

- Norma CEI 64-8 "Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua";
- Norma CEI EN 61936-1 (CEI 99-2) "Impianti elettrici con tensione superiore a 1 kV in c.a. Parte 1: Prescrizioni comuni".
- Norma CEI 99-3 "Messa a terra degli impianti elettrici a tensione superiore a 1 kV in c.a.".
- Norma CEI 64-12 "Guida per l'esecuzione dell'impianto di terra negli edifici per uso residenziale e terziario";

3. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO DI TERRA DI STAZIONE

3.1 Generalità

Tutti gli impianti di stazione sono alimentati in derivazione da due cabine di trasformazione MT/BT con sistema di distribuzione BT di tipo TN-S, ovvero con conduttori di neutro (N) e di protezione (PE) separati ma connessi allo stesso impianto di terra. Inoltre i centro-stella dei trasformatori MT/BT sono connessi allo stesso impianto di terra asservito alla parte di impianto in alta tensione (> 1 kV, MT nel caso di cui trattasi).

Gli impianti di terra della stazione e delle gallerie adiacenti non sono metallicamente connessi ciò per impedire la propagazione delle correnti vaganti. A tale scopo nei primi tratti di galleria, prima e dopo al stazione, sono previsti dei giunti dielettrici in corrispondenza dei quali va interrotta la continuità elettrica/metallica dei diversi manufatti (tubazioni idriche antincendio, rotaie, canalizzazioni metalliche, ecc.)

Alcune utenze BT di galleria e di eventuali pozzi (ad esempio illuminazione e prese FM di galleria, utenze No-Break dei pozzi, ecc.), esterne quindi all'area dell'impianto di terra di stazione, risultano alimentate dai quadri BT di stazione ma, per quanto sopra affermato, sono collegate ad un proprio

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto funzionale 1 Rebaudengo-Bologna
Relazione tecnica e calcoli di dimensionamento impianto di messa a terra	MTL2T1A1DIELSRBR003-0-0

impianto di terra distinto rispetto a quello di stazione. Pertanto per tali utenze il sistema di distribuzione BT è di tipo TT e non TN-S come si verifica per le utenze di stazione.

3.2 Struttura dell'impianto di terra di protezione e di equipotenzializzazione

L'impianto di terra di stazione risulta così costituito:

- dispersore di terra costituito da rete magliata 1x1m realizzata con tondini di acciaio zincato (diametro 12mm), saldati tra loro, posata a contatto col terreno
- conduttori di terra principali, atti alla connessione tra i nodi di terra principali (ubicati nei principali locali tecnici di sistema) ed il dispersore di cui al punto precedente realizzati con le seguenti modalità
 - tratto verticale compreso fra i locali tecnici ed il nodo d terra collocato al piano sottobanchina realizzato in cavo isolato tipo FG17 sezione 120 mmq
 - tratto di connessione tra il nodo di sottobanchina ed il dispersore di terra realizzato in tondino in acciaio zincato diametro 12mm

Per maggior affidabilità del sistema sono previsti n.4 distinti conduttori di terra realizzati come sopra descritto.

- nodi di terra principali costituiti da bandella di rame 60x5mm collocate lungo il perimetro interno dei principali locali tecnici di sistema (cabine MT/BT, locali QGBT, locale segnalamento, eventuale locale SSE, locali UPS,) tramite supporti in materiale isolante. I vari nodi principali sono tra loro interconnessi sia per garantire la loro equipotenzialità sia per realizzare da ogni nodo principale almeno due connessioni verso il dispersore di terra. Inoltre, laddove possibile, il nodo di terra principale sarà connesso anche ai ferri delle strutture verticali della stazione (punto fisso di terra). A tali nodi principali saranno connessi:
 - i conduttori di terra principali sopra descritti
 - i centri stella dei trasformatori MT/BT
 - le carcasse metalliche trasformatori
 - le sbarre di terra dei quadri principali MT e BT
 - eventuali masse estranee presenti nei locali tecnici
 - collegamenti equipotenziali verso i nodi secondari di terra in "campo"
 - collegamento equipotenziale alla rete maglia annegata nel pavimento (n.2 collegamenti distinti)
 - conduttori PE fino ai quadri secondari qualora non facenti parte della linea di alimentazione BT dei quadri secondari stessi derivata dai quadri generali
 - canali e tubazioni metalliche relative agli impianti elettrici (qualora si posino al loro interno cavi sprovvisti di guaina esterna) qualora presenti nel locale
 - canali e tubazioni metalliche asservite agli impianti HVAC qualora presenti nel locale

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto funzionale 1 Rebaudengo-Bologna
Relazione tecnica e calcoli di dimensionamento impianto di messa a terra	MTL2T1A1DIELSRBR003-0-0

- conduttori di protezione (PE) facenti parte delle linee BT di distribuzione principale o secondarie derivati dalle sbarre di terra collocate, rispettivamente, nei quadri BT principali e secondari. La tipologia dei conduttori seguirà la medesima "filosofia" adottata per i conduttori di fase e neutro (ovvero a norma CPR tipo FG18(O)M16 o FTG18(O)M16).

In aggiunta a quanto sopra descritto, al fine di assicurare la presenza di tensioni di contatto non pericolose, verrà adottato per gli impianti interni di stazione, uno dei provvedimenti M indicati nell'Allegato E della Norma CEI 99-3 (più precisamente il provvedimento M.3.1). Sono infatti previsti i seguenti accorgimenti per realizzare un'efficace equipotenzializzazione dei luoghi:

- collegamenti equipotenziali realizzati in cavo G/V tipo FG17 sezione 50 mmq tra i nodi principali di terra sopra descritti ed i nodi secondari di terra collocati, ai vari piani di stazione, nei locali tecnici secondari, nelle nicchie tecniche che alloggiano quadri elettrici nonché in corrispondenza di taluni cavedi verticali ove indicato nello schema generale di terra. Tali collegamenti equipotenziali saranno sia di tipo "orizzontale al piano" sia di tipo "verticale tra i piani"
- nodi secondari di terra costituiti da barra di terra in rame, dimensioni 550x40x5mm. A tali nodi secondari saranno connessi:
 - eventuali masse estranee presenti nei locali/nicchie tecniche
 - collegamenti equipotenziali verso il "campo" (ad esempio verso ascensori e scale mobili)
 - collegamento equipotenziale alla rete maglia annegata nel pavimento
 - canali e tubazioni metalliche relative agli impianti elettrici (qualora si posino al loro interno cavi sprovvisti di guaina esterna) qualora presenti nel locale
 - canali e tubazioni metalliche asservite agli impianti HVAC qualora presenti nel locale
- realizzazione, nei vari locali tecnici principali e secondari nonché nelle diverse nicchie tecniche di stazione, di specifiche reti equipotenziali di terra da annegare nel getto del solaio o nel massetto, realizzate in tondino di acciaio zincato diametro 10mm, magliatura 600x600mm
- nei principali locali tecnici di sistema: n.2 collegamenti, in tondino di acciaio zincato, diametro 10mm, tra i nodi principali di terra (bandella di rame perimetrale 60x5mm) e le reti magliate di terra collocate a pavimento di cui al punto precedente
- nei locali tecnici secondari / nicchie tecniche: collegamento, in tondino di acciaio zincato, diametro 10mm, tra i nodi secondari di terra e le reti magliate di terra collocate a pavimento sopra descritte
- realizzazione, in corrispondenza di ogni fossa di ascensore, di un collegamento equipotenziale in cavo G/V tipo FG17 sezione 25mmq
- realizzazione, in corrispondenza di ogni cassone superiore di scala mobile, di un collegamento equipotenziale in cavo G/V tipo FG17 sezione 25mmq

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto funzionale 1 Rebaudengo-Bologna
Relazione tecnica e calcoli di dimensionamento impianto di messa a terra	MTL2T1A1DIELSRBR003-0-0

Infine, al fine di ottenere l'equipotenzializzazione anche nelle parti di stazione diverse dai locali tecnici, ovvero nelle zone aperte al pubblico e nei locali accessori non tecnici, ove si presume comunque una minor operatività sulle masse (queste ultime peraltro meno "diffuse" rispetto alla situazione che sarà riscontrata nei locali tecnici) viene prescritto, nell'ambito del progetto delle Opere Civili, che i ferri di armatura dei solai dovranno essere resi elettricamente continui tramite opportune sovrapposizioni e legature a regola d'arte edile, saldature o morsetti. Viene inoltre indicato che prima del getto del solaio stesso la continuità dei ferri dovrà essere verificata tramite misura strumentale".

3.2.1 Ulteriori prescrizioni e lavorazioni inerenti all'impianto di terra

Sempre relativamente all'impianto di terra si fanno le seguenti precisazioni:

- i materiali utilizzati per i vari componenti dell'impianto di terra (acciaio zincato, rame) rientrano tra quelli indicati nella Norma CEI 99-3, in quanto ritenuti idonei alle sollecitazioni meccaniche e termiche, ai fenomeni corrosivi, ecc.
- per scelta progettuale, volta a garantire una maggior efficacia dell'impianto nel tempo, sono state adottate sezioni dei conduttori superiori ai limiti inferiori indicati dalla stessa Norma CEI 99-3
- i conduttori di terra ed i conduttori equipotenziali (conduttori in rame nudo e conduttori isolati con guaina G/V) saranno posati all'interno delle canaline dedicate agli impianti elettrici per servizi ordinari (canaline "BT-PO" e "BT-NO")
- laddove è prevista la giunzione di componenti di materiale diverso (ad esempio rame con acciaio zincato) in aria o nel terreno, al fine di non creare coppie galvaniche che danno luogo a fenomeni corrosivi, viene prescritto l'uso di giunzioni realizzate mediante morsetti o capicorda in materiale a potenziale elettrochimico intermedio (rame stagnato o inox). Il progetto prevede che tali giunzioni fra materiali diversi venga eseguita in un punto visibile (fuori terra) in modo da poterne verificare lo stato nel tempo rispetto ad eventuali fenomeni corrosivi
- per consentire l'equipotenzializzazione tra i vari sistemi di terra (terra di stazione, terra di galleria e piste di rotolamento) è necessario predisporre delle connessioni ai conduttori longitudinali di terra di galleria (monte e valle) fino al locale tecnico di sistema che alloggerà il quadro Q_IT (Quadro di messa a terra stazione e galleria per manutenzione, non oggetto della presente sezione del progetto). Tali connessioni saranno realizzate in cavo FG17 G/V sezione 120 mmq. Allo stesso quadro sarà portata una connessione relativa all'impianto di terra di stazione, realizzata in cavo FG17 G/V sezione 120 mmq, derivata dal nodo principale più vicino. In condizioni ordinarie, all'interno del quadro Q_IT, tali conduttori (terra di stazione e terra di galleria) saranno isolati tra loro.
- per agevolare le future verifiche periodiche dell'impianto di terra verrà predisposta in uno dei locali tecnici di sistema (cabina MT/BT o locale QGBT) una cassetta in PVC completa di morsetti sezionabili. A tale cassetta saranno attestati due cavi tipo FG16(O)M16, formazione 3x6mmq, provenienti dalle due stazioni o pozzi adiacenti.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto funzionale 1 Rebaudengo-Bologna
Relazione tecnica e calcoli di dimensionamento impianto di messa a terra	MTL2T1A1DIELSRBR003-0-0

3.3 Impianto di terra funzionale

Per ogni stazione è prevista una terra funzionale, "pulita" e distinta dall'impianto di terra di stazione, a servizio del locale di segnalamento e telecomunicazioni.

Essa sarà realizzata mediante una piastra di rame elettrolitico, dimensioni 1500×1500×3 mm, collocata in scavo avente profondità 3 m rispetto alla quota di superficie, ad una distanza pari ad almeno 1,5 m dalla paratia di stazione in posizione idonea per un'agevole connessione al locale di segnalamento. Essa va inoltre posizionata ad una distanza maggiore di 1 m da qualsiasi massa o struttura metallica.

Per rendere disponibile nel locale di segnalamento/TLC la terra funzionale è prevista la connessione della piastra mediante un conduttore di rame isolato G/V tipo FG17, sezione 25 mmq protetto da apposita tubazione in PVC diametro 32 mm. Tale connessione "termina" nel locale segnalamento lasciando una scorta di 20 m per il collegamento terminale a cura degli impianti di sistema.

3.4 Accorgimenti per la protezione contro le correnti vaganti

Particolare importanza riveste il problema delle correnti vaganti per i fenomeni corrosivi da esse prodotti. Per impedire che correnti vaganti provenienti da altri sistemi adiacenti possano fluire lungo le strutture di galleria, causando così una connessione indesiderata tra aree differenti e molto distanti della città, le strutture di galleria in cemento armato sono suddivise in sezioni longitudinali per mezzo di giunti isolanti; in particolare per ogni stazione sono previsti due giunti isolanti immediatamente a monte e a valle della stessa ed il tronco di galleria tra due stazioni è isolato rispetto alle stesse.

Per tutte le opere di tipo civile od impiantistico, sia di sistema che non, che si estendono longitudinalmente lungo la galleria devono essere previsti opportuni sezionamenti elettrici in corrispondenza dei giunti isolanti, in modo da interrompere la continuità delle suddette opere.

In corrispondenza dei giunti tra gallerie e stazione saranno fornite cassette di controllo giunti in cui sono riportate, a due morsetti distinti, le corde di terra da 120 mmq provenienti dai due sistemi contigui. Per ogni stazione, dalle cassette di controllo dei giunti partiranno cavi 2x1,5 mmq di tipo schermato FG16OH2M16 che collegheranno appositi quadretti, ubicati nel locale segnalamento e telecomunicazioni per il controllo delle differenze di potenziale tra le terre dei diversi tronchi.

3.5 Limiti di fornitura

Si precisa che, ancorché descritte nel presente documento per completezza, non rientrano nell'oggetto della presente sezione del progetto le lavorazioni e/o componenti di impianto elencate nel seguito. Tali lavorazioni e/o componenti di impianto risultano invece parte integrante del progetto Opere Civili o del progetto degli Impianti di Sistema:

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto funzionale 1 Rebaudengo-Bologna
Relazione tecnica e calcoli di dimensionamento impianto di messa a terra	MTL2T1A1DIELSRBR003-0-0

- rete magliata costituente il dispersore di terra (ambito Opere civili)
- reti magliate annegate nel pavimento per l'equipotenzializzazione dei locali/nicchie tecniche (ambito Opere civili)
- tondini di collegamento fra le reti magliate di cui ai punti precedenti (dispersore e reti equipotenziali) ed i nodi equipotenziali (ambito Opere civili)
- piastra in rame, pozzetti e cavidotti interrati per la realizzazione dell'impianto di terra funzionale (ambito Opere civili). Relativamente all'impianto di terra funzionale la presente sezione del progetto contempla solo le vie cavi ed i cavi
- impianto di monitoraggio delle differenze di potenziale tra le terre dei diversi tronchi (ambito Impianti di Sistema). Di tale impianto la presente sezione del progetto contempla solo le vie cavi ed i cavi
- impianto di equipotenzializzazione tra i vari sistemi di terra (terra di stazione, terra di galleria e piste di rotolamento) Di tale impianto la presente sezione del progetto contempla solo le vie cavi ed i cavi indicati nello schema generale di terra. Il quadro Q_IT (Quadro di messa a terra stazione e galleria per manutenzione) non è oggetto della presente sezione del progetto (ambito Impianti di Sistema)
- impianto per le verifiche periodiche dell'impianto di terra (ambito impianti di sistema)

4. DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA DI MESSA A TERRA

4.1 Generalità

I parametri atti al dimensionamento dei sistemi di messa a terra sono:

- valore della corrente di guasto (che dipende principalmente dal modo di messa a terra del neutro dell'impianto di media tensione);
- durata del guasto (che dipende principalmente dal modo di messa a terra del neutro dell'impianto di media tensione);
- caratteristiche del suolo.

4.2 Dati di progetto

Dall'Ente erogatore sono stati forniti i seguenti dati:

- Tensione di esercizio in Media Tensione (MT): 22 [kV]
- Corrente di cortocircuito trifase simmetrica: 12,5 [kA]
- Corrente di guasto verso terra $I_F = I_E = 75$ [A]
- Tempo di intervento delle protezioni $t_F > 10$ [s]
- Corrente di doppio guasto monofase a terra: 11,5 [kA]
- Esercizio con neutro compensato

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto funzionale 1 Rebaudengo-Bologna
Relazione tecnica e calcoli di dimensionamento impianto di messa a terra	MTL2T1A1DIELSRBR003-0-0

Inoltre, sempre dal medesimo Ente, si prescrivono i seguenti dati di taratura per le protezioni MT del Dispositivo Generale (DG):

- Protezione di massima corrente di fase:
 - Protezione di massima corrente (51) – seconda soglia (I>): $I \leq 250$ [A]; $T \leq 0,5$ [s]
 - Protezione di massima corrente (50) – terza soglia (I>): $I \leq 600$ [A]; $T \leq 0,12$ [s]
- Protezione contro i guasti a terra (nei casi con direzionale di terra e massima corrente omopolare):
 - Esercizio con neutro compensato:
 - Protezione direzionale di terra (67N) – prima soglia: $IO \leq 2$ [A]; $VO \leq 5$ [V]; $T \leq 0,45$ [s]
 - Protezione omopolare di corrente (valida sia per esercizio a neutro isolato che compensato): $IO \leq 110$ [A]; $T \leq 0,17$ [s]

4.3 Dimensionamento rispetto alla corrosione e alle sollecitazioni meccaniche

4.3.1 Dispersore di terra

Per quanto riguarda la resistenza meccanica e la resistenza alla corrosione, la Norma CEI 99-3 raccomanda di adottare per il dispersore le dimensioni minime riportate nella tabella seguente (rif. Allegato C):



Tabella 1. Dimensioni minime degli elementi del dispersore (rif. Allegato C CEI 99-3)

Materiale	Tipo di dispersore	Dimensione minima					
		Corpo			Rivestimento/guaina		
		Diametro [mm]	Sezione trasversale [mm ²]	Spessore [mm]	Valori singoli [µm]	Valori medi [µm]	
Acciaio	zincato a caldo	Piattina ⁽²⁾		90	3	63	70
		Profilato (inclusi i piatti)		90 (250)	3 (5)	63	70
		Tubo	25		2	47	55
		Barra tonda per picchetto	16 (20)			63	70
		Tondo per dispersore orizzontale	10				50
	con guaina di piombo ⁽¹⁾	Tondo per dispersore orizzontale	8			1000	
	con guaina di rame estrusa	Barra tonda per picchetto	15			2000 (500)	
	con guaina di rame elettrolitico	Barra tonda per picchetto	14.2 (15)			90	100
Rame	nudo	Piattina		50	2		
		Tondo per dispersore orizzontale		25 ⁽³⁾			
		Corda	1,8 ^(*)	25			
		Tubo	20		2		
	stagnato	Corda	1,8 ^(*)	25		1	5
	zincato	Piattina		50	2	20	40
	con guaina di piombo ⁽¹⁾	Corda	1,8 ^(*)	25		1000	
		Filo tondo		25		1000	

(*) per cavetti singoli

(1) non idoneo per posa diretta in calcestruzzo

(2) piattina, arrotondata o tagliata con angoli arrotondati

(3) in condizioni eccezionali, dove l'esperienza mostra che il rischio di corrosione e di danno meccanico è estremamente basso, si può usare 16 mm².

Nota I valori riportati tra parentesi sono comunemente utilizzati in Italia.

Per quanto concerne il comportamento alla corrosione e alle sollecitazioni meccaniche del dispersore, i requisiti di progetto sopra indicati risultano soddisfatti in quanto per la stazione si prevedono dispersori costituiti da:

- Tondo in acciaio zincato Ø12 [mm]

4.3.2 Conduttori di messa a terra

Tenuto conto della resistenza meccanica e della stabilità alla corrosione, le sezioni minime sono:

- rame: 16 [mm²]
- alluminio: 35 [mm²]

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto funzionale 1 Rebaudengo-Bologna
Relazione tecnica e calcoli di dimensionamento impianto di messa a terra	MTL2T1A1DIELSRBR003-0-0

- acciaio: 50 [mm²]

Per quanto concerne il comportamento alla corrosione e alle sollecitazioni meccaniche dei conduttori di messa a terra, i requisiti di progetto sopra indicati risultano soddisfatti in quanto per la stazione si prevedono conduttori costituiti da:

- Cavo in rame Giallo/Verde isolato di sezione 120 [mmq]
- Tondo in acciaio zincato con diametro $\geq \varnothing 10$ [mm]

4.3.3 Conduttori equipotenziali

La Norma CEI 99-3 raccomanda che il dimensionamento dei conduttori equipotenziali sia in linea con quanto riportato in 4.3.2.

Per quanto concerne il comportamento alla corrosione e alle sollecitazioni meccaniche dei conduttori equipotenziali, i requisiti di progetto sopra indicati risultano soddisfatti in quanto per la stazione si prevedono conduttori costituiti da:

- Cavo in rame Giallo/Verde isolato di sezione ≥ 25 [mm²]
- Tondo in acciaio zincato con diametro $\geq \varnothing 10$ [mm]

4.4 Dimensionamento con riferimento al comportamento termico

Le correnti che devono essere considerate per il dimensionamento dei dispersori e dei conduttori di terra sono indicate nella tabella seguente:



Tabella 2. Correnti relative alla progettazione di sistemi di messa a terra (rif. Tabella 1 CEI 99-3)

Modo di messa a terra del neutro del sistema di alta tensione	Con riferimento alle sollecitazioni termiche ^(a e)		Con riferimento alla tensione totale di terra ed alle tensioni di contatto
	Dispensore	Conduttore di terra	
Sistemi a neutro isolato			
	I''_{KEE}	I''_{KEE}	$I_E = r \cdot I_C^{(b)}$
Sistemi con messa a terra risonante Comprende la rapida messa a terra per rilevazione			
Cabine elettriche senza bobine di soppressione d'arco ^(f)	I''_{KEE}	I''_{KEE}	$I_E = r \cdot I_{RES}^{(b)}$
Cabine elettriche con bobine di soppressione d'arco	I''_{KEE}	$I''_{KEE}^{(c)}$	$I_E = r \cdot \sqrt{I_L^2 + I_{RES}^2}^{(b h)}$
Impianti con messa a terra del neutro con bassa impedenza Comprende la rapida messa a terra per apertura automatica ^(g)			
Cabine senza messa a terra del neutro	I''_{k1}	I''_{k1}	$I_E = r \cdot I''_{k1}$
Cabine con messa a terra del neutro	I''_{k1}	I''_{k1}	$I_E = r \cdot (I''_{k1} - I_N)^{(d)}$
<p>(a) Se sono possibili molti percorsi di corrente, si può considerarne una distribuzione.</p> <p>(b) Se non è presente la sconnessione automatica del guasto a terra, la necessità di considerare il doppio guasto a terra dipende dalle esperienze d'esercizio.</p> <p>(c) Il conduttore di terra della bobina di Petersen deve essere dimensionata secondo la massima corrente della bobina.</p> <p>(d) Si deve provare se un guasto esterno può essere ben definito.</p> <p>(e) Si devono considerare le sezioni minime dell'Allegato C.</p> <p>(f) In caso di sistemi non ben compensati, l'approccio generale di considerare il 10% di I_C non è applicabile. Si deve aggiungere la componente reattiva/capacitiva della corrente residua.</p> <p>(g) La messa a terra in tempo breve di un sistema con messa a terra risonante deve avvenire entro 5 s dalla rivelazione del guasto a terra.</p> <p>(h) In caso di guasto in cabina, si deve considerare la corrente di guasto a terra capacitiva I_C. Si devono considerare i casi di ulteriori bobine esterne alla cabina</p> <p>Legenda:</p> <p>I_C Corrente di guasto a terra capacitiva calcolata o misurata</p> <p>I_{RES} Corrente residua di guasto a terra (vedere Figura 3b). Se non è disponibile il valore esatto, si può assumere il 10 % di I_C.</p> <p>I_L Somma delle correnti nominali delle bobine di estinzione d'arco in parallelo nella relativa stazione elettrica</p> <p>I''_{KEE} Corrente di doppio guasto a terra calcolata secondo la IEC 60909. Per I''_{KEE} può essere usato, come valore massimo, l'85% della corrente di cortocircuito iniziale simmetrica trifase.</p> <p>I''_{k1} Corrente di cortocircuito iniziale simmetrica per un cortocircuito linea-terra, calcolata secondo la EN 60909</p> <p>I_E Corrente di terra (vedere Figura 2)</p> <p>I_N Corrente tramite messa a terra del neutro di un trasformatore (vedere Figura 2)</p> <p>r Fattore di riduzione (vedere Allegato I)</p> <p>Se le linee ed i cavi uscenti dalla cabina elettrica hanno diversi fattori di riduzione, si deve determinare la relativa corrente (in accordo con l'Allegato L).</p>			

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto funzionale 1 Rebaudengo-Bologna
Relazione tecnica e calcoli di dimensionamento impianto di messa a terra	MTL2T1A1DIELSRBR003-0-0

La corrente di guasto è spesso ripartita tra i diversi elementi dell'impianto di terra; è possibile, pertanto, dimensionare ciascun dispersore per la sola porzione della corrente di guasto che gli compete.

4.4.1 Dispersore di terra

La sezione del dispersore può essere calcolata con la seguente formula (formula dell'integrale di Joule) che garantisce la "tenuta termica" del conduttore:

$$A = \frac{I}{K} \sqrt{\frac{t}{\ln \frac{\theta_f + \beta}{\theta_i + \beta}}} \quad (\text{IEC 60724:1984 Equazione F1})$$

dove:

- A: è la sezione minima del conduttore [mm²]
- I: è il valore efficace della corrente di guasto che fluisce nel conduttore [A]
- t: è la durata della corrente di guasto [s]
- K: è una costante dello specifico materiale conduttore usato [As^{1/2}mm²]
- β: è una costante dello specifico materiale conduttore usato [°C]
- θ_i: è la temperatura ambiente o iniziale del conduttore [°C]
- θ_f: è la massima temperatura ammessa per il conduttore [°C]

Per le costanti dei materiali si può fare riferimento ai seguenti valori indicati nelle norme:

- rame: K = 226 (As^{1/2}mm²), β = 234,5 [°C]
- acciaio: K = 78 (As^{1/2}mm²), β = 202 [°C]
- alluminio: K = 148 (As^{1/2}mm²), β = 228 [°C]

La formula precedente può essere così semplificata:

$$A = \frac{I}{Kt} \sqrt{t}$$

in cui Kt è funzione del tipo di materiale e delle temperature iniziali e finali del conduttore e, con riferimento alla formula precedente, vale:

$$Kt = K \cdot \sqrt{\ln \frac{\theta_f + \beta}{\theta_i + \beta}}$$

Tenuto conto dei dati forniti dall'Ente erogatore:

- corrente di doppio guasto monofase a terra pari a I''_{KEE} = 11,5 [kA]

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto funzionale 1 Rebaudengo-Bologna
Relazione tecnica e calcoli di dimensionamento impianto di messa a terra	MTL2T1A1DIELSRBR003-0-0

- tempo di eliminazione del guasto monofase a terra massimo pari a $t''_{KEE} = 0,17$ [s]

Per il tondo in acciaio, considerando nulla la ripartizione della corrente tra gli elementi costituenti il dispersore, risulta una sezione minima necessaria pari a:

- $A = 76,91$ [mm²]

Che corrisponde a un conduttore tondo avente diametro minimo pari a:

- $\Phi = 9,89$ [mm²]

Per quanto concerne il comportamento termico del dispersore, utilizzando il tondo in acciaio zincato Ø12 [mm], i requisiti di progetto sopra indicati risultano soddisfatti.

4.4.2 Conduttori di messa a terra

Con riferimento alla Figura 1, i conduttori principali oggetto di dimensionamento, sono i seguenti:

- CT1: conduttore di collegamento della carcassa del trasformatore MT/BT al nodo di terra;
- CT2: conduttore di collegamento del nodo di terra al dispersore; nel caso in esame, tale collegamento sarà costituito da due tratti:
- Tratta in cavo Giallo/Verde isolato, per la connessione tra il sistema di messa a terra dei locali tecnici di sistema e i nodi di terra situati al livello sottobanchina;
- Tratta in tondino di Acciaio zincato, per la connessione tra i nodi di terra situati al livello sottobanchina e il dispersore sottostante
- PE1: conduttore di collegamento a terra del centro stella del trasformatore MT/BT;
- PE2: conduttore di collegamento della carpenteria del quadro generale di bassa tensione al nodo di terra (valido, cautelativamente, anche per gli altri quadri BT di cabina).

Sempre con riferimento alla Figura 1; a seconda delle tipologie di guasto che interessano i diversi tipi di conduttori, i parametri (I) e (t) di cui alle formule riportate in 4.4.1, assumono i valori nel seguito descritti:

- CT1 + CT2: sono interessati dalla corrente di guasto a terra in media tensione (Figura 1-a): il valore (I) corrisponde al valore massimo riscontrabile (generalmente doppio guasto a terra su rete a neutro compensato), mentre t corrisponde al tempo di intervento della protezione MT;
- CT1 + PE1 sono interessati da un guasto sull'avvolgimento BT del trasformatore (Figura 1-b): il valore (I) è la corrente di guasto fase-terra lato BT, mentre t è il tempo di intervento della protezione MT in corrispondenza della corrente di guasto rilevata sul lato MT;
- PE1 + PE2 sono interessati da un guasto a valle del quadro generale di bassa tensione (Figura 1-c): il valore (I) è la massima corrente di guasto fase terra a valle del quadro, mentre t è il tempo di intervento per corto circuito della protezione generale. Si precisa che non si contempla il caso di guasto sulla linea tra il trasformatore e la protezione generale BT (vedi CEI 64-8/4 art. 473.2.3 e commento art. 413.2.1.1)

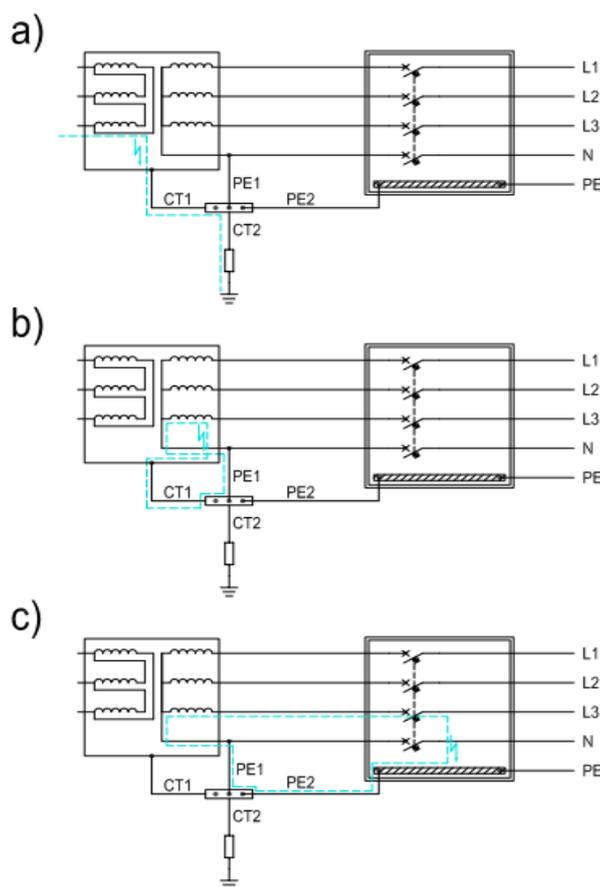


Figura 1. Collegamenti a terra in cabina

Ciascun conduttore deve essere verificato nella condizione più gravosa che lo riguarda.

Nella tabella che segue si riportano i calcoli, valutati prudenzialmente con riferimento alla massima taglia di trasformatore MT/BT presente nelle stazioni della nuova Linea 2 della Metropolitana di Torino, pari a 2.000kVA.

Le sezioni dei conduttori di protezione (SPE) relativi alle linee derivate dai quadri principali di cabina (non considerati nei calcoli seguenti), saranno definiti in accordo alla Norma CEI 64-8-par. 543.1.2 sulla base della sezione di fase (SF). Più precisamente le modalità di definizione della sezione dei conduttori di protezione di tutte le masse relative ad un sistema BT del tipo TN-S (stazione) sono le seguenti:

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto funzionale 1 Rebaudengo-Bologna
Relazione tecnica e calcoli di dimensionamento impianto di messa a terra	MTL2T1A1DIELSRBR003-0-0

- per $SF < 16 \text{ mmq}$: $SPE = SF$
- per $16 < SF < 35 \text{ mmq}$: $SPE = 16 \text{ mmq}$
- per $SF > 35 \text{ mmq}$: $SPE = S/2$

La verifica termica dei conduttori di protezione è implicita con l'applicazione delle suddette regole.

Inoltre la sezione di ogni conduttore di protezione, che non faccia parte della condotta di alimentazione, non deve essere in ogni caso inferiore a:

- 2,5 mmq se è prevista una protezione meccanica (rame)
- 4 mmq se non è prevista una protezione meccanica (rame)



4.5 Tensioni di contatto

I limiti delle tensioni di contatto UTP sono riportati in nella figura seguente in funzione del tempo di eliminazione del guasto a terra.

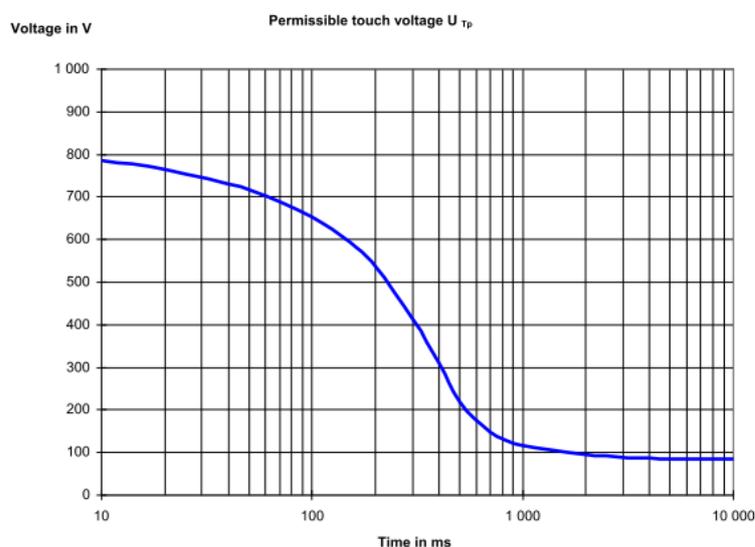


Figura 2. Massima tensione di contatto ammissibile

In base alla normativa vigente, l'impianto di terra disperdente è da considerarsi correttamente dimensionato, nei confronti della sicurezza delle persone, se in caso di guasto lato MT si verificano le condizioni riportate nello schema seguente.

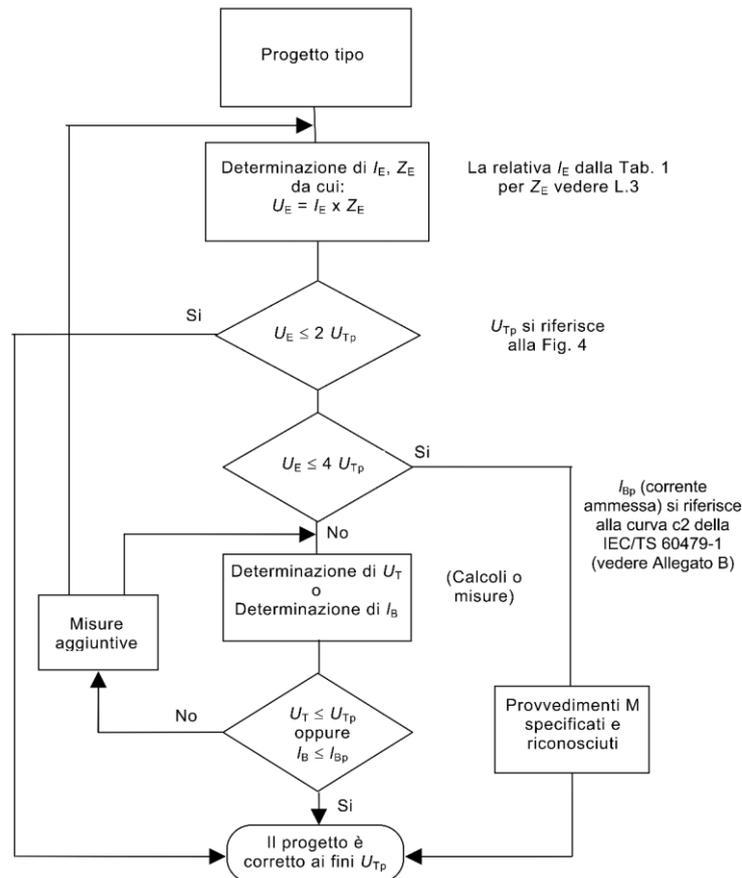


Figura 3. Progetto di un impianto di terra (rif. CEI 99-3)

Il dimensionamento di un impianto di terra richiede quindi, tra i dati di ingresso, il valore della massima corrente che l'impianto è chiamato a disperdere, in caso di guasto a terra (I_E), e la durata del guasto stesso (t_f).

Nel caso della stazione di cui trattasi, poiché l'impianto è derivato "a valle" della cabina di consegna (collocata nella Stazione di Porta Nuova), i calcoli saranno eseguiti sulla base dei valori di corrente e tempo di intervento (tempo eliminazione del guasto) riportati nella tabella sottostante:

Regime di neutro	I_E [A]	t_f [s]
Neutro compensato a 22 kV	75 (*)	0,45 (**)

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto funzionale 1 Rebaudengo-Bologna
Relazione tecnica e calcoli di dimensionamento impianto di messa a terra	MTL2T1A1DIELSRBR003-0-0

(*) valore fornito dall'Ente fornitore

(**) tempo intervento della protezione direzionale di terra

Con riferimento ai tempi di eliminazione del guasto riportati precedentemente, il limite delle tensioni di contatto assume il seguente valore:

Regime di neutro	U_{TP} [V]
Neutro compensato a 22 kV	266

La verifica dell'impianto di terra disperdente, nei confronti della sicurezza delle persone, è stata condotta utilizzando il software GSA_FD® (Grounding System Analysis in the Frequency Domain), sviluppato da SINT Srl.

L'ipotesi di partenza per la verifica del dispersore di stazione (come rappresentato negli elaborati progettuali a cui si rimanda) è l'utilizzo di:

- una maglia di terra di lato 1x1 [m], posta nel terreno sotto il piano di fondazione, costituita da conduttori in tondo di acciaio zincato Ø12 [mm], saldati tra di loro.

Il modello del dispersore di stazione implementato nel calcolo, è il seguente:

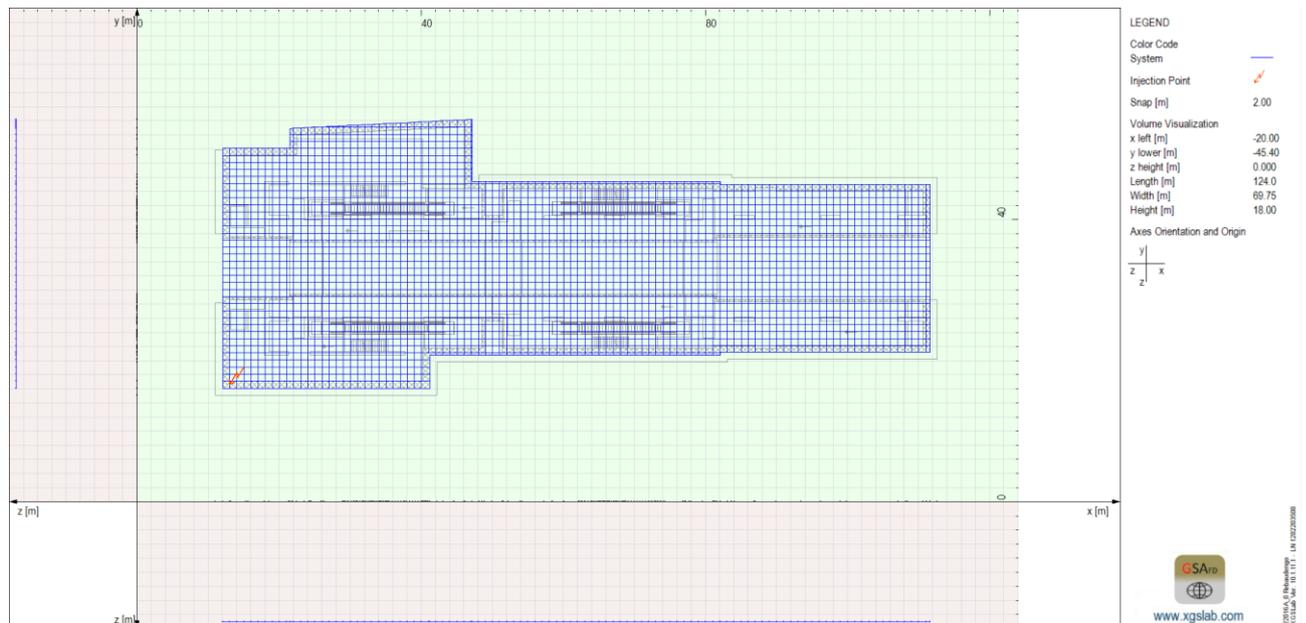


Figura 4. Modello del dispersore complessivo



Si assume nei calcoli un valore di resistività del terreno ρ_E pari a $400 \Omega m$, comunicato dal Committente.

I risultati del calcolo sono di seguito riportati.

Il valore dell'impedenza di terra vale:

- $Z_E = 2,163 [\Omega]$

Il valore della tensione totale di terra vale:

- $U_E = 162,3 [V]$

Come già precisato, il valore limite della tensione di contatto ammissibile vale:

- $U_{TP} = 266,0 [V]$

La tensione totale di terra U_E è inferiore ai limiti imposti dalla Norma CEI 99-3 per le tensioni di contatto ($< 2 U_{TP}$), per cui non è necessario verificare che le massime tensioni di contatto non superino i limiti ammessi in corrispondenza delle masse.

Allo scopo di aumentare il livello di sicurezza dell'impianto, è stato inoltre adottato il provvedimento M 3.1 di cui all'Allegato E della Norma CEI 99-3, che consente di garantire efficacemente l'equipotenzialità in particolare dei locali tecnici presenti in stazione.

Di seguito, è rappresentata la distribuzione dei potenziali al livello sottobanchina.

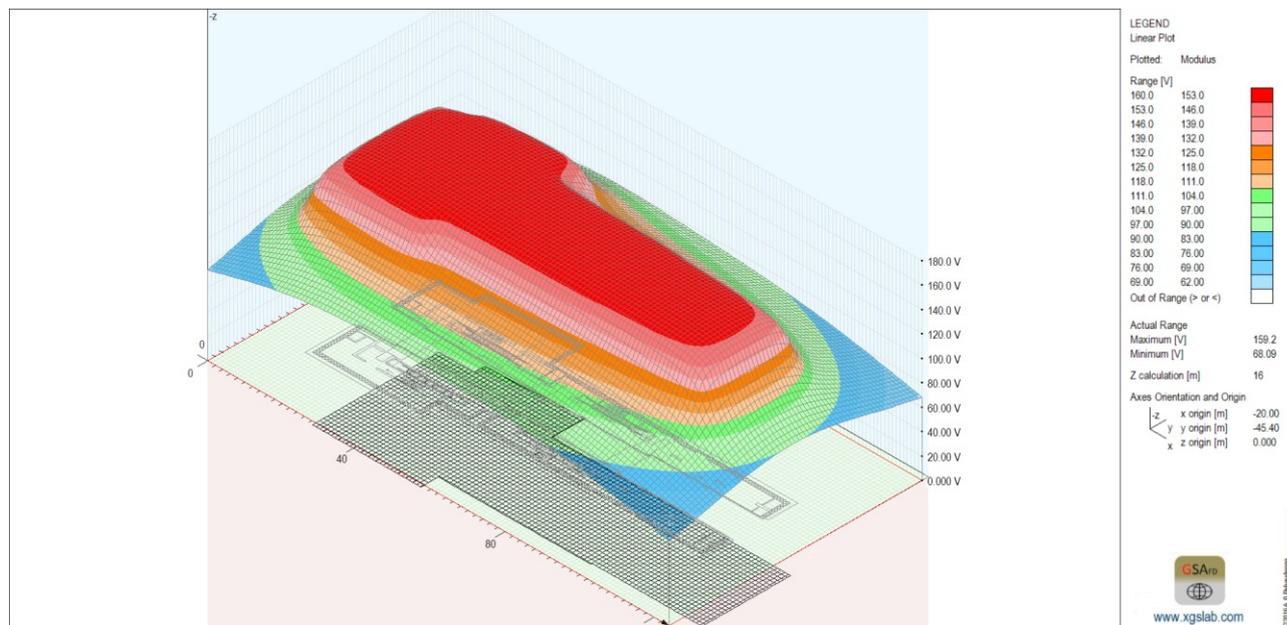


Figura 5. Distribuzione dei potenziali al livello sottobanchina (rappresentazione 3D)

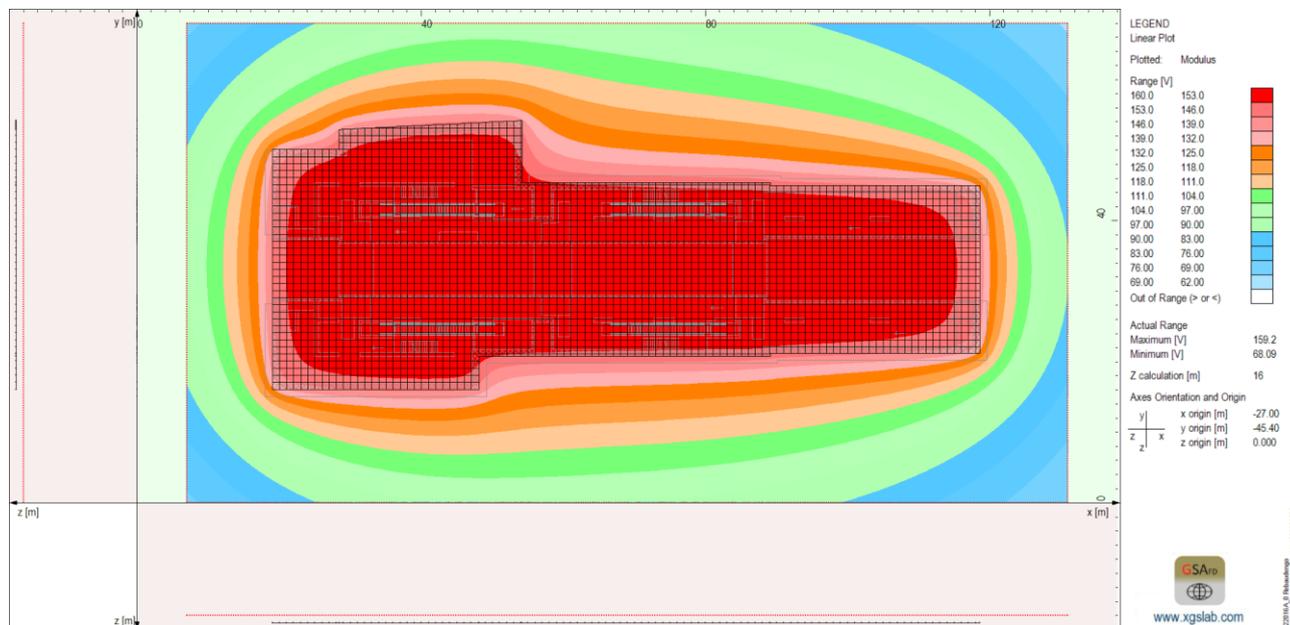


Figura 6. Distribuzione dei potenziali al livello sottobanchina (rappresentazione 2D)

4.6 Provvedimenti per evitare potenziali trasferiti

Sempre ai sensi della Norma CEI 99-3, va verificato che non sussistano le condizioni per il trasferimento di potenziali pericolosi tra il sistema di terra di alta tensione (a cui risultano collegate le masse presenti nella cabina MT) ed il sistema di terra di bassa tensione (a cui risulta collegato il neutro - centro stella trasformatore - lato BT).

Nel caso che si sta trattando:

- il sistema non fa parte di un impianto di terra globale
- tutte le utenze BT servite dal sistema TN-S di stazione sono collocate all'interno del sistema di terra di alta tensione (MT). Pertanto, ai sensi della Norma CEI 99-3, § 6.1.2, devono essere interconnessi entrambi gli impianti di terra, anche se non sussiste impianto di terra globale
- Le utenze BT "esterne" al sistema di terra di alta tensione (MT), ovvero le utenze di pozzo e/o galleria, sono servite da un sistema BT di tipo TT, con sistemi di terra non interconnessi tra loro. Pertanto, non vanno considerate le prescrizioni relative alle tensioni di contatto di cui alla Tabella 2 della Norma CEI 99-3, riportata di seguito. Per quanto concerne invece la tenuta di tensione delle apparecchiature essa risulta verificata in quanto nel caso che si sta trattando la durata del guasto è inferiore a 5s e la tensione totale di terra, come già evidenziato, è inferiore a 1.200V ($U_E = 162,3$ [V])

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto funzionale 1 Rebaudengo-Bologna
Relazione tecnica e calcoli di dimensionamento impianto di messa a terra	MTL2T1A1DIELSRBR003-0-0

Tabella 4. Requisiti minimi per l'interconnessione di impianti di bassa e alta tensione basati sui limiti della EPR (rif. Tabella 2 CEI 99-3)

Tipo di sistema BT ^(a, b)		Requisiti della EPR		
		Tensione di contatto	Tenuta di tensione ^(c)	
			Durata guasto $t_f \leq 5 \text{ s}$	Durata guasto $t_f > 5 \text{ s}$
TT		Non applicabile	$EPR \leq 1\,200 \text{ V}$	$EPR \leq 250 \text{ V}$
TN		$EPR \leq F \cdot U_{Tp}^{(d, e)}$	$EPR \leq 1\,200 \text{ V}$	$EPR \leq 250 \text{ V}$
IT	Conduttore di terra di protezione distribuito	Come per sistema TN	$EPR \leq 1\,200 \text{ V}$	$EPR \leq 250 \text{ V}$
	Conduttore di terra di protezione non distribuito	Non applicabile	$EPR \leq 1\,200 \text{ V}$	$EPR \leq 250 \text{ V}$

(a) Per le definizioni dei tipi di sistemi BT, vedere HD 60364-1.
 (b) Per apparecchiature di telecomunicazione, si dovrebbero utilizzare le raccomandazioni ITU.
 (c) Se sono installate apparecchiature appropriate, il limite può essere aumentato o l'EPR può essere sostituita da differenze di potenziale locali basate su misure o calcoli.
 (d) Se il PEN o il conduttore di neutro di bassa tensione è connesso al solo impianto di terra AT, il valore di F è 1.
 (e) U_{Tp} è ricavato dalla Figura 4.

NOTA Il valore tipico del valore di F è 2. Possono essere applicati valori di F maggiori, quando il conduttore PEN presenta connessioni addizionali a terra. Per certe conformazioni del suolo, il valore di F può arrivare fino a 5. Sono necessarie precauzioni quando questa regola viene applicata a un suolo con alta resistività contrapposto alla sommità dello strato che ha maggiore resistività. La tensione di contatto, in questo caso, può superare del 50 % la EPR.

5. CONSIDERAZIONI FINALI

La resistività del terreno può assumere nel tempo valori anche molto diversi essendo questa fortemente influenzata dall'umidità e dalla temperatura.

Inoltre la resistività è solitamente una caratteristica tutt'altro che omogenea e varia da punto a punto sulla superficie ed in profondità.

Di conseguenza, le ipotesi progettuali ed i calcoli eseguiti nel presente documento dovranno comunque essere verificati in fase realizzativa mediante misure di resistenza di terra.