

**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		 INFRA.TO <i>infrastrutture per la mobilità</i>										INFRATRASPORTI 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. 12887J	IMPIANTI NON DI SISTEMA – STAZIONE CORELLI IMPIANTO ELETTRICO RELAZIONE TECNICA E CALCOLI DIMENSIONAMENTO IMPIANTO DI MESSA A TERRA																				
ELABORATO										REV.		SCALA	DATA									
										Int.	Est.											
BIM MANAGER Geom. L. D'Accardi										MT	L2	T1	A1	D	IEL	SCO	R	003	0	1	-	15/12/2022

AGGIORNAMENTI

Fg.1 di 22

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO	VISTO
0	EMISSIONE	31/03/22	GSC	AGH	FAZ	RCR
1	Emissione finale a seguito di verifica preventiva	15/12/22	GSC	AGH	FAZ	RCR
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-

<table border="1"> <tr> <td>LOTTO 1</td> <td>CARTELLA</td> <td>12.2.4</td> <td>8</td> <td>MTL2T1A1D</td> <td>IELSCOR003</td> </tr> </table>						LOTTO 1	CARTELLA	12.2.4	8	MTL2T1A1D	IELSCOR003	STAZIONE APPALTANTE DIRETTORE DI DIVISIONE INFRASTRUTTURE E MOBILITÀ Ing. R. Bertasio RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO Ing. A. Strozziro					
LOTTO 1	CARTELLA	12.2.4	8	MTL2T1A1D	IELSCOR003												

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna
Stazione Corelli – Relazione di calcolo Impianto di messa a terra	8_MTL2T1A1DIELSCOR003-0-1.DOCX

INDICE

1.	PREMESSA	3
2.	DENOMINAZIONI ED ABBREVIAZIONI	4
3.	LEGGI E NORME DI RIFERIMENTO	5
4.	DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO DI TERRA	6
4.1	GENERALITÀ	6
4.2	STRUTTURA DELL'IMPIANTO DI TERRA DI PROTEZIONE E DI EQUIPOTENZIALIZZAZIONE	6
4.2.1	ULTERIORI PRESCRIZIONI E LAVORAZIONI INERENTI ALL'IMPIANTO DI TERRA	8
4.3	IMPIANTO DI TERRA FUNZIONALE	9
4.4	ACCORGIMENTI PER LA PROTEZIONE CONTRO LE CORRENTI VAGANTI	9
4.5	LIMITI DI FORNITURA	10
5.	DISPERSORE	11
5.1	REQUISITI DELL'IMPIANTO CON RIFERIMENTO ALLE SOLLECITAZIONI MECCANICHE, ALLA CORROSIONE ED ALLE SOLLECITAZIONI TERMICHE	11
5.2	REQUISITI DELL'IMPIANTO CON RIFERIMENTO ALLE TENSIONI DI CONTATTO E DI PASSO	12
5.3	VERIFICA MECCANICA E TERMICA DELL'IMPIANTO DI TERRA DISPERDENTE	13
5.4	VERIFICA DEL DISPERSORE NEI CONFRONTI DELLE TENSIONI DI CONTATTO E DI PASSO	14
5.4.1	DATI IN INGRESSO	14
5.4.2	RESISTIVITÀ DEL TERRENO	14
5.4.3	GEOMETRIA DEI DISPERSORI	15
6.	IMPIANTO DI TERRA SECONDARIO (O IMPIANTO DI TERRA INTERNO)	17
6.1	GENERALITÀ	17
6.2	SEZIONI MINIME	18
6.3	DIMENSIONAMENTO DELL'IMPIANTO CON RIFERIMENTO ALLE SOLLECITAZIONI TERMICHE	19
7.	CONSIDERAZIONI AGGIUNTIVE	20
	ALLEGATO N.1	21

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna
Stazione Corelli – Relazione di calcolo Impianto di messa a terra	8_MTL2T1A1DIELSCOR003-0-1.DOCX

1. PREMESSA

Il presente documento ha come oggetto il dimensionamento dell'impianto di terra (dispersore) di stazione relativo alla stazione della MM di Torino denominata Corelli.

Nel caso di cui trattasi, sia la porzione di impianto in Media Tensione sia la sezione di impianto in Bassa Tensione saranno collegate ad un unico impianto di terra.

Inoltre, con riferimento al modo di collegamento a terra, il sistema di distribuzione BT risulta classificato come sistema TN.

In particolare, quanto segue intende evidenziare:

- la normativa tecnica utilizzata per il dimensionamento;
- i criteri di dimensionamento, tenendo conto dei vincoli impiantistici e della normativa vigente;
- i dati di ingresso;
- le verifiche ed i risultati di calcolo.

Si precisa che, allo stato attuale, l'impianto di terra di galleria è considerato separato rispetto all'impianto di terra di stazione.

Si evidenzia che la Norma CEI 0-16 prescrive che il dispersore unico, relativo all'impianto di rete presso l'utenza (eventualmente unico con il complessivo impianto d'utenza), deve essere progettato e realizzato a cura dell'Utente sulla base delle informazioni vincolanti fornite dal distributore. Il dimensionamento del dispersore deve essere effettuato dall'Utente sulla base del valore della corrente I_E (come definita nella Norma CEI 99-3) e del tempo di eliminazione del guasto. Il Distributore deve fornire all'Utente il valore della corrente di guasto monofase a terra I_F (come definita dalla CEI 99-3) ed il tempo di eliminazione del guasto.

Visto quanto sopra esposto ai fini della presente è stato considerato, ai fini del dimensionamento dell'impianto di terra, il valore di massima corrente di guasto a terra e relativo tempo di eliminazione del guasto comunicato dal Cliente

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna
Stazione Corelli – Relazione di calcolo Impianto di messa a terra	8_MTL2T1A1DIELSCOR003-0-1.DOCX

2. DENOMINAZIONI ED ABBREVIAZIONI

Vengono introdotte le seguenti abbreviazioni (in ordine alfabetico):

- ac Corrente alternata
- AD Azienda distributrice di energia elettrica (da confermare in fase esecutiva)
- BT Bassa Tensione in c.a. (400/230V)
- CEI Comitato Elettrotecnico Italiano
- MT Media Tensione in c.a.: nel caso specifico 22kV
- R_E resistenza di terra del dispersore
- U_E tensione totale di terra
- U_{TP} massima tensione di contatto effettiva ammessa dalle norme
- U_{SP} massima tensione di passo effettiva ammessa dalle norme
- V_L tensione limite di contatto in BT
- I_E corrente di guasto dispersa a terra
- t_f tempo di intervento delle protezioni
- I_{dn} corrente differenziale nominale
- ρ resistività del mezzo disperdente

Eventuali altri acronimi potranno essere introdotti solo dopo che siano stati definiti, tra parentesi, accanto alla definizione estesa del proprio significato.

Saranno inoltre utilizzati i seguenti termini:

Dispersore o impianto di terra primario: insieme di conduttori in contatto elettrico diretto con il terreno o annegati nel calcestruzzo a contatto con il terreno.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna
Stazione Corelli – Relazione di calcolo Impianto di messa a terra	8_MTL2T1A1DIELSCOR003-0-1.DOCX

Impianto di terra secondario: insieme di conduttori comprendente:

- conduttori di protezione (ai sensi della Norma CEI 99-2, 99-3 e CEI 64-8): conduttori che collegano le masse di apparecchiature ad un collettore di terra ai fini della protezione contro i contatti indiretti;
- collettore principale di terra (ai sensi della Norma CEI 64-8): elemento a cui fanno capo i diversi conduttori di protezione, i conduttori equipotenziali principali, i conduttori di terra ed i conduttori di terra funzionali. Il collettore di terra è collegato al dispersore con uno o più conduttori di terra;
- conduttori di terra (ai sensi della Norma CEI 99-2 e 99-3): conduttori, non in contatto col terreno, che collegano parti dell'impianto (neutri dei sistemi elettrici, masse di apparecchiature e collettori di terra) direttamente al dispersore oppure conduttori, non in contatto col terreno, che collegano tra loro due dispersori;
- conduttori di terra (ai sensi della Norma CEI 64-8): conduttori, non in contatto col terreno, che collegano il collettore (o nodo) al dispersore oppure conduttori, non in contatto col terreno, che collegano tra loro due dispersori;
- conduttori equipotenziali (ai sensi della Norma CEI 99-3 e CEI 64-8): conduttore di protezione che mette diverse masse e masse estranee al medesimo potenziale (funzione di collegamento equipotenziale).

3. LEGGI e NORME di RIFERIMENTO

Nel seguito vengono elencati i principali riferimenti legislativi e normativi che sono stati considerati nello sviluppo del presente progetto:

Norma CEI 99-2 (CEI EN 61936-1:2014) Impianti elettrici con tensione superiore a 1 kV in c.a. – Parte 1: Prescrizioni comuni

Norma CEI 99-3 (CEI EN 50522:2011) Messa a terra degli impianti elettrici a tensione superiore a 1 kV

Guida CEI 99-5 agosto 2015 – Guida per l'esecuzione degli impianti di terra delle utenze attive e passive connesse ai sistemi di distribuzione con tensione superiore a 1kV in c.a.

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 0-16: Regola tecnica di riferimento per la connessione di Utenti attivi e passivi alle reti AT ed MT delle imprese distributrici di energia elettrica

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna
Stazione Corelli – Relazione di calcolo Impianto di messa a terra	8_MTL2T1A1DIELSCOR003-0-1.DOCX

4. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO DI TERRA

4.1 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 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.

4.2 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 di terra collocato al piano sottobanchina realizzato in cavo isolato tipo FG17 sezione 120 mm²
 - 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

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna
Stazione Corelli – Relazione di calcolo Impianto di messa a terra	8_MTL2T1A1DIELSCOR003-0-1.DOCX

- 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
- 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 alloggiavano 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 costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna
Stazione Corelli – Relazione di calcolo Impianto di messa a terra	8_MTL2T1A1DIELSCOR003-0-1.DOCX

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".

4.2.1 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 costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna
Stazione Corelli – Relazione di calcolo Impianto di messa a terra	8_MTL2T1A1DIELSCOR003-0-1.DOCX

4.3 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.

4.4 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.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna
Stazione Corelli – Relazione di calcolo Impianto di messa a terra	8_MTL2T1A1DIELSCOR003-0-1.DOCX

4.5 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:

- 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 per le verifiche periodiche dell'impianto di terra (ambito impianti di sistema)

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna
Stazione Corelli – Relazione di calcolo Impianto di messa a terra	8_MTL2T1A1DIELSCOR003-0-1.DOCX

5. DISPERSORE

5.1 Requisiti dell'impianto con riferimento alle sollecitazioni meccaniche, alla corrosione ed alle sollecitazioni termiche

Per quanto riguarda la resistenza meccanica, la resistenza alla corrosione, e la resistenza alle sollecitazioni termiche, la Norma CEI 99-3 raccomanda di adottare per il dispersore le dimensioni minime riportate nella tabella seguente:

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 ⁽⁴⁾	25			
		Tubo	20		2		
	stagnato	Corda	1,8 ⁽⁴⁾	25		1	5
	zincato	Piattina		50	2	20	40
	con guaina di piombo ⁽¹⁾	Corda	1,8 ⁽⁴⁾	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.

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

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna
Stazione Corelli – Relazione di calcolo Impianto di messa a terra	8_MTL2T1A1DIELSCOR003-0-1.DOCX

5.2 Requisiti dell'impianto con riferimento alle tensioni di contatto e di passo

L'impianto di terra disperdente, nei confronti della sicurezza delle persone, è da considerarsi correttamente dimensionato se in caso di guasto, lato MT, si verifica una delle due seguenti condizioni:

- a) la tensione totale di terra U_E risulta inferiore al limite ammesso per le tensioni di contatto U_{TP} :

dove:

$$U_E = R_E \cdot I_E \leq U_{TP}$$

I_E [A]: è la corrente di guasto a terra;

R_E [Ω]: è la resistenza di terra del dispersore

U_{TP} [V]: valore fornito dalla figura 4 della Norma CEI 99-3 in funzione della durata di guasto a terra (vedi figura sotto)

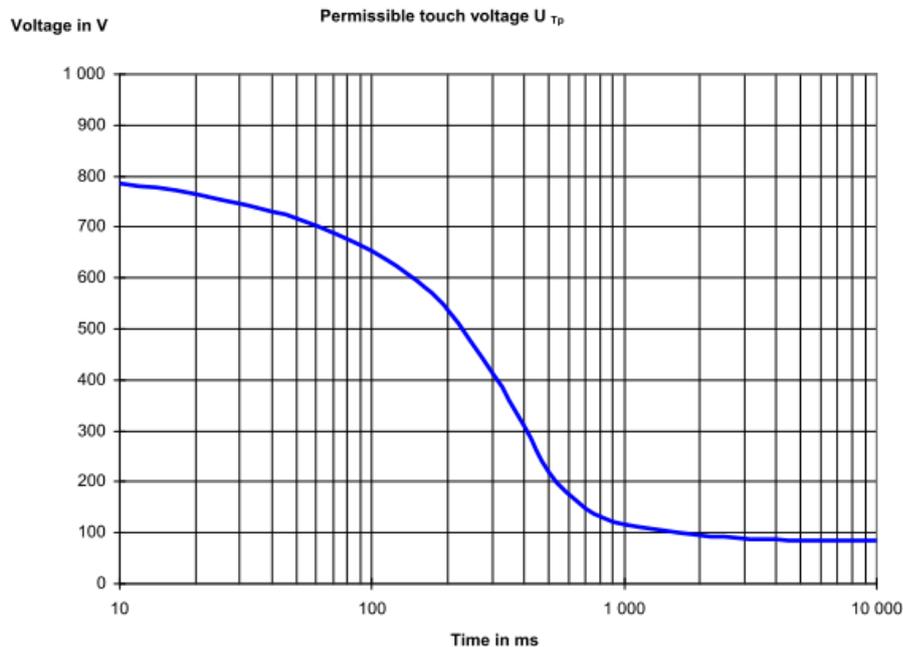


Figura 1: Massima tensione di contatto ammissibile

- b) oppure nel caso in cui la condizione a) non fosse verificata, le tensioni di contatto (U_T) e di passo (U_S) risultano inferiori a:

$$U_T \leq U_{TP}$$

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna
Stazione Corelli – Relazione di calcolo Impianto di messa a terra	8_MTL2T1A1DIELSCOR003-0-1.DOCX

$$U_s \leq U_{SP} = 3 \cdot U_{TP}$$

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).

I calcoli saranno eseguiti, in questa fase progettuale ed in ragione di quanto esposto al cap. 1 della presente, sulla base di valori tipici per le reti in media tensione, di seguito riportati. Tali valori, validi rispettivamente per reti a neutro compensato o neutro isolato, tengono conto dei possibili guasti a monte dell'interruttore generale di utente (Dispositivo Generale), rilevati dalle protezioni del Distributore.

Regime di neutro	I_E [A]	t_f [s]
neutro compensato	75	10

Si precisa che un'ulteriore verifica dovrà essere eseguita sulla base dei reali valori che saranno comunicati dal Distributore in relazione alle caratteristiche della rete MT, dello stato del neutro della rete MT e delle relative protezioni.

Noti i tempi di eliminazione del guasto, dalla figura 4 della Norma CEI 99-3 si possono determinare i valori di U_{TP} (limite massimo per la tensione di contatto ammessa)

I valori di tensione di passo limite U_{SP} non sono considerati dallo Standard poiché si assume che, se nel sistema disperdente le tensioni di contatto risultano inferiori ai suddetti limiti, non risulta presente alcuna tensione di passo pericolosa.

Nelle normative proprie di alcuni paesi europei viene comunque specificata una modalità per determinare le tensioni limite di passo ovvero $U_{SP} = 3U_{TP}$

Con riferimento ai tempi di eliminazione del guasto riportati precedentemente, i limiti delle tensioni di contatto e di passo assumono i seguenti valori:

Regime di neutro	U_{TP} [V]	U_{SP} [V]
neutro compensato	≈ 85	≈ 255

5.3 Verifica meccanica e termica dell'impianto di terra disperdente

Per quanto concerne il comportamento meccanico e termico del dispersore i requisiti di progetto sopra indicati risultano soddisfatti in quanto per la cabina MT/BT si prevede un dispersore costituito da:

tondo in acciaio zincato diametro 12mm a realizzare una maglia di 100x100cm posata nel terreno vegetale sotto il piano di fondazione

La profondità di posa del dispersore non dovrà essere inferiore a 0,5 m.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna
Stazione Corelli – Relazione di calcolo Impianto di messa a terra	8_MTL2T1A1DIELSCOR003-0-1.DOCX

5.4 Verifica del dispersore nei confronti delle tensioni di contatto e di passo

La verifica dell'impianto di terra disperdente, nei confronti della sicurezza delle persone, è stata condotta a partire dalla simulazione dell'impianto disperdente con apposito software per il calcolo della resistenza dell'impianto di terra.

5.4.1 Dati in ingresso

I dati necessari per la verifica sono i seguenti:

- dati fisici: caratteristiche del mezzo disperdente (resistività del terreno);
- dati geometrici: geometria del dispersore (ovvero la geometria da verificare);
- dati elettrici: corrente di guasto monofase a terra (IE) e tempo di intervento delle protezioni (tf);
- valori massimi di tensioni di contatto e di passo ammessi dalla norma CEI 99-3.

5.4.2 Resistività del terreno

Le prestazioni di un impianto di terra dipendono in massima parte dalla resistività del mezzo disperdente (parametro all'aumentare del quale lo stesso dispersore può risultare sovradimensionato, idoneo oppure insufficiente).

In generale non è possibile assegnare al mezzo disperdente un solo valore di resistività: la resistività risulta solitamente variabile da punto a punto e pertanto esprimibile in modo compiuto solamente mediante una funzione puntuale. La determinazione di tale funzione all'atto pratico non risulta possibile.

A causa della sua natura elettrolitica, la resistività del suolo è ovviamente influenzata dal contenuto di umidità, dalla temperatura e dal contenuto di sali, acidi e basi.

È evidente comunque che l'umidità, la temperatura e la composizione del suolo in superficie possono variare notevolmente a causa di eventi atmosferici e climatici o a causa di interventi umani.

Quindi, per evitare che modifiche superficiali delle caratteristiche del suolo influiscano macroscopicamente sulle caratteristiche del dispersore sottostante, è consigliabile un interrimento del dispersore a profondità non inferiore a 500 mm in località con clima temperato, fino a 1000 m ed oltre per climi più freddi.

Come ordini di grandezza si possono comunque avere:

- terreni organici: $\rho=10$ [Ωm]
- terreni umidi: $\rho=100$ [Ωm]
- terreni secchi: $\rho=1.000$ [Ωm]
- terreni rocciosi: $\rho=10.000$ [Ωm]

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna
Stazione Corelli – Relazione di calcolo Impianto di messa a terra	8_MTL2T1A1DIELSCOR003-0-1.DOCX

In particolare, qual dati di riferimento, si possono considerare i seguenti valori:

- argille leggere: $\rho=5$ [Ωm]
- argille normali: $\rho=10$ [Ωm]
- marne: $\rho=20$ [Ωm]
- crete, calcari porosi: $\rho=50$ [Ωm]
- terra vegetale mista pietre: $\rho=50$ [Ωm]
- gres porosi, scisti porosi: $\rho=100$ [Ωm]
- calcari compatti, marmi: $\rho=350$ [Ωm]
- ardesie argillose: $\rho=1.000$ [Ωm]
- sabbia, ciottoli: $\rho=1.000$ [Ωm]
- graniti: $\rho=2.000$ [Ωm]

Nei confronti delle correnti alternate a frequenza industriale più utilizzate (50 - 60 Hz) ed ovviamente nei confronti delle correnti continue, il terreno con ottima approssimazione può considerarsi come un mezzo puramente resistivo (tale approssimazione può estendersi fino a circa 1 kHz). In tale ambito pertanto, ogni fenomeno capacitivo ed induttivo legato agli eventi elettrici di un dispersore di terra può essere trascurato. Inoltre, almeno fino a densità di corrente di 200 A/m² che perdurino per tempi inferiori ad 1 s, i fenomeni di evaporazione dell'umidità contenuta nel terreno possono essere ritenuti trascurabili e, quindi, la resistività del terreno può essere ritenuta indipendente dalla densità di corrente stessa. Trattasi di densità di corrente in pratica difficilmente raggiungibili anche nelle immediate prossimità degli elementi disperdenti, per cui, con ottima approssimazione, il terreno può essere ritenuto mezzo lineare anche nei confronti della densità di corrente.

Infine, la resistività del suolo, fino a limiti che sono ben al di sopra degli intervalli di interesse pratico nell'ambito dello studio degli impianti di terra, non viene influenzata dal gradiente del potenziale (limiti dell'ordine del [kV/cm]). Pertanto, nei confronti del gradiente di potenziale il suolo può essere considerato un mezzo lineare. La determinazione della resistività del mezzo disperdente può essere condotta con diverse tecniche: la maggiormente utilizzata è quella proposta da Wenner (eventualmente nella variante di Schlumberger-Palmer).

5.4.3 Geometria dei dispersori

Il layout dei dispersori è definito a partire dai dati dimensionali dei diversi elettrodi presenti nel volume di suolo da analizzare.

A tal proposito si definiscono come:

- “Sistema disperdente”: insieme di più Elettrodi, indipendenti o tra loro elettricamente connessi.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna
Stazione Corelli – Relazione di calcolo Impianto di messa a terra	8_MTL2T1A1DIELSCOR003-0-1.DOCX

- “Elettrodo”: insieme di Conduttori, tra loro equipotenziali, posti nel mezzo disperdente ovvero nel terreno.
- “Conduttore”: insieme di Elementi
- “Elemento”: costituito da un cilindro metallico, lungo e sottile, ovvero caratterizzato da dimensione longitudinale “l” nettamente maggiore della dimensione trasversale “D”.

L'elemento dispersore è tipicamente realizzato con materiale (rame o ferro) avente resistività che si differenzia, da quella del mezzo in cui si trova immerso, di alcuni ordini di grandezza.

Si può pertanto ritenere che il potenziale elettrico u sia costante su tutta la superficie dell'Elemento stesso.

Se l'elemento è massiccio, nelle condizioni di cui sopra il potenziale u è praticamente costante anche al suo interno, la componente resistiva del dispersore in sé è pertanto trascurabile.

La resistenza verso il mezzo disperdente di un Elemento con le suddette caratteristiche, dipende in definitiva oltre che dal fattore di mezzo (ovvero la resistività del suolo) solo dalla sua superficie esterna e dal suo fattore di forma (ovvero k_f) che per elementi lineari cilindrici aventi lunghezza l nettamente preponderante sul diametro D vale:

$$k_f = \frac{1}{2\pi} \left[\ln \left(\frac{4l}{D} \right) - 1 \right]$$

Con queste ipotesi, si può affermare che elementi geometricamente uguali, anche se non pieni, sono caratterizzati dallo stesso fattore di forma.

Il fatto che il dispersore sia o meno massiccio interessa solo ai fini del suo dimensionamento termico e meccanico.

Nella pratica impiantistica è usuale l'utilizzo, oltre che di Elementi disperdenti in corda o tondino, anche di piattine e cioè elementi rettilinei aventi due delle dimensioni (lunghezza e larghezza), nettamente prevalenti sulla terza (e cioè sullo spessore).

In generale, ogni elemento rettilineo avente una dimensione nettamente preponderante sulle altre due può essere ridotto ad un elemento cilindrico, tramite la determinazione del suo diametro equivalente, e cioè di quel particolare diametro che, assegnato ad un elemento cilindrico di pari lunghezza, ne rende la resistenza verso un mezzo omogeneo isotropo lineare indefinito uguale alla resistenza dell'Elemento rettilineo nelle stesse condizioni.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna
Stazione Corelli – Relazione di calcolo Impianto di messa a terra	8_MTL2T1A1DIELSCOR003-0-1.DOCX

6. IMPIANTO DI TERRA SECONDARIO (O IMPIANTO DI TERRA INTERNO)

6.1 Generalità

All'interno della cabina, tutte le parti metalliche accessibili delle macchine, delle apparecchiature e della struttura, suscettibili di entrare in contatto con elementi in tensione in seguito a guasti o di introdurre il potenziale di terra, devono essere collegate al dispersore o al collettore di terra, normalmente per mezzo di conduttori di terra. A queste connessioni realizzate ai fini della sicurezza, si aggiungono i collegamenti di tipo funzionale quale, ad esempio, la messa a terra del neutro sul lato BT dei trasformatori.

Il nodo di terra (collettore) può essere sostituito da un anello equipotenziale montato sulle pareti interne di cabina, con la funzione di agevolare il collegamento a terra delle apparecchiature.

La figura seguente rappresenta alcuni esempi tipici di collegamenti al collettore.

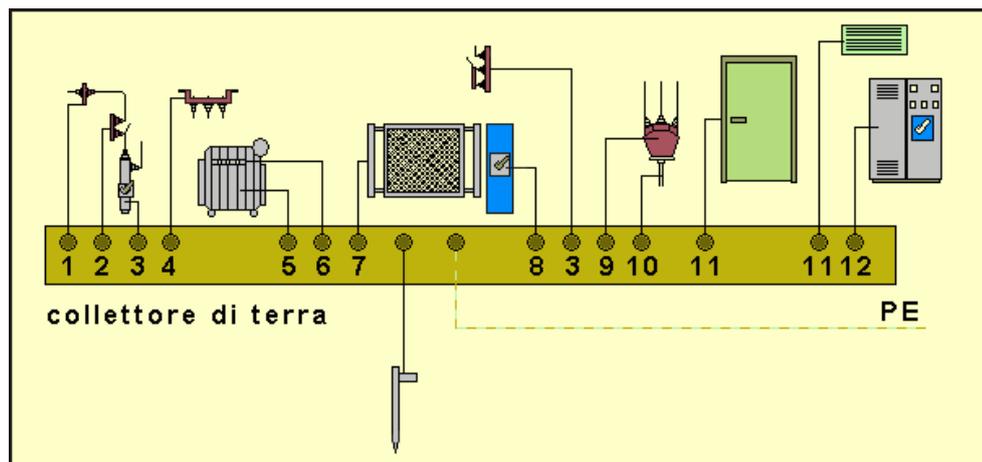


Figura 11 – Esempi di collegamenti a terra in cabina

1. cornici, telai e flange degli isolatori passanti
2. intelaiature e supporti di ogni tipo di isolatore
3. intelaiature dei sezionatori, dei portafusibili e degli interruttori
4. involucri e supporti metallici dell'interruttore automatico MT e di ogni altro apparecchio di controllo e misura
5. massa del trasformatore (da dimensionare in funzione della corrente di guasto sul lato BT)
6. morsetto del neutro del lato BT del trasformatore (da dimensionare in funzione della corrente di guasto sul lato BT)
7. ripari metallici e le relative incastellature
8. organi di comando manuale di interruttori e sezionatori
9. muffole metalliche
10. schermi metallici dei cavi MT
11. intelaiature metalliche di porte, finestre e griglie di aerazione
12. armadi metallici delle cabine prefabbricate o altri involucri contenenti apparecchiature MT o BT (per gli armadi contenenti apparecchiature in BT dimensionare in funzione della corrente di guasto in BT)

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna
Stazione Corelli – Relazione di calcolo Impianto di messa a terra	8_MTL2T1A1DIELSCOR003-0-1.DOCX

Con riferimento alla figura seguente e alle definizioni riportate in precedenza (conduttori di terra, conduttori di protezione e conduttori equipotenziali), 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;
- 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).

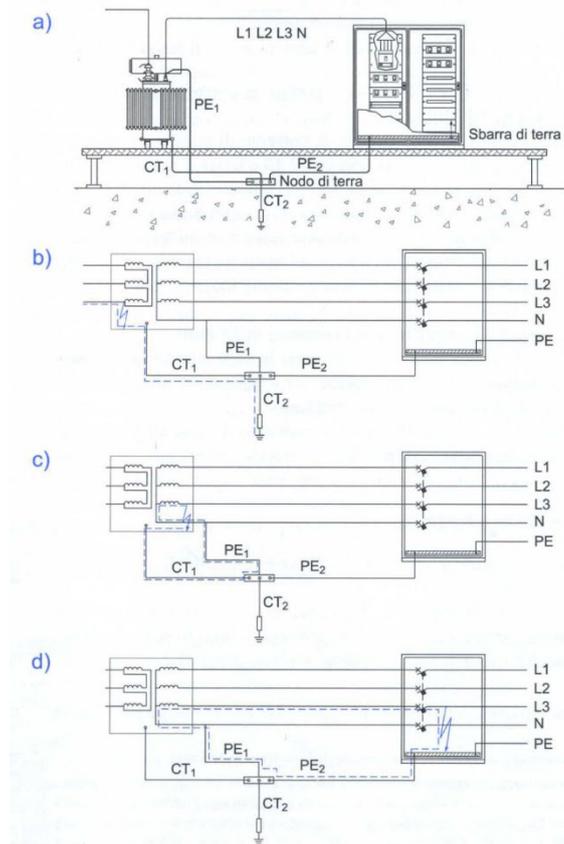


Figura 12 - Collegamenti a terra in cabina

Tali conduttori vanno dimensionati verificando la loro “tenuta termica” nei confronti della corrente di guasto a terra che sono chiamati a condurre verso l’impianto disperdente verificando inoltre che le sezioni così risultanti siano superiori alle sezioni minime ammesse.

6.2 Sezioni minime

Per quanto concerne i conduttori di terra ed i conduttori equipotenziali a Norma CEI 99-3 prescrive le seguenti sezioni minime:

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna
Stazione Corelli – Relazione di calcolo Impianto di messa a terra	8_MTL2T1A1DIELSCOR003-0-1.DOCX

- rame: 16 mm²;
- alluminio: 35 mm²;
- acciaio: 50 mm²

6.3 Dimensionamento dell'impianto con riferimento alle sollecitazioni termiche

I valori minimi indicati nei paragrafi precedenti possono risultare inutilmente onerosi come, ad esempio, nel caso di conduttori di fase di grossa sezione. In tali casi, fatte salve le sezioni minime indicate, la sezione dei conduttori di terra può essere calcolata con la formula dell'integrale di Joule che garantisce la "tenuta termica" del conduttore:

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

- rame: $K = 226 \text{ (As}^{1/2}\text{mm}^{-2}\text{)}$, $\beta = 234,5 \text{ (}^\circ\text{C)}$
- acciaio: $K = 78 \text{ (As}^{1/2}\text{mm}^{-2}\text{)}$, $\beta = 202 \text{ (}^\circ\text{C)}$
- alluminio: $K = 148 \text{ (As}^{1/2}\text{mm}^{-2}\text{)}$, $\beta = 228 \text{ (}^\circ\text{C)}$

La formula suddetta può essere così semplificata:

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

in cui K_t è funzione del tipo di materiale e delle temperature iniziali e finali del conduttore.

Con riferimento alla figura 12, a seconda delle tipologie di guasto che interessano i diversi tipi di conduttori, i parametri I e t assumono i valori nel seguito descritti:

- CT1 + CT2: sono interessati dalla corrente di guasto a terra in media tensione (Figura 12-b): 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 12-c): 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 12-d): 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)

Ciascun conduttore deve essere verificato nella condizione più gravosa.

Il conduttore di collegamento a terra degli schermi dei cavi MT può essere dimensionato sulla base della sezione degli schermi stessi. Tuttavia si assume, prudenzialmente, una sezione pari a 25 mm².

Il conduttore PE1, può anche essere scelto sulla base della regola convenzionale indicata dalla CEI 64-8, che prevede una sezione pari alla metà della sezione del conduttore di fase (se di sezione maggiore a 35 mm²).

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna
Stazione Corelli – Relazione di calcolo Impianto di messa a terra	8_MTL2T1A1DIELSCOR003-0-1.DOCX

Tuttavia, specialmente quando le potenze (e quindi le sezioni) in gioco sono elevate, è preferibile ricorrere al dimensionamento in base all'integrale di Joule.

I risultati del dimensionamento dei conduttori di terra e di protezione, ottenuti tramite foglio di calcolo basato sulle formule e considerazioni qui esposte, sono riportati in Allegato 1.

7. CONSIDERAZIONI AGGIUNTIVE

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 di progetto adottate ed i calcoli eseguiti nel presente progetto dovranno essere verificati in corso d'opera mediante misure di resistenza di terra e, qualora necessario, di tensioni di contatto e di passo.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna
Stazione Corelli – Relazione di calcolo Impianto di messa a terra	8_MTL2T1A1DIELSCOR003-0-1.DOCX

ALLEGATO N.1

Nella presente sezione vengono illustrati i calcoli di verifica dell'impianto di terra della cabina, secondo le modalità descritte nella relazione di calcolo. In particolare i calcoli eseguiti riguardano:

- verifica del dispersore (impianto di terra esterno): calcolo della tensione totale di terra UE e confronto con il limite ammesso per le tensioni di contatto UTP. Qualora necessario sarà effettuata la verifica delle tensioni di contatto e passo;
- impianto di terra interno: dimensionamento termico dei principali conduttori.

VERIFICA DISPERSORE

L'ipotesi di partenza per la verifica del dispersore di stazione è l'utilizzo di una maglia di terra, posta sotto la platea di fondazione, costituita da conduttori in ferro di diametro 12mm saldati tra loro a formare una maglia di lato 100x100cm con ulteriori collegamenti equipotenziali (conduttori di protezione per i quadri e le relative utenze), realizzati con conduttori in rame nudo di sezione 95 mm².

La profondità di interramento prevista è di 1m.

Ipotizzando un terreno di resistività pari a 400Ohm/m, dato di input, e con un dispersore a maglia con le caratteristiche sopra riportate si ottiene un valore di resistenza di terra pari a circa $R_t=3.33$ Ohm.

Resistenza di terra dei dispersori					
TIPO DI DISPERSORE	RESISTIVITA' TERRENO Ru (ohm*m)	a (m)	b (m)	L (m)	RISULTATO Rt (ohm)
PIASTRA	400	< > 3,00	< > 4,000		51,166
PICCHETTO Φ 12	400			1,5	266,667
PICCHETTO Φ 18	400			1,5	253,333
CONDUTTORE ORIZZONTALE	400			< > 101	7,921
ANELLO	400	< > 21	< > 27		12,500
MAGLIA	400	< > 90	< > 30		3,333

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna
Stazione Corelli – Relazione di calcolo Impianto di messa a terra	8_MTL2T1A1DIELSCOR003-0-1.DOCX

Si prevedono inoltre collegamenti ai dispersori di fatto costituiti dai ferri d'armatura dei cementi armati. Per la valutazione approssimativa del contributo dei dispersori di fatto si è fatto riferimento alla guida CEI 64-12. Sono state pertanto considerate le paratie di contenimento assimilandole a dispersori a maglia.

Il valore di resistività del cemento ricavabile da tabelle è stato assunto pari a 300 Ohm/m; il valore di resistenza ottenuto è pari a $R_t=3.33$ Ohm

Resistenza di terra dei dispersori					
TIPO DI DISPERSORE	RESISTIVITA' TERRENO R_u (ohm*m)	a (m)	b (m)	L (m)	RISULTATO R_t (ohm)
PIASTRA	300	3,00	4,000		38,375
PICCHETTO Φ 12	300			1,5	200,000
PICCHETTO Φ 18	300			1,5	190,000
CONDUTTORE ORIZZONTALE	300			101	5,941
ANELLO	300	75	19		4,787
MAGLIA	300	80	10		3,333

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna
Stazione Corelli – Relazione di calcolo Impianto di messa a terra	8_MTL2T1A1DIELSCOR003-0-1.DOCX

La resistenza del dispersore equivalente dei tre dispersori in parallelo di pari resistenza può essere approssimata a $R_t = R_d / 3 = 3.33 / 3 = 1.11 \text{ Ohm}$

Per le cabine sono stati esaminati i seguenti casi di studio:

- rete MT a neutro compensato con i valori forniti preliminarmente dal Distributore e soggetti a verifica in fase esecutiva;

I calcoli saranno eseguiti sulla base del valore comunicato per la rete in media tensione, di seguito riportati. Tali valori, validi rispettivamente per reti a neutro compensato o neutro isolato, tengono conto dei possibili guasti a monte dell'interruttore generale di utente (Dispositivo Generale), rilevati dalle protezioni del Distributore.

	I_E [A]	t_f [s]
neutro compensato	75	10

Con riferimento ai valori sopra riportati, i limiti delle tensioni di contatto e di passo ammessi dalla Norma CEI99-3 assumono i seguenti valori:

	U_{tp} [V]	U_{sp} [V]
neutro compensato	≈ 85	≈ 255

Ribadendo quanto indicato nella relazione di calcolo, dovrà tuttavia essere eseguita una ulteriore verifica sulla base dei reali valori che saranno comunicati dal Distributore in relazione alle caratteristiche della rete MT e delle relative protezioni.

Come descritto in precedenza, il modello del dispersore costituito dalla maglia di terra posta al di sotto dell'area di cabina, è integrato con gli ulteriori elettrodi, rappresentativi dei collegamenti equipotenziali in galleria, posti lungo i percorsi dei cavidotti su entrambi i lati.

Inoltre si segnala che, nel calcolo della resistenza dell'impianto, non sono stati considerati, cautelativamente, i dispersori di fatto (rete elettrosaldata di fondazione, ecc..) aventi effetti migliorativi, ovvero nel senso della sicurezza.

Nei paragrafi che seguono si riportano, per i diversi casi di studio, i risultati dei calcoli.

In particolare, con riferimento alla relazione di calcolo, qualora la tensione totale di terra sia superiore ai limiti ammessi per le tensioni di contatto e di passo è necessario verificare che le massime tensioni di contatto e di passo non superino i limiti ammessi in corrispondenza delle masse.

In ogni caso sarà necessario effettuare delle misure delle tensioni di contatto per confermare il rispetto dei limiti ammessi nelle reali condizioni.

Deve essere tenuto presente che il dimensionamento della rete di terra pur con ipotesi conservative (sulle correnti di guasto e sulla resistività del suolo) non è sostitutivo delle misure delle tensioni di contatto e di passo che devono comunque essere effettuate in accordo con le normative quando l'impianto è completato.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna
Stazione Corelli – Relazione di calcolo Impianto di messa a terra	8_MTL2T1A1DIELSCOR003-0-1.DOCX

Con rete a neutro compensato:

$$I_E = 75 \text{ A}$$

$$t_f = 10 \text{ s}$$

I risultati sono di seguito riportati:

Neutro compensato	
R_E [Ω]	1.11
U_E [V]	83.3
U_{tp} [V]	85
U_{sp} [V]	255

La tensione totale di terra U_E è inferiore ai limiti imposti dalla Norma CEI 99-3 per le tensioni di contatto (U_{tp}), tuttavia, visto il che valore calcolato è molto vicino al valore limite, dovranno essere verificati ad impianto finito i risultati delle misure delle tensioni di contatto e di passo per verificarne l'accettabilità.

Di seguito, se necessarie per raggiungere le condizioni richieste per le tensioni di contatto e di passo, possono essere adottate misure integrative

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna
Stazione Corelli – Relazione di calcolo Impianto di messa a terra	8_MTL2T1A1DIELSCOR003-0-1.DOCX

DIMENSIONAMENTO IMPIANTO INTERNO

Si riportano di seguito i calcoli di dimensionamento dei principali conduttori di terra e di protezione che compongono l'impianto di terra all'interno della cabina.

Funzionamento da rete			
Dati di ingresso			
Trasformatore MT/BT			
Tensione nominale primario V1n [V]	20.000		
Tensione nominale secondario V2n [V]	400		
Potenza nominale [kVA]	1.250		
Impedenza di c.to c.to [%]	6,00		
Zcc [ohm]	0,0096		
Corrente di guasto trifase I _k [A]	31000		
Dati impianto			
Impedenza cavo trasformatore-QBT [ohm]	-		
Tipo Conduttore CT1 (Kt)	FS17		
Tipo Conduttore CT2 (Kt)	FS17		
Tipo Conduttore PE1 (Kt)	FS17		
Tipo Conduttore PE2 (Kt)	FS17		
Guasto a terra lato MT			
Corrente di doppio guasto a terra lato MT [A] con rete	11.500,00		
Tempo di intervento della protezione [s]	0,25	(1)	
Sezione calcolata	$11500 \cdot \sqrt{0.25/143}$		
Guasto fase-terra lato bt a monte del quadro BT			
Corrente di guasto a terra lato bt [A]	31.000		
Corrente di guasto lato bt trasferita lato MT [A]	407,41		
Tempo di intervento della protezione MT [s] (eliminazione del guasto)	0,50	(2)	
	$31000 \cdot \sqrt{0.5/143}$		
Guasto fase-terra a valle del quadro BT			
Corrente di guasto a valle dell'interruttore generale [A]	26.461,89		
Tempo di intervento della protezione [s]	0,10	(3)	
I ² t	$31000^2 \cdot 3 \cdot \sqrt{0.1/143}$		

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto costruttivo 1 Rebaudengo-Bologna
Stazione Corelli – Relazione di calcolo Impianto di messa a terra	8_MTL2T1A1DIELSCOR003-0-1.DOCX

Calcolo sezioni	Sezione [mm ²]		
Carcassa TR-Collettore (CT1)	153		
Collettore-Dispersore (CT2)	56.8		
Neutro-Collettore (PE1)	153		
Quadro bt-Collettore (PE2)	206		
Carcassa QMT - Collettore	56.8		

Sezioni commerciali scelte		Verifica	Commenti
Carcassa TR-Collettore (CT1)	240,00	OK	Collegamento all'anello equipotenziale
Collettore-Dispersore (CT2)	70,00	OK	
Neutro-Collettore (PE1)	240,00	OK	Collegamento diretto al collettore
Quadri bt (e secondari)-Collettore (PE2)	240,00	OK	Collegamento all'anello equipotenziale
Carcassa QMT - Collettore	70,00	OK	Collegamento all'anello equipotenziale
Collegamento equipotenziale (ferri, fondazioni, rete elettrosaldata ecc.)	25,00		Sezione convenzionale
Collegamento schermi cavi MT	25,00		Sezione convenzionale