

**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 Generale: Politecnico - Rebaudengo**

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 – ELABORATI GENERALI – IMPIANTI ELETTRICI DI MESSA A TERRA – GALLERIA, POZZI E MANUFATTI -RELAZIONE TECNICA E CALCOLI DIMENSIONAMENTO												
		ELABORATO								REV.		SCALA	DATA	
		MT	L2	T1	A0	D	IEL	G00	R	003	Int.	Est.	-	07/05/2023
BIM MANAGER Geom. L. D'Accardi											0	1	-	

AGGIORNAMENTI

Fg.1 di 21


REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO	VISTO
0	EMISSIONE	05/05/23	GSC	FAZ	FAZ	RCR
1	Emissione finale a seguito di verifica preventiva	07/05/23	GSC	FAZ	FAZ	RCR
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-

<table border="1"> <tr> <td>LOTTO 0</td> <td>CARTELLA</td> <td>12.1</td> <td>11</td> <td>MTL2T1A0D</td> <td>IELSG00R003</td> </tr> </table>						LOTTO 0	CARTELLA	12.1	11	MTL2T1A0D	IELSG00R003	<p align="center">STAZIONE APPALTANTE</p> <p align="center">DIRETTORE DI DIVISIONE INFRASTRUTTURE E MOBILITÀ Ing. R. Bertasio</p> <p align="center">RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO Ing. A. Strozzi</p>					
LOTTO 0	CARTELLA	12.1	11	MTL2T1A0D	IELSG00R003												

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Generale Politecnico - Rebaudengo
Impianti non di sistema – Elaborati Generali – Impianti elettrici di Messa a terra – Galleria, Pozzi e Manufatti – Relazione tecnica e calcoli di dimensionamento	11_MTL2T1A0DIELG00R003-0-1.DOCX

INDICE

1.	PREMESSA	3
2.	DENOMINAZIONI ED ABBREVIAZIONI	4
3.	LEGGI E NORME DI RIFERIMENTO	5
4.	DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO DI TERRA	5
4.1	GALLERIE	5
4.2	POZZI	6
4.3	MANUFATTI	6
5.	DISPERSORE	8
5.1	REQUISITI DELL'IMPIANTO CON RIFERIMENTO ALLE SOLLECITAZIONI MECCANICHE, ALLA CORROSIONE ED ALLE SOLLECITAZIONI TERMICHE	8
5.2	REQUISITI DELL'IMPIANTO CON RIFERIMENTO ALLE TENSIONI DI CONTATTO E DI PASSO	9
5.3	VERIFICA MECCANICA E TERMICA DELL'IMPIANTO DI TERRA DISPERDENTE	11
5.4	VERIFICA DEL DISPERSORE NEI CONFRONTI DELLE TENSIONI DI CONTATTO E DI PASSO	11
5.4.1	DATI IN INGRESSO	11
5.4.2	RESISTIVITÀ DEL TERRENO	11
5.4.3	GEOMETRIA DEI DISPERSORI	13
6.	IMPIANTO DI TERRA SECONDARIO (O IMPIANTO DI TERRA INTERNO)	15
6.1	GENERALITÀ	15
6.2	SEZIONI MINIME	17
6.3	DIMENSIONAMENTO DELL'IMPIANTO CON RIFERIMENTO ALLE SOLLECITAZIONI TERMICHE	17
7.	CONSIDERAZIONI AGGIUNTIVE	18
8.	ALLEGATO N.1	19

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Generale Politecnico - Rebaudengo
Impianti non di sistema – Elaborati Generali – Impianti elettrici di Messa a terra – Galleria, Pozzi e Manufatti – Relazione tecnica e calcoli di dimensionamento	11_MTL2T1A0DIELG00R003-0-1.DOCX

1. PREMESSA

Il presente documento ha come oggetto il dimensionamento dell'impianto di terra (dispersore) di terra relativo al sistema di gallerie interstazionali ed ai manufatti (intesi come pozzi di ventilazione) della MM di Torino Linea 2

Nei casi 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 IE (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 IF (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 Generale Politecnico - Rebaudengo
Impianti non di sistema – Elaborati Generali – Impianti elettrici di Messa a terra – Galleria, Pozzi e Manufatti – Relazione tecnica e calcoli di dimensionamento	11_MTL2T1A0DIELG00R003-0-1.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.

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

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Generale Politecnico - Rebaudengo
Impianti non di sistema – Elaborati Generali – Impianti elettrici di Messa a terra – Galleria, Pozzi e Manufatti – Relazione tecnica e calcoli di dimensionamento	11_MTL2T1A0DIELG00R003-0-1.DOCX

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

4. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO DI TERRA

4.1 Gallerie

L'impianto di terra relativo ai tratti di Galleria, sia del tipo artificiale che in TBM e indipendentemente dalla sezione, avrà origine da collettori di terra, posti nei locali dei sottobanchine di ogni singola stazione.

Ogni collettore sarà connesso alla rete di terra magliata (1 mt x 1 mt), costituita da tondini di ferro d. 12 mm, posta al di sotto del magrone (platea della stazione, a mezzo di n. 2 corde dei rame da 120 mmq.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Generale Politecnico - Rebaudengo
Impianti non di sistema – Elaborati Generali – Impianti elettrici di Messa a terra – Galleria, Pozzi e Manufatti – Relazione tecnica e calcoli di dimensionamento	11_MTL2T1A0DIELG00R003-0-1.DOCX

Quindi, dalla rete magliata del solettone di ogni singola stazione, si deriveranno i collegamenti (n. 2 corde di FG17 di sezione 1 x 120 mmq) per:

- Rete di terra di galleria Lato Via 1
- Rete di terra di galleria Lato Via 2

In galleria, ogni pozzetto rompitratta sarà dotato di collettore di terra, derivato dalle montanti di galleria, ai quali andranno connesse le masse metalliche normalmente non in tensione, tubazioni, vie cavi metalliche,

4.2 Pozzi

L'impianto di terra relativo ad ogni singolo Pozzo avrà origine da collettori di terra, posti nei locali tecnici del Pozzo.

Ogni collettore sarà connesso alla rete di terra magliata (1 mt x 1 mt), costituita da tondini di ferro d. 12 mm, posta al di sotto del magrone (platea del pozzo, a mezzo di n. 2 corde dei rame da 120 mmq.

Inoltre con le stesse modalità, saranno connesse le magliature di terra, poste al di sotto dei pavimenti dei locali tecnici, a mezzo di n. 2 corde dei rame da 120 mmq.

Quindi, dalla rete magliata del solettone, si deriveranno i collegamenti (n. 2 corde di FG17 di sezione 1 x 120 mmq) per:


- Rete magliata del locale MT
- Collettore principale del locale MT
- Rete magliata del locale BT
- Collettore principale del locale BT

Dalla rete magliata di ogni singolo locale tecnico (Locali MT e Locali BT), saranno derivati i collettori secondari, che saranno interconnessi tra di loro e con i collettori secondari degli altri locali tecnici con annessi collettori perimetrali.

In ogni pozzo, ad ogni collettore di terra, derivato dalle montanti, andranno connesse le masse metalliche normalmente non in tensione, tubazioni, vie cavi metalliche ecc. ecc.


4.3 Manufatti

L'impianto di terra relativo ai tratti di Retrostazione (Bologna e Politecnico) e al Manufatto di bivio nord e ramo est avrà origine da collettori di terra, posti in prossimità dei manufatti.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Generale Politecnico - Rebaudengo
Impianti non di sistema – Elaborati Generali – Impianti elettrici di Messa a terra – Galleria, Pozzi e Manufatti – Relazione tecnica e calcoli di dimensionamento	11_MTL2T1A0DIELG00R003-0-1.DOCX

Ogni collettore di retrostazione, sarà derivato dai conduttori di terra di galleria, con n. 2 conduttori da 120 mmq, indipendentemente se posti su Via 1 e/o Via 2.

In ogni manufatto, ad ogni collettore di terra, derivato dalle montanti, andranno connesse le masse metalliche normalmente non in tensione, tubazioni, vie cavi metalliche ecc. ecc.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Generale Politecnico - Rebaudengo
Impianti non di sistema – Elaborati Generali – Impianti elettrici di Messa a terra – Galleria, Pozzi e Manufatti – Relazione tecnica e calcoli di dimensionamento	11_MTL2T1A0DIELG00R003-0-1.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 ^(*)	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.

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 Generale Politecnico - Rebaudengo
Impianti non di sistema – Elaborati Generali – Impianti elettrici di Messa a terra – Galleria, Pozzi e Manufatti – Relazione tecnica e calcoli di dimensionamento	11_MTL2T1A0DIELG00R003-0-1.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)

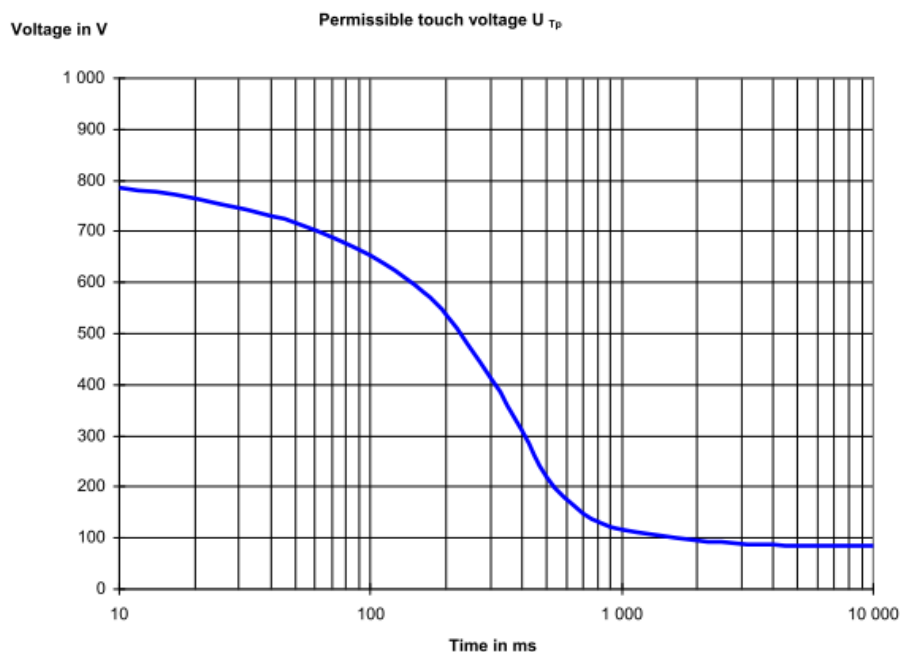


Figura 1: Massima tensione di contatto ammissibile

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Generale Politecnico - Rebaudengo
Impianti non di sistema – Elaborati Generali – Impianti elettrici di Messa a terra – Galleria, Pozzi e Manufatti – Relazione tecnica e calcoli di dimensionamento	11_MTL2T1A0DIELG00R003-0-1.DOCX

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

$$U_T \leq U_{TP}$$

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

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 (IE), e la durata del guasto stesso (tf).

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

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Generale Politecnico - Rebaudengo
Impianti non di sistema – Elaborati Generali – Impianti elettrici di Messa a terra – Galleria, Pozzi e Manufatti – Relazione tecnica e calcoli di dimensionamento	11_MTL2T1A0DIELG00R003-0-1.DOCX

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.

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.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Generale Politecnico - Rebaudengo
Impianti non di sistema – Elaborati Generali – Impianti elettrici di Messa a terra – Galleria, Pozzi e Manufatti – Relazione tecnica e calcoli di dimensionamento	11_MTL2T1A0DIELG00R003-0-1.DOCX

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]

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

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Generale Politecnico - Rebaudengo
Impianti non di sistema – Elaborati Generali – Impianti elettrici di Messa a terra – Galleria, Pozzi e Manufatti – Relazione tecnica e calcoli di dimensionamento	11_MTL2T1A0DIELG00R003-0-1.DOCX

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.
- "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

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Generale Politecnico - Rebaudengo
Impianti non di sistema – Elaborati Generali – Impianti elettrici di Messa a terra – Galleria, Pozzi e Manufatti – Relazione tecnica e calcoli di dimensionamento	11_MTL2T1A0DIELG00R003-0-1.DOCX

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 Generale Politecnico - Rebaudengo
Impianti non di sistema – Elaborati Generali – Impianti elettrici di Messa a terra – Galleria, Pozzi e Manufatti – Relazione tecnica e calcoli di dimensionamento	11_MTL2T1A0DIELG00R003-0-1.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.

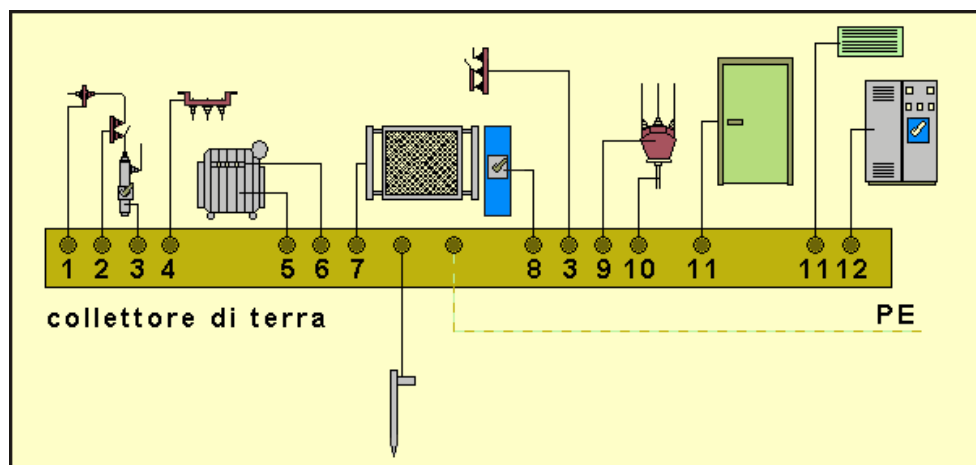



Figura 2 – Esempi di collegamenti a terra in cabina

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

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Generale Politecnico - Rebaudengo
Impianti non di sistema – Elaborati Generali – Impianti elettrici di Messa a terra – Galleria, Pozzi e Manufatti – Relazione tecnica e calcoli di dimensionamento	11_MTL2T1A0DIELG00R003-0-1.DOCX

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)

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).

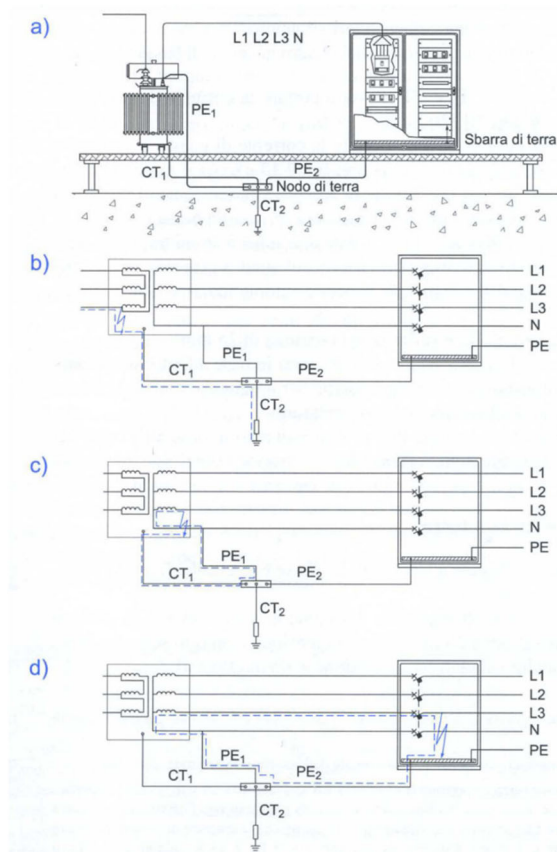



Figura 3 – - Collegamenti a terra in cabina

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.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Generale Politecnico - Rebaudengo
Impianti non di sistema – Elaborati Generali – Impianti elettrici di Messa a terra – Galleria, Pozzi e Manufatti – Relazione tecnica e calcoli di dimensionamento	11_MTL2T1A0DIELG00R003-0-1.DOCX

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:

- 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 Kt è funzione del tipo di materiale e delle temperature iniziali e finali del conduttore.

Con riferimento alla figura 3, a seconda delle tipologie di guasto che interessano i diversi tipi di conduttori, i parametri I e t assumono i valori nel seguito descritti:

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Generale Politecnico - Rebaudengo
Impianti non di sistema – Elaborati Generali – Impianti elettrici di Messa a terra – Galleria, Pozzi e Manufatti – Relazione tecnica e calcoli di dimensionamento	11_MTL2T1A0DIELG00R003-0-1.DOCX

- CT1 + CT2: sono interessati dalla corrente di guasto a terra in media tensione (Figura 3-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 3-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 3-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). 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 Generale Politecnico - Rebaudengo
Impianti non di sistema – Elaborati Generali – Impianti elettrici di Messa a terra – Galleria, Pozzi e Manufatti – Relazione tecnica e calcoli di dimensionamento	11_MTL2T1A0DIELG00R003-0-1.DOCX

8. 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 R_u (ohm*m)	a (m)	b (m)	L (m)	RISULTATO R_t (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

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.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Generale Politecnico - Rebaudengo
Impianti non di sistema – Elaborati Generali – Impianti elettrici di Messa a terra – Galleria, Pozzi e Manufatti – Relazione tecnica e calcoli di dimensionamento	11_MTL2T1A0DIELG00R003-0-1.DOCX

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

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.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Generale Politecnico - Rebaudengo
Impianti non di sistema – Elaborati Generali – Impianti elettrici di Messa a terra – Galleria, Pozzi e Manufatti – Relazione tecnica e calcoli di dimensionamento	11_MTL2T1A0DIELG00R003-0-1.DOCX

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 elettrosaldada 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.

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 Generale Politecnico - Rebaudengo
Impianti non di sistema – Elaborati Generali – Impianti elettrici di Messa a terra – Galleria, Pozzi e Manufatti – Relazione tecnica e calcoli di dimensionamento	11_MTL2T1A0DIELG00R003-0-1.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	$31000^2 \cdot 3 \cdot \sqrt{0.1/143}$		
Calcolo sezioni			
	Sezione [mm ²]		

Impianti non di sistema – Elaborati Generali – Impianti
elettrici di Messa a terra – Galleria, Pozzi e Manufatti
– Relazione tecnica e calcoli di dimensionamento

11_MTL2T1A0DIELG00R003-0-1.DOCX

Carcassa TR-Collettore (CT1)	153		
Collettore-Dispensore (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-Dispensore (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