

**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		INFRATRASPORTI.TO S.r.l.												
DIRETTORE PROGETTAZIONE <small>Responsabile integrazione discipline specialistiche</small>	IL PROGETTISTA	DEPOSITO OFFICINA REBAUDENGO – IMPIANTI NON DI SISTEMA IMPIANTO ELETTRICO – MESSA A TERRA RELAZIONE DI CALCOLO												
Ing. R. Crova <small>Ordine degli Ingegneri della Provincia di Torino n. 60385</small>	Ing. F. Azzarone <small>Ordine degli Ingegneri della Provincia di Torino n. 12287J</small>													
		ELABORATO								REV.		SCALA	DATA	
		MT	L2	T1	A1	D	IEL	DRB	R	006	Int.	Est.	-	28/12/2022

AGGIORNAMENTI

Fg. 1 di 15


REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO	VISTO
0	EMISSIONE	31/03/22	GBi	AGh	FAz	RCr
1	EMISSIONE FINALE A SEGUITO DI VERIFICA PREVENTIVA	28/12/22	GBi	AGh	FAz	RCr
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-

<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td style="padding: 2px;">LOTTO 1</td> <td style="padding: 2px;">CARTELLA</td> <td style="padding: 2px;">14.5</td> <td style="padding: 2px;">20</td> <td style="padding: 2px;">MTL2T1A1D</td> <td style="padding: 2px;">IELDRBR006</td> </tr> </table>	LOTTO 1	CARTELLA	14.5	20	MTL2T1A1D	IELDRBR006	<p>STAZIONE APPALTANTE</p> <p>DIRETTORE DI DIVISIONE INFRASTRUTTURE E MOBILITÀ Ing. R. Bertasio</p> <p>RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO Ing. A. Strozziro</p>
LOTTO 1	CARTELLA	14.5	20	MTL2T1A1D	IELDRBR006		

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo-Bologna
Messa a terra – Relazione di calcolo	20_MTL2T1A1DIELDRBR006-0-1.DOCX

INDICE

1.	PREMESSA	3
2.	IMPIANTO DI TERRA	4
3.	DISPERSORE	12
<hr/>		
3.1	REQUISITI DELL'IMPIANTO CON RIFERIMENTO ALLE SOLLECITAZIONI MECCANICHE, ALLA CORROSIONE ED ALLE SOLLECITAZIONI TERMICHE	12
3.2	SEZIONI MINIME AMMESSE	14
3.3	DIMENSIONAMENTO DELL'IMPIANTO CON RIFERIMENTO ALLE SOLLECITAZIONI TERMICHE	14

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo-Bologna
Messa a terra – Relazione di calcolo	20_MTL2T1A1DIELDRBR006-0-1.DOCX


1. PREMESSA

La presente relazione riporta nelle linee essenziali i calcoli effettuati per il dimensionamento dell'impianto di terra riferito al complesso Metro 2 - DEPOSITO OFFICINA REBAUDENGO.

I riferimenti normativi adottati sono quelli delle norme:

- Norma CEI 64-8 "Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1 000 V in corrente alternata e a 1 500 V in corrente continua"
- Norma CEI EN 61936-1 "Impianti elettrici con tensione superiore a 1 kV in corrente alternata. Parte 1: prescrizioni comuni"
- Norma CEI EN 50522 "Messa a terra degli impianti elettrici a tensione superiore a 1 kV in c.a."
- Norme CEI EN 62305 (serie) "Protezione contro i fulmini"
- Norma CEI 0-21 "Regola tecnica di riferimento per la connessione di Utenti attivi e passivi alle reti BT delle imprese distributrici di energia elettrica"
- 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"
- Norma CEI 99-5 "Guida per l'esecuzione degli impianti di terra delle utenze attive e passive connesse ai sistemi di distribuzione con tensione superiore a 1 kV in c.a."
- Norma CEI 64-14 "Guida alle verifiche degli impianti elettrici utilizzatori"
- Norma CEI 64-18 "Effetti della corrente elettrica attraverso il corpo umano e degli animali domestici. Parte 1: Aspetti generali".

Ulteriori informazioni circa i riferimenti normativi applicabili seguono nella relazione.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo-Bologna
Messa a terra – Relazione di calcolo	20_MTL2T1A1DIELDRBR006-0-1.DOCX

2. IMPIANTO DI TERRA

Il complesso sarà dotato di impianto di terra, coordinato con quello di protezione contro le scariche atmosferiche.

Il dispersore per l'impianto parafulmine potrà essere utilizzato come dispersore per l'impianto di terra per la protezione contro i contatti indiretti.

Il sistema di alimentazione si configura come TN. In un impianto utilizzatore alimentato in media tensione, si realizza in genere un impianto di terra unico, per la media e per la bassa tensione.

L'impianto di terra di cabina è chiamato a disperdere la corrente di guasto a terra in media tensione. Nei sistemi a neutro isolato la corrente di guasto monofase a terra (I_f) è di natura prevalentemente capacitiva.

Il valore della corrente di guasto aumenta con la tensione e con la capacità verso terra delle linee MT collegate allo stesso sistema di sbarre. La capacità, a sua volta, aumenta con l'estensione della rete.

La corrente di guasto a terra si può calcolare con la formula:

$$I_f = (0,003 * L1 + 0,2 * L2) * U$$

Dove:

I_f : è la corrente di guasto a terra, in ampere;

$L1$: è la lunghezza delle linee aeree alimentate dalle stesse sbarre, in Kilometri;

$L2$: è la lunghezza delle linee in cavo alimentate dalle stesse sbarre, in Kilometri;

U : è la tensione concatenata del sistema elettrico, in Kilovolt.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo-Bologna
Messa a terra – Relazione di calcolo	20_MTL2T1A1DIELDRBR006-0-1.DOCX

Nei sistemi a neutro isolato la corrente di guasto a terra è nell'ordine delle centinaia di Ampere e il tempo di eliminazione del guasto non supera un secondo. Nei sistemi a neutro compensato la corrente unificata di guasto (CEI 0-16 art. 8.5.5.1) vale: - 50 A nei sistemi a 20 kV; - 40 A nei sistemi a 15 kV.

Il distributore ha comunicato comunque i dati alla consegna:


- . Tensione di esercizio: **22 000 V**
- . Corrente di corto circuito trifase simmetrica: **12,5 kA**
- . Corrente di guasto verso terra IF: **75 A**
- . Tempo di intervento delle protezioni tF: **>10 s**
- . Corrente di guasto doppio monofase a terra: **11,5 kA**
- . Esercizio con : **neutro compensato**

Nei sistemi a neutro compensato, la corrente di guasto è minore, ma la durata del guasto è maggiore; il passaggio da neutro isolato a neutro compensato non è sempre a favore della sicurezza.

Secondo quanto indicato dalla CEI 99-3 si tiene conto della corrente di doppio guasto a terra (si può stabilire un ulteriore guasto a terra dopo il primo) soltanto ai fini delle sollecitazioni termiche dei conduttori di terra, non ai fini della tensione totale di terra e della tensione di contatto. La corrente di guasto a terra (If) si suddivide tra il dispersore della cabina e lo schermo dei cavi di media tensione. Pertanto, secondo quanto indicato dalla CEI 0-16, il distributore è tenuto a collegare lo schermo metallico dei propri cavi all'impianto di terra dell'utente, salva diversa e motiva comunicazione

Comunque, l'impianto di terra deve essere dimensionato in modo da risultare idoneo per entrambe le condizioni seguenti;

- Corrente di guasto a terra (If) e durata del guasto (tf) comunicati dal distributore;

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo-Bologna
Messa a terra – Relazione di calcolo	20_MTL2T1A1DIELDRBR006-0-1.DOCX

- Corrente di guasto a terra di 75 A (22 kV)
- Tempo di eliminazione del guasto maggiore di 10 secondi.

La tensione di contatto (U_t) è la tensione a cui è soggetta la persona in un contatto diretto. Convenzionalmente si assume una resistenza (R_b) di 1000 Ω . In serie alla resistenza della persona si trova la resistenza delle scarpe (1000 Ω) e la resistenza verso terra della persona (resistenza di terra di una piastra appoggiata sul terreno), pari a 1,5 la resistività superficiale del suolo. La tensione applicata alla serie di resistenze del corpo umano, delle scarpe e della persona verso terra prende il nome di "tensione di contatto a vuoto" (U_{vt}).

La tensione di contatto (U_t) è minore della tensione di contatto a vuoto ($U_t U_{tp}$) bisogna intervenire per riportare la tensione di contatto entro i limiti di sicurezza (ad esempio si può asfaltare il suolo per aumentare la resistività del terreno e ridurre così le tensioni di contatto). Secondo quanto indicato nella CEI 64/8/4 art. 442.2 nel caso particolare di rete di terra magliata su tutta l'area della cabina e dello stabilimento, l'impianto di terra è ritenuto idoneo se la tensione totale di terra (U_e) sia maggiore o uguale a 2 volte U_{tp} ($U_e \leq 2 U_{tp}$), cioè $U_e \leq 160$ V a neutro compensato.

Il dispersore viene considerato unicamente ai fini di un guasto sulla media tensione. Per quanto riguarda un guasto sulla bassa tensione, in un sistema TN la corrente di guasto si richiude direttamente al neutro e non si disperde a terra. Tutti i dispersori (picchetti) per il collegamento a terra delle masse in bassa tensione in un sistema TN sono quindi inutili, nei confronti di un guasto sulla bassa tensione.

In cabina il dispersore è composto da un anello di terra perimetrale, che segue il perimetro della cabina, interrato ad una profondità di circa 0,5 m. In questo modo, si porta il terreno ad un potenziale prossimo a quello delle masse e si riduce la tensione di contatto. È utile collegare l'anello di terra ai ferri di fondazione in cemento armato e soprattutto all'eventuale griglia elettrosaldata posta sotto il pavimento della cabina.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo-Bologna
Messa a terra – Relazione di calcolo	20_MTL2T1A1DIELDRBR006-0-1.DOCX

Non conviene interrare l'anello ad una profondità maggiore di 0,8 m in quanto potrebbe crescere la tensione di contatto poiché il potenziale sulla superficie del terreno diminuisce più della tensione totale (U_e).

Nei terreni ad alta resistività si può integrare il dispersore quadrato (o rettangolare) con picchetti ai vertici, oppure con un altro quadrato disposto a maggiore profondità (dispersore piramidale).

La corrente di guasto più elevata si verifica per un cortocircuito fase-terra al secondario del trasformatore. Tale corrente corrisponde al primario secondo il rapporto di trasformazione e provoca l'intervento del relè 51 con tempo di eliminazione del guasto $< 0,5$ s (valore massimo).


La sezione del conduttore di terra (S) si calcola con: $S \geq (I \cdot \sqrt{t}) / k$

Dove:

- I è il valore efficace del corrente di corto circuito;
- t è il tempo di eliminazione del guasto, cioè il tempo che intercorre tra l'istante in cui si verifica il corto circuito e l'istante in cui la corrente è interrotta;
- K è il coefficiente che tiene conto della tipologia del conduttore di terra: per cavi isolati in gomma è uguale a 143;

La corrente di guasto più elevata che può interessare il conduttore di messa a terra della massa del trasformatore, si verifica per un guasto fase-terra sul secondario del trasformatore, e quindi avrà le stesse caratteristiche del cavo per la messa a terra del neutro.

Il conduttore collegato alla massa in bassa tensione per la protezione contro i contatti indiretti si chiama conduttore di protezione; lo stesso conduttore in media tensione (ed alta tensione) prende il nome di conduttore di terra (in bassa tensione il conduttore di terra è il conduttore di protezione che unisce il dispersore al nodo/collettore di terra). Anche il conduttore che unisce tra loro due dispersori, se isolato dal terreno, è considerato un conduttore di terra (a qualunque tensione).

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo-Bologna
Messa a terra – Relazione di calcolo	20_MTL2T1A1DIELDRBR006-0-1.DOCX

Ai fini della resistenza alle sollecitazioni meccaniche e alla corrosione, il conduttore di terra deve avere una sezione di almeno 16 mmq in rame o 50 mmq in acciaio. I conduttori di terra di questa sezione sono adeguati per sopportare anche le sollecitazioni termiche dovute alla corrente di guasto a terra nelle reti a neutro isolato (o neutro messo a terra tramite una resistenza).

Nelle reti di distribuzione a neutro compensato, bisogna considerare anche un doppio guasto a terra. Questa corrente viene considerata solo dal punto di vista delle sollecitazioni termiche dei conduttori di terra. Non viene ritenuta come corrente dispersa nel terreno nei confronti delle tensioni di contatto. Un conduttore di terra, di sezione 25 mmq, è sufficiente a fronteggiare la corrente di doppio guasto a terra (reti a neutro compensato), anche nelle condizioni più severe; nel caso più sfavorevole, la corrente di doppio guasto a terra raggiunge il valore di $\sqrt{3}/2 \times I_{cc}$, con quest'ultima pari a 12,5 kA, ovvero di 10,8 kA, viene interrotta entro 0,2 s dalle protezioni del distributore. Per un conduttore di rame nudo si ha: $S = (10800 \times \sqrt{0,2})/228 = 21,25$ mmq. Per un conduttore di terra isolato (giallo-verde) si ha: $S = (10800 \times \sqrt{0,2})/143 = 33,8$ mmq, per l'acciaio zincato: $(10800 \times \sqrt{0,2})/58 = 83,3$ mmq.

Il dispersore intenzionale sarà realizzato con tondo in acciaio zincato con sezione diam.10 mm interrato a 0,6 m di profondità ed almeno 1 m dal perimetro del fabbricato, integrata con puntazze in acciaio zincato con sezione a croce 50 x 50 x 5 m di lunghezza 1,5 m infisse nel terreno nei pressi della cabina di ricevimento e con i ferri d'armatura delle fondazioni delle strutture portanti del complesso (dispersore di fatto) realizzando in tal modo un dispersore unico fittamente magliato di forma approssimativamente rettangolare con perimetro $p = 1000$ m).

Considerando una resistività del terreno supposto omogeneo pari a $\rho = 400 \Omega m$ (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.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo-Bologna
Messa a terra – Relazione di calcolo	20_MTL2T1A1DIELDRBR006-0-1.DOCX

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) e ipotizzando che la magliatura realizzata con le armature delle fondazioni corrisponda ad una rete a maglia, in ottemperanza a quanto riportato dalle norme qui citato:

2.4.2 Valutazione approssimativa del contributo di dispersori di fatto

La grande maggioranza dei dispersori di fatto è costituita da pali di fondazione, camicie metalliche di pozzi, plinti, platee di fondazione, travi continue, paratie di contenimento.

In generale la resistenza di terra di pali di fondazione, camicie metalliche di pozzi e singoli plinti può essere ricavata utilizzando la stessa formula approssimata usata per il calcolo del dispersore verticale, essendo la struttura di questi assimilabile a tale tipo di dispersore.

Il contributo di platee di fondazione, travi continue e paratie di contenimento può invece essere calcolato solo se la continuità elettrica delle varie parti è garantita. In questo caso il valore di resistenza di terra che questi dispersori possono assumere può essere desunto dalla formula approssimata utilizzata per il calcolo del dispersore magliato.

Gli elementi prefabbricati privi di apposito morsetto di interconnessione installato dal costruttore non possono essere considerati come maglia in quanto la continuità elettrica degli stessi non è garantita.

Si applica approssimativamente e cautelativamente:

c) Resistenza di un sistema di elementi magliati

Come è noto la resistenza di un sistema complesso con più elementi in parallelo è sempre più elevata di quella che risulterebbe da un semplice calcolo di elementi in parallelo. Ciò è tanto più vero quanto più vicini e quindi interagenti risultano gli elementi.

Per questi motivi, l'utilizzazione della formula sottoesposta nell'ipotesi di un sistema magliato è più rapida ed efficace del calcolo dei singoli elementi orizzontali e verticali:

$$R_d = \frac{\rho_m}{4 \cdot r}$$

dove r = raggio del cerchio che circonda la maglia.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo-Bologna
Messa a terra – Relazione di calcolo	20_MTL2T1A1DIELDRBR006-0-1.DOCX

Si ottiene:

$$R_d = 400 / 4 \cdot 100 = 1 \Omega$$

Con una corrente di guasto monofase a terra pari a $I_g = 75 \text{ A}$ la tensione totale di terra vale:

$$U_e = R_t I_g = 75 \text{ V}$$

Con un tempo di intervento delle protezioni per guasto monofase a terra superiore a 10 s la tensione di contatto ammissibile in base alla guida CEI 11-37 del luglio 2003 vale:

Valori limite di U_{Tp} in funzione della durata t_f del guasto		
Durata del guasto t_f (s)	Tensione di contatto ammissibile U_{Tp} (V)	
	CEI EN 50522	CEI 11-1
0,10	654	660
0,50	220	220
0,64	165	150
0,72	140	125
1,00	117	112
2,00	96	91
5,00	86	81
10,00	85	80
> 10	80	75

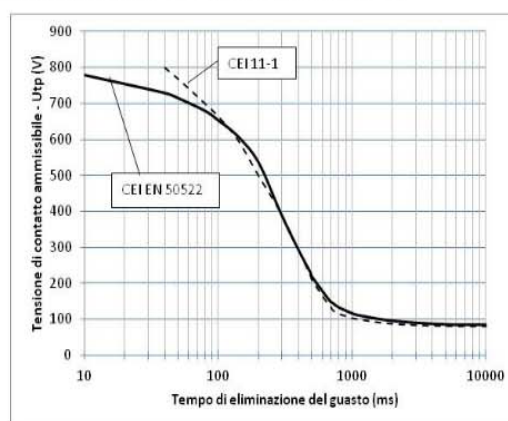



Fig. 1 – Tensione di contatto ammissibile U_{Tp} in funzione del tempo di eliminazione del guasto t_f

$$U_{tp} = 80 \text{ V}$$

Essendo la tensione totale di terra inferiore alla tensione di contatto ammissibile, l'impianto di terra risulta verificato senza dover procedere a successiva misura delle tensioni di contatto e di passo.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo-Bologna
Messa a terra – Relazione di calcolo	20_MTL2T1A1DIELDRBR006-0-1.DOCX

Comunque, per evitare la verifica delle tensioni di contatto e di passo, la misura della resistenza di terra dell'impianto realizzato, in sede di collaudo, dovrà risultare inferiore a:

$$R_{lim} = 80/75 = \mathbf{1,06 \Omega}$$

L'impianto di terra interno al complesso comprenderà conduttori di terra fino ai collettori posti nelle cabine di trasformazione MT/bt: da questi si dipartiranno i collegamenti equipotenziali principali alle masse estranee locali ed i montanti di terra che proseguendo all'interno dei cavedi raggiungeranno i vari piani del complesso andando ad attestarsi sui quadri di zona e quindi alle masse delle utenze, alle masse estranee distribuite.

In particolare andranno collegate:

- le masse e masse estranee che sono o si possono trovare nella zona paziente
- i contatti di terra di tutte le prese
- i ferri di armatura delle strutture
- lo schermo dei trasformatori
- gli schermi per la riduzione dei campi elettromagnetici

I conduttori equipotenziali supplementari devono avere sezione almeno 6 mmq in rame.



3. DISPERSORE

3.1 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	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	

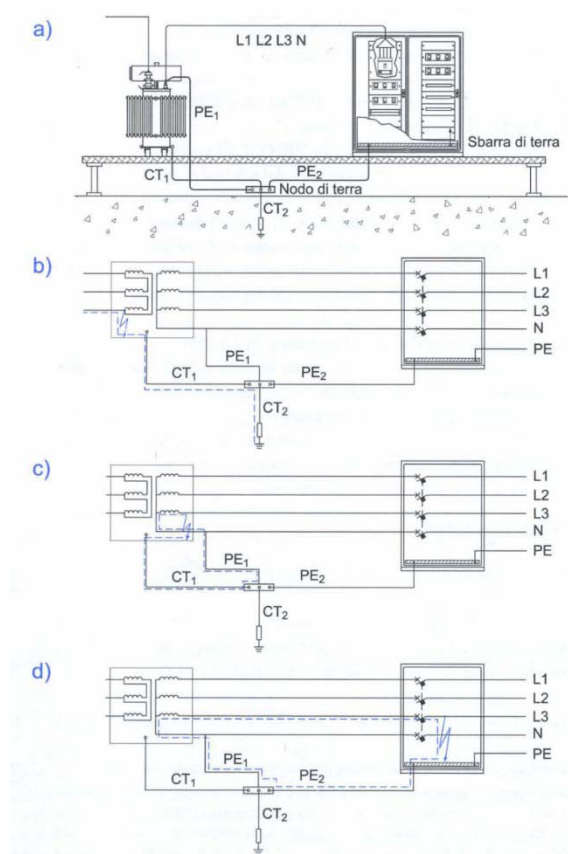
(*) per cavetti singoli
 (1) non idoneo per posa diretta in calcestruzzo
 (2) piattina, arrotondata o tagliata con angoli arrotondati
 (3) in condizioni eccezionali, dove l'esperienza mostra che il rischio di corrosione e di danno meccanico è estremamente basso, si può usare 16 mm².
 Nota: I valori riportati tra parentesi sono comunemente utilizzati in Italia.

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



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).



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 Costruttivo 1: Rebaudengo-Bologna
Messa a terra – Relazione di calcolo	20_MTL2T1A1DIELDRBR006-0-1.DOCX

3.2 Sezioni minime ammesse

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

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

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 1: Rebaudengo-Bologna
Messa a terra – Relazione di calcolo	20_MTL2T1A1DIELDRBR006-0-1.DOCX

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

In base alle considerazioni sopra esposte, in riferimento a scelte legate a sezioni commerciali ed a criteri cautelativi, verranno impiegate le seguenti sezioni:

- Carcassa TR-Collettore (CT1) : 240 mm²
- Collettore-Dispersore (CT2) : 70 mm²
- Neutro-Collettore (PE1) : 240 mm²
- Quadri bt (e secondari)-Collettore (PE2) : 240 mm²
- Carcassa QMT – Collettore : 70 mm²
- Collegamento equipotenziale (ferri, fondazioni, rete elettrosaldata ecc.) : 25 mm²
- Collegamento schermi cavi MT: 25 mm²