

COMMITTENTE



COMUNE DI GENOVA

IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO
ALBERTO BITOSSI
IL DIREGENTE ESECUTORE DEL CONTRATTO
ANTONIO ROSSA

**PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER
IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE
CONNESSE)**

PROGETTAZIONE

MANDANTARIA



MANDANTE

MANDANTE

MANDANTE



Italferr S.p.A.

GAVETTE - IMPIANTI LUCE E FORZA MOTRICE

Relazione di calcolo impianto di terra

IL PROGETTISTA RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE

Dott. Ing. Luca Bernardini

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

E 2 1 D 0 6 D 1 7 C L L F 0 8 0 0 0 0 2 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	A. Cozzolino 	Settembre 2021	M. Damiani 	Settembre 2021	A. Peresso 	Settembre 2021	A. Falaschi Settembre 2021 U.O. TECNICO/INGEGNERIA DIP. ING. ALFREDO FALASCHI Ordine Ingegneri di Viterbo n. 363

File: E21D06D17CLLF0800002A.docx

n. Elab.:

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
IMPIANTI LUCE E FORZA MOTRICE ELABORATI GENERALI Relazione di calcolo impianto di terra	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>06 D 17</td> <td>CL</td> <td>LF0800 002</td> <td>A</td> <td>2 di 15</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	06 D 17	CL	LF0800 002	A	2 di 15
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	06 D 17	CL	LF0800 002	A	2 di 15								

INDICE

1	PREMESSA.....	3
2	RIFERIMENTI NORMATIVI.....	4
3	SIMBOLOGIA E TERMINOLOGIA ADOTTATE.....	6
4	CRITERI PROGETTUALI.....	7
5	CONFIGURAZIONE DEL SISTEMA DISPERDENTE	10
6	DIMENSIONAMENTO IMPIANTO DI TERRA	11
6.1	Calcolo della resistenza di terra del dispersore.....	11
6.1.1	Resistenza del dispersore a maglia.....	11
6.1.2	Resistenza dei picchetti	11
6.1.3	Resistenza di terra anello perimetrale capannone	12
6.1.4	Resistenza di terra totale	13
7	Collegamento del neutro	15

	<p>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</p>												
<p>IMPIANTI LUCE E FORZA MOTRICE ELABORATI GENERALI Relazione di calcolo impianto di terra</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>06 D 17</td> <td>CL</td> <td>LF0800 002</td> <td>A</td> <td>3 di 15</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	06 D 17	CL	LF0800 002	A	3 di 15
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	06 D 17	CL	LF0800 002	A	3 di 15								

1 PREMESSA

La presente relazione specialistica ha come oggetto il dimensionamento dell'impianto di terra a servizio della rimessa AMT di Gavette. L'impianto sarà costituito, come meglio esplicitato negli elaborati grafici e nella parte descrittiva della relazione, da un unico dispersore costituito da:

- una maglia situata sotto i locali cabina MT/BT e consegna ENEL con picchetti ai 4 angoli della rete magliata;
- un anello costituito da una corda di rame nuda posata internamente al perimetro del fabbricato;
- dispersori di fatto come le armature dei pilastri e della struttura del fabbricato

realizzati coerentemente a quanto indicato nella CEI EN 50522 e nella CEI 0-16.

Nel seguito, saranno fornite le caratteristiche dell'impianto di terra con l'esplicitazione dei relativi calcoli che hanno condotto alle scelte progettuali descritte.

N.B. Le scelte progettuali sono state fatte senza alcun tipo di misurazione sulla reale resistività di terra e senza alcuno scambio di informazioni con l'ente distributore di energia elettrica. Sarà onere dell'Appaltatore effettuare nuovamente il calcolo dell'impianto di terra con i valori misurati della resistività del terreno, e con i valori effettivi della corrente di guasto e del tempo di intervento delle protezioni MT dell'ente distributore di energia elettrica.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
IMPIANTI LUCE E FORZA MOTRICE ELABORATI GENERALI Relazione di calcolo impianto di terra	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>06 D 17</td> <td>CL</td> <td>LF0800 002</td> <td>A</td> <td>4 di 15</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	06 D 17	CL	LF0800 002	A	4 di 15
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	06 D 17	CL	LF0800 002	A	4 di 15								

2 RIFERIMENTI NORMATIVI

I principali riferimenti normativi di cui si è tenuto conto nello sviluppo della progettazione sono, in linea indicativa ma non esaustiva, i seguenti:

Leggi, Decreti e Circolari:

- D. Lgs. 09/04/08 n.81: "Testo Unico sulla sicurezza"
- DM. 37 del 22/01/08: "Sicurezza degli impianti elettrici, regole per la progettazione e realizzazione, ambiti di competenze professionali"
- Legge n. 791 del 18/10/1977: Attuazione delle direttive CEE 72/23 relative alle garanzie di sicurezza che deve possedere il materiale elettrico;
- Direttiva "BT" CEE 73/23 e 93/68
- DPR 4/12/1992 n. 476: "Direttiva EMC"
- Legge 1 marzo 1968 n° 186 (G.U. n° 77 del 23/3/68) "Disposizioni concernenti la produzione di macchinari, installazioni ed impianti elettrici ed elettronici".
- Decreto del Ministero dello Sviluppo Economico e del Ministro dell'Ambiente e della tutela del territorio e del mare n. 37 del 22 Gennaio 2008: Regolamento concernente l'attuazione dell'articolo 11-quaterdecies, comma 13, lettera a) della legge 248 del 2 Dicembre 2005, recante riordino delle disposizioni in materia di attività di installazione degli impianti all'interno degli edifici.
- Ente Nazionale di Unificazione (UNI) Norme applicabili.
- Regolamento (UE) n. 305/2011 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 9/3/2011 che fissa condizioni armonizzate per la commercializzazione dei prodotti da costruzione e che abroga la direttiva 89/106/CEE del Consiglio

Normative Tecniche:

- Norma CEI 0-16: "Condizioni tecniche per la connessione alle reti di distribuzione dell'energia elettrica a tensione nominale superiore ad 1 kV"
- Norma CEI EN 50522 (CEI 99-3): "Messa a terra degli impianti elettrici a tensione superiore a 1 kV in c.a."
- Norma CEI 11-17: "Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione di energia elettrica. Linee in cavo";
- Norma CEI EN 61936-1 (CEI 99-2): "Impianti elettrici con tensione superiore a 1 kV in corrente alternata. Parte 1: Prescrizioni comuni"
- Norma CEI EN 60865-1 (11-26): "Correnti di corto circuito – Calcolo degli effetti; parte 1a: Definizioni e metodi di calcolo";
- Norme CEI 64-8/1-2-3-4-5-6-7 Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua;

	<p>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</p>												
<p>IMPIANTI LUCE E FORZA MOTRICE ELABORATI GENERALI Relazione di calcolo impianto di terra</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>06 D 17</td> <td>CL</td> <td>LF0800 002</td> <td>A</td> <td>5 di 15</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	06 D 17	CL	LF0800 002	A	5 di 15
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	06 D 17	CL	LF0800 002	A	5 di 15								

Comprese tutte le varianti a tali norme.

Per quanto non esplicitamente indicato, dovranno in ogni caso essere sempre adottate tutte le indicazioni normative e di legge atte a garantire la realizzazione del sistema a regola d'arte e nel rispetto della sicurezza.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
IMPIANTI LUCE E FORZA MOTRICE ELABORATI GENERALI Relazione di calcolo impianto di terra	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>E21D</td> <td>06 D 17</td> <td>CL</td> <td>LF0800 002</td> <td>A</td> <td>6 di 15</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	06 D 17	CL	LF0800 002	A	6 di 15
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	06 D 17	CL	LF0800 002	A	6 di 15								

3 SIMBOLOGIA E TERMINOLOGIA ADOTTATE

Di seguito si riportano i simboli ed i termini più frequentemente usati nel presente elaborato, per gli altri non espressamente indicati si rimanda al capitolo 3 della CEI EN 50522:

GRANDEZZA	DEFINIZIONE	SIMBOLO
<i>Terra di riferimento (terra lontana)</i>	Parte del terreno (della Terra) considerato conduttivo il cui potenziale elettrico è convenzionalmente assunto pari a zero trovandosi al di fuori dalla zona di influenza dei dispersori del pertinente impianto di terra	-
<i>Dispersore di fatto</i>	Parte metallica in contatto elettrico con il terreno o con l'acqua, direttamente o tramite calcestruzzo, il cui scopo originale non è di mettere a terra, ma che soddisfa tutti i requisiti di un dispersore senza compromettere la sua funzione originale	-
<i>Resistività del terreno</i>	Resistività di un tipico campione di terreno	ρ_E
<i>Resistenza di terra</i>	Parte reale di un'impedenza verso terra	R_E
<i>Tensione totale di terra</i>	Tensione tra un impianto di terra e la terra di riferimento	U_E
<i>Tensione di contatto</i>	Tensione tra parti conduttrici quando vengano toccate simultaneamente	U_T
<i>Tensione di passo</i>	Tensione tra due punti della superficie del terreno a distanza di 1 m tra loro, distanza che si assume come lunghezza del passo di una persona	U_S
<i>Corrente di guasto a terra</i>	Corrente che fluisce dal circuito principale verso terra, o verso parti collegate a terra, nel punto di guasto	I_F
<i>Corrente di terra</i>	Corrente che fluisce a terra tramite la resistenza di terra e determina quindi la tensione totale di terra U_E	I_E

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
IMPIANTI LUCE E FORZA MOTRICE ELABORATI GENERALI Relazione di calcolo impianto di terra	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>06 D 17</td> <td>CL</td> <td>LF0800 002</td> <td>A</td> <td>7 di 15</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	06 D 17	CL	LF0800 002	A	7 di 15
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	06 D 17	CL	LF0800 002	A	7 di 15								

4 CRITERI PROGETTUALI

L'impianto di messa a terra in oggetto è destinato a realizzare il sistema di protezione dai contatti indiretti denominato "Protezione mediante interruzione automatica dell'alimentazione", che è il solo metodo ammesso per gli impianti elettrici alimentati da sistemi di categoria superiore alla I.

L'impianto dovrà essere realizzato nel rispetto della Norma CEI EN 50522 che ha sostituito definitivamente la norma CEI 11-1 dal 1° novembre 2013.

Nei sistemi di II e III categoria il progetto dell'impianto di terra deve soddisfare le seguenti esigenze:

- Garantire la sicurezza delle persone contro le tensioni di contatto che si manifestano a causa delle correnti di guasto a terra
- Presentare una sufficiente resistenza meccanica
- Presentare una sufficiente resistenza nei confronti della corrosione
- Essere in grado di sopportare termicamente le più elevate correnti di guasto prevedibili

Le prestazioni devono essere garantite per ciascuno dei diversi livelli di tensione presenti nel sistema MT e BT. Non è invece necessario prendere in considerazione la contemporaneità dei guasti in sistemi con differenti livelli di tensione. L'impianto di terra deve essere dimensionato e strutturato in modo da evitare che eventuali tensioni di contatto, stante i tempi di intervento dei dispositivi di protezione contro i guasti omopolari a terra, non superino i valori indicati dalla curva di sicurezza Tensione - Tempo riportata dalla norma CEI EN 50522 § 5.4.3 fig. 4 (curva riportata in Figura 1.

La procedura per il dimensionamento inizia con l'acquisizione, presso il gestore della rete, dei dati relativi ai punti di allaccio. In mancanza di informazioni specifiche, come proposto dalla Norma CEI 0-16, per la corrente di guasto ed il tempo di intervento delle protezioni si assumono i valori:

$$t > 10 s$$

$$I_g = 50 A$$

che andranno poi confermati in fase di realizzazione dell'appalto.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
IMPIANTI LUCE E FORZA MOTRICE ELABORATI GENERALI Relazione di calcolo impianto di terra	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>06 D 17</td> <td>CL</td> <td>LF0800 002</td> <td>A</td> <td>8 di 15</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	06 D 17	CL	LF0800 002	A	8 di 15
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	06 D 17	CL	LF0800 002	A	8 di 15								

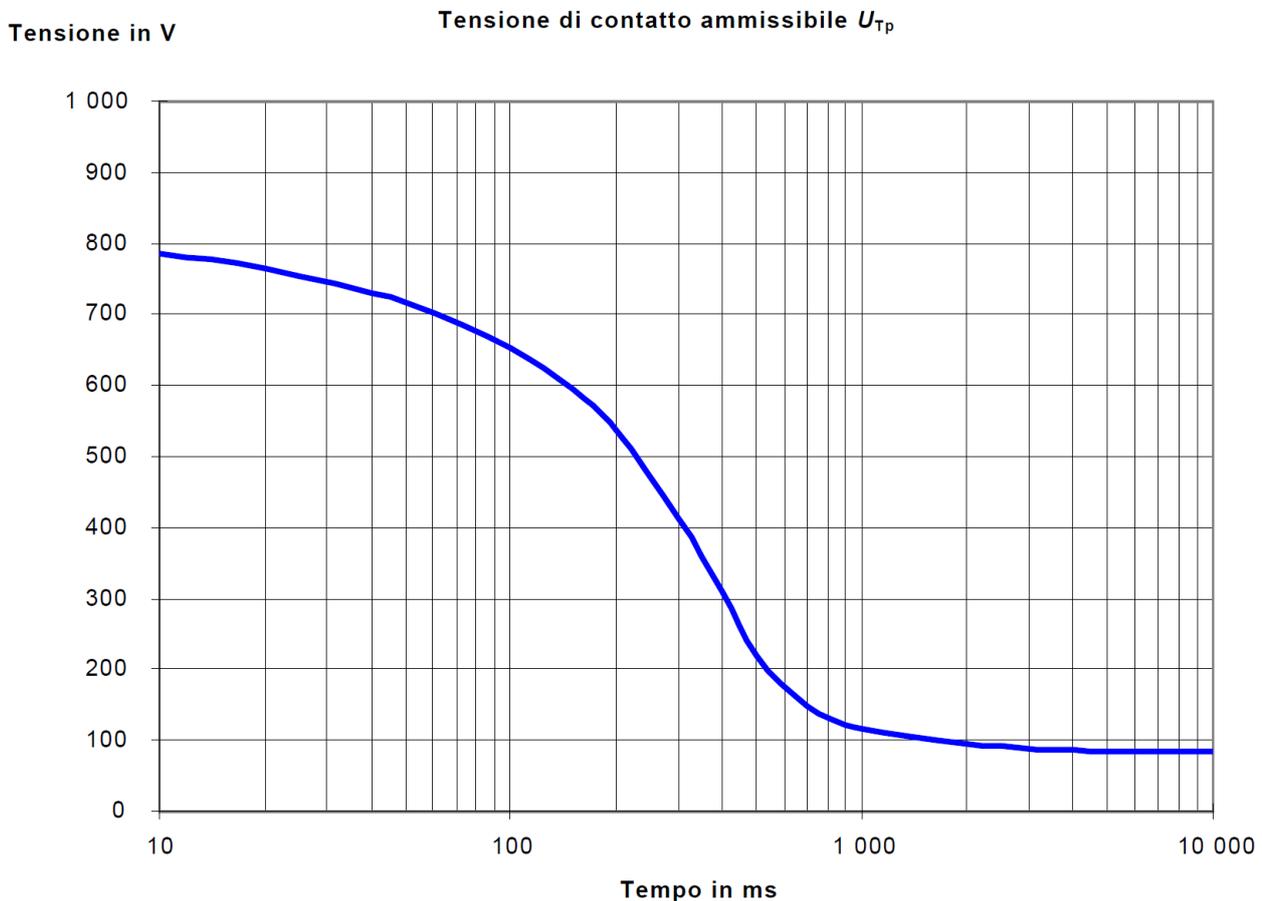


Figura 1: tensione di contatto ammissibile

In relazione al tempo massimo di intervento delle protezioni si è ricavata la tensione di contatto ammissibile U_{TP} (cfr. NOTA di Figura 4 – Tensione di contatto ammissibile – norma CEI EN 50522):

$$U_{TP} = 80 [V]$$

Quest'ultimo valore deve essere confrontato con la tensione totale di terra U_E che può essere espressa applicando la formula:

$$U_E = R_E I_E$$

Secondo la norma CEI EN 50522 § 5.4.3 il sistema disperdente è dimensionato correttamente se il valore della tensione totale di terra, determinato con misure o calcoli, non supera il valore della tensione di contatto ammissibile.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
IMPIANTI LUCE E FORZA MOTRICE ELABORATI GENERALI Relazione di calcolo impianto di terra	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>06 D 17</td> <td>CL</td> <td>LF0800 002</td> <td>A</td> <td>9 di 15</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	06 D 17	CL	LF0800 002	A	9 di 15
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	06 D 17	CL	LF0800 002	A	9 di 15								

Imponendo che sia verificata la seguente disuguaglianza, si ricava il valore della resistenza di terra che si deve conseguire in modo da garantire la limitazione della tensione di contatto U_{TP} :

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

$$R_E \leq U_{TP} / I_E$$

Sostituendo i valori numerici:

$$I_E = 50 [A]$$

$$U_{TP} = 80 [V]$$

si ottiene che il valore di R_E dovrà essere cautelativamente:

$$R_E < 1,6 [\Omega]$$

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
IMPIANTI LUCE E FORZA MOTRICE ELABORATI GENERALI Relazione di calcolo impianto di terra	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>06 D 17</td> <td>CL</td> <td>LF0800 002</td> <td>A</td> <td>10 di 15</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	06 D 17	CL	LF0800 002	A	10 di 15
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	06 D 17	CL	LF0800 002	A	10 di 15								

5 CONFIGURAZIONE DEL SISTEMA DISPERDENTE

Il sistema disperdente sarà composto da:

- Un dispersore a maglia situato sotto la cabina elettrica (interna al fabbricato) che ricopre una superficie di circa 129 m² con un perimetro di circa 46 m ad una profondità minima di 0,5 dal piano di calpestio;
- 4 picchetti alle estremità della maglia lunghi 2 m e con diametro 30mm;
- Un dispersore ad anello costituito da una corda interrata di rame nudo da 25 mm² posato ad una profondità di 0,5 m dal piano di calpestio internamente al perimetro del fabbricato;
- più collegamenti del dispersore ad anello alle armature dei nuovi pilastri che si comporteranno come dispersori di fatto.

Il collegamento tra i dispersori si attesta sui rispettivi collettori di terra in modo che su richiesta dell'ente distributore si possa scollegare la connessione.

Il calcolo rigoroso della resistenza di terra per un impianto così configurato richiede un approccio analitico molto complesso. In prima approssimazione per il calcolo della resistenza di terra R_E , cautelativamente, si trascurerà il contributo dei vari dispersori di fatto. Pertanto, la resistenza totale sarà calcolata come parallelo tra le resistenze del dispersore a maglia, dei picchetti e del dispersore ad anello.

L'impianto di terra sarà collegato al collettore principale di terra posto all'interno della cabina, al quale, previa verifica descritta al paragrafo 6.2 di questa relazione, saranno collegati:

- Il centro stella trasformatori;
- La barra di terra del Quadro Generale di Bassa Tensione;
- La barra di terra del Quadro di Media Tensione;
- La schermatura dei cavi MT.

L'installazione a parete dei nodi equipotenziali e delle relative derivazioni alle masse metalliche dovrà essere realizzata mediante interposizione di distanziali in resina autoestinguente, a loro volta fissati a parete con viti in acciaio e tasselli in PVC.

Altri collettori di terra saranno posizionati all'interno dell'impianto in prossimità dei quadri elettrici di distribuzione in modo tale da garantire, in caso di corto circuito, un efficace messa a terra e dispersione delle correnti di guasto.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
IMPIANTI LUCE E FORZA MOTRICE ELABORATI GENERALI Relazione di calcolo impianto di terra	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>06 D 17</td> <td>CL</td> <td>LF0800 002</td> <td>A</td> <td>11 di 15</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	06 D 17	CL	LF0800 002	A	11 di 15
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	06 D 17	CL	LF0800 002	A	11 di 15								

6 DIMENSIONAMENTO IMPIANTO DI TERRA

6.1 Calcolo della resistenza di terra del dispersore

Per la determinazione della resistenza di terra R_E del dispersore è essenziale conoscere il valore della resistività del terreno; in questa fase si è assunto il valore:

$$\rho_E = 200 \Omega m$$

Sarà onere dell'Appaltatore effettuare le necessarie verifiche strumentali per confermare o correggere il valore attribuito a tale parametro.

La resistenza di terra dell'intero sistema disperdente può essere calcolata come parallelo delle resistenze dei singoli sistemi componenti, ossia del dispersore a maglia, dei 4 picchetti posti alle estremità della stessa e del dispersore ad anello.

6.1.1 Resistenza del dispersore a maglia

Il dispersore a maglia sarà realizzato mediante una corda di rame nudo da 35 mm². Impiegando la formula definita dalla CEI EN 50522 – Allegato J, per un dispersore a maglia si ha il seguente valore di resistenza di terra:

$$R_{E-MAGLIA} = \frac{\rho_E}{2D}$$

- $\rho_E = 200 \Omega m$ Resistività del terreno;
- $D = 11,3 m$ Diametro di un cerchio con area pari a quella del dispersore a maglia;

Avendo calcolato D come diametro del cerchio avente area equivalente a quella della maglia di terra, e cioè di circa 100 m² al di sotto dei locali di consegna e trasformazione MT/BT.

$$\pi \cdot \frac{D^2}{4} = 129 m^2 \rightarrow D = \sqrt{\frac{4 \cdot 129}{\pi}} \cong 12,8 m$$

Si avrà pertanto:

$$R_{E-MAGLIA} = \frac{200}{2 \cdot 12,8} \cong 7,81 \Omega$$

6.1.2 Resistenza dei picchetti

Il sistema di dispersione a maglia, come detto, sarà integrato da 4 dispersori verticali a picchetto, costituiti da aste in acciaio ramato infisse nel terreno e collegate alla maglia mediante capocorda in rame bullonati ad appositi collari fissati all'estremità dei picchetti.

I suddetti picchetti, in numero totale di 4, avranno le seguenti caratteristiche geometriche:

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
IMPIANTI LUCE E FORZA MOTRICE ELABORATI GENERALI Relazione di calcolo impianto di terra	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>06 D 17</td> <td>CL</td> <td>LF0800 002</td> <td>A</td> <td>12 di 15</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	06 D 17	CL	LF0800 002	A	12 di 15
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	06 D 17	CL	LF0800 002	A	12 di 15								

- $L_p = 2 \text{ m}$ Lunghezza complessiva del picchetto;
- $D_p = 0,03 \text{ m}$ Diametro del picchetto.

La resistenza di un singolo picchetto così costituito può essere calcolata con la seguente formula:

$$R_p = \frac{\rho_E}{2\pi L_p} \ln \frac{4L_p}{D_p}$$

Essendo sempre

- $\rho_E = 200 \Omega\text{m}$ Resistività del terreno

Pertanto, sostituendo i valori numerici si ottiene la resistenza di un singolo picchetto:

$$R_p = \frac{200}{2 \cdot \pi \cdot 2} \cdot \ln \frac{4 \cdot 2}{0,03} \cong 88,90 \Omega$$

Considerando il parallelo dei n. 6 picchetti la resistenza complessiva del dispersore verticale assume il valore:

$$R_{E-PICCHETTI} = \frac{R_p}{N} = \frac{88,90}{4} \cong 22,23 \Omega$$

6.1.3 Resistenza di terra anello perimetrale capannone

Come detto la rete di terra di cabina costituita da un dispersore a maglia e 4 picchetti sarà collegata ad una rete ad anello che si svilupperà internamente al perimetro del fabbricato e collegherà mediante appositi capicorda le armature dei pilastri di nuova realizzazione all'impianto di terra facendo diventare la struttura del fabbricato un dispersore di fatto. Nel calcolo in questa fase non si terrà conto del contributo dei dispersori di fatto, mantenendoci così a vantaggio di sicurezza. Il dispersore ad anello sarà realizzato mediante corda di rame nuda interrata di sezione 25mm².

La resistenza del dispersore ad anello è calcolata mediante la formula:

$$R_{E-ANELLO} = \frac{\rho_E}{\pi^2 D} \ln \frac{2\pi D}{d}$$

Con:

- $\rho_E = 200 \Omega\text{m}$ Resistività del terreno;
- $D = 182,8 \text{ m}$ Diametro del dispersore ad anello (supponendo che sia di forma circolare);
deriva dall'applicazione della seguente formula:

$$L = 2 \cdot \pi \cdot R = \pi \cdot D \rightarrow D = L/\pi = 574/\pi \cong 182,8 [m]$$

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FIOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
IMPIANTI LUCE E FORZA MOTRICE ELABORATI GENERALI Relazione di calcolo impianto di terra	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>E21D</td> <td>06 D 17</td> <td>CL</td> <td>LF0800 002</td> <td>A</td> <td>13 di 15</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	06 D 17	CL	LF0800 002	A	13 di 15
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	06 D 17	CL	LF0800 002	A	13 di 15								

- $d = 0,0063 \text{ m}$ Diametro esterno del dispersore realizzato con conduttori in corda;
preso da tabelle produttori come quella indicata in Figura 2:

Sezione nominale	Formazione	\varnothing indicativo produzione	Resistenza elettrica max a 20°C	Tipologia standard
<i>Nominal cross section</i>	<i>Formation</i>	<i>Approx. production \varnothing</i>	<i>Max. electrical resistance at 20°C</i>	<i>Standard type</i>
mm ²	mm	mm	ohm/km	
10	7 x 1,37	4,1	1,83	cotto
16	7 x 1,72	5,2	1,15	cotto
25	7 x 2,10	6,3	0,727	cotto
35*	7 x 2,51	7,5	0,524	crudo
50*	7 x 3,00	8,9	0,387	crudo
63	19 x 2,10	10,2	0,270	cotto
70	19 x 2,13	10,6	0,268	cotto
95	19 x 2,49	12,5	0,193	cotto
120	37 x 2,01	14,0	0,153	cotto
125	37 x 2,10	14,2	0,139	cotto
150	37 x 2,22	15,6	0,124	cotto
185	37 x 2,46	17,2	0,0991	cotto
240	61 x 2,22	19,9	0,0754	cotto
300	61 x 2,45	22,1	0,0601	cotto
400	61 x 2,79	25,1	0,0470	cotto

Figura 2: Caratteristiche corda di rame per impianti di terra

Pertanto, sostituendo i valori numerici si ottiene la resistenza del dispersore ad anello:

$$R_{E-ANELLO} = \frac{200}{\pi^2 \cdot 182,8} \cdot \ln \frac{2 \cdot \pi \cdot 182,8}{0,0063} \cong 1,09 \Omega$$

6.1.4 Resistenza di terra totale

La resistenza complessiva dell'impianto disperdente di cabina varrà dunque:

$$R_E = \frac{1}{\left(\frac{1}{R_{E-MAGLIA}} + \frac{1}{R_{E-PICCHETTI}} + \frac{1}{R_{E-ANELLO}} \right)} = \frac{1}{\left(\frac{1}{7,81} + \frac{1}{22,23} + \frac{1}{1,09} \right)} \cong 0,92 \Omega$$

Poiché il valore calcolato della resistenza di terra è inferiore al limite che assicura il contenimento dei valori di contatto (U_{TP}), ossia:

	<p>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</p>												
<p>IMPIANTI LUCE E FORZA MOTRICE ELABORATI GENERALI Relazione di calcolo impianto di terra</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>06 D 17</td> <td>CL</td> <td>LF0800 002</td> <td>A</td> <td>14 di 15</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	06 D 17	CL	LF0800 002	A	14 di 15
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	06 D 17	CL	LF0800 002	A	14 di 15								

$$R_E \cong 1,38 [\Omega] < \frac{U_{TP}}{I_E} = 1,6 [\Omega]$$

Il sistema è dimensionato correttamente per il contenimento delle tensioni di contatto e non è necessario effettuare le misure di passo.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
IMPIANTI LUCE E FORZA MOTRICE ELABORATI GENERALI Relazione di calcolo impianto di terra	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>06 D 17</td> <td>CL</td> <td>LF0800 002</td> <td>A</td> <td>15 di 15</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	06 D 17	CL	LF0800 002	A	15 di 15
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	06 D 17	CL	LF0800 002	A	15 di 15								

7 Collegamento del neutro

Secondo la norma CEI EN 50522 il neutro della bassa tensione può essere collegato alla terra della cabina solo se la tensione totale di terra verifica la seguente condizione:

$$U_E = R_E \cdot I_E \leq 250 \text{ V}$$

$$R_E = 0,92 \Omega$$

$$U_E = 0,92 \cdot 50 = 46 \text{ V} < 250 \text{ V}$$

Dato che tale relazione risulta verificata, ogni trasformatore MT/BT verrà posato con la connessione a terra del centro stella degli avvolgimenti secondari. Detta connessione sarà ottenuta mediante collegamento in cavo fra il morsetto del centro stella del trasformatore ed il nodo equipotenziale.