COMMITTENTE:

RFI RETE FERROVIARIA ITALIANA
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

PROGETTAZIONE:

ITALFERR
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO

NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA

U.O. TECNOLOGIE SUD

PROGETTO DEFINITIVO

RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE LOTTO 1+2

IMPIANTI LFM

GALLERIE

Galleria ALIA

Piazzale di emergenza – lato PA

Relazione di Calcolo terra

SCALA: -

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
RS3Z	00	D	67	CL	LF04B0	003	A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	G.Drisaldi	dic. 2019	G.Laganà	dic. 2019	A.Barreca	dic. 2019	A. Presta dic. 2019

ORDINE INGEGNERI COSENZA Ingegnere ANTONIO PRESTA Laurea Specialistica Sezione: A n. 1959

File: RS3Z00D67CLLF04B0003A		n. Elab.: 67_LF_59

INDICE

1 INTRODUZIONE 3

2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO 5

2.1.1 ELABORATI DI PROGETTO 5

2.1.2 RIFERIMENTI NORMATIVI 6

3 SIMBOLOGIA E TERMINOLOGIA ADOTTATE 8

4 CRITERI PROGETTUALI 9

5 CONFIGURAZIONE DEL SISTEMA DISPERDENTE 12

6 DIMENSIONAMENTO IMPIANTO DI TERRA 13

6.1.1 CALCOLO DELLA RESISTENZA DI TERRA DEL DISPERSORE 13

6.1.2 COLLEGAMENTO DEL NEUTRO 16

6.1.3 DIMENSIONAMENTO DELL'IMPIANTO DI TERRA IN RELAZIONE AL COMPORTAMENTO TERMICO ED ALLA RESISTENZA ALLA CORROSIONE 17

6.1.4 DIMENSIONAMENTO DEL CONDUTTORE DI TERRA PER GUASTI LATO MT 17

6.1.5 DIMENSIONAMENTO DEL CONDUTTORE DI TERRA PER GUASTI LATO BT 18

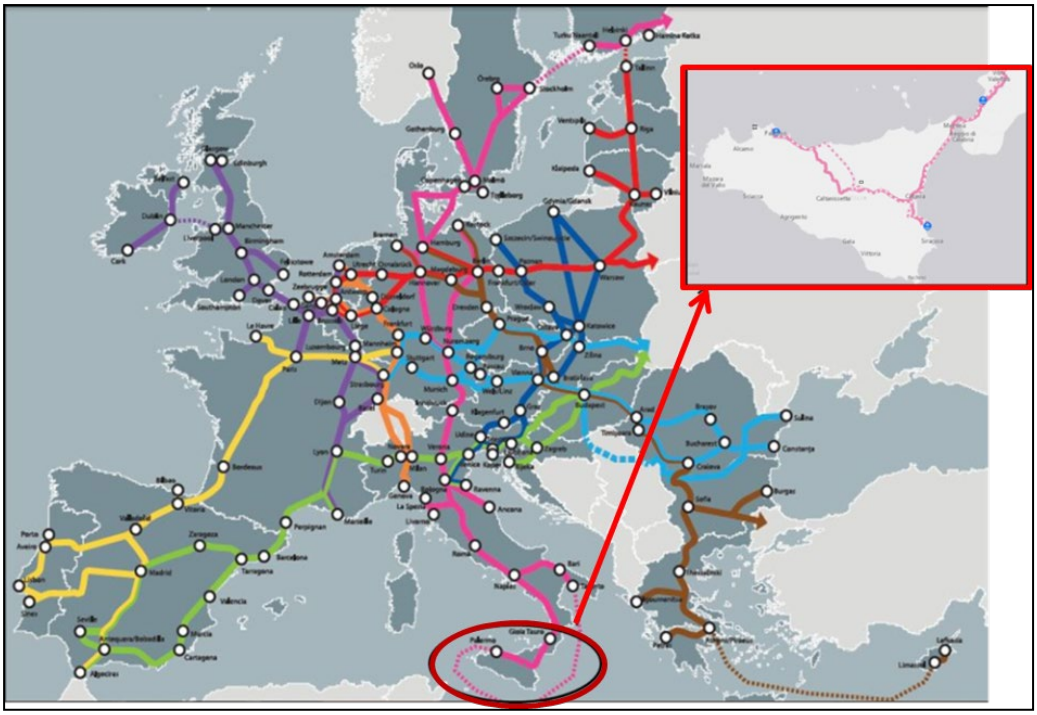
6.1.6 PROTEZIONE DAI CONTATTI INDIRETTI 19

6.1.7 GUASTO SULLA BASSA TENSIONE GESTITA CON SISTEMA TN-S. 19

6.1.8 GUASTO SULLA BASSA TENSIONE GESTITA CON SISTEMA TT 20

1 INTRODUZIONE

Il collegamento ferroviario tra Palermo e Catania fa parte del Corridoio n.5 Helsinki – La Valletta della Rete Trans-Europea di trasporto. Tale collegamento si sviluppa nel territorio siciliano secondo la direttrice Messina-Catania-Enna-Palermo, per consentire di servire i principali nodi urbani dell'isola.

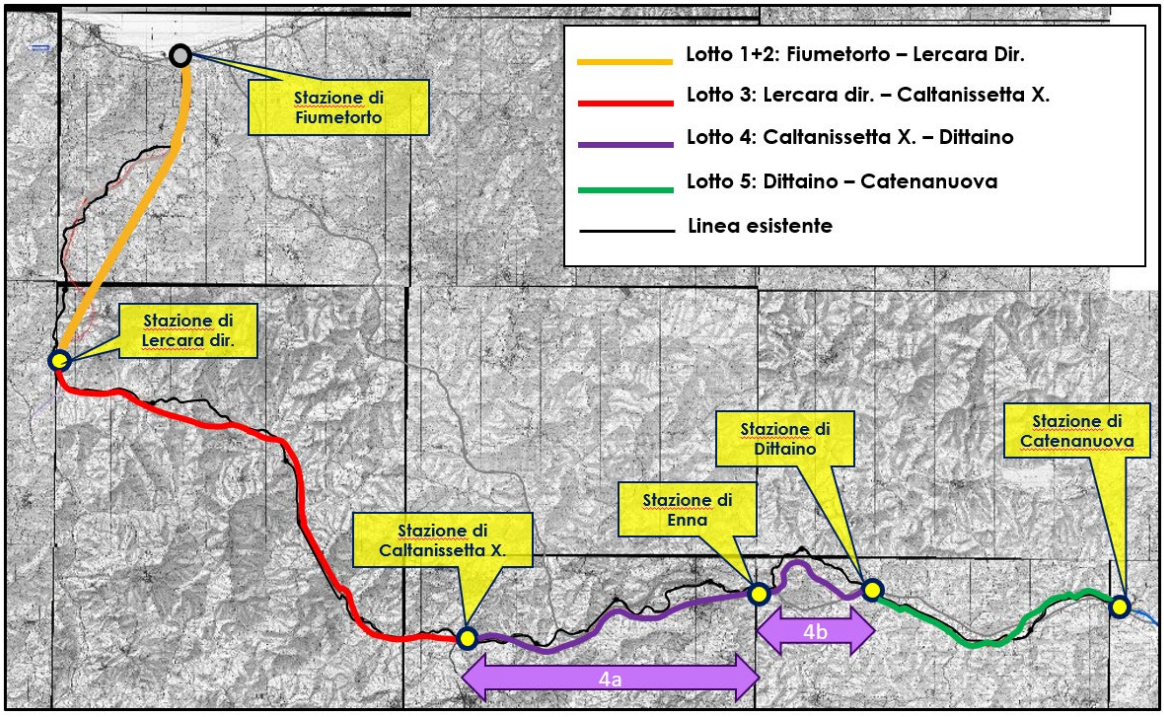


L'itinerario Palermo – Catania è attualmente costituito dalle seguenti tratte:

1. Palermo – Fiumetorto (Fascicolo Linee 153) a doppio binario per un'estesa di circa 43 km;
2. Fiumetorto – Caltanissetta Xirbi (Fascicolo Linee 157) a singolo binario per un'estesa di circa 82 km;
3. Caltanissetta Xirbi – Bicocca (Fascicolo Linee 155) a singolo binario per un'estesa di circa 108 km;
4. Bicocca – Catania Centrale (Fascicolo Linee 155), parte a doppio binario (Bicocca - Catania Acquicella) e parte a singolo binario (Catania Acquicella – Catania Centrale) per un'estesa complessiva di circa 7 km.

La linea è interessata da un ampio progetto di investimento denominato "*Nuovo Collegamento Palermo – Catania*" che prevede una serie di interventi sulla tratta Fiumetorto – Bicocca, suddivisi nei seguenti lotti funzionali:

- Lotto "1+2": tratta Fiumetorto – Lercara Diramazione di circa 30 km;
- Lotto 3: tratta Lercara Diramazione – Caltanissetta Xirbi di circa 47 km;
- Lotto 4a: tratta Caltanissetta Xirbi – Enna Nuova di circa 27 km;
- Lotto 4b: tratta Enna Nuova - Dittaino di circa 15 km;
- Lotto 5: tratta Dittaino – Catenanuova di circa 22 km;
- Lotto 6: tratta Catenanuova – Bicocca di circa 37 km.



Si evidenzia come il suddetto investimento, rientra nelle procedure Commissariali previste dalla legge 164/2014 "Sblocca Italia" per l'intero intervento Messina – Catania – Palermo.

2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1.1 ELABORATI DI PROGETTO

Gli impianti dovranno essere realizzati secondo quanto riportato nella presente Relazione Tecnica e negli ulteriori elaborati di Progetto Definitivo sotto riportati, ai quali si farà riferimento esplicito od implicito nel prosieguo del presente documento:

RS3Z00D67PBLF04B3002 Planimetria con impianto di terra e lay out Fabbricato Tecnologico PGEP

RS3Z00D67PBLF04B3004 Planimetria con impianto di terra e lay out Fabbricato Energia 1

RS3Z00D67PBLF04B3006 Planimetria con impianto di terra e lay out Fabbricato Pompe

RS3Z00D67DXLF04B2001 Quadri elettrici bt - Schemi elettrici e fronte

2.1.2 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"
- L. REG. 7 agosto 2009, n 17 "Nuove norme per il contenimento dell'inquinamento luminoso e per il risparmio energetico" - Regione Veneto
- 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. 305/2011del 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 EN50122-1 (9.6):** "Applicazioni ferroviarie – Installazioni fisse; Parte 1a: Provvedimenti concernenti la sicurezza elettrica e la messa a terra";

- **Norma CEI 99-3 (EN50522):** "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 EN60865-1 (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 (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.

3 SIMBOLOGIA E TERMINOLOGIA ADOTTATE

La simbologia adottata è derivata direttamente dalla Norma CEI EN 50522 § 3.

Di seguito si riportano i simboli ed i termini più frequentemente usati nel presente elaborato:

GRANDEZZA	DEFINIZIONE	SIMBOLO
Terra di riferimento (terra lontana)	Zona della superficie del terreno al di fuori dell'area di influenza di un dispersore o di un impianto di terra	-
Dispersore di fatto	Parte metallica in contatto elettrico con il terreno, direttamente o tramite calcestruzzo, il cui scopo originale non è di mettere a terra ma soddisfa tutti i requisiti di un dispersore	-
Resistività del terreno	Resistività di un tipico campione di terreno	ρ_E
Resistenza di terra	Resistenza tra il dispersore e la terra di riferimento	R_E
Tensione totale di terra	Tensione tra un impianto di terra e la terra di riferimento	U_E
Tensione di contatto	Tensione tra parti conduttrici quando vengano toccate simultaneamente	U_T
Tensione di passo	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
Corrente di guasto a terra	corrente che fluisce dal circuito principale verso terra, o verso parti collegate a terra, nel punto di guasto	I_F
Corrente di terra	Corrente che fluisce a terra tramite la resistenza di terra e determina quindi la tensione totale di terra UE	I_E

L'impianto di messa a terra sarà unico, e ad esso saranno collegate tutte le ferramenta, carpenterie, involucri metallici, tubazioni ed altri elementi presenti nell'area che possono essere oggetto di indebite tensioni elettriche in caso di guasto.

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 EN50522 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 e le tensioni di passo 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.

La rete di distribuzione MT nella zona oggetto della fornitura è configurata con neutro compensato; ciò limita i valori delle correnti di guasto a terra a poche decine di ampere.

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.

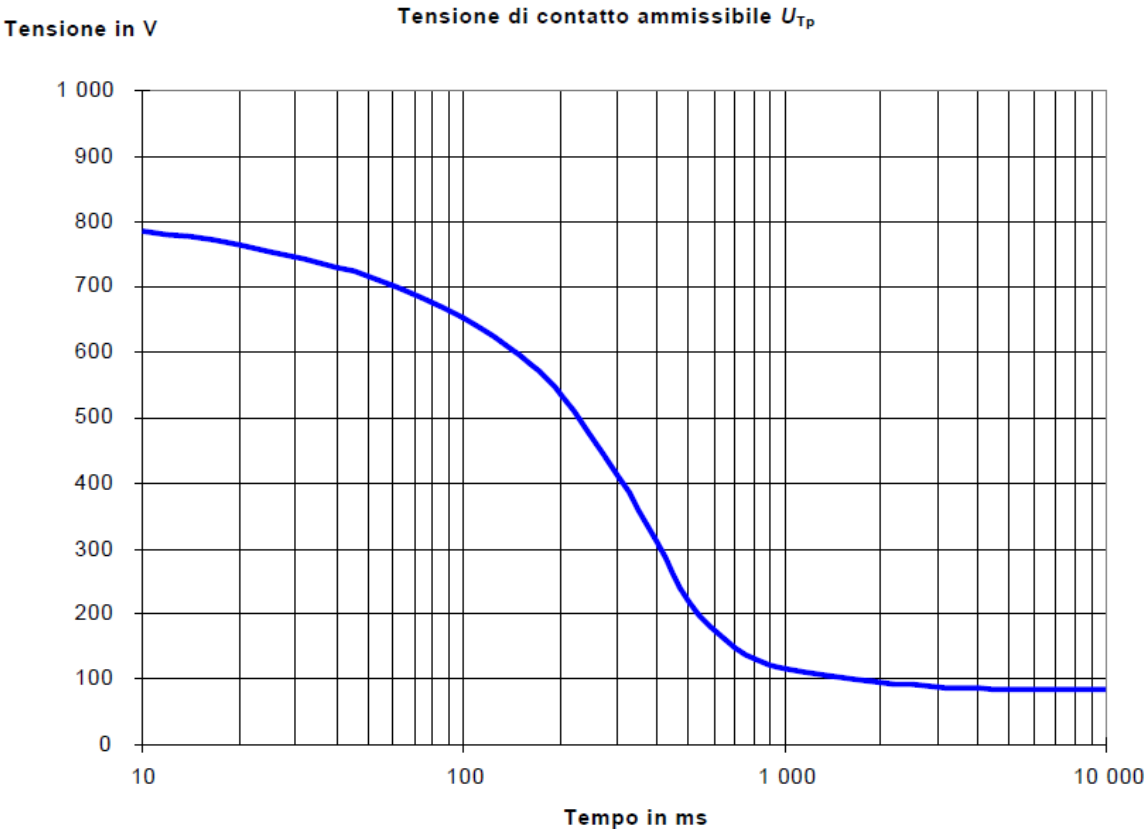


Figura 4 – Curva Tempo-Tensione (Norma CEI EN 50522 § 5.4.3)

Durata guasto t_f s	Tensione di contattto ammissibile U_{Tp} V
0,05	716
0,10	654
0,20	537
0,50	220
1,00	117
2,00	96
5,00	86
10,00	85

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:

$$\mathbf{t > 10\ s;}$$

$$\mathbf{I_g = 50\ A;}$$

che andranno poi confermati in fase di Progettazione Esecutiva

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):

$$U_{TP}=85\ [V]$$

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.
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:

$$I_E = 50\ [A]$$

$$U_{TP} = 85\ [V]$$

si ottiene:

$$R_E < 1{,}7\ [\Omega]$$

5 CONFIGURAZIONE DEL SISTEMA DISPERDENTE

Il sistema disperdente sarà composto da:

- Un anello perimetrale in corda di rame nuda della sezione di 120mm^2 interrato a 0,6m di profondità lungo il perimetro del fabbricato tecnologico PGEP integrato da i dispersori verticali a picchetto di lunghezza 4,5 m.
- Un anello perimetrale in corda di rame nuda della sezione di 120mm^2 interrato a 0,6m di profondità lungo il perimetro della cabina di consegna E1 integrato da i dispersori verticali a picchetto di lunghezza 4,5 m.
- Un anello perimetrale in corda di rame nuda della sezione di 120mm^2 interrato a 0,6m di profondità lungo il perimetro del fabbricato antincendio integrato da i dispersori verticali a picchetto di lunghezza 4,5 m.
- Un collegamento tra i dispersori dei fabbricati costituito da una corda di rame nuda della sezione di 120mm^2 interrato a 0,6m.

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 quanto i due sistemi disperdenti non si possono considerare indipendenti tra loro ma si influenzano reciprocamente, tuttavia si può pensare di valutare, in prima approssimazione, la resistenza totale come parallelo tra le resistenze di ciascuno dei suindicati dispersore.

All'interno di ciascun locale verrà realizzato uno o più nodi equipotenziali a cui collegare le masse metalliche di cabina tramite cavo in rame di sezione pari a 120mm^2. 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. Ai suddetti nodi saranno realizzati almeno i seguenti collegamenti equipotenziali:

- Centro stella trasformatori;
- Barra di terra Quadro Generale di Bassa Tensione;
- Barra di terra Quadro di Media Tensione.

Trattandosi di impianto con cabina di trasformazione, il sistema di distribuzione dell'energia sarà del tipo TN-S, pertanto la cabina sarà dotata di proprio impianto di messa a terra al quale sarà collegato il neutro (centro stella dei trasformatori); le masse metalliche delle apparecchiature verranno collegate, tramite appositi conduttori di protezione (PE), ad appositi nodi equipotenziali, anch'essi, a loro volta, collegati al dispersore di terra.

Essendo i fabbricati in zona ferroviaria va evitato il collegamento dei ferri di armatura al sistema di terra.

6 DIMENSIONAMENTO IMPIANTO DI TERRA

6.1.1 Calcolo della resistenza di terra del dispersore

Per la determinazione della resistenza di terra R_{tot} del dispersore è essenziale conoscere il valore della resistività del terreno; in questa fase si è assunto il valore prudenziale

$$\rho = 200\Omega m$$

Qualora le condizioni del terreno risultassero avverse, questo valore può essere facilmente ottenuto asportando il terreno intorno al dispersore e sostituendolo con terreno vegetale ad elevata conducibilità.
Dal momento che *"la maggior parte"* della resistenza di terra è concentrata nei pressi del dispersore, la quantità di terreno da sostituire non è eccessiva.

L'appaltatore, nel progetto esecutivo, dovrà effettuare nuovamente il calcolo con la reale misura del terreno, al fine di verificare le ipotesi alla base del calcolo.

La resistenza di terra dell'intero sistema disperdente può essere calcolata come parallelo delle resistenze dei singoli sistemi componenti, ossia dei dispersori lineari perimetrali, del dispersore lineare di collegamento e dei dispersori verticali a picchetto.

Il dispersore perimetrale del fabbricato tecnologico PGEP è costituito, come detto, da corda nuda in rame sez.120mmq interrata a profondità di 0,6 m rispetto al piano di calpestio del piazzale, avrà le seguenti caratteristiche geometriche:

- Lunghezza: L ≈ 29m
- Larghezza: L ≈ 8,5m
- Perimetro: P ≈ 75m
- Area: A ≈ 246,5m^2

Impiegando la formula definita dalla CEI EN 50522 per un dispersore ad anello:

$$Ra = \frac{\rho}{\pi^2 D_a} \ln \frac{2\pi D_a}{d_a};$$

- ρ [Ωm] = 200 Resistività del terreno;
- Da [m] = 17,72 Diametro del cerchio di area equivalente al dispersore ad anello;
- da [mm] = 14,00 Diametro del conduttore.

Si ha:

$$\mathbf{R_{AFT} = 10{,}28\ \Omega}$$

Il dispersore perimetrale del fabbricato di consegna è costituito anch'esso da corda nuda in rame sez.120mm^2 interrata a profondità di 0,6m rispetto al piano di calpestio del piazzale, avrà le seguenti caratteristiche geometriche:

- Lunghezza: L ≈ 8,6m
- Larghezza: L ≈ 6,6m
- Perimetro: P ≈ 30,4m
- Area: A ≈ 56,76m^2

Impiegando la formula definita dalla CEI EN 50522 per un dispersore ad anello:

$$Ra = \frac{\rho}{\pi^2 D_a} \ln \frac{2\pi D_a}{d_a};$$

- ρ [Ωm] = 200 Resistività del terreno;
- Da [m] = 8,50 Diametro del cerchio di area equivalente al dispersore ad anello;
- da [mm] = 14,00 Diametro del conduttore.

Si ha:

$$\mathbf{R_{AFC} = 19{,}67\ \Omega}$$

Il dispersore perimetrale del fabbricato antincendio è costituito anch'esso da corda nuda in rame sez.120mm^2 interrata a profondità di 0,6m rispetto al piano di calpestio del piazzale, avrà le seguenti caratteristiche geometriche:

- Lunghezza: L ≈ 13,6m
- Larghezza: L ≈ 10m
- Perimetro: P ≈ 47,2m
- Area: A ≈ 136m^2

Impiegando la formula definita dalla CEI EN 50522 per un dispersore ad anello:

$$Ra = \frac{\rho}{\pi^2 D_a} \ln \frac{2\pi D_a}{d_a};$$

- ρ [Ωm] = 200 Resistività del terreno;
- Da [m] = 13,16 Diametro del cerchio di area equivalente al dispersore ad anello;
- da [mm] = 14,00 Diametro del conduttore.

Si ha:

R_{AFA}= 13,38 Ω

Il dispersore lineare di collegamento è costituito da corda nuda in rame sez.120mm^2 interrata a profondità di 0,6m rispetto al piano di calpestio del piazzale, avrà le seguenti caratteristiche geometriche:

- Lunghezza: L ≈ 50m

Impiegando la formula definita dalla CEI EN 50522 per un una corda in terreno omogeneo:

$$R_E = \frac{\rho}{4\pi L}\left\{2ln\left(\frac{L}{r_o}\right) + ln\left[\frac{\frac{L}{2} + \sqrt{\left(\frac{L}{2}\right)^2 + (2h + r_o)^2}}{-\frac{L}{2} + \sqrt{\left(\frac{L}{2}\right)^2 + (2h + r_o)^2}}\right]\right\};$$

- ρ [Ωm] = 200 Resistività del terreno;
- h [m] = 0,6 Altezza di interramento;
- r_o [mm] = 14,00Diametro del conduttore.

Si ha:

R_{DL}= 7,58 Ω

Il sistema di dispersori lineare, come detto, sarà integrato da un sistema di dispersori verticali a picchetto, costituiti da aste in acciaio ramato infisse nel terreno e collegate al dispersore lineare a mezzo di capocorda in rame bullonati ad appositi collari fissati all'estremità dei picchetti.

I suddetti picchetti, in numero totale di 16, avranno le seguenti caratteristiche geometriche:

- L_p [m]= 4,50: Lunghezza complessiva del picchetto;
- D_p [mm]= 19: Diametro del picchetto.

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

$$R_{p1} = \frac{\rho}{2\pi L_p} \ln \frac{4L_p}{D_p};$$

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

R_P=46,54 Ω

Considerando il parallelo dei n.16 picchetti la resistenza complessiva del dispersore verticale assume il valore:

R_{TP}= R_P /N = 46,54 / 16 = 2,91 Ω

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

R_T = 1 / (1/R_{AFT} + 1/R_{AFC} + 1/R_{AFA} + 1/ R_{DL} + 1/R_{TP}) = 1,43 Ω

Poiché il valore calcolato della resistenza di terra è inferiore al limite che assicura il contenimento dei valori di passo e di contatto, ossia:

$$1,7[\Omega] > 1,43 [\Omega]$$

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

6.1.2 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:

$$V_T = R_T * I_F \leq 1200 \text{ V}$$

$$R_T = 0,65$$

$$V_T = 0,65 * 50 = 32,6 \text{ V} < 1200 \text{ V}$$

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.

6.1.3 Dimensionamento dell'Impianto di Terra in relazione al comportamento termico ed alla resistenza alla corrosione

Si procede al calcolo delle sezioni minime che devono presentare i conduttori di terra, i conduttori di protezione e gli elementi costituenti i dispersori. La sezione del dispersore deve essere calcolata in relazione all'entità e alla durata della corrente di guasto. Le norme CEI definiscono inoltre le sezioni minime per presentare un'adeguata robustezza nei confronti della corrosione e delle sollecitazioni meccaniche.

Occorre quindi analizzare separatamente tre casi:

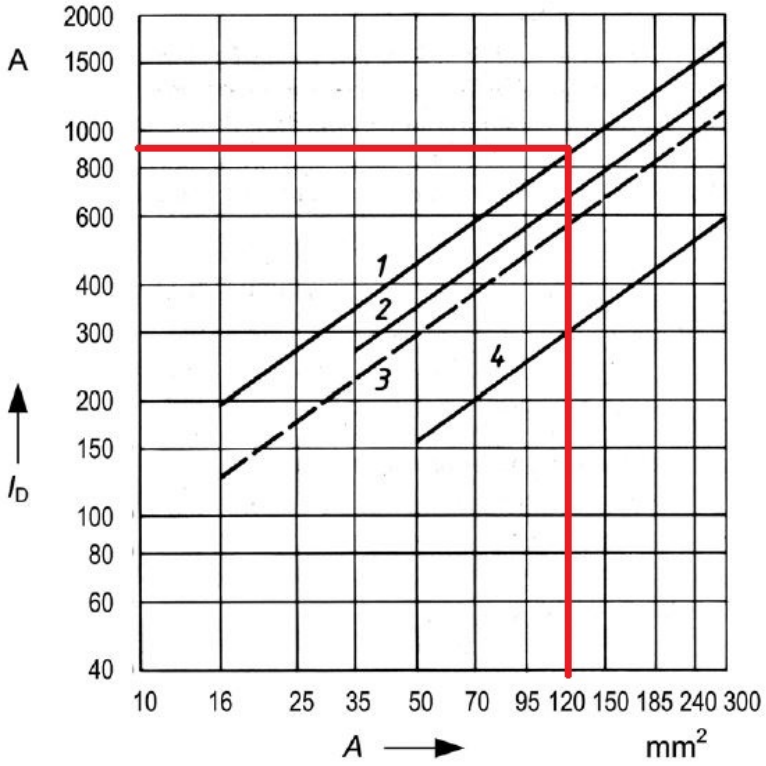
- Dimensionamento del conduttore di terra per guasti lato MT;
- Dimensionamento del conduttore di terra per guasto lato BT;
- Dimensionamento del dispersore.

6.1.4 Dimensionamento del Conduttore di terra per guasti lato MT

La sezione del conduttore di terra deve essere calcolata in relazione all'entità e alla durata della corrente di guasto. Nel caso in cui la durata della corrente di guasto $t_F \leq 5s$ (fenomeno adiabatico) per il calcolo della sezione A espressa in millimetri quadrati si avrà:

$$A = \frac{I_F}{K}\sqrt{\frac{t_F}{ln * \frac{\theta_f + \beta}{\theta_I + \beta}}}$$

Per correnti di guasto che fluiscono per un periodo più lungo ($t_F >> 10s$, impianto con neutro compensato), le correnti ammissibili sono riportate nella seguente figura, estratta dalla norma CEI EN 50522:



Le linee 1, 2 e 4 si riferiscono ad una temperatura finale di 300 °C, la linea 3 a quella di 150 °C. La Tabella D.2 contiene fattori per la conversione ad altre temperature finali.

1 Rame, nudo o con rivestimento di zinco
2 Alluminio
3 Rame, con rivestimento in stagno o con guaina di piombo
4 Acciaio zincato

a) Corrente permanente I_D per conduttori di terra con sezione circolare (A)

6.1.5 Dimensionamento del conduttore di terra per guasti lato BT

Sono soggetti al guasto lato BT i seguenti conduttori:

- collegamenti a terra delle masse BT (quadro BT);
- collegamenti a terra dei boxes/grigliati di contenimento trasformatori;
- collegamenti a terra del centro stella dell'avvolgimento secondario dei trasformatori.

Per detti conduttori, la sezione del conduttore di terra non deve essere inferiore a quella ricavata dall'applicazione dell'art. 543.1.1 della norma CEI 64-8/5:

$$A = \frac{\sqrt{Ig^2 * t}}{k}$$

dove:

- Ig = corrente di guasto a terra, in ampere;
- t = tempo di eliminazione del guasto in secondi;
- k = coefficiente che tiene conto delle caratteristiche del materiale che costituisce il conduttore e delle temperature iniziali e finali (per conduttori in rame isolati con cloruro di polivinile (PVC) si ha k = 115 [Amm-2s1/2]).

La situazione più critica si verifica quando:

1. avviene un guasto a terra immediatamente a valle dell'avvolgimento secondario del trasformatore (in tal caso l'impedenza del conduttore di fase si può ritenere nulla);
2. il guasto a terra è franco;
3. il tempo di intervento delle protezioni sia stimato ad 1 secondo (tbt) (intervento della protezione lato BT).

La corrente di guasto più elevata si verifica per un cortocircuito fase-terra al secondario del trasformatore: $I_g=I_{K1}=I_K$.

$$I_G = I_k = \frac{100 \cdot S_N}{u_{cc\%} \cdot \sqrt{3} \cdot U} = 6014{,}1 \text{ [A]}$$

Ciò fa si che la minima sezione ammissibile per i sopra citati conduttori sarà:

$$A = \frac{\sqrt{Ig^2 \cdot t}}{k} = 52{,}3 \text{ mm}^2$$

6.1.6 Protezione dai contatti indiretti

6.1.7 Guasto sulla bassa tensione gestita con sistema TN-S.

Si dovranno scegliere dei dispositivi di protezione che abbiano una corrente I_a tale da garantire il rispetto della seguente relazione:

$$Z_s \, x \, I_a \leq U_0$$

Dove:

- U_0 = tensione nominale in c.a. (valore efficace tra fase e terra);
- Z_s = impedenza dell'anello di guasto che comprende la sorgente, il conduttore attivo fino al punto di guasto ed il conduttore di protezione tra il punto di guasto e la sorgente;
- I_a = corrente che provoca l'interruzione automatica del dispositivo di protezione entro 0,4 secondi (Norma CEI 64-8/4 - Tabella 41A).

6.1.8 Guasto sulla bassa tensione gestita con sistema TT

Si dovrà scegliere un dispositivo di protezione che abbia una corrente differenziale Idn tale da garantire il rispetto della seguente relazione:

$$R_E \, x \, I_{dn} \leq U_L$$

Dove:

- R_E = resistenza del dispersore in ohm;
- I_{dn} = corrente nominale differenziale in ampere;
- U_L = tensione di contatto limite convenzionale (50 V per i sistemi in c.a.).