

LIAISON LYON - TURIN / COLLEGAMENTO TORINO - LIONE

Partie commune franco-italienne
Section transfrontalière

Parte comune italo-francese
Sezione transfrontaliera

NOUVELLE LIGNE LYON TURIN – NUOVA LINEA TORINO LIONE PARTIE COMMUNE FRANCO-ITALIENNE – PARTE COMUNE ITALO-FRANCESE

REVISION DE L'AVANT-PROJET DE REFERENCE – REVISIONE DEL PROGETTO DEFINITIVO CUP C11J05000030001

EQUIPEMENTS-IMPIANTI

IMPIANTI FISSI DI TRAZIONE ELETTRICA / INSTALLATIONS FIXES DE TRACTION ELECTRIQUE SOTTOSTAZIONI ELETTRICHE DI TRAZIONE ELETTRICA/POC / SOUS STATIONS DE TRACTION/POC SOUS STATION DE SUSA 132/2x25kV - SSE DI SUSA 132/2x25kV

RAPPORT DU RÉSEAU DE LA TERRE – RELAZIONE DELLA MAGLIA DI TERRA

Indice	Date/ Data	Modifications / Modifiche	Etabli par / Concepito da	Vérifié par / Controllato da	Autorisé par / Autorizzato da
0	28/09/2012	Emission pour vérification C2B et validation C3.0 / Emissione per la verifica C2B e la validazione C3.0	M. FRANCISI (ITALFERR)	G. BOVA C. OGNIBENE	M. FORESTA M. PANTALEO
A	08/02/2013	Emissione a seguito commenti LTF e CCF	M. FRANCISI (ITALFERR)	G. BOVA C. OGNIBENE	M. FORESTA M. PANTALEO

 **Technimont**
Civil Construction
Dott. Ing. Aldo Mancarella
Ordine Ingegneri Prov. TO n. 6271 R



CODE DOC	P	D	2	C	2	B	T	S	3	0	6	2	6	A
	Phase / Fase			Sigle étude / Sigla			Émetteur / Emittente			Numero			Indice	

A	P	N	O	T
Statut / Stato		Type / Tipo		

ADRESSE GED INDIRIZZO GED	C2B	//	//	30	01	50	10	01
------------------------------	-----	----	----	----	----	----	----	----

ECHELLE / SCALA
--



LTF sas - 1091 Avenue de la Boisse - BP 80631 - F-73006 CHAMBERY CEDEX (France)
Tél. : +33 (0)4.79.68.56.50 - Fax : +33 (0)4.79.68.56.75
RCS Chambéry 439 556 952 - TVA FR 03439556952
Propriété LTF Tous droits réservés - Proprietà LTF Tutti i diritti riservati

Ce projet
est cofinancé par
l'Union européenne
(DG-TREN)



Questo progetto
è cofinanziato
dall'Unione europea
(TEN-T)

SOMMAIRE / INDICE

RESUME/RIASSUNTO	3
1. INTRODUZIONE	4
2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	5
2.1 Riferimenti normativi	5
2.2 Riferimenti ad elaborati di progetto.....	5
3. CRITERI PROGETTUALI	6
4. COSTITUZIONE DELL'IMPIANTO	7
4.1 Impianto di terra di piazzale	7
4.2 Impianto di terra del fabbricato	8
5. DIMENSIONAMENTO.....	9
5.1 Scelta dei parametri progettuali	9
5.2 Calcolo della resistenza di terra del dispersore.....	10
5.3 Verifica delle tensioni di passo e di contatto	11
5.4 Verifica della sezione del conduttore	13

RESUME/RIASSUNTO

Dans la première partie de le présent document sont décrit les critères de conception et les caractéristiques de construction de l'usine de mise à la terre de la nouvelle sous-station électrique de Suse, à la fois en ce qui concerne la place que le bâtiment. Dans les hypothèses spécifiques sont en première approximation en ce qui concerne la section du conducteur et la taille et la quantité des piquets profondes.

Dans la seconde partie du document sont prises pour calculer les paramètres (en termes de courant de défaut, le temps de protection, les caractéristiques de résistivité du sol, etc) et les calculs effectués pour vérifier la configuration prise en première approximation, en particulier au niveau de tension de l'étape et le contact.

Les tests ont été effectués en préférant, dans tous les cas, la sécurité des personnes; dans cet esprit, dans certains cas, on est appliquées les différentes formulations proposées par la littérature du domaine, en supposant que les bons résultats sont les plus prudents.

Nella prima parte del presente documento vengono descritti i criteri progettuali e le caratteristiche costruttive dell'impianto di messa a terra della nuova SSE di Susa, sia per quanto riguarda il piazzale che il fabbricato. Nello specifico vengono effettuate ipotesi di prima approssimazione per quanto riguarda la sezione del dispersore superficiale magliato e le dimensioni e quantità dei dispersori profondi a picchetto.

Nella seconda parte del documento vengono assunti i parametri di calcolo (in termini di corrente di guasto, tempo di intervento delle protezioni, caratteristiche di resistività dei terreni, ecc.) ed eseguiti i calcoli di verifica della configurazione ipotizzata in prima approssimazione, con particolare riferimento al livello di tensione di passo e di contatto.

Le verifiche sono state eseguite prediligendo, in ogni caso, la sicurezza delle persone; in quest'ottica, in alcuni casi, sono state applicate le diverse formulazioni suggerite dalla bibliografia di settore assumendo per buoni i risultati maggiormente cautelativi.

1. Introduzione

Nell'ambito delle opere impiantistiche relative al nuovo collegamento ferroviario AV Torino-Lione, è prevista la realizzazione della nuova Sotto Stazione Elettrica 132/2x25kV di Susa.

L'impianto sarà alimentato in Alta Tensione tramite due elettrodotti in cavo 132kV.

Il piazzale occuperà un'area di circa 9295m², come si evince dall'elaborato:

PD2-C2B-TS3-0622-0-PA-PLA – SSE di Susa 132/2x25kV – Planimetria di piazzale.

Poiché nella suddetta SSE confluiscono sistemi di categoria 0, I, II, III, l'impianto di messa a terra, oggetto della presente relazione tecnica di progetto, dovrà soddisfare alle esigenze di sicurezza di tutti i sistemi suddetti. Inoltre, trattandosi di impianto ferroviario, verranno attuati i criteri progettuali previsti dalla normativa tecnica valida per gli impianti di trazione elettrica e, più in particolare, dalle Norme CEI citate al successivo punto 3.

Scopo della presente relazione è quello di fornire i criteri progettuali adottati per la definizione dell'impianto di terra della nuova SSE di Susa.

Per la individuazione e valorizzazione dei parametri di progetto saranno prese a riferimento le norme tecniche vigenti, ma verranno tenuti in debita considerazione anche i criteri progettuali e costruttivi normalmente impiegati da Italferr ed RFI, dato il particolare carattere dell'impianto in oggetto.

Le caratteristiche di dettaglio e la descrizione dei singoli impianti componenti sono desumibili dagli specifici elaborati grafici e descrizioni tecniche del progetto definitivo, quali il lay-out d'impianto, la relazione tecnica generale, ecc. Questi verranno citati nella presente relazione di progetto tutte le volte che vi verrà fatto esplicito riferimento.

2. Documenti di riferimento

La presente relazione di calcolo, nonché tutta la documentazione progettuale che verrà successivamente citata, è conforme alle indicazioni contenute negli elaborati standard a riferimento, per quanto applicabili. Nei punti seguenti vengono citate le principali Norme e documenti tecnici cui nel prosieguo della relazione verrà fatto esplicito od implicito riferimento.

2.1 Riferimenti normativi

Per la esecuzione del presente progetto sono state adottate le Norme CEI nella loro edizione più recente nonché le NT, Istruzioni e Circolari RFI vigenti, delle quali si elencano qui di seguito le principali:

- **NT TE118** - Norme Tecniche per la costruzione delle condutture di contatto e di alimentazione a corrente continua a 3kV;
- **Norme CEI EN 50119 (9.2)** - Linee di Trazione Elettrica;
- **Norme CEI EN 50122-1 (9.6)** – Applicazioni ferroviarie – Installazioni fisse; Parte 1: Provvedimenti concernenti la sicurezza elettrica e la messa a terra;
- **Norme CEI EN 50522** - Messa a terra degli impianti elettrici a tensione superiore a 1 kV in c.a.;
- **Norme CEI 11.17** – Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione di energia elettrica. Linee in cavo;
- **Norme CEI EN60909-0 (11.25)** – Correnti di corto circuito nei sistemi trifasi in c.a. – Calcolo delle correnti;
- **Norme CEI 64.8** – Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000V ca e 1500V cc;
- **Istruzione Tecnica RFI / LP016 Ed. 09/2001** – Reparti AT di SSE alla tensione di 132–150kV;
- **D.M. 22-1-2008 n. 37** - Regolamento concernente l'attuazione dell'articolo 11-quaterdecies, comma 13, lettera a) della legge n. 248 del 2 dicembre 2005, recante riordino delle disposizioni in materia di attività di installazione degli impianti all'interno degli edifici;
- **DL n°81 del 9.04.2008** - Procedure di attuazione per la sicurezza sul lavoro;
- **ANSI / IEEE Std 80** – Guide for Safety in AC Substation Grounding.

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.

2.2 Riferimenti ad elaborati di progetto

Costituiscono parte integrante della presente relazione gli elaborati di progetto definitivo di seguito riepilogati, ai quali si rimanda per gli aspetti di dettaglio non esplicitamente menzionati nel presente documento:

- PD2-C2B-TS3-0620-0-PA-PLA - SSE di Susa 132/2x25kV – Schema di potenza unifilare;
- PD2-C2B-TS3-0623-0-PA-PLA – SSE di Susa 132/2x25kV – Planimetria di piazzale;
- PD2-C2B-TS3-0624-0-PA-PLA – SSE di Susa 132/2x25kV – Disposizione blocchi di fondazione e maglia di terra.

3. 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.

Poiché l'alimentazione in AT è di tipo trifase con neutro a terra, nel caso di guasto a massa sugli impianti ed apparecchiature AT il circuito di guasto si chiude attraverso il terreno. Pertanto, per favorire l'intervento delle protezioni ed attuare l'interruzione automatica dell'alimentazione, è necessario che l'impedenza di tale circuito sia la più bassa possibile, in modo che i valori delle correnti di guasto si mantengano al di sopra di quelli di taratura delle protezioni medesime.

Le tensioni pericolose che si stabiliscono sulle masse in caso di guasto dipendono, oltre che dal valore teorico della corrente di guasto e dal tempo di permanenza del guasto stesso, anche dalla resistenza di terra del dispersore attraverso il quale fluisce la corrente che attraversa il terreno.

In base a questi parametri dovrà essere dimensionato il dispersore principale della SSE.

Poiché poi all'interno dei fabbricati di contenimento e controllo apparecchiature presenti nel piazzale esistono altri impianti elettrici utilizzatori, sia in MT che in bt, anche per essi occorrerà prevedere la messa a terra di sicurezza.

In relazione al fatto che i fabbricati e tutti gli impianti residenti in essi cadono all'interno del piazzale AT, e che pertanto non è possibile realizzare per essi impianti di terra indipendenti dal precedente, si ricorrerà ad un impianto di messa a terra unico cui saranno collegate tutte le ferramenta, carpenterie metalliche, cassoni, tubazioni ed altri elementi metallici presenti nella SSE, fabbricati compresi, che possano essere oggetto di indebiti tensionamenti in caso di guasto.

Tutte le masse metalliche che fuoriescono dall'area di piazzale quali tubazioni per l'allacciamento a servizi vari, potenzialmente pericolose perché potrebbero "portare" fuori dal piazzale tensioni pericolose in caso di guasto, andranno opportunamente isolate per mezzo di opportuni giunti isolanti.

In particolare saranno collegate direttamente al dispersore in almeno due unti distinti, per mezzo di conduttori di rame nudi, tutte le masse metalliche del piazzale AT, e cioè le armature dei cavi, i cassoni dei trasformatori, i telai di sostegno e gli involucri delle apparecchiature di sezionamento ed interruzione (compresi i relativi armadi di manovra e controllo), le carpenterie di sostegno delle sbarre, dei cavi e dei conduttori aerei di piazzale, i cavalletti degli scaricatori AT, dei TV e dei TA, i pali di sostegno delle torri faro e tutte le altre strutture metalliche accessibili poste all'interno dell'anello perimetrale della rete di terra.

Le masse metalliche delle apparecchiature interne al fabbricato di SSE saranno invece collegate ad uno o più collettori in piatto di rame disposti lungo le pareti e collegati alla rete di terra esterna in più punti a mezzo collegamenti in cavo.

4. Costituzione dell'impianto

4.1 Impianto di terra di piazzale

Come riscontrabile dall'elaborato:

PD2-C2B-TS3-0624-0-PA-PLA – SSE di Susa 132/2x25kV – Disposizione blocchi di fondazione e maglia di terra;

l'impianto di terra generale di piazzale sarà costituito essenzialmente da un dispersore orizzontale a rete magliata, in corda di rame nudo da 120mm², interrato ad una profondità di circa 0,6m in corrispondenza delle zone interne di piazzale e di 1,5m al contorno.

La sezione di 120mm² è ampiamente esuberante rispetto a quella minima prescritta dalla normativa in relazione al riscaldamento dei conduttori ed alla loro resistenza meccanica agli urti ed usure varie.

La dimensione delle singole maglie sarà mediamente di 5x5m, in modo da realizzare una superficie pressoché equipotenziale su tutta l'area interessata dall'impianto. Lo sviluppo superficiale complessivo della rete, con particolare riferimento alla lunghezza del conduttore perimetrale, sarà oggetto di verifica nel presente calcolo.

L'impianto verrà integrato da una serie di dispersori verticali, costituiti da puntazze in acciaio ramato infisse nel terreno entro appositi pozzetti, e dai “dispersori di fatto” costituiti dai plinti, pilastri e travi di fondazione delle apparecchiature di piazzale e del fabbricato.

Tali ultime strutture, realizzate in cemento armato, contribuiscono notevolmente alla dispersione delle correnti di terra, a condizione di realizzare le armature come sistemi metallici continui. Ciò si ottiene collegando tra loro, con efficaci legature in fil di ferro o meglio con punti di saldatura, tutti i ferri principali d'armatura delle fondazioni, durante la loro formazione.

Il numero, la collocazione e le dimensioni dei dispersori verticali verranno verificati nell'ambito del seguente calcolo di progetto. Verranno invece trascurati, in prima analisi ed a titolo precauzionale, i contributi dei dispersori di fatto.

Oltre a realizzare i prescritti valori di resistenza di terra e a contenere quelli delle tensioni pericolose, l'estensione del dispersore dell'impianto di messa a terra dovrà essere tale da contenere abbondantemente al proprio interno tutte le apparecchiature che possono diventare sede di tensionamenti indebiti, ma anche tale da mantenere ben all'interno della recinzione di SSE l'elemento disperdente più periferico, cioè il conduttore perimetrale.

Quest'ultimo risulterà circa 2m più interno rispetto alla recinzione dell'area, e presenterà un andamento il più possibile morbido e regolare, poiché la presenza di vertici o antenne favorirebbe lo stabilirsi, nel piazzale, di zone ad intensa attività disperdente, con conseguenze indesiderabili sui valori delle tensioni di passo al contorno.

Per quanto detto, il cancello metallico di accesso alla SSE non potrà essere collegato alla rete di terra, ma sarà dotato di dispersore proprio. In tal modo esso non potrà mai assumere il potenziale del dispersore magliato, e sarà così evitato, in caso di guasto a terra del sistema AT, ogni pericolo per gli estranei all'impianto.

Le tensioni di guasto che possono assumere valori preoccupanti nell'area di SSE sono quelle “di passo” e “di contatto”, come definite dalla normativa (cfr. CEI EN 50522 cap. 3). Il

progetto del dispersore verrà eseguito con particolare riferimento alle tensioni di contatto, poiché queste assumono normalmente valori di gran lunga superiori a quelle di passo. Come indicato al punto 4.3 della norma CEI EN 50522, al fine di soddisfare i criteri di sicurezza, è regola generale che, osservando le prescrizioni per la tensione di contatto, vengano soddisfatte le prescrizioni per la tensione di passo.

Nelle zone più periferiche, cioè in prossimità del conduttore perimetrale, anche le tensioni di passo possono divenire pericolose, a causa dell'intensa attività disperdente in questa zona di piazzale. Per fronteggiare questa evenienza, i conduttori perimetrali verranno interrati, come detto, a profondità maggiore del resto della rete, in modo da ridurre il gradiente di potenziale al proprio intorno, in superficie.

In ogni caso, saranno oggetto di verifica anche le tensioni di passo che si destano nelle zone periferiche.

4.2 Impianto di terra del fabbricato

Per quanto riguarda invece l'impianto di terra del fabbricato, la sua realizzazione consisterà nelle seguenti attività:

- Installazione di collettori di terra in piatto di rame 60x6mm sulle pareti;
- Esecuzione delle derivazioni di messa a terra delle masse metalliche fisse verso i collettori, con piatto di rame 40x3mm,;
- Connessioni di continuità elettrica delle carpenterie mobili, con conduttori flessibili di sezione:
 - 50mm² per la messa a terra dei pannelli mobili (ante di celle ed armadi);
 - 70mm² per la messa a terra delle parti mobili tipo aste di manovra.
- Posa e collegamento, con doppio cavo in rame da 120mm², alla rete di terra di piazzale.

L'installazione dei collettori di terra e delle derivazioni alle masse metalliche dovrà essere opportunamente distanziata dalla parete mediante interposizione di distanziali in resina autoestingente, ed il fissaggio a parete dovrà essere eseguito con viti in acciaio e tasselli in PVC.

Le sbarre in rame dell'impianto di terra interno ai fabbricati dovranno essere verniciate sulle parti a vista, in GIALLO con strisce VERDI, oppure con il simbolo di terra (verniciato o prestampato, ben adesivo e resistente).

5. Dimensionamento

5.1 Scelta dei parametri progettuali

I parametri significativi al fine del dimensionamento del dispersore di terra sono la corrente di guasto a terra, il tempo d'intervento delle protezioni AT e la resistenza di terra del dispersore medesimo.

Per quanto attiene alla corrente di guasto a terra ed al tempo d'interruzione si assumeranno, in sicurezza, i valori dei suddetti parametri forniti alle sbarre della Cabina Primaria di Venaus, da cui proviene l'alimentazione AT dell'impianto oggetto del presente progetto:

$$I_g = 16000A; \quad t = 0,45s$$

Per la determinazione della reale corrente di terra I_t che il dispersore magliato è chiamato a smaltire, si dovrebbe tener conto anche dell'effetto disperdente del binario, cui l'impianto di terra principale è indirettamente connesso.

A vantaggio di sicurezza, però, tale effetto sarà trascurato ponendosi nella situazione in cui la corrente I_t da disperdere sia pari alla massima corrente di guasto monofase a terra I_g .

Pertanto in tale ipotesi risulta:

$$I_t = 16000A$$

Per la determinazione della resistenza di terra R_t del dispersore è essenziale conoscere il valore ρ_t della resistività del terreno. Poiché, alla data in cui viene compilata la presente relazione di progetto l'area che accoglierà la nuova SSE di Susa non è stata ancora definitivamente formata, non è stato possibile eseguire misure utili della resistività elettrica. Dalle indagini effettuate in questa zona il terreno risulta essere composto da depositi alluvionali grossolani (primo strato poco profondo di terreno vegetale composto da sabbia medio fine limosa con ciottoli e successivo strato composto da sabbie da fine a grossa con livelli di ghiaia con ciottoli).

In accordo a quanto indicato nella tabella J.1 dell'allegato J (Norma CEI EN 50522):

**Tabella J.1 - Resistività del terreno per correnti alternate
 (Gamma dei valori che sono stati misurati frequentemente)**

Tipo di terreno	Resistività del terreno ρ_E Ωm	
Terreno paludoso	da 5	a 40
Terriccio, argilla, humus	da 20	a 200
Sabbia	da 200	a 2 500
Ghiaietto	da 2 000	a 3 000
Pietrisco	Per lo più sotto 1 000	
Arenaria	da 2 000	a 3 000
Granito	fino a 50 000	
Morena	fino a 30 000	

per gli strati più profondi, destinati ad accogliere tra l'altro i dispersori verticali a picchetto, si assume un valore medio di resistività pari a:

$$\rho''_t = 1000\Omega m$$

Lo strato superficiale di piazzale, destinato ad accogliere tra l'altro il dispersore di terra orizzontale, sarà invece costituito da terreno vegetale riportato per una altezza di circa 2m, per il quale si assume un valore medio di resistività pari a:

$$\rho'_t = 200\Omega m$$

5.2 Calcolo della resistenza di terra del dispersore

L'elaborato:

PD2-C2B-TS3-0624-0-PA-PLA – SSE di Susa 132/2x25kV – Disposizione blocchi di fondazione e maglia di terra

evidenzia la presenza di una rete di terra magliata, con lato di maglia mediamente pari a circa 5m, con sviluppo totale L_p del conduttore perimetrale pari a:

$$L_p = 416m$$

e con sviluppo totale L_t dell'intera rete pari a:

$$L_t = 3556m$$

La resistenza R_r della rete può essere calcolata con le formule empiriche:

$$R_r = 2 \rho'_t / L_p \quad \text{oppure} \quad R_r = \rho'_t / 2xD + \rho'_t / L_t$$

in cui D è il diametro della rete circolare di superficie equivalente, pari a circa:

$$D = 104m.$$

Applicando separatamente le due formule si ricavano i valori:

$$R_r = 0,962\Omega \quad ; \quad R_r = 1,020\Omega$$

che differiscono leggermente a causa della forma piuttosto allungata del piazzale che rende poco attendibile il criterio di equivalenza delle aree su cui si fonda la seconda formula. Tuttavia si conviene di assumere, in sicurezza, il maggiore dei due valori:

$$R_r = 1,020\Omega$$

La resistenza R'_p di ciascuno dei paletti di acciaio, di diametro pari a 1,9cm e lunghezza 6,0m, è fornita dalla formula:

$$R'_p = \frac{\rho''_t}{2\pi L} \ln\left(\frac{4L}{d}\right)$$

in cui L ed r sono rispettivamente la profondità d'infissione (lunghezza) ed il raggio del tondo di cui è costituito il picchetto. Con i valori già forniti, si ottiene:

$$R'_p = 189,431\Omega$$

Nell'impianto in oggetto è stata prevista l'installazione di *trenta* paletti in parallelo tra loro, pertanto il complesso di questi dispersori verticali aggiuntivi avrà resistenza di terra complessiva pari a:

$$R_p = R'_p / 30 = 6,314\Omega$$

Pertanto la resistenza teorica complessiva dell'intero dispositivo dispersore, costituito dal parallelo dei due dispositivi parziali (rete e paletti), è pari a:

$$R_{tot} = \frac{R_r R_p}{R_r + R_p} = 0,878 \Omega$$

5.3 Verifica delle tensioni di passo e di contatto

Il dispersore così dimensionato dovrà essere tale da impedire che, con la corrente di guasto a terra di cui al precedente punto 5.1, si verifichino in qualsivoglia punto dell'impianto tensioni di contatto e di passo pari o superiori ai valori della seguente tabella:

Condizioni di breve durata

Tempo di eliminazione del guasto [s]	Tensione [V]
0,04	800
0,08	700
0,14	600
0,20	500
0,29	400
0,39	300
0,49	220
0,64	150
0,72	125
1,10	100

Nel caso in esame (tempo di intervento delle protezioni pari a 0,45s), interpolando linearmente i valori della tabella si ottiene che il valore di tensione da non superare è pari a:

$$U_{tp} = 240V.$$

Poiché, specialmente nelle zone interne alla rete di terra, la tensione di contatto V_c assume valori sempre superiori a quelli della tensione di passo V_p , conviene riferirsi alla prima, il cui valore, per il dispersore impiegato, viene fornito dalla formula semiempirica:

$$V_c = 0.7 \frac{\rho'_t \cdot I_{tr}}{L_t}$$

in cui I_{tr} è l'aliquota della corrente di terra I_t dispersa dal solo dispersore a rete magliata.

Poiché la rete ed il sistema dei paletti aggiuntivi si ripartiscono la corrente di terra in ragione inversa delle loro resistenze di terra, si ricava:

$$I_{tr} = I_t \frac{R_p}{R_r + R_p} = 13774A$$

$$I_{tp} = I_t \frac{R_r}{R_r + R_p} = 2226A$$

e, con gli altri valori precedentemente forniti, risulta:

$$V_c = 542V$$

Tale valore risulta superiore a quello limite di 240V, pertanto sarà necessario utilizzare opportuni provvedimenti migliorativi.

Il metodo più efficiente per migliorare l'efficienza dell'impianto nei confronti della tensione di contatto è quello di rivestire tutta l'area di piazzale contenente apparecchiature e masse metalliche con pavimentazioni ad elevata resistività (pietrisco, conglomerato bituminoso,

pavimentazioni in calcestruzzo, ecc) in modo da aumentare sensibilmente la resistenza di contatto con il suolo.

Ipotizzando allo scopo l'impiego di una pavimentazione di piazzale con spessore $S=0,1\text{m}$ e resistività $\rho_p = 20000\Omega\text{m}$ (valore caratteristico di una generica pavimentazione in conglomerato bituminoso) ed applicando i criteri di cui all'allegato A della Norma CEI EN 50522 si ha:

$$U_{Tp} = \frac{I_b}{HF} \cdot (Z_T \cdot BF + R_F);$$

nella quale i simboli hanno il significato riportato di seguito:

- Limite di corrente nel corpo umano:
 $I_b = 267\text{mA}$ (ottenuto interpolando i valori di tabella B.1 dell'All. A per $t=0,45\text{s}$);
- Fattore cardiaco di corrente:
 $HF = 1,0$ (percorso mano sinistra-piedi);
- Impedenza corporea:
 $Z_t = 834\Omega$ (ottenuto interpolando i valori di tabella B.2 dell'All. A per $V=542\text{V}$);
- Fattore corporeo:
 $BF = 0,5$ (contatto con entrambe le mani ed entrambi i piedi);
- Resistenza aggiuntiva ai piedi:
 $R_F = 2000\Omega$.

Con i valori riportati la tensione di contatto ammissibile assume il nuovo valore:

$$U'_{Tp} = 645\text{V}$$

e pertanto, risultando $V_c < U'_{Tp}$ l'impianto può considerarsi idoneo.

Nelle zone periferiche del piazzale è opportuno valutare anche il valore che assume la tensione di passo V_p , poiché in corrispondenza del contorno esterno la dispersione di corrente è più attiva e quindi aumentano i gradienti di potenziale.

Per le zone suddette viene impiegata la formula prudenziale:

$$V_p = 4 \cdot \frac{\rho'_t \cdot I_{tr}}{d^2}$$

che tiene conto dei fenomeni suddetti, amplificando il valore della V_p di oltre tre volte rispetto a quelli che la stessa tensione di passo assume all'interno della rete. In essa il termine d rappresenta la diagonale della superficie rettangolare occupata dalla rete di terra, che nel caso in oggetto è mediamente pari a circa 150m.

Con tutti i valori già forniti, si ha:

$$V_p = 490\text{V}$$

Pur risultando il valore ricavato inferiore a quello massimo ammissibile di 645V, conviene ridurne ugualmente gli effetti, interrando i conduttori più periferici della rete, come già detto, ad una profondità sensibilmente maggiore rispetto agli altri elementi del dispersore (1,5m per

quello più esterno ed 1m per quello precedente). In tal modo risulterà sensibilmente più basso il gradiente di tensione in superficie, nelle zone marginali del piazzale.

5.4 Verifica della sezione del conduttore

In funzione del valore stabilito per la corrente di guasto a terra, può essere eseguita la verifica della sezione scelta per il conduttore utilizzato per la costruzione della maglia; detta verifica verrà eseguita tramite l'algoritmo proposto dalla Norma CEI EN 50522 allegato D [D.1]:

$$A = \frac{I}{K} \sqrt{\frac{t}{\ln \frac{\Theta_f + \beta}{\Theta_i + \beta}}}$$

Nella quale è:

A [mm ²]:	sezione del conduttore;
I [A]:	corrente di guasto;
t [s]:	tempo di permanenza del guasto;
K [A mm ⁻² s ^{1/2}]:	costante tipica del materiale del conduttore;
β [°C]:	reciproco del coefficiente di temperatura della resistenza del componente percorso dalla corrente a 0°C;
Θ _i [°C]:	temperatura iniziale in gradi Celsius;
Θ _f [°C]:	temperatura finale in gradi Celsius.

Assumendo per la corda di rame i valori (cfr. CEI EN 50522 all. D tab. D.1):

$$K = 226 [A \text{ mm}^{-2} \text{ s}^{1/2}]$$

$$\beta = 234,5^\circ\text{C}$$

ed ipotizzando per le temperature iniziale e finale i valori suggeriti dalla suddetta norma:

$$\Theta_i = 20^\circ\text{C}$$

$$\Theta_f = 300^\circ\text{C}$$

Si ottiene:

$$A = \frac{16000}{226} \sqrt{\frac{0,45}{\ln \frac{300 + 234,5}{20 + 234,5}}} = 55,1 \text{ mm}^2$$

Pertanto la sezione scelta di 120mm² risulta adeguata alle esigenze.