

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE:



DIREZIONE TECNICA

U.O. TECNOLOGIE CENTRO

PROGETTO DEFINITIVO

VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA

RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI

LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO

CTE SAMBUCETO

Relazione di calcolo e progetto impianto di terra

SCALA:

-

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

IA4S 01 D 18 CL SE0200 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Definitiva	M. Brandimarte 	Giugno 2019	N. Carones 	Giugno 2019	T. Paletti 	Giugno 2019	G. Guidi Buffarini Giugno 

ITALFERR s.p.a.  
U.O. Tecnologie Centro  
Ing. Guido Buffarini  
Ordine Ingegneri Provincia di Roma  
n° 17512

File: IA4S01D18CLSE0200001A.doc

n. Elab.: 24-29

## INDICE

1. PREMESSA .....	3
2. OGGETTO .....	3
3. RIFERIMENTI .....	4
3.1 RIFERIMENTI NORMATIVI .....	4
3.2 RIFERIMENTI PROGETTUALI .....	5
4. CRITERI PROGETTUALI .....	5
5. COSTITUZIONE DELL'IMPIANTO .....	7
5.1 IMPIANTO DI TERRA DI PIAZZALE .....	7
5.2 IMPIANTO DI TERRA DEL FABBRICATO .....	9
6. DIMENSIONAMENTO .....	10
6.1 CALCOLO DELLA RESISTENZA DI TERRA DEL DISPERSORE .....	10
6.2 VERIFICA DELLE TENSIONI DI PASSO E DI CONTATTO PER GUASTI IN C.C. ....	11
6.2.1 <i>Calcolo della corrente di guasto dispersa</i> .....	12
6.2.2 <i>Dimensionamento in relazione alla corrosione e alle sollecitazioni meccaniche</i> .....	16
6.2.3 <i>Dimensionamento con riferimento al comportamento termico</i> .....	16
6.2.4 <i>Verifica delle tensioni di passo e di contatto</i> .....	17
7. CONCLUSIONI .....	19

## 1. **PREMESSA**

Nella presente relazione tecnica viene descritto il dimensionamento dell'impianto di terra da realizzarsi nell'area della nuova CTE di Sambuceto.

La presente relazione, illustra i criteri tecnici adottati per il progetto del suddetto impianto, ed indica le prescrizioni da adottare per realizzare un impianto che garantisca la sicurezza della vita umana e l'integrità dei componenti elettrici collegati al sistema.

La cabina TE di Sambuceto verrà costruita su di un'area di circa 895 m<sup>2</sup>, come si evince dall'elaborato:

**IA4S01D18PASE0200002** CTE Sambuceto – Impianto di terra shelter e piazzale.

Poiché nella suddetta Cabina confluiscono sistemi elettrici di varie categorie, l'impianto di messa a terra, oggetto della presente relazione tecnica di progetto, dovrà soddisfare le 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 nel capitolo 3.

## 2. **OGGETTO**

Oggetto della presente relazione è quello di fornire i dettagli progettuali dell'impianto di terra della nuova cabina TE di Sambuceto.

Come detto, per l'individuazione e valorizzazione dei suddetti parametri saranno prese a riferimento le norme tecniche vigenti, ma verranno tenuti in debita considerazione anche i criteri progettuali e costruttivi di Italferr e di RFI.

### 3. RIFERIMENTI

La presente relazione di calcolo, nonché tutta la documentazione progettuale che verrà successivamente citata, è conforme alle indicazioni contenute negli elaborati standard a riferimento, in quanto applicabili.

Nei punti seguenti vengono citati i principali documenti tecnici cui nel prosieguo della relazione verrà fatto esplicito od implicito riferimento.

#### 3.1 Riferimenti normativi

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

- **NT TE 118:** - Norme Tecniche per la costruzione delle condutture di contatto e di alimentazione a corrente continua a 3kV;
- **Norme CEI EN50119:** Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane Impianti fissi Linee aeree di contatto per trazione elettrica;
- **Norme CEI EN 50122-1:** Applicazioni ferroviarie – Installazioni fisse; Parte 1: Provvedimenti concernenti la sicurezza elettrica e la messa a terra;
- **Norme CEI EN 50122-2:** Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane Impianti fissi; Parte 2: Protezione contro gli effetti delle correnti vaganti causate da sistemi di trazione a corrente continua;
- **Norme CEI EN 50522:** Messa a terra degli impianti elettrici a tensione superiore a 1kV in c.a.
- **Norme CEI EN 60865:** Correnti di corto circuito – Calcolo degli effetti; parte 1a: Definizioni e metodi di calcolo;
- Istruzione per il circuito di ritorno TE e per i circuiti di terra sulle linee elettrificate a 3kV;
- **ANSI / IEEE Std 80:** Guide for Safety in AC Substation Grounding.

- **RFI DMA IM LA SP IFS 370 A:** Dispositivo di collegamento del negativo 3kVcc all'impianto di terra di SSE e cabine TE.
- **RFI DMA IM LA SP IFS 371 A:** Relè monostabile di massima corrente a soglia fissa adirezionale ad inserzione diretta.

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.

### 3.2 Riferimenti progettuali

Per i riferimenti progettuali impliciti, sono stati presi in esame gli elaborati di progetto qui di seguito elencati:

**IA4S01D18PASE0200001:** CTE Sambuceto – Piazzale di cabina – canalizzazione e pozzetti;

**IA4S01D18PASE0200002:** CTE Sambuceto – Impianto di terra shelter e piazzale.

## 4. CRITERI PROGETTUALI

L'impianto di terra della nuova cabina TE di Sambuceto, dovrà essere progettato secondo i riferimenti sopra richiamati e soddisfare le seguenti prescrizioni:

- a) avere sufficienti resistenza meccanica e resistenza alla corrosione;
- b) essere in grado di sopportare, da un punto di vista termico, le più elevate correnti di guasto prevedibili;
- c) essere in grado di evitare danni a componenti elettrici ed a beni;
- d) garantire la sicurezza delle persone contro le tensioni che si manifestano sugli impianti di terra per effetto delle correnti di guasto a terra.

I parametri da prendere in considerazione nel dimensionamento degli impianti di terra sono quindi:

- Valore della corrente di guasto a terra;

- Tempo di eliminazione del guasto a terra;
- Resistività del terreno.

In un impianto con diversi livelli di tensione, le prescrizioni precedenti devono essere soddisfatte per ciascuno dei sistemi di tensione.

Non è necessario prendere in considerazione la contemporaneità di guasti in sistemi con tensioni diverse.

A tale impianto devono essere collegate le parti metalliche (masse, masse estranee, il neutro o altro punto dell'impianto) per cui è prescritto il collegamento a terra.

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.

Per attuare un'efficace protezione contro questi rischi, la normativa vigente prevede che tutte le masse metalliche del sistema siano collegate direttamente e stabilmente a terra.

Se una qualunque delle apparecchiature appartenenti a tale sistema diviene sede di un guasto, può verificarsi il "tensionamento" indebito di masse normalmente fuori tensione, con il conseguente il pericolo di contatti indiretti.

Inoltre, in caso di guasto sul sistema 3 kVc.c, tutte le masse vengono connesse anche al binario tramite un cortocircuitatore, allo scopo di consentire la chiusura del circuito di guasto e favorire così il pronto intervento delle protezioni.

Il collegamento a terra deve essere effettuato per il tramite di un apposito dispersore, avente caratteristiche tali da garantire che le tensioni di contatto e di passo che si stabiliscono sulle masse metalliche durante il guasto si mantengano al di sotto dei valori massimi ammessi.

Il dispersore, a sua volta, sarà collegato al circuito di ritorno TE non direttamente, bensì per il tramite di un dispositivo cortocircuitatore conforme alla specifica **RFI DMA IM LA SP IFS 370 A** *Dispositivo di collegamento del negativo 3kVcc all'impianto di terra di SSE e cabine TE.*

	<b>VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>CTE SAMBUCETO - Relazione di calcolo e progetto impianto di terra</b>	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D 18	CODIFICA CL	DOCUMENTO SE0200 001	REV. A	FOGLIO 7 di 20

Tale dispositivo effettua il collegamento tra maglia di terra e binario solo in caso di guasto a terra, in modo da consentire la rapida eliminazione del guasto ed evitare, nel contempo, l'effetto corrosivo delle correnti di ritorno sul dispersore medesimo.

Poiché poi all'interno del fabbricato 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 il fabbricato e tutti gli impianti cadono all'interno del piazzale e che pertanto non è possibile realizzare per essi impianti di terra elettricamente indipendenti dal precedente, l'impianto di messa a terra sarà unico e ad esso saranno collegate tutte le ferramenta, carpenterie, involucri metallici, tubazioni ed altri elementi metallici presenti nella box prefabbricato, che possano essere oggetto di indebiti tensionamenti in caso di guasto.

In particolare, saranno collegati direttamente al dispersore, per mezzo di conduttori di rame nudi, tutte le masse metalliche del piazzale (cioè le armature metalliche dei cavi, l'involucro del trasformatore d'isolamento, i tubi d'acciaio e tutte le altre eventuali masse metalliche accessibili poste all'interno dell'anello perimetrale della rete di terra).

Le masse metalliche all'interno del prefabbricato saranno invece collegate al dispersore tramite appositi relè di massa, i quali hanno la funzione di comandare l'immediato intervento delle protezioni TE in caso di basso isolamento o guasto a terra.

Questo tipo di protezione, integrativo di quello già descritto, aumenta di fatto il livello di sicurezza degli ambienti interni al fabbricato, dove è più frequente la presenza di operatori.

## **5. COSTITUZIONE DELL'IMPIANTO**

### **5.1 Impianto di terra di piazzale**

L'impianto di terra generale di piazzale sarà costituito essenzialmente da un dispersore orizzontale a rete magliata, in corda di rame nudo da 120 mm<sup>2</sup>, interrato a circa 0,6m di profondità in corrispondenza delle zone interne di piazzale, e a 1,2 m di profondità in corrispondenza dell'anello perimetrale.

Tale sezione 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. Tuttavia essa viene normalmente impiegata negli impianti ferroviari, sia per la facile reperibilità del conduttore (corde portanti per TE) che per tenere conto della eventualità che sui conduttori stessi si verificano perdite di materiale per effetto delle corrosioni elettrolitiche prodotte dalle correnti vaganti.

La dimensione delle singole maglie sarà mediamente di 4x4m, 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" rappresentati dalle armature metalliche relative alle fondazioni delle apparecchiature di piazzale.

Tali 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 forte, tutti i ferri 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, trascurando, 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 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 sul gradiente di potenziale che si stabilisce nel terreno.

Per lo stesso motivo, gli elementi del cancello metallico di accesso al piazzale non saranno collegati alla rete di terra, ma dotati di un dispersore proprio. L'accorgimento si rende necessario al fine di garantire che le strutture metalliche suddette non possano in alcun caso assumere i potenziali del dispersore magliato, per evitare ogni pericolo per gli estranei all'impianto.

In caso di guasto, le tensioni che possono assumere valori preoccupanti nell'area di sottostazione sono quelle "di passo" e "di contatto", come definite dalla normativa. Tuttavia, il progetto del dispersore verrà eseguito soprattutto con riferimento alle tensioni di contatto, poiché queste assumono normalmente valori di gran lunga superiori a quelle di passo.



 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DEFINITIVO</b></p>					
<p><b>CTE SAMBUCETO - Relazione di calcolo e progetto impianto di terra</b></p>	<p>COMMESSA IA4S</p>	<p>LOTTO 01 D 18</p>	<p>CODIFICA CL</p>	<p>DOCUMENTO SE0200 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 9 di 20</p>

Solo nelle zone più periferiche, cioè in prossimità del conduttore perimetrale, le tensioni di passo possono assumere valori più elevati. 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.

## 5.2 Impianto di terra del fabbricato

Per quanto riguarda l'impianto di terra del fabbricato di cabina TE, destinato al contegno delle apparecchiature, la sua realizzazione consisterà in:

- collettore di terra in piatto Cu 50x4mm forato e fissato a parete ad altezza di 60cm dal pavimento con isolatori in poliestere (isolamento > 1kV) in ogni locale, graffettato sulle pareti;
- esecuzione delle derivazioni di terra, con piatto di rame 40x3mm, dalle masse metalliche fisse al collettore;
- installazione di un relè di massa di tipo elettromeccanico, conforme alla specifica RFI DMA IM LA SP IFS 371 A, montato a parete su supporti isolanti;
- collegamento di un doppio cavo in rame da 120mm<sup>2</sup>, dal relè di massa sino alla rete di terra di piazzale;
- connessioni di continuità elettrica delle carpenterie mobili, con conduttori flessibili delle seguenti sezioni:
  - 50mm<sup>2</sup>, per la messa a terra dei pannelli mobili (tipo ante dei quadri);
  - 70mm<sup>2</sup>, per la messa a terra delle altre parti mobili (tipo aste di manovra).

L'installazione del collettore di terra e delle relative derivazioni alle masse metalliche dovrà essere opportunamente distanziata dalla parete mediante interposizione di distanziali in resina autoestinguente, 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 al fabbricato (collettore e relative derivazioni) 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).

## 6. DIMENSIONAMENTO

### 6.1 Calcolo della resistenza di terra del dispersore

Il dispersore di piazzale è stato dimensionato come una rete di terra magliata di superficie pari a circa **720 m<sup>2</sup>**, con lato di maglia mediamente pari a circa 4m, con sviluppo totale  $L_p$  del conduttore perimetrale pari a circa:

$$L_p = 105 \text{ m}$$

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

$$L_t = 300\text{m}$$

Per quanto riguarda la resistività elettrica media del terreno, sulla base delle misure condotte da RFI sull'impianto di terra (Rif. Rapporto Indagini Geofisiche – Lotto 1, ETR 4), si assume una resistività media del terreno pari a:

$$\rho = 100 \Omega\text{m}$$

Per il calcolo, sono stati presi in considerazione i dati di input di seguito riportati:

Resistività media terreno	$\rho$	100	$\Omega\text{m}$
Area coperta dalla maglia di terra	$a$	720	$\text{m}^2$
Perimetro dispersore a maglia	$p$	105	m
Picchetti dislocati sulla maglia	$N^\circ$	10	-
Lunghezza picchetti	$L_p$	6	m
Diametro picchetti	$\emptyset$	20	mm
Profondità interrimento maglia di terra	$P_i$	0,6	m
Profondità interrimento anello periferico	$P_e$	1,2	m

Il valore della resistenza di terra della CTE di Sambuceto è calcolabile come segue.

La resistenza  $R_r$  della rete magliata può essere calcolata con la formula (CEI 50522, allegato J2):

$$R_r = \frac{\rho_E}{2D}$$

dove  $D$  è il diametro del cerchio di area equivalente alla rete magliata, pari a circa 30,3m. Sostituendo i valori numerici si ricava il seguente valore:

$$R_r = 1,65 \Omega$$

L'impianto sarà integrato da dispersori verticali aggiuntivi, costituiti da paletti di acciaio ramato di diametro pari a 20 mm e lunghezza 6 m, ciascuno dei quali presenta una resistenza di terra  $R_p'$  pari a:

$$R_p' = \frac{\rho}{2\pi L} \times \ln \frac{4 \cdot L}{d}$$

in cui  $L$  e  $d$  sono rispettivamente la profondità d'infissione ed il diametro del tondo di cui è costituito il picchetto. Con i valori già forniti, si ottiene:

$$R_p' = 18,82 \Omega$$

Ai fini della verifica verranno considerati n°10 picchetti distribuiti nel piazzale della cabina TE; pertanto la resistenza di terra dei picchetti, considerati in parallelo, sarà:

$$R_{pp} = R_p' / 10 = 1,9 \Omega$$

Pertanto la resistenza teorica totale  $R_T$  dell'intero dispositivo di dispersione, costituito dal parallelo dei due dispersori parziali (rete e picchetti) sarà pari a:

$$R_T = \frac{R_r \times R_{pp}}{R_r + R_{pp}} = 0,88 \Omega$$

Il valore della resistenza di terra della CTE di Sambuceto è:

$$R_t = 0,88 \Omega$$

## 6.2 Verifica delle tensioni di passo e di contatto per guasti in c.c.

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<b>VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>CTE SAMBUCETO - Relazione di calcolo e progetto impianto di terra</b>	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D 18	CODIFICA CL	DOCUMENTO SE0200 001	REV. A	FOGLIO 12 di 20

### 6.2.1 Calcolo della corrente di guasto dispersa

Per la determinazione della corrente di terra  $I_t$  che il dispersore di SSE è chiamato a smaltire, si è fatto ricorso ad una schematizzazione dell'impianto sufficientemente aderente alla realtà, considerando la resistenza e la conduttanza del binario come parametri distribuiti e tenendo conto tanto del contributo delle limitrofi SSE di Pescara (distante circa 4 km dalla CTE di Sambuceto) e di Torre de Passeri (distante circa 30 km).

Il valore della corrente di terra, valutato con opportuni calcoli, è stato determinato sia prima che dopo l'intervento del cortocircuitatore, in modo da determinare la condizione più gravosa per l'impianto di terra.

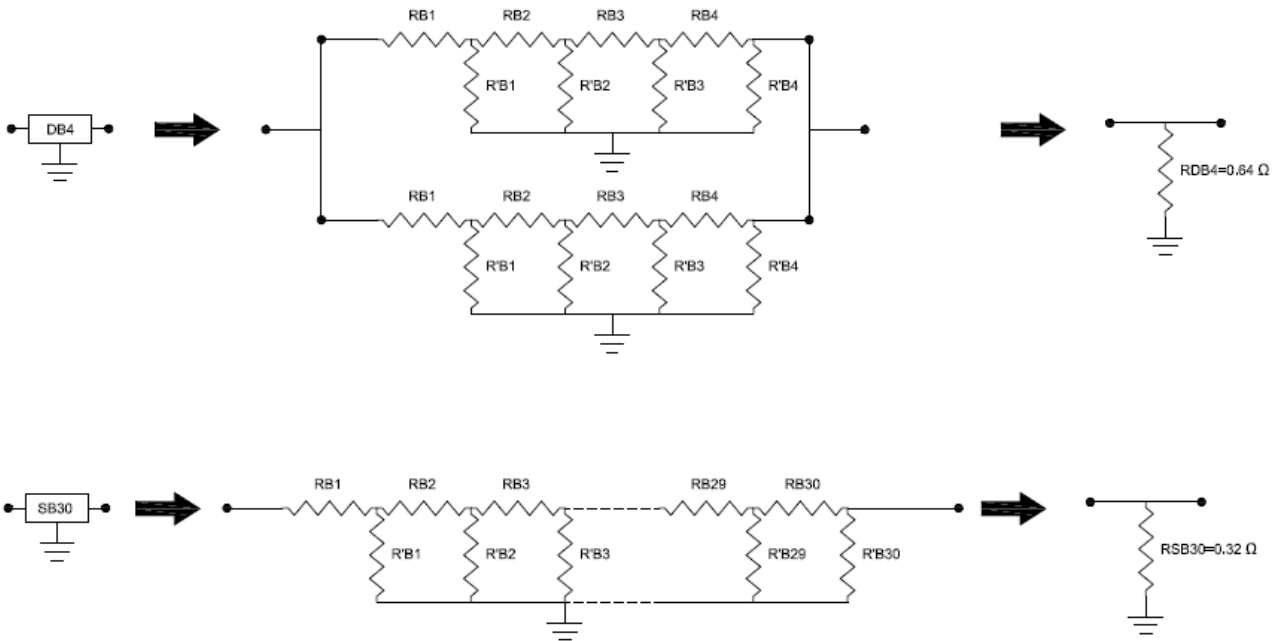
Per una schematizzazione dell'impianto si è fatto quindi ricorso al circuito di seguito riportato in cui i simboli impiegati assumono il seguente significato:

- $R_{SSE}$  Resistenza interna della SSE (assunto pari a  $0.1 \Omega$  per tutte le SSE)
- $R_{LDC}$  Resistenza della Linea di contatto (due condutture di sezione  $440 \text{ mm}^2$  in parallelo)
- $R_B$  Resistenza chilometrica del binario
- $G_B$  Conduttanza chilometrica del binario
- $R_{TERRA \text{ CTE}}$  Resistenza di terra dell'impianto di cabina (sopra determinato)

Inoltre dalla letteratura la resistenza chilometrica del binario  $R_B=0.0167 \Omega/\text{km}$  e la conduttanza verso terra  $G_B=0.2 \text{ S}/\text{km}$  e considerando un passo di discretizzazione pari ad 1 km, per la schematizzazione del binario si è fatto riferimento al modello a parametri concentrati di seguito riportato relativo ad un tratto di binario di n km, in cui:

- $R_{Bn} = R_B = 0.0167 \Omega$
- $R'_{Bn} = 1/G_B = 5 \Omega$

Tenuto conto che la resistenza chilometrica del binario si può determinare con un calcolo considerando singoli elementi per n chilometri e tenuto conto delle suddette distanze dalle sottostazioni, le resistenze nel modello assumono rispettivamente il valore  $R_{DB4}=0,64 \Omega$  e  $R_{SB30}=0,32\Omega$ .



Tenuto conto che la resistenza chilometrica della linea di contatto si può determinare con la relazione  $R_{LDC}=18.8/S$ , dove  $S$  rappresenta la sezione in  $mm^2$  della conduttura e tenuto conto delle suddette distanze dalle sottostazioni, le resistenze della linea di contatto da inserire nel modello assumono rispettivamente il valore  $R_{1LDC}=0,171 \Omega$  e  $R_{2LDC}=1,282\Omega$ .

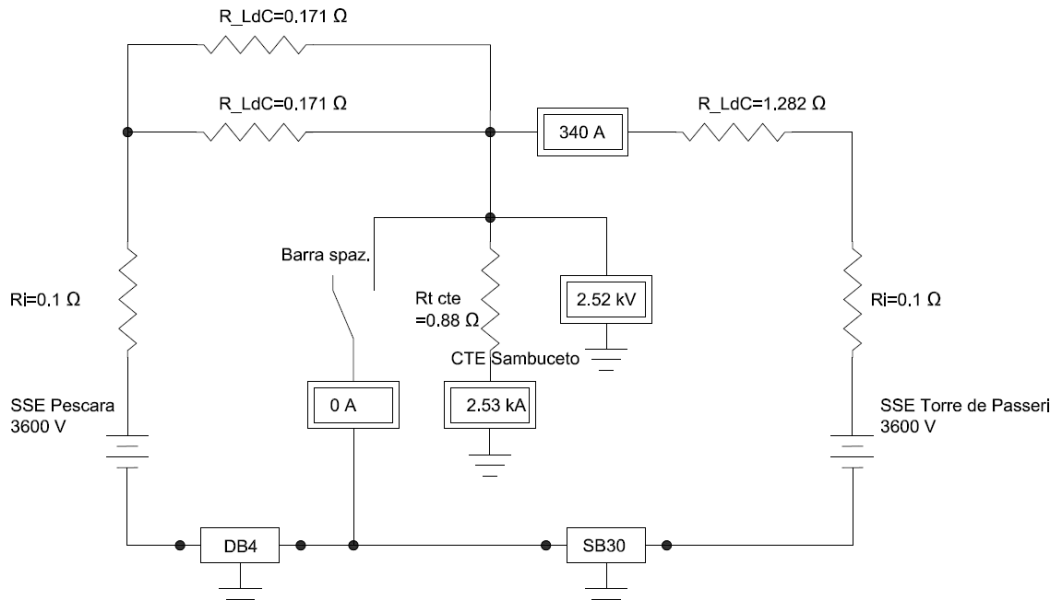


Fig.8.6

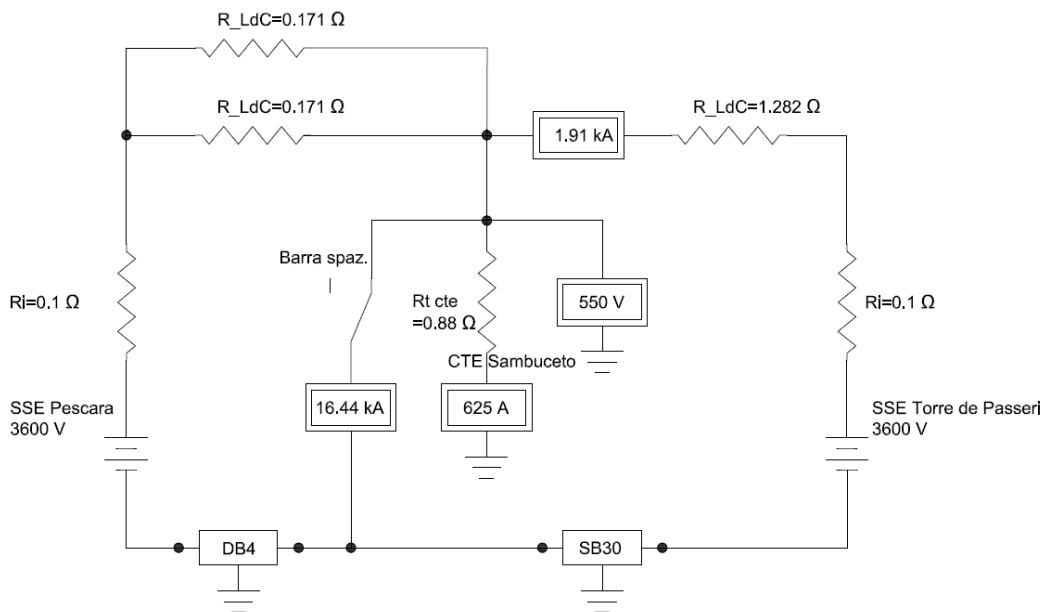


Fig.9.6

Tenuto conto che l'impianto di terra della centrale elettrica TE ha una resistenza di  $R_T = 0,88 \Omega$ , supponendo un guasto franco a terra sulla sbarra positiva, ed assumendo pari a 3600V la tensione alle sbarre delle due sottostazioni adiacenti, dalla simulazione si ricavano i seguenti valori per la corrente drenata a terra dall'impianto di terra di SSE:

$$I_{t1} = 2.530 \text{ A}$$

$$I_{t2} = 625 \text{ A}$$

che rappresentano rispettivamente la corrente di terra prima ( $I_{t1}$ ) e dopo ( $I_{t2}$ ) l'intervento del dispositivo cortocircuitatore.

L'intervento di detto cortocircuitatore, ha lo scopo di stabilire un collegamento tra il circuito corrispondente al negativo 3kV cc e l'impianto di terra locale relativo all'impianto di conversione e/o distribuzione dell'energia elettrica in cc per cui l'apparecchiatura svolge la preposta funzione di limitazione della tensione.

Tale collegamento "equipotenziale" dovrà essere attuato dal dispositivo quando la differenza di potenziale tra il tra il circuito negativo TE e l'impianto di terra supera i valori limite di tensione/tempo previsti.

La verifica della tensione di contatto massima ammessa sarà eseguita, in primo luogo, per il caso più gravoso, cioè il non intervento del cortocircuitatore entro gli 0,02s previsti in caso di corto circuito.

In questo modo, sarà automaticamente verificata la condizione di sicurezza per il caso di normale intervento del cortocircuitatore che corrisponde ad una corrente di corto circuito a terra nettamente minore.

Il dimensionamento / verifica della rete di terra verrà effettuato secondo le indicazioni fornite dalla normativa di riferimento in relazione alla/al:

1. Corrosione e alle sollecitazioni meccaniche;
2. Comportamento termico;
3. Verifica delle tensioni di passo e di contatto che verrà effettuata per il valore di corrente più

elevato risultando automaticamente verificato per il valore più basso.

### 6.2.2 Dimensionamento in relazione alla corrosione e alle sollecitazioni meccaniche

I dispersori, essendo direttamente a contatto con il terreno, devono essere costruiti con materiale in grado di sopportare la corrosione. Essi devono resistere alle sollecitazioni meccaniche durante la loro installazione e a quelle che si verificano durante il servizio ordinario.

L'allegato C della norma CEI EN 50522, fornisce i valori minimi della sezione dei conduttori per garantire la resistenza meccanica e alla corrosione.

Quindi nel caso di conduttore in corda di rame, la sezione minima indicata dalla norma è pari a 25 mm<sup>2</sup> rispettata dalla scelta del conduttore di rame nudo da 120 mm<sup>2</sup> ipotizzato per la rete di terra in esame.

### 6.2.3 Dimensionamento con riferimento al comportamento termico

Il calcolo della sezione dei conduttori di terra o dei dispersori di protezione, in funzione del valore e della durata della corrente di guasto è indicato nell'allegato D della norma CEI EN 50522.

La metodologia proposta fa una distinzione in funzione della durata del guasto. In particolare, nel caso in cui il guasto abbia una durata inferiore a 5 s, l'aumento di temperatura è considerato come un fenomeno adiabatico e la sezione minima del conduttore di terra o del dispersore è pari a:

$$S = \frac{I}{K} \sqrt{\frac{t_f}{\ln \frac{\vartheta_f + \beta}{\vartheta_i + \beta}}}$$

Avendo indicato con:

- I valore della corrente di guasto, espresso in Ampere, che attraversa il conduttore;
- K è una costante che dipende dal materiale del componente percorso dalla corrente. Per il rame vale:

$$226 \frac{A\sqrt{s}}{mm^2}$$

- t<sub>f</sub> il tempo, espresso in secondi, della durata del guasto (assunto 0,1s);
- ϑ<sub>f</sub> la temperatura finale, espressa in C, ammissibile per il conduttore percorso da corrente;



- $\vartheta_i$  la temperatura iniziale, espressa in C, stimata per il conduttore (20 °C);
- $\beta$  il reciproco dell'inverso del coefficiente di temperatura della resistenza del componente percorso dalla corrente: 234,5 °C;

Quindi, utilizzando il maggiore dei valori di corrente calcolati nel paragrafo 6.3.1, si determinano i valori minimi delle sezioni del conduttore di terra e del dispersore:

- nel caso di conduttore in cavo isolato in gomma G16

$$S = \frac{I}{K} \sqrt{\frac{t_f}{\ln \frac{\vartheta_f + \beta}{\vartheta_i + \beta}}} = \frac{2530}{226} \sqrt{\frac{0.1}{\ln \frac{250 + 234.5}{20 + 234.5}}} = 4,4 \text{ mm}^2$$

La sezione adottata risulta quindi abbondantemente idonea alle precedenti indicazioni.

#### 6.2.4 Verifica delle tensioni di passo e di contatto

La verifica delle tensioni di passo e di contatto sarà effettuata solo per il valore di corrente più elevato, essendo automaticamente verificato per il valore più basso.

Il dispersore così dimensionato dovrà essere tale da impedire che, con la corrente di terra  $I_t$  calcolata precedentemente, si verifichino in qualsivoglia punto dell'impianto, tensioni di contatto e di passo superiori ai valori della seguente tabella, valida per i sistemi in corrente continua (in riferimento alla Normativa CEI EN 50122-1):

Tempo di eliminazione del guasto [s]	Tensione [V]
0.02	870
0.05	735
<b>0.1</b>	<b>625</b>
0.2	520
0.3	460

0.4	420
0.5	385

Il tempo  $t$  di intervento degli interruttori extrarapidi di cabina viene normalmente assunto pari a:

$$t = 0.1s$$

Nel caso in esame quindi il valore da non superare è pari a **625V**.

Il valore della tensione di contatto, per i punti interni alla maglia, è calcolato con la formula semi empirica:

$$V_c = 0,7 \frac{\rho_e \cdot I_{g,m}}{L_{TOT}}$$

Avendo indicato con:

$I_{g,m}$  l'aliquota della corrente di terra  $I_g$  dispersa dalla sola rete magliata;

$L_{TOT}$  la lunghezza totale del conduttore interrato (300 m);

Poiché il dispersore orizzontale e il sistema dei picchetti verticali si ripartiscono la corrente di terra in ragione inversa delle loro resistenze, si ricava:

$$I_{g,m} = I_g \frac{R_p}{R_e + R_p} = 2530 \frac{1,9}{0,88 + 1,9} = 1729 A$$

Pertanto, la tensione di contatto vale:

$$V_c = 0,7 \frac{\rho_e I_{g,m}}{L_{TOT}} = 0,7 \frac{100 \cdot 1729}{300} = 403 V$$

ed è conforme al limite imposto dalla normativa di riferimento prima citato.

Nelle zone periferiche della rete magliata, poiché in tali zone la dispersione di corrente è più attiva e quindi aumentano i gradienti di potenziale, è conveniente valutare anche il valore della tensione di passo  $V_p$ . Per le zone suddette è impiegata la formula prudenziale:

$$V_p = 4 \frac{\rho_e \cdot I_{g,m}}{D^2}$$

che tiene conto dei fenomeni sopra descritti e che cautelativamente amplifica il valore della  $V_p$  di oltre tre volte rispetto a quelli che la stessa assume all'interno della rete.

Nell'espressione sopra riportata  $D$  rappresenta la diagonale della superficie occupata dalla rete di terra. Nel caso in oggetto risulta  $D = 30,3$  m.

Pertanto, sostituendo i valori numerici:

$$V_c = 4 \frac{\rho_e I_{g,m}}{D^2} = 0,7 \frac{100\ 1729}{(30,3)^2} = 132\ V$$

Anche questo valore rispetta il limite massimo di tensione ammissibile.

## 7. CONCLUSIONI

Dalle ipotesi di calcolo effettuate e quanto confrontato rispetto ai valori suggeriti dalle Normative di riferimento per le tensioni contatto e per quelle di passo ammissibili dalle Normative Vigenti il progetto può ritenersi corretto.

È bene notare che il DPR n° 462 del 22/10/2001 prescrive che la messa in esercizio degli impianti elettrici di messa a terra non può essere effettuata prima della verifica eseguita dall'installatore che deve rilasciare la dichiarazione di conformità. Tale dichiarazione equivale a tutti gli effetti ad omologazione dell'impianto.

Per quanto concerne le verifiche periodiche, lo stesso DPR prescrive quanto segue:

“il datore di lavoro è tenuto ad effettuare regolare manutenzione dell’impianto, nonché a far sottoporre lo stesso a verifica periodica ogni 5 anni, ad esclusione di quelli installati nei cantieri, in locali adibiti ad uso medico e negli ambienti a maggior rischio in caso di incendio per i quali la periodicità è biennale.”

Pertanto la Cabina TE dovrà essere verificata a scadenze non superiori di 5 anni analizzando l'efficienza dell'impianto di terra mediante le seguenti prove periodiche previste dalle norme vigenti:

1. Misura della resistenza della maglia di terra;
2. Verifica dell’integrità dei conduttori di protezione e dei conduttori di terra;
3. Misura delle tensioni di passo e delle tensioni di contatto (se necessario).