

# APPALTO INTERGATO PER LA PROGETTAZIONE E LA REALIZZAZIONE

R.T.I.



R.T.P.



Legale rappresentante:  
dott. ing. Francesco Viero



Legale rappresentante:  
dott. ing. Gianfranco Marchi



Legale rappresentante  
dott. ing. Roberto Tassinari

Responsabile generale  
della progettazione:  
dott. ing. Guido Zanollo



Responsabile delle  
integrazioni specialistiche:  
dott. ing. Fabrizio Parboni Arquati



Responsabile della  
progettazione strutturale:  
dott. ing. Francesco Viero



Co-responsabile della  
progettazione strutturale:  
dott. ing. Roberto Tassinari



Responsabile della  
progettazione geotecnica:  
dott. ing. Gianfranco Marchi



Relazione studi ed attività  
inerenti la geologia:  
dott. geol. Gianluca Benedetti



## PROGETTO ESECUTIVO

3					
2	06/07/2016	CMC	CMC - M.B.	L.Z.	Revisione Prog. Esec.
1	20/04/2016	CMC	CMC - M.B.	L.Z.	Emissione Prog. Esec.
REV.	DATA (DATE)	REDATTO (DRWN)	CONTROL. (CHCK'D)	APPROVATO (APPR'D)	DESCRIZIONE (DESCRIPTION)


FUNZIONE O SERVIZIO (DEPARTMENT)


**INGEGNERIA ACQUA**

**PROGETTAZIONE IMPIANTI ACQUA**

DENOMINAZIONE IMPIANTO O LAVORO (PLANT OR PROJECT DESCRIPTION)


**PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA**

IDENTIFICATIVO IMPIANTO (PLANT IDENTIFIER)		WBS <b>R.2150.11.03.00065</b>	CODICE CUP (CUP CODE) <b>H97H14000700005</b>	
		CODICE DOCUMENTO (CODE) <b>E45RE01</b>	N° COMMESSA (JOB N.) <b>11300273776</b>	
		ID DOCUMENTO (DOCUMENT ID)	NOME FILE (FILE NAME) <b>E45RE01_RD_TERRA</b>	
<div><p><b>HERA S.p.A.</b> <b>Holding Energia Risorse Ambiente</b> Viale Carlo Berti Pichat 2/4 40127 Bologna tel. 051.287.111 fax 051.287.525 <a href="http://www.gruppohera.it">www.gruppohera.it</a></p></div>		DENOMINAZIONE DOCUMENTO (DOCUMENT DESCRIPTION) <b>RELAZIONE DIMENSIONAMENTO IMPIANTO DI TERRA</b>		
		SCALA (SCALE) <b>--</b>	N° FOGLIO (SHEET N°) <b>1</b>	DI (LAST) <b>14</b>

	<b>TITOLO</b>				
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	<b>11300273776</b>		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>14</b>
<b>PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA</b>					

## INDICE

<b>1</b>	<b>OGGETTO E SCOPO .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>LUOGO D'INSTALLAZIONE E CONDIZIONI AMBIENTALI.....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>NORME DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>SISTEMA DISPERDENTE .....</b>	<b>5</b>
4.1	PREMESSA.....	5
4.2	DIMENSIONAMENTO DEL DISPERSORE ALLE TENSIONI DI CONTATTO E DI PASSO.....	6
4.3	DIMENSIONAMENTO TERMICO DELL'IMPIANTO DI TERRA.....	9
4.4	CRITERI PER LA REALIZZAZIONE DELL'IMPIANTO DI TERRA.....	11
<b>5</b>	<b>PROTEZIONE DAI CONTATTI INDIRETTI LATO B.T.....</b>	<b>13</b>
<b>6</b>	<b>COLLAUDI E VERIFICHE FINALI .....</b>	<b>14</b>

	<b>TITOLO</b>				
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	<b>11300273776</b>		<b>1</b>	<b>3</b>	<b>14</b>
<b>PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA</b>					

## 1 OGGETTO E SCOPO

Scopo del presente documento è riportare i criteri di dimensionamento ed i relativi calcoli di verifica dell'impianto di terra da realizzare nell' impianto di Laminazione Ausa sollevamento di acque reflue da realizzarsi nel comune di Rimini in piazzale Kennedy.

All'interno dell'insediamento sono presenti sistemi elettrici con tensioni di esercizio diverse, sia di I che II categoria, pertanto soggetti a normativa differente per quanto riguarda la protezione da contatti indiretti e conseguentemente per i criteri dimensionali del sistema dispersore.

La vicinanza degli impianti di diversa categoria impone la realizzazione di un unico impianto di terra atto a soddisfare i diversi requisiti di sicurezza prescritti dalle norme, per cui è necessaria una attenta considerazione delle condizioni di guasto a terra.

## 2 LUOGO D'INSTALLAZIONE E CONDIZIONI AMBIENTALI

- Località: Rimini (RN);
- Luogo d'installazione: Impianto di Sollevamento;
- Temperatura ambiente minima: -10 °C;
- Temperatura ambiente massima: + 40 °C;
- Altitudine: 2,80 m SLM;
- Umidità relativa: 70 % invernale      40% estiva.

## 3 NORME DI RIFERIMENTO

Tutti gli impianti elettrici ed ausiliari dovranno essere realizzati a "regola d'arte" in conformità alla legge 186/68 ed al D.M. 37/08; dovranno essere osservate tutte le normative citate nella presente specifica.

Il rispetto delle Norme è inteso nel senso più restrittivo, cioè non solo la realizzazione dell'impianto sarà rispondente alle Norme, ma altresì ogni singolo componente dell'impianto stesso.


In caso di emissione di nuove normative l'Impresa sarà tenuta a comunicarlo immediatamente alla Committente e sarà tenuta ad adeguarvisi.

Dovranno pure essere rispettate le prescrizioni espresse nella presente specifica anche se sono previsti dei dimensionamenti eccedenti i limiti minimi imposti dalle Norme.


L'impresa esecutrice dovrà anche prevedere quant'altro non espressamente specificato ma necessario alla buona riuscita dei lavori conformemente alle prescrizioni di legge.

I materiali e le apparecchiature dovranno essere corredate del marchio di certificazione europea CE ed essere corrispondenti alle specifiche costruttive delle norme CEI e delle tabelle UNEL; dove possibile, è da prediligersi l'impiego di componenti dotati di certificazione di qualità IMQ.

Si dovrà tenere conto delle normative e disposizioni di legge vigenti in materia di impiantistica elettrica quali:

	<b>TITOLO</b>				
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	<b>11300273776</b>		<b>1</b>	<b>4</b>	<b>14</b>
<b>PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA</b>					

- DM 37/08 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.
  - L. 168/68 Disposizioni concernenti la produzione di materiali, apparecchiature, macchinari, installazioni ed impianti elettrici ed elettronici.
  - DPR 462/2001 Regolamento di semplificazione del procedimento per la denuncia di installazioni e dispositivi di protezione contro le scariche atmosferiche, di dispositivi di messa a terra di impianti elettrici e di impianti elettrici pericolosi.
  - Direttiva 2006/95/CE concernente il ravvicinamento delle legislazioni degli Stati membri relative al materiale elettrico destinato ad essere adoperato entro taluni limiti di tensione.
  - CEI 11-25 (CEI EN 60909-0) Correnti di cortocircuito nei sistemi trifasi in corrente alternata Parte 0: Calcolo delle correnti.
  - CEI 11-26 (CEI EN 60865-1) Correnti di cortocircuito – Calcolo degli effetti Parte 1: Definizioni e metodi di calcolo.
  - CEI 11-28 Guida d'applicazione per il calcolo delle correnti di cortocircuito nelle reti radiali a bassa tensione.
  - CEI 11-37 Guida per l'esecuzione degli impianti di terra nei sistemi utilizzatori di energia alimentati a tensione maggiore di 1 kV.
  - CEI 64-8 Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1 000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua.
  - CEI 64-12 Guida per l'esecuzione dell'impianto di terra negli edifici per uso residenziale e terziario
  - CEI 99-1 (CEI EN 61936-1) Impianti elettrici con tensione superiore a 1 kV in c.a. Parte 1: Prescrizioni comuni.
  - CEI 99-2: Impianti elettrici con tensione superiore a 1 kV in c.a.
  - CEI 99-3 (CEI EN 50522 2011-03): Messa a terra degli impianti elettrici a tensione superiore a 1 kV in c.a.
  - CEI 99-4 Guida per l'esecuzione di cabine elettriche MT/BT del cliente/utente finale
- ed altre importanti norme nazionali o internazionali e standard, anche se non espressamente indicate.

	<b>TITOLO</b>				
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	11300273776		1	5	14
<b>PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA</b>					

## 4 SISTEMA DISPERDENTE

### 4.1 PREMESSA

Il dimensionamento dell'impianto di terra destinato alla protezione di sistemi appartenenti alla I ed alla II categoria compresi nella stessa area deve essere svolto conformante alla norme CEI 99-3 e 11-37. La fornitura di energia in MT avviene da rete di distribuzione pubblica. L'ente distributore ha pertanto fornito i seguenti dati di riferimento:

<b>Tensione nominale</b>	15 kV
<b>Frequenza nominale</b>	50 Hz
<b>Corrente di cortocircuito trifase</b>	12,5 kA
<b>Corrente di doppio guasto a terra</b>	10,8 kA
<b>Durata del guasto doppio guasto a terra</b>	340 ms
<b>Corrente di guasto monofase a terra</b>	40 A
<b>Esercizio del neutro</b>	Neutro a terra tramite impedenza
<b>Tempo di eliminazione del guasto a terra</b>	>> 10 s


**Tabella 1: Dati di guasto comunicati dal distributore in data 22/05/2015**

Sulla base delle rilevazioni eseguite e riportate nella *Relazione Descrittiva Strutture* di progetto, l'edificio destinato ad accogliere l'impianto di sollevamento sorgerà su di un terreno la cui composizione risulta essere prevalentemente sabbiosa con componenti argillose.

Considerando che l'edificio sarà posizionato in prossimità del mare, è prevedibile che il terreno sia costantemente umido, con una forte concentrazione salina, ciò favorirà la riduzione della resistività del terreno.

Per quanto detto, in base alla Tabella J.1 riportata nella Norma CEI 99-3, sarebbe possibile assumere un valore di resistività del terreno pari a  $200 \Omega m$ , ma, a favore della sicurezza, per il dimensionamento del sistema disperdente si è considerato un valore doppio di resistività, pari a:

$$\rho_E = 400 \Omega m$$

	<b>TITOLO</b>				
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	<b>11300273776</b>		<b>1</b>	<b>6</b>	<b>14</b>
<b>PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA</b>					

## 4.2 DIMENSIONAMENTO DEL DISPERSORE ALLE TENSIONI DI CONTATTO E DI PASSO

Il dimensionamento del dispersore alle tensioni di contatto e di passo deve consentire di mantenere i valori delle tensioni di contatto  $U_{Tp}$  e di passo  $U_s$  entro il limite consentito dalle rinnovate Norme CEI 99-3.

La tensione di contatto ammessa è funzione della durata del guasto a terra sul lato MT ed è ricavabile dalla Figura 4 oppure dalla Tabella B.3 delle suddette norme.

Dalla Tabella B.3 si ricavano i valori della tensione di contatto ammissibile per i tempi di permanenza del guasto più vicini a quello fornito dall'ente erogatore.

<b>Durata guasto <math>t_f</math> [s]</b>	<b>Tensione di contatto ammissibile <math>U_{Tp}</math> [V]</b>
0,05	716
0,1	654
0,2	537
0,5	220
1	117
2	96
5	86
10	85

**Tabella 2: Tensioni di contatto ammissibili ricavati dalla Tabella B.3 delle norme CEI 99-3**

Poiché il tempo di intervento delle protezioni contro il guasto a terra, imposto dal distributore, è superiore ai 10s, si considera, come indicato nella Nota relativa alla Figura 4, per  $U_{Tp}$  un valore di 80V.

Affinché sia soddisfatta la condizione

$$U_T \leq U_{Tp} \quad (4.1)$$

dove:

$U_T$  = Tensione di contatto

$U_{Tp}$  = Tensione di contatto ammissibile


In accordo con la condizione C2 del paragrafo 5.4.1 della Norma CEI 99-3 è necessario che sia il valore della tensione totale di terra, non superiore del doppio del valore della tensione di contatto ammissibile:

$$U_E \leq 2 \cdot U_{Tp} \quad (4.2)$$

dove:

$U_E$  = Tensione totale di terra

$U_{Tp}$  = Tensione di contatto ammissibile

	<b>TITOLO</b>				
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	<b>11300273776</b>		<b>1</b>	<b>7</b>	<b>14</b>
<b>PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA</b>					

Avendo utilizzato per l'alimentazione MT, un cavo unipolare di sezione 95 mm<sup>2</sup> dotato di schermo, anch'esso in rame, di sezione 16 mm<sup>2</sup> collegato al sistema generale di terra, esso crea una via di richiusura alternativa contribuendo al ritorno della corrente di guasto a terra, pertanto la corrente effettiva di guasto  $I_E$ , cioè la corrente che durante il guasto viene dispersa nel terreno dal dispersore risulterà essere una frazione della corrente di guasto a terra  $I_F$ , dichiarata dall'ente distributore.

$$I_E = I_F \cdot r \quad (4.3)$$

dove:

$I_E$  = Corrente che fluisce nell'impianto di terra

$I_F$  = Corrente di guasto a terra

$r$  = Fattore di riduzione

Facendo quindi riferimento ai dati riportati nelle norme CEI 99-3 Allegato I è possibile determinare il valore da attribuire ad  $r$ . Nel nostro caso, dovendo scegliere un valore compreso tra 0,5 e 0,6, si sceglierà cautelativamente quest'ultimo.

Risulterà quindi che la corrente che fluisce nell'impianto di terra è pari a

$$I_E = I_F \cdot r = 40 \cdot 0,6 = 24 \text{ A} \quad (4.4)$$

Dalla condizione (4.2) si può ricavare il valore massimo accettabile della resistenza di terra  $R_E$ .

$$R_E = \frac{U_E}{I_E} = \frac{2 \cdot U_{Tp}}{I_E} = \frac{160}{24} \cong 6,6 \text{ } \Omega \quad (4.5)$$

dove:

$R_E$  = Resistenza totale di terra

$U_E$  = Tensione totale di terra


$U_{Tp}$  = Tensione di contatto ammissibile

$I_E$  = Corrente che fluisce nell'impianto di terra

Nel caso di impianti di terra comune per impianti di II e I categoria esercita con sistema TN, nella rete di bassa tensione non si devono manifestare tensioni di contatto pericolose.

Tale condizione è più facilmente verificata se l'intero impianto di bassa tensione è contenuto all'interno del sistema di messa a terra del sistema di II categoria, in quanto il potenziale del terreno all'interno dell'anello di guasto è sempre più alto del potenziale del terreno in punti lontani, all'esterno dell'anello, e questo consente di limitare le tensioni di contatto. Anche le stesse norme 99-3 impongono condizioni di verifica meno restrittive. Infatti in questo caso è ritenuta automaticamente soddisfatta la condizione di non pericolosità delle tensioni di contatto se è verificata la disequazione (4.2).

In base alle assunzioni fatte per la resistività del terreno e per le tensioni di contatto ammissibili il valore della resistenza dell'impianto di terra  $R_E$  deve essere dell'ordine di 6,6  $\Omega$ . Prevedendo un

	<b>TITOLO</b>				
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	<b>11300273776</b>		<b>1</b>	<b>8</b>	<b>14</b>
<b>PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA</b>					

possibile aumento della corrente di guasto a terra entro i prossimi anni dell'ordine del 20%, si realizzerà un dispersore con resistenza inferiore della stessa percentuale, perciò:

$$R_E = 6,6 \cdot 0,8 \cong 5,2 \Omega \quad (4.6)$$

Per raggiungere il valore di resistenza sopracitato si è proceduto considerando un impianto di terra composto da due anelli realizzati con corda di rame nudo  $\varnothing 70 \text{ mm}^2$  interrati interconnessi tra di loro:

- **Il primo anello** sarà posto lungo il perimetro dell'edificio composto dalla cabina elettrica e dal locale paratoie 2 ad una distanza di circa 0,5 m dalla struttura a circa 0,8 m di profondità (quota di posa 2,00 slm) dal piano di calpestio;
- **Il secondo anello** sarà eseguito lungo il perimetro dell'area che comprende le installazioni dell'impianto elettrico, anch'esso sarà posato alla profondità di 0,8 m (quota di posa 2,00 slm) rispetto al piano di calpestio;

Tra il primo anello ed il secondo dovranno essere realizzate delle interconnessioni con corda di rame nudo  $\varnothing 70 \text{ mm}^2$ , come minimo in numero pari a quelle indicate nell'elaborato *Planimetria opere elettriche*. Le giunzioni saranno effettuate mediante l'uso di morsetti a C a compressione meccanica in rame.

E' possibile effettuare una verifica analitica della resistenza presunta dell'impianto in base alla configurazione sopra descritta, utilizzando formule approssimate fornite dalle Norme, valutando che la resistenza complessiva della rete di terra essendo interrata varia in relazione al tipo terreno.

Nel caso specifico, entrambe gli anelli si troveranno interrati in terreno sabbioso con componenti argillose, sulla base delle base alla Tabella J.1 riportata nella Norma CEI 99-3 e in base alle considerazioni fatte in precedenza, si può stimare una resistività del terreno pari a  $400 \Omega m$ .

La formula utilizzata per il calcolo del contributo dato dagli anelli di terra al valore della resistenza di terra totale è la seguente.

$$R_A = \frac{\rho_E}{\pi^2 D} \cdot \ln \frac{2\pi D}{d} \quad (4.7)$$

dove:


**D** è il diametro del dispersore ad anello avente lo stesso perimetro del dispersore reale,

**d** è il diametro del conduttore cordato con cui è realizzato il dispersore.

Dall'osservazione della formula si ricava facilmente che la resistenza di terra può essere significativamente diminuita solo aumentando il diametro (e quindi il perimetro) dell'anello, mentre il diametro del conduttore cordato risulta praticamente influente.

Assumendo di realizzare il dispersore con corda da  $70 \text{ mm}^2$ , il valore del diametro **d** è di 9,45 mm.

Il perimetro del **primo anello** avrà una lunghezza di **p** = 104 m, applicando la formula (4.7) la resistenza sarà.

	<b>TITOLO</b>				
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	<b>11300273776</b>		<b>1</b>	<b>9</b>	<b>14</b>
<b>PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA</b>					

$$R_{A1} = \frac{\rho_E}{\pi^2 \cdot \frac{p}{\pi}} \cdot \ln \frac{2\pi \cdot \frac{p}{\pi}}{d} = \frac{\rho_E}{\pi \cdot p} \cdot \ln \frac{2p}{d} = \frac{400}{\pi \cdot 104} \cdot \ln \frac{2 \cdot 104}{0,00945} \cong 12,3 \, \Omega \quad (4.8)$$

Il perimetro del **secondo anello** avrà una lunghezza di **p** = 341 m, applicando la formula (4.7) la resistenza sarà.

$$R_{A2} = \frac{\rho_E}{\pi^2 \cdot \frac{p}{\pi}} \cdot \ln \frac{2\pi \cdot \frac{p}{\pi}}{d} = \frac{\rho_E}{\pi \cdot p} \cdot \ln \frac{2p}{d} = \frac{400}{\pi \cdot 341} \cdot \ln \frac{2 \cdot 341}{0,00945} \cong 4,2 \, \Omega \quad (4.9)$$

Assumendo che i due dissipatori possano essere considerati in parallelo, la resistenza equivalente del doppio dispersore risulta:

$$R_E = \frac{R_{A1} \cdot R_{A2}}{R_{A1} + R_{A2}} = \frac{12,3 \cdot 4,2}{12,3 + 4,2} \cong 3,2 \, \Omega \quad (4.10)$$

Il valore ottenuto per via teorica è idoneo ad assicurare le condizioni di sicurezza previste dalle norme CEI 99-3 ed è da considerarsi valido ai fini di possibili calcoli di verifica.


L'esito del calcolo non esula comunque dall'obbligo di effettuare la misura diretta della resistenza di terra al termine dei lavori, in quanto il valore ottenuto è da ritenersi puramente indicativo essendo legato a numerose variabili dipendenti dalla conformazione del terreno ed alle modalità d'installazione, le quali potrebbero condizionare sensibilmente il valore effettivo.

L'interconnessione con la maglia del dispersore esistente ed il collegamento equipotenziale di masse metalliche, favoriranno di fatto la diminuzione del valore di resistenza complessivo di tutto l'impianto, ma qualora in fase di collaudo, la misura della resistenza di terra dovesse superare tale valore per cui la relazione (4.2) non dovesse risultare soddisfatta, si dovrà procedere alla verifica delle tensioni di passo e contatto integrando eventualmente l'impianto in caso che le misure diano esito negativo (tensioni di passo e contatto superiori al valore ammesso dalla Norma).

### 4.3 DIMENSIONAMENTO TERMICO DELL'IMPIANTO DI TERRA

Nell'impianto in questione il dispersore è chiamato a condurre a terra esclusivamente la corrente di guasto a terra della rete pubblica di II categoria, il cui valore modesto di 40 A è ampiamente sopportato dal conduttore in rame cordato di dimensioni minime secondo la Norma CEI 99-3 (corrispondente ad una sezione di 25 mm<sup>2</sup>).

Viste le sollecitazioni a cui sono sottoposti gli isolamenti a causa del primo guasto a terra, in via cautelare non va trascurata l'eventualità di un secondo guasto contemporaneo al primo per cui si avrebbe un doppio guasto a terra equiparabile ad un guasto bifase franco. La corrente di guasto franco bifase  $I''_{KEE}$  risulta:

	<b>TITOLO</b>				
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	<b>11300273776</b>		<b>1</b>	<b>10</b>	<b>14</b>
<b>PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA</b>					

$$I''_{KEE} = I''_k \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 12,5 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cong 10,8 \text{ kA} \quad (4.11)$$

Dalle norme CEI 99-3 appendice B si ricava la sezione minima necessaria per sopportare tale corrente, considerando la temperatura del terreno di 20°C e la temperatura di fine cortocircuito 300°C.

$$A = \frac{I''_{KEE}}{K} \cdot \sqrt{\frac{I_f}{\ln \frac{\Theta_f + \beta}{\Theta_i + \beta}}} \quad (4.12)$$

dove:

$I_f$  è il tempo di durata del guasto a terra comunicata dall'ENEL;

$\Theta_i$  è la temperatura di inizio cortocircuito (considerata coincidente con quella del terreno e pari a 20°C);

$\Theta_f$  è la temperatura di fine cortocircuito, assunta pari a 300°C);

$K$  è la costante del materiale e per il rame vale 226;

$\beta$  è il reciproco del coefficiente di temperatura del materiale e vale 234,5 per il rame.

Si ricava così:

$$A = \frac{10800}{226} \cdot \sqrt{\frac{0,340}{\ln \frac{300 + 234,5}{20 + 234,5}}} \cong 32,40 \text{ mm}^2 \quad (4.13)$$


La sezione scelta di 70 mm<sup>2</sup> appare indicata anche alla luce della verifica appena svolta.

Vi sono però delle condizioni in cui si trova la corda di rame nudo in aria, si tratta essenzialmente di tutti i punti in cui sono previsti i collettori di terra equipotenziali: locale consegna ENEL, locale misura, cabina MT/BT, locali trasformatori, locali paratoie, ecc.

In queste condizioni la temperatura iniziale del conduttore di rame è considerata di 30°C e la temperatura deve essere limitata a 200°C, per cui si ricava:

$$S = \frac{10800}{226} \cdot \sqrt{\frac{0,340}{\ln \frac{200 + 234,5}{30 + 234,5}}} \cong 39,64 \text{ mm}^2 \quad (4.14)$$

Si assumerà anche che i conduttori di terra per l'interconnessione tra i dispersori e i collettori di terra equipotenziali sia realizzato con corda nuda da 70 mm<sup>2</sup>.

	<b>TITOLO</b>				
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	<b>11300273776</b>		<b>1</b>	<b>11</b>	<b>14</b>
<b>PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA</b>					

I conduttori di terra dell'impianto di media tensione dovranno sempre essere dimensionati, in via cautelare, per la corrente di guasto bifase franco. In questo caso si assume che i conduttori di terra siano isolati in PVC ed il dimensionamento termico viene eseguito con la formula:

$$S = \frac{I''_{KEE}}{K} \cdot \sqrt{t} \quad (4.15)$$

dove **K** è una costante che tiene conto sia del materiale isolante che della temperatura iniziale e finale di cortocircuito ed in questo caso, per il PVC tra 30°C e 160°C vale 143.

Si ricava ancora:

$$S = \frac{10800}{143} \cdot \sqrt{0,340} \cong 44,14 \text{ mm}^2 \quad (4.16)$$

I conduttori di terra saranno perciò realizzati con conduttori da 70 mm<sup>2</sup> isolati in PVC.

#### 4.4 CRITERI PER LA REALIZZAZIONE DELL'IMPIANTO DI TERRA

L'impianto di terra dell'insediamento sarà costituito da un doppio anello, realizzato con conduttori in corda di rame nuda con sezione di 70 mm<sup>2</sup> interrata direttamente.

Le interconnessioni tra il primo ed il secondo anello, saranno realizzate in più punti, come minimo quelli indicati nell'elaborato *Planimetria opere elettriche*, anch'esse con corda di rame nudo da 70 mm<sup>2</sup>. Come già descritto in precedenza, le connessioni dovranno essere realizzate con n° 2 morsetti a "C" in rame a compressione meccanica in serie.


Per quanto è possibile, non devono essere realizzate giunzioni nel conduttore costituente gli anelli, qualora le condizioni lo impongano, dovranno essere realizzate esclusivamente giunzioni utilizzando due morsetti uno in serie all'altro.

Al fine di diminuire la resistenza di terra ed aumentare il potere disperdente dell'impianto, dovranno essere collegati alla rete di terra, tutti i dispersori di fatto costituiti dai ferri delle armature dei plinti di fondazione della struttura del fabbricato, nonché la rete elettrosaldata delle pavimentazioni e tutte le componenti metalliche in intimo contatto con il terreno. Tali collegamenti dovranno essere eseguiti in conformità alle Norme CEI 64-12 ed alla regola d'arte edile.

Qualora nel corso della costruzione emergano delle parti di armatura non interconnesse all'impianto di terra si dovrà ovviare provvedendo con un metodo in accordo dalla DL.

Nell'ambito di tutto l'insediamento dovranno essere predisposti appositi collettori di terra di rame stagnato, con 24 fori M6, dimensioni 300x50x5 mm (lxhxp) per la realizzazione di collettori equipotenziali di terra a cui faranno capo i conduttori della rete dei dispersori principali.

I cavi di collegamento tra collettori di terra secondari e gli anelli dovranno essere di corda di rame nuda da 70 mm<sup>2</sup>, protetta meccanicamente nel passaggio attraverso le pareti della struttura da foderi di 60 mm di diametro, mentre la connessione ai dispersori orizzontali dovrà essere realizzata tramite

	<b>TITOLO</b>				
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	<b>11300273776</b>		<b>1</b>	<b>12</b>	<b>14</b>
<b>PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA</b>					

morsetti a “C” in rame a compressione meccanica.

Tali collettori equipotenziali di terra dovranno essere posati ad un'altezza di 0,5 m dal pavimento (dove previsto il pavimento galleggiante l'altezza da terra s'intende a partire dalla quota del pavimento galleggiante finito).

Sono previsti nel locale consegna ENEL, nel locale misura, nella cabina MT/BT, nei locali trasformatori, nei locali paratoie nei pozzetti in prossimità delle stazioni di sollevamento, ecc. ed in linea generale, quantomeno, in tutti i indicati nell'elaborato *Planimetria opere elettriche*.

Al collettore equipotenziale di terra dell'impianto di I categoria a 400 V, ubicato nel locale quadri elettrici, saranno collegati i due capi di chiusura del primo anello della rete disperdente. I conduttori di terra coincideranno fisicamente con il conduttore formante il dispersore, evitando in questo modo l'introduzione di morsetti di collegamento (la realizzazione dei conduttori di terra coincidenti con quelli del dispersore è espressamente consigliata dalle Norme CEI 64-12 al paragrafo 3.2.3.3). Si avranno quindi 2 conduttori di terra in corda nuda di rame con sezione 70 mm<sup>2</sup>, che nel tratto interno alla centrale saranno protetti per tutta la lunghezza.

Il centro stella dei trasformatori sarà collegato a terra mediante cavi isolati in EPR che si attestano sul collettore di terra locale. In caso di guasto i conduttori sono attraversati dalla corrente di guasto a terra, per cui risulta opportuna la loro verifica termica.

Per i trasformatori TR1, TR2 e TR3, considerando una corrente di guasto a terra di 36 kA ed un tempo di estinzione del guasto scelto tra quelli normalizzati di 5 s, si ha:

$$S = \frac{I''_{K1}}{K} \cdot \sqrt{\frac{t}{\ln \frac{\Theta_f + \beta}{\Theta_i + \beta}}} = \frac{36 \cdot 10^3}{226} \cdot \sqrt{\frac{5}{\ln \frac{234,5 + 250}{234,5 + 30}}} = 457,8 \text{ mm}^2 \quad (4.17)$$


È stato verificato che quanto previsto in fase di dimensionamento è adeguato, pertanto il collegamento tra il centro stella dei trasformatori TR1, TR2 e TR3 e il collettore di terra locale sarà realizzato con 2 cavi di sezione 240 mm<sup>2</sup> isolati in EPR.

La scelta di 2 cavi da 240 mm<sup>2</sup> soddisfa le raccomandazioni delle Norme CEI 64-8 che prevedono di realizzare conduttori di protezione con sezione pari alla metà della sezione dei conduttori di fase.

Tale scelta è giustificata dal dimensionamento termico appena effettuato e dal fatto che, è necessario non limitare le correnti di guasto a terra al fine di consentire l'intervento delle protezioni contro il cortocircuito.

Per il trasformatore TR4 e TR5 considerando una corrente di guasto a terra di 6 kA ed un tempo di estinzione del guasto scelto tra quelli normalizzati di 5 s, si ha:

$$S = \frac{I''_{K1}}{K} \cdot \sqrt{\frac{t}{\ln \frac{\Theta_f + \beta}{\Theta_i + \beta}}} = \frac{6 \cdot 10^3}{226} \cdot \sqrt{\frac{5}{\ln \frac{234,5 + 250}{234,5 + 30}}} = 81,9 \text{ mm}^2 \quad (4.18)$$

	<b>TITOLO</b>				
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	<b>11300273776</b>		<b>1</b>	<b>13</b>	<b>14</b>
<b>PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA</b>					

È stato verificato che quanto previsto in fase di dimensionamento è adeguato, pertanto il collegamento tra il centro stella del trasformatore TR4 e TR5 e il collettore di terra locale sarà realizzato con 1 cavo di sezione 95 mm<sup>2</sup> isolati in EPR.

La scelta di 1 cavo da 95 mm<sup>2</sup> soddisfa le raccomandazioni delle Norme CEI 64-8 che prevedono di realizzare conduttori di protezione con sezione pari alla metà della sezione dei conduttori di fase.

Tale scelta è giustificata dal dimensionamento termico appena effettuato e dal fatto che, è necessario non limitare le correnti di guasto a terra al fine di consentire l'intervento delle protezioni contro il cortocircuito.

È inoltre opportuno prevedere l'interconnessione diretta tra il collettore equipotenziale di terra dell'impianto di I categoria a 400/690V ed il collettore locale di terra su cui si attesta il centro stella dei trasformatori, effettuata mediante 2 cavi di sezione 240 mm<sup>2</sup> isolati in EPR.

La posa dei dispersori e le connessioni equipotenziali dovranno essere poste in opera in modo tale da evitare possibili sollecitazioni meccaniche o danneggiamenti derivanti dalla corrosione elettrochimica, si eviterà il contatto diretto fra metalli aventi potenziali elettrochimici diversi (ad esempio la giunzione diretta rame - zinco), interponendo materiali in grado di ridurre lo squilibrio di potenziale al fine di evitare fenomeni di corrosione; a tal proposito si dovranno utilizzare esclusivamente capicorda o morsetti a pressione meccanica di stagnato o di ottone. Tutte le connessioni saranno realizzate con morsetti a compressione in rame tipo crimp con superficie di contatto non inferiore a 150 mm<sup>2</sup> e protette con spalmatura di paraffina.

Le masse appartenenti all'impianto di II categoria, come ad esempio gli schermi dei cavi, saranno collegate all'impianto di terra da conduttori in rame di sezione 70 mm<sup>2</sup> isolati in PVC.

Dovranno essere connesse all'impianto di terra tutte le masse e le masse estranee presenti all'interno ed all'esterno del fabbricato; si ricorda che viene considerata massa estranea una massa avente una resistenza verso terra minore di 1000 Ω.


## 5 PROTEZIONE DAI CONTATTI INDIRETTI LATO B.T.

Il sistema di prima categoria (tensione 0,4/0,69/0,23 kV) sarà distribuito con sistema TN-S e sarà quindi soggetto alla Norma CEI 64-8. Al par. 413.1.3.3 della stessa è prescritto che:

$$Z_s \cdot I_a \leq U_0 \quad (5.1)$$

dove:

- $Z_s$ : è l'impedenza dell'anello di guasto in Ω 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;
- $I_a$ : è la corrente in Ampere che provoca l'interruzione automatica del dispositivo di protezione entro un tempo definito dalle norme stesse in funzione della tensione nominale  $U_0$  verso terra (il

	<b>TITOLO</b>				
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	<b>11300273776</b>		<b>1</b>	<b>14</b>	<b>14</b>
<b>PSBO - VASCHE DI LAMINAZIONE AUSA</b>					

tempo massimo d'intervento deve essere di 5s per i circuiti di distribuzione e 0.4s per i circuiti terminali per una tensione  $U_0$  verso terra di 230V);

- $U_0$ : è la tensione nominale tra fase e terra (230V).

Per l'impianto di I categoria è previsto l'utilizzo di un solo collettore di terra principale. Il collegamento di tutti i conduttori di protezione avverrà pertanto in cascata dal collettore di terra principale, ottenendo così in ogni caso un anello di guasto di impedenza nota e facilmente verificabile in fase di collaudo.

Sarà necessario in fase di collaudo verificare che la suddetta relazione sia soddisfatta per tutti i circuiti ponendo particolare cura ai circuiti terminali, soprattutto per quelli più lunghi dove il valore più alto dell'impedenza di guasto potrebbe aumentare il tempo d'intervento delle protezioni oltre ai limiti ammessi dalle Norme; a tal proposito si reputa opportuno dotare tutti i circuiti terminali di servizio per i quali si può prevedere anche un utilizzo mobile delle condutture, di apposite protezioni di tipo differenziale ad alta sensibilità ( $\max I_d = 1A$ ).

## 6 COLLAUDI E VERIFICHE FINALI

Al termine dell'esecuzione dei lavori la *Ditta installatrice*, dovrà effettuare alla presenza della D.L., una serie di misure ed esami a vista tesi a verificare che l'impianto sia conforme a tale progetto ed alle normative vigenti e che non sussistano dei vizi di forma occultati.

In particolare si procederà alla verifica:

- delle sezioni dei conduttori in genere costituenti l'impianto di terra (dispersori, dorsali, collegamenti equipotenziali);
- della qualità in generale dei materiali adottati per la realizzazione dell'impianto di terra.
- Inoltre la Ditta installatrice dovrà eseguire:
- misura della continuità del conduttore di protezione, con estensione anche alle masse metalliche estranee e non collegate equipotenzialmente a terra;
- verifica del coordinamento dell'impianto di terra con le protezioni dai contatti indiretti;
- la misura della resistenza globale di terra con l'impianto in condizioni ordinarie di funzionamento;
- l'eventuale misura della tensione di passo e contatto nel caso vi sia discrepanza con il valore globale di terra e i dati della rete forniti dall'ente erogatore.

Al termine delle attività, dopo averne verificato la corretta realizzazione, dovrà essere effettuata l'omologazione dell'impianto da parte della *Ditta installatrice*, che dovrà rilasciare al datore di lavoro la dichiarazione di conformità secondo il DM 37/08, secondo quanto regolamentato dal DPR 462/01.

La dichiarazione di conformità dovrà essere corredata di certificato della camera di commercio di attestazione dei requisiti tecnico – professionali della *Ditta installatrice*.