

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:

CONSORZIO:



SOCI:



PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:



MANDANTI:



PROGETTO ESECUTIVO

ITINERARIO NAPOLI - BARI RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE - HIRPINIA

IMPIANTO LUCE E FORZA MOTRICE

IE11 – FERMATA DI APICE FV02

Relazione di Calcolo impianto di terra

APPALTATORE	DIRETTORE DELLA PROGETTAZIONE	PROGETTISTA
Consorzio HIRPINIA AV Il Direttore Tecnico Ing. Vincenzo Moriello 10/06/2020	Il Responsabile integrazione fra le varie prestazioni specialistiche Ing. G. Cassani	Alpina Sp.A. Ing. Paola Erba

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

IF28	01	E	ZZ	RO	LF1100	002	B	-
------	----	---	----	----	--------	-----	---	---

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione per consegna	F. Fantinato	21/02/2020	P. Perrotta	21/02/2020	M. Vernaleone	21/02/2020	Ing. Paola Erba
B	Emissione per istruttoria	F. Fantinato	10/06/2020	P. Perrotta	10/06/2020	M. Vernaleone	10/06/2020	
								10/06/2020

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione di Calcolo impianto di terra	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RO	DOCUMENTO LF1100 002	REV. B	FOGLIO 2 di 20

Indice

1	INTRODUZIONE	3
2	LEGGI E NORME DI RIFERIMENTO	3
3	SIGLE E DEFINIZIONI	3
4	IMPIANTO DI TERRA PRIMARIO (DISPERSORE)	4
4.1	REQUISITI DELL'IMPIANTO CON RIFERIMENTO ALLE SOLLECITAZIONI MECCANICHE, ALLA CORROSIONE ED ALLE SOLLECITAZIONI TERMICHE.....	4
4.2	REQUISITI DELL'IMPIANTO CON RIFERIMENTO ALLA SICUREZZA DELLE PERSONE.....	5
4.3	VERIFICA MECCANICA E TERMICA DELL'IMPIANTO DI TERRA DISPERDENTE	7
4.4	VERIFICA DEL DISPERSORE NEI CONFRONTI DELLE TENSIONI DI CONTATTO E DI PASSO	7
5	IMPIANTO DI TERRA SECONDARIO (O IMPIANTO DI TERRA INTERNO)	7
5.1	GENERALITÀ.....	7
5.2	SEZIONI MINIME.....	10
5.3	DIMENSIONAMENTO DELL'IMPIANTO CON RIFERIMENTO ALLE SOLLECITAZIONI TERMICHE ..	10
6	CONSIDERAZIONI AGGIUNTIVE	13
7	ALLEGATI	13
8	ALLEGATO 1 – DIMENSIONAMENTO E VERIFICA IMPIANTO DI TERRA.....	14
8.1	GENERALITÀ.....	14
8.2	VERIFICA DISPERSORI DELLA FERMATA DI APICE	14
8.3	FERMATI DI APICE.....	18

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.						
PROGETTO ESECUTIVO Relazione di Calcolo impianto di terra	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RO	DOCUMENTO LF1100 002	REV. B	FOGLIO 3 di 20

1 INTRODUZIONE

Il presente documento ha come oggetto l'impianto di terra della fermata di Apice (FV02), asservito agli impianti tecnologici della fermata di Apice, nell'ambito degli interventi per la realizzazione della nuova linea ferroviaria Apice-Hirpinia.

Nel caso di cui trattasi, sia la porzione di impianto in Media Tensione che la sezione di impianto in Bassa Tensione saranno collegate ad un unico impianto di terra.

Inoltre, con riferimento al modo di collegamento a terra, il sistema di distribuzione BT risulta classificato come sistema TN.

In particolare, quanto segue intende evidenziare:

- la normativa tecnica utilizzata per il dimensionamento;
- i criteri di dimensionamento, tenendo conto dei vincoli impiantistici e della normativa vigente;
- i dati di ingresso;
- le verifiche ed i risultati di calcolo.

Si precisa che i dati di progetto ed i risultati delle verifiche, ottenute con software dedicati o tramite fogli di calcolo, sono riportati negli allegati.

Nel seguito si riportano invece alcune considerazioni aventi lo scopo di inquadrare il problema e di semplificare la comprensione di quanto evidenziato negli allegati.

2 LEGGI E NORME DI RIFERIMENTO

Nel seguito vengono elencati i principali riferimenti legislativi e normativi che sono stati considerati nello sviluppo del presente progetto:

- Norma CEI 99-2 (CEI EN 61936-1) Impianti elettrici con tensione superiore a 1 kV in c.a. – Parte 1: Prescrizioni comuni
- Norma CEI 99-3 (CEI EN 50522) Messa a terra degli impianti elettrici a tensione superiore a 1 kV
- Guida CEI 11-37: Guida per l'esecuzione degli impianti di terra nei sistemi utilizzatori di energia alimentati a tensione maggiore di 1 kV
- Norma CEI 64-8: Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua
- Norma CEI EN50122-1: "Applicazioni ferroviarie – Installazioni fisse; Parte 1a: Provvedimenti concernenti la sicurezza elettrica e la messa a terra"
- Norma CEI 0-16: "Condizioni tecniche per la connessione alle reti di distribuzione dell'energia elettrica a tensione nominale superiore ad 1 kV"

3 SIGLE E DEFINIZIONI

Vengono introdotte le seguenti sigle:

- ac Corrente alternata
- AD Azienda distributrice di energia elettrica (nel caso specifico ENEL)
- BT Bassa Tensione in c.a. (400/230V)
- CEI Comitato Elettrotecnico Italiano

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.						
PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTO DI TERRA	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RO	DOCUMENTO LF1100 002	REV. B	FOGLIO 4 di 20

- MT Media Tensione in c.a.: nel caso specifico 20kV
- RE resistenza di terra del dispersore
- UE tensione totale di terra
- UTP massima tensione di contatto effettiva ammessa dalla norma
- USP massima tensione di passo effettiva ammessa dalla norma
- VL tensione limite di contatto in BT
- IE corrente di guasto dispersa a terra
- tf tempo di intervento delle protezioni
- I_{dn} corrente differenziale nominale
- ρ resistività del mezzo disperdente

Eventuali altri sigle potranno essere introdotte solo dopo che siano stati definiti, tra parentesi, accanto alla definizione estesa del proprio significato.

Saranno inoltre utilizzati i seguenti termini:

Dispersore o impianto di terra primario (ai sensi della Norma CEI 99-2, 99-3 e CEI 64-8): insieme di conduttori in contatto elettrico diretto con il terreno o annegati nel calcestruzzo a contatto con il terreno.

Impianto di terra secondario (o impianto di terra interno): insieme di conduttori comprendente:

- conduttori di protezione (ai sensi della Norma CEI 99-2, 99-3 e CEI 64-8);
- conduttori che collegano le masse di apparecchiature ad un collettore di terra ai fini della protezione contro i contatti indiretti;
- collettore principale di terra (ai sensi della Norma CEI 64-8): elemento a cui fanno capo i diversi conduttori di protezione, i conduttori equipotenziali principali, i conduttori di terra ed i conduttori di terra funzionali. Il collettore di terra è collegato al dispersore con uno o più conduttori di terra;
- conduttori di terra (ai sensi della Norma CEI 99-2 e 99-3): conduttori, non in contatto col terreno, che collegano parti dell'impianto (neutri dei sistemi elettrici, masse di apparecchiature e collettori di terra) direttamente al dispersore oppure conduttori, non in contatto col terreno, che collegano tra loro due dispersori;
- conduttori di terra (ai sensi della Norma CEI 64-8): conduttori, non in contatto col terreno, che collegano il collettore (o nodo) al dispersore oppure conduttori, non in contatto col terreno, che collegano tra loro due dispersori;
- conduttori equipotenziali (ai sensi della Norma CEI 99-3 e CEI 64-8): conduttore di protezione che mette diverse masse e masse estranee al medesimo potenziale (funzione di collegamento equipotenziale).

4 IMPIANTO DI TERRA PRIMARIO (DISPERSORE)

4.1 REQUISITI DELL'IMPIANTO CON RIFERIMENTO ALLE SOLLECITAZIONI MECCANICHE, ALLA CORROSIONE ED ALLE SOLLECITAZIONI TERMICHE

Per quanto riguarda la resistenza meccanica, la resistenza alla corrosione e la resistenza alle sollecitazioni termiche, la Norma CEI 99-3 raccomanda di adottare per il dispersore le dimensioni minime riportate nella tabella seguente:

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandatara Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTO DI TERRA	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RO	DOCUMENTO LF1100 002	REV. B	FOGLIO 5 di 20

Materiale	Tipo di dispersore	Dimensione minima					
		Corpo			Rivestimento/guaina		
		Diametro [mm]	Sezione trasversale [mm ²]	Spessore [mm]	Valori singoli [µm]	Valori medi [µm]	
Acciaio	zincato a caldo	Piattina ⁽²⁾		90	3	63	70
		Profilato (inclusi i piatti)		90 (250)	3 (5)	63	70
		Tubo	25		2	47	55
		Barra tonda per picchetto	16 (20)			63	70
		Tondo per dispersore orizzontale	10				50
	con guaina di piombo ⁽¹⁾	Tondo per dispersore orizzontale	8			1000	
	con guaina di rame estrusa	Barra tonda per picchetto	15			2000 (500)	
	con guaina di rame elettrolitico	Barra tonda per picchetto	14.2 (15)			90	100
Rame	nudo	Piattina		50	2		
		Tondo per dispersore orizzontale		25 ⁽³⁾			
		Corda	1,8 ⁽³⁾	25			
		Tubo	20		2		
	stagnato	Corda	1,8 ⁽³⁾	25		1	5
	zincato	Piattina		50	2	20	40
	con guaina di piombo ⁽¹⁾	Corda	1,8 ⁽³⁾	25		1000	
	Filo tondo		25		1000		

(*) per cavetti singoli
(1) non idoneo per posa diretta in calcestruzzo
(2) piattina, arrotondata o tagliata con angoli arrotondati
(3) in condizioni eccezionali, dove l'esperienza mostra che il rischio di corrosione e di danno meccanico è estremamente basso, si può usare 16 mm².
Nota: I valori riportati tra parentesi sono comunemente utilizzati in Italia.

Tabella 1 - Dimensioni minime degli elementi del dispersore (rif. Allegato C CEI 99-3)

4.2 REQUISITI DELL'IMPIANTO CON RIFERIMENTO ALLA SICUREZZA DELLE PERSONE

In base alla normativa cogente, l'impianto di terra disperdente è da considerarsi correttamente dimensionato, nei confronti della sicurezza delle persone, se in caso di guasto lato MT si verifica che la tensione totale di terra U_E risulta inferiore al limite ammesso per le tensioni di contatto U_{TP} , secondo la seguente condizione:

$$U_E = R_E \cdot I_E \leq 2 \cdot U_{TP}$$

dove:

R_E [Ω]: è la resistenza di terra del dispersore;

I_E [A]: è la corrente di guasto a terra;

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.						
PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTO DI TERRA	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RO	DOCUMENTO LF1100 002	REV. B	FOGLIO 6 di 20

U_{TP} [V]: valore fornito dalla figura 4 della Norma CEI 99-3 in funzione della durata di guasto a terra (vedi figura sotto)

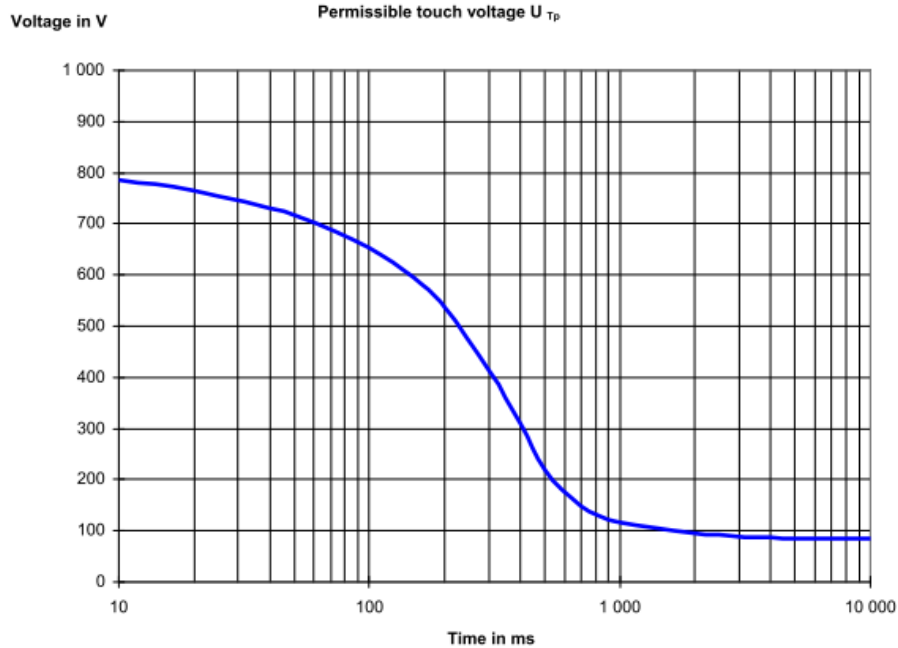


Figura 1: Massima tensione di contatto ammissibile

Si consideri infatti che, nel caso in oggetto, gli impianti BT risultano confinati all'interno dell'area interessata dall'impianto di terra AT e, quindi, non sussistono particolari requisiti per l'interconnessione degli impianti di bassa e alta tensione basati sui limiti della EPR (Earth Potential Rise, secondo Tabella 2 CEI 99-3).

Il dimensionamento di un impianto di terra richiede quindi, tra i dati di ingresso, il valore della massima corrente che l'impianto è chiamato a disperdere, in caso di guasto a terra (I_E), e la durata del guasto stesso (t_f).

I calcoli saranno eseguiti, in questa fase progettuale, in conformità al Progetto Definitivo, sulla base di valori tipici di corrente e tempo di intervento (tempo eliminazione del guasto). Questi valori dovranno essere tuttavia confermati dall'ente distributore in fase di realizzazione dell'impianto. Il tempo di intervento ipotizzato considera la possibilità di guasto a monte dell'interruttore generale di utente (Dispositivo Generale), rilevato dalle protezioni del Distributore.

Regime di neutro	I_E [A]	t_f [s]
Neutro compensato a 20 kV	50	$\gg 10$

Oltre alla corrente di guasto proveniente dalla rete del Distributore, nei calcoli che seguono, sarà opportunamente considerato il contributo dalla rete MT dell'impianto.

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.						
PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTO DI TERRA	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RO	DOCUMENTO LF1100 002	REV. B	FOGLIO 7 di 20

Noti i tempi di eliminazione del guasto, dalla figura 4 della Norma CEI 99-3 si possono determinare i valori di U_{TP} (limite massimo per la tensione di contatto ammessa)

I valori di tensione di passo limite U_{SP} non sono considerati dallo Standard poiché si assume che, se nel sistema disperdente le tensioni di contatto risultano inferiori ai suddetti limiti, non risulta presente alcuna tensione di passo pericolosa.

Nelle normative proprie di alcuni paesi europei viene comunque specificata una modalità per determinare le tensioni limite di passo ovvero

$$U_{SP} = 3U_{TP}$$

Con riferimento ai tempi di eliminazione del guasto riportati precedentemente, i limiti delle tensioni di contatto e di passo assumono i seguenti valori:

Regime di neutro	U_{TP} [V]	U_{SP} [V]
Neutro compensato a 20 kV	80	240

4.3 VERIFICA MECCANICA E TERMICA DELL'IMPIANTO DI TERRA DISPERDENTE

Per quanto concerne il comportamento meccanico e termico del dispersore i requisiti di progetto sopra indicati risultano soddisfatti in quanto per la realizzazione dell'impianto di terra si prevedono dispersori costituiti da:

- corda di rame nudo da 35 mm² nella fermata di Apice.

4.4 VERIFICA DEL DISPERSORE NEI CONFRONTI DELLE TENSIONI DI CONTATTO E DI PASSO

La verifica dell'impianto di terra disperdente, nei confronti della sicurezza delle persone, è stata condotta utilizzando il software GSA_FD® (Grounding System Analysis in the Frequency Domain), versione 9.3.1, sviluppato da SINT Ingegneria Srl.

5 IMPIANTO DI TERRA SECONDARIO (O IMPIANTO DI TERRA INTERNO)

5.1 GENERALITÀ

All'interno della cabina, tutte le parti metalliche accessibili delle macchine e delle apparecchiature, suscettibili di entrare in contatto con elementi in tensione in seguito a guasti o di introdurre il potenziale di terra, devono essere collegate al dispersore o al collettore di terra, normalmente per mezzo di conduttori di terra. A queste connessioni realizzate ai fini della sicurezza, si aggiungono i collegamenti di tipo funzionale quale, ad esempio, la messa a terra del neutro sul lato BT dei trasformatori.

I nodi di terra (collettori) sono costituiti da piatti di rame nudo da 500x50x5mm installati alla parete dei vari locali mediante appositi distanziatori fissati a parete con tasselli e viti in acciaio.

La figura seguente rappresenta alcuni esempi tipici di collegamenti al collettore.

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA AV SALINI IMPREGIO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.						
PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTO DI TERRA	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RO	DOCUMENTO LF1100 002	REV. B	FOGLIO 8 di 20

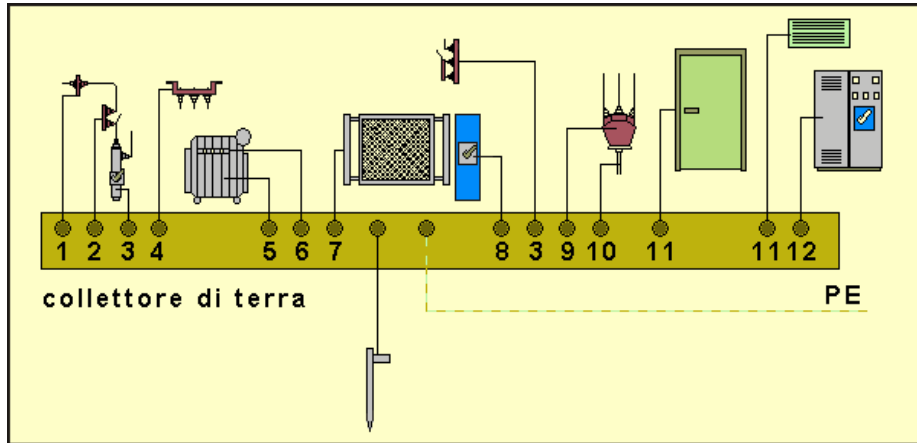


Figura 2 – Esempi di collegamenti a terra in cabina

1. cornici, telai e flange degli isolatori passanti
2. intelaiature e supporti di ogni tipo di isolatore
3. intelaiature dei sezionatori, dei portafusibili e degli interruttori
4. involucri e supporti metallici dell'interruttore automatico MT e di ogni altro apparecchio di controllo e misura
5. massa del trasformatore (da dimensionare in funzione della corrente di guasto sul lato BT)
6. morsetto del neutro del lato BT del trasformatore (da dimensionare in funzione della corrente di guasto sul lato BT)
7. ripari metallici e le relative incastellature
8. organi di comando manuale di interruttori e sezionatori
9. muffole metalliche
10. schermi metallici dei cavi MT
11. intelaiature metalliche di porte, finestre e griglie di aerazione
12. armadi metallici delle cabine prefabbricate o altri involucri contenenti apparecchiature MT o BT (per gli armadi contenenti apparecchiature in BT dimensionare in funzione della corrente di guasto in BT)

I ferri di armatura della struttura non saranno connessi all'impianto di terra.

Con riferimento alla figura seguente e alle definizioni riportate in precedenza (conduttori di terra, conduttori di protezione e conduttori equipotenziali), i conduttori principali, oggetto di dimensionamento, sono i seguenti:

- CT1: conduttore di collegamento della carcassa del trasformatore MT/BT al nodo di terra;
- CT2: conduttore di collegamento del nodo di terra al dispersore;
- PE1: conduttore di collegamento a terra del centro stella del trasformatore MT/BT;
- PE2: conduttore di collegamento della carpenteria del quadro generale di bassa tensione al nodo di terra (valido, cautelativamente, anche per gli altri quadri BT di cabina).

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RO	DOCUMENTO LF1100 002	REV. B	FOGLIO 9 di 20
PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTO DI TERRA						

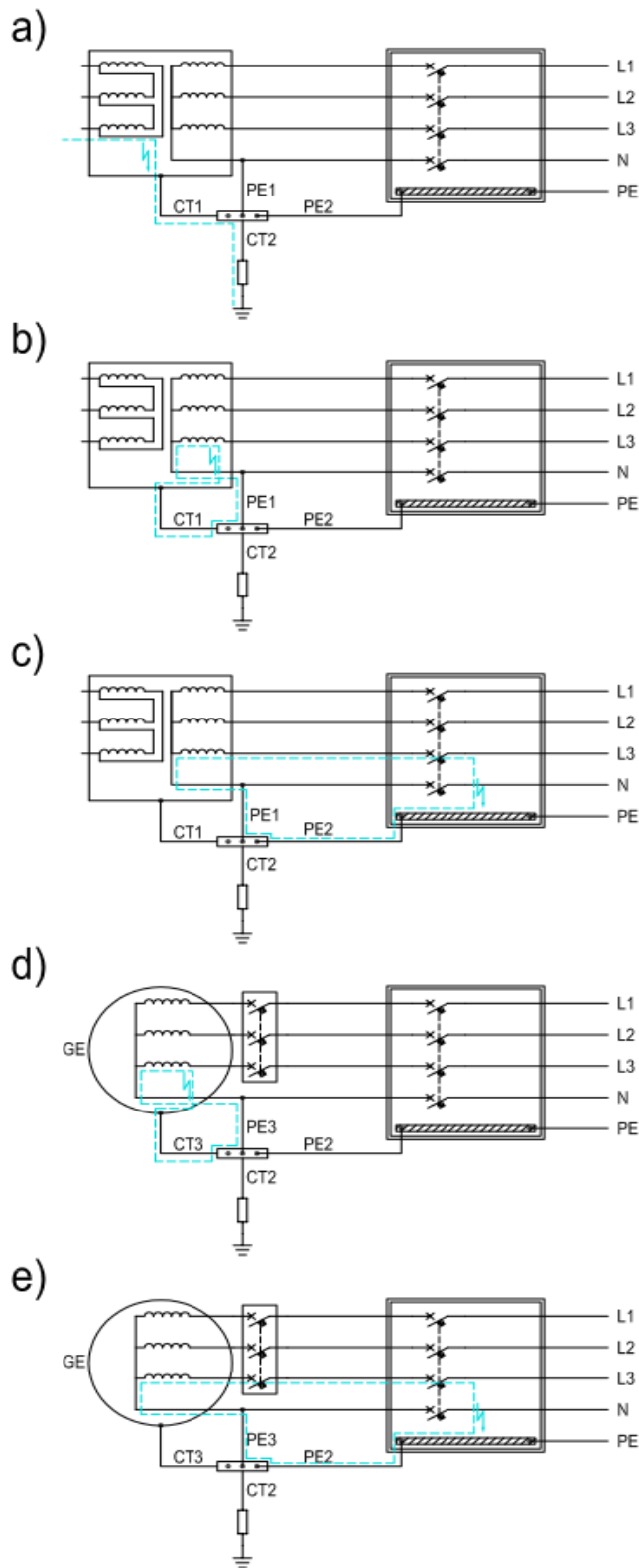


Figura 3 - Collegamenti a terra in cabina

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTO DI TERRA	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RO	DOCUMENTO LF1100 002	REV. B	FOGLIO 10 di 20

Tali conduttori vanno dimensionati verificando la loro “tenuta termica” nei confronti della corrente di guasto a terra che sono chiamati a condurre verso l’impianto disperdente verificando inoltre che le sezioni così risultanti siano superiori alle sezioni minime ammesse.

Le sezioni dei conduttori sono riportate negli elaborati grafici di progetto e fanno riferimento ai criteri esposti nei presenti paragrafi.

5.2 SEZIONI MINIME

Per quanto concerne i conduttori di terra ed i conduttori equipotenziali a Norma CEI 99-3 prescrive le seguenti sezioni minime:

- rame: 16 mm²;
- alluminio: 35 mm²;
- acciaio: 50 mm²

5.3 DIMENSIONAMENTO DELL’IMPIANTO CON RIFERIMENTO ALLE SOLLECITAZIONI TERMICHE

I valori minimi indicati nei paragrafi precedenti possono risultare inutilmente onerosi come, ad esempio, nel caso di conduttori di fase di grossa sezione. In tali casi, fatte salve le sezioni minime indicate, la sezione dei conduttori di terra può essere calcolata con la seguente formula (formula dell’integrale di Joule) che garantisce la “tenuta termica” del conduttore:

$$A = \frac{I}{K} \sqrt{\frac{t}{\ln \frac{\theta_f + \beta}{\theta_i + \beta}}} \quad (\text{IEC 60724:1984 Equazione F1})$$

dove:

- A: è la sezione minima del conduttore (mm²)
- I: è il valore efficace della corrente di guasto che fluisce nel conduttore (A)
- t: è la durata della corrente di guasto (s)
- K: è una costante dello specifico materiale conduttore usato (As^{1/2}mm⁻²)
- β: è una costante dello specifico materiale conduttore usato (°C)
- θ_i: è la temperatura ambiente o iniziale del conduttore (°C)
- θ_f: è la massima temperatura ammessa per il conduttore (°C)

Per le costanti dei materiali si può fare riferimento ai seguenti valori indicati nelle norme:

- rame: K = 226 (As^{1/2}mm⁻²), β = 234,5 (°C)
- acciaio: K = 78 (As^{1/2}mm⁻²), β = 202 (°C)
- alluminio: K = 148 (As^{1/2}mm⁻²), β = 228 (°C)

La formula precedente può essere così semplificata:

$$A = \frac{I}{Kt} \sqrt{t}$$

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.						
PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTO DI TERRA	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RO	DOCUMENTO LF1100 002	REV. B	FOGLIO 11 di 20

in cui K_t è funzione del tipo di materiale e delle temperature iniziali e finali del conduttore e, con riferimento alla formula precedente, vale:

$$K_t = K \cdot \sqrt{\ln \frac{\theta_f + \beta}{\theta_i + \beta}}$$

Con riferimento alla Figura 3, a seconda delle tipologie di guasto che interessano i diversi tipi di conduttori, i parametri I e t assumono i valori nel seguito descritti:

- CT1 + CT2: sono interessati dalla corrente di guasto a terra in media tensione (Figura 3-a): il valore (I) corrisponde al valore massimo riscontrabile (generalmente doppio guasto a terra su rete a neutro compensato), mentre t corrisponde al tempo di intervento della protezione MT;
- CT1 + PE1 sono interessati da un guasto sull'avvolgimento BT del trasformatore (Figura 3-b): il valore (I) è la corrente di guasto fase-terra lato BT, mentre t è il tempo di intervento della protezione MT in corrispondenza della corrente di guasto rilevata sul lato MT;
- PE1 + PE2 sono interessati da un guasto a valle del quadro generale di bassa tensione (Figura 3-c): il valore (I) è la massima corrente di guasto fase terra a valle del quadro, mentre t è il tempo di intervento per corto circuito della protezione generale. Si precisa che non si contempla il caso di guasto sulla linea tra il trasformatore e la protezione generale BT (vedi CEI 64-8/4 art. 473.2.3 e commento art. 413.2.1.1)
- CT3+PE3 e PE3+PE2 sono interessati dalla corrente di guasto nel funzionamento da gruppo elettrogeno (Figura 3-d e 3-e): il tempo di intervento può essere assunto cautelativamente pari al tempo di intervento della protezione di massima frequenza installata a bordo del quadro di controllo del GE.

Ciascun conduttore deve essere verificato nella condizione più gravosa.

Nella tabella che segue si riportano i calcoli, valutati prudenzialmente tenendo conto nelle massime taglie delle macchine presenti nell'impianto.

La scelta delle sezioni da adottare sarà tuttavia frutto anche di altre considerazioni ulteriori, tra cui opportuni margini di sicurezza, uniformità tra le sezioni delle diverse apparecchiature e cabine.

Il conduttore di collegamento a terra degli schermi dei cavi MT può essere dimensionato sulla base della sezione degli schermi stessi. Tuttavia si assume, prudenzialmente, una sezione pari a 25 mm².

Relativamente al conduttore PE2 (collegamento quadro BT principale) e dei quadri BT secondari, può anche essere scelto sulla base della regola convenzionale indicata dalla CEI 64-8, che prevede una sezione pari alla metà della sezione del conduttore di fase (se di sezione maggiore a 35 mm²). Nel caso specifico si è scelto di adottare tale regola vista la varietà di sezioni per i diversi collegamenti.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGIO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandatario Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTO DI TERRA	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RO	DOCUMENTO LF1100 002	REV. B	FOGLIO 12 di 20

Funzionamento da rete			
Dati di ingresso			
Trasformatore MT/bt			
Tensione nominale primario V1n [V]	20.000		
Tensione nominale secondario V2n [V]	400		
Potenza nominale [kVA]	630		
Impedenza di cto cto [%]	6.00		
Zcc [ohm]	0.0152		
Corrente di guasto trifase I _k [A]	16.670.99		
Dati impianto			
Impedenza cavo trasf-QBT [ohm]	-		
Tipo Conduttore CT1 (Kt)	FG17	175.8269	
Tipo Conduttore CT2 (Kt)	FG17	175.8269	
Tipo Conduttore PE1 (Kt)	FG17	175.8269	
Tipo Conduttore PE2 (Kt)	FG17	175.8269	
Guasto a terra lato MT			
Corrente di doppio guasto a terra lato MT [A] con rete a neutro compensato I _{KEE}	13.856.41		
Tempo di intervento della protezione [s]	0.25	(1)	
I _t	4.80E+07		
Guasto fase-terra lato bt a monte del quadro BT			
Corrente di guasto a terra lato bt [A]	16.670.99		
Corrente di guasto lato bt trasferita lato MT [A]	192.50		
Tempo di intervento della protezione MT [s] (eliminazione del guasto)	0.50	(2)	
I _t	1.39E+08		
Guasto fase-terra a valle del quadro BT			
Corrente di guasto a valle dell'interruttore generale [A]	16.670.99		
Tempo di intervento della protezione [s]	0.10	(3)	
I _t	2.78E+07		
Calcolo sezioni			
	Sezione [mm²]		
Carcassa TR-Collettore (CT1)	67.04		
Collettore-Dispensore (CT2)	39.40		
Neutro-Collettore (PE1)	67.04		
Quadro bt-Collettore (PE2)	29.98		
Carcassa QMT - Collettore	39.40		
Sezioni commerciali scelte			
	Sezione [mm²]	Verifica	Commenti
Carcassa TR-Collettore (CT1)	120.00	OK	
Collettore-Dispensore (CT2)	120.00	OK	
Neutro-Collettore (PE1)	120.00	OK	
Quadro bt (principale)-Collettore (PE2)	120.00	OK	
Carcassa QMT - Collettore	70.00	OK	
Funzionamento da gruppo elettrogeno			
Dati di ingresso			
Gruppo elettrogeno			
Tensione nominale Vn [V]	400		
Potenza nominale [kVA]	350		
Xd'' [p.u.]	0.12		
X2 [p.u.]	0.21		
X0 [p.u.]	0.03		
Zcc [p.u.] (Zd''+Z2+Z0)	0.36		
Zcc [ohm] (Zd''+Z2+Z0)	0.164571429		
Corrente di guasto fse-terra I _k 1F [A]	4209.85		
Tempo di intervento della protezione di gruppo [s]	1	(4)	
I _t	1.77E+07		
Kt	FG17	175.8269	
Calcolo sezioni			
	Sezione [mm²]		
Centro stella GE - Collettore	23.94		
Carcassa GE - Collettore	23.94		
Sezioni commerciali scelte			
	Sezione [mm²]	Verifica	
Centro stella GE - Collettore (PE3)	50.00	OK	
Carcassa GE - Collettore (CT3)	50.00	OK	
NOTE:			
(1) ipotesi tempo intervento della protezione distributore (guasto a monte del DG)			
(2) Tempo intervento DG (I->) comprensivo del tempo di apertura dell'interruttore (430+70ms)			
(3) Valore tipico per interruttori scatolati e aperti			
(4) Tempo di intervento della protezione di frequenza, nel caso di guasto a monte dell'interruttore bt			

APPALTATORE: <u>Consortio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.						
PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTO DI TERRA	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RO	DOCUMENTO LF1100 002	REV. B	FOGLIO 13 di 20

6 CONSIDERAZIONI AGGIUNTIVE

La resistività del terreno può assumere nel tempo valori anche molto diversi essendo questa fortemente influenzata dall'umidità e dalla temperatura.

Inoltre la resistività è solitamente una caratteristica tutt'altro che omogenea e varia da punto a punto sulla superficie ed in profondità.

Di conseguenza il valore di progetto ed i calcoli eseguiti nel presente progetto dovranno essere verificati in fase realizzativa mediante misure di resistenza di terra qualora necessario.

7 ALLEGATI

Gli allegati sono organizzati nei seguenti documenti:

- Allegato 1: Dimensionamento e verifica dell'impianto di terra

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.						
PROGETTO ESECUTIVO Relazione di Calcolo impianto di terra	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RO	DOCUMENTO LF1100 002	REV. B	FOGLIO 14 di 20

8 ALLEGATO 1 – DIMENSIONAMENTO E VERIFICA IMPIANTO DI TERRA

8.1 GENERALITÀ

Nella presente sezione vengono illustrati i calcoli di verifica dell'impianto di terra, secondo le modalità descritte nella relazione di calcolo.

In particolare i calcoli eseguiti riguardano:

- verifica del dispersore (impianto di terra esterno): calcolo della tensione totale di terra U_E e confronto con il limite ammesso per le tensioni di contatto U_{TP} nell'ipotesi di neutro compensato.

8.2 VERIFICA DISPERSORI DELLA FERMATA DI APICE

L'ipotesi di partenza per la verifica dei dispersori di cabina (come rappresentato negli elaborati progettuali a cui si rimanda) è l'utilizzo di:

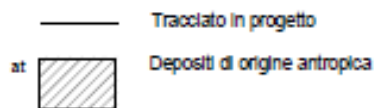
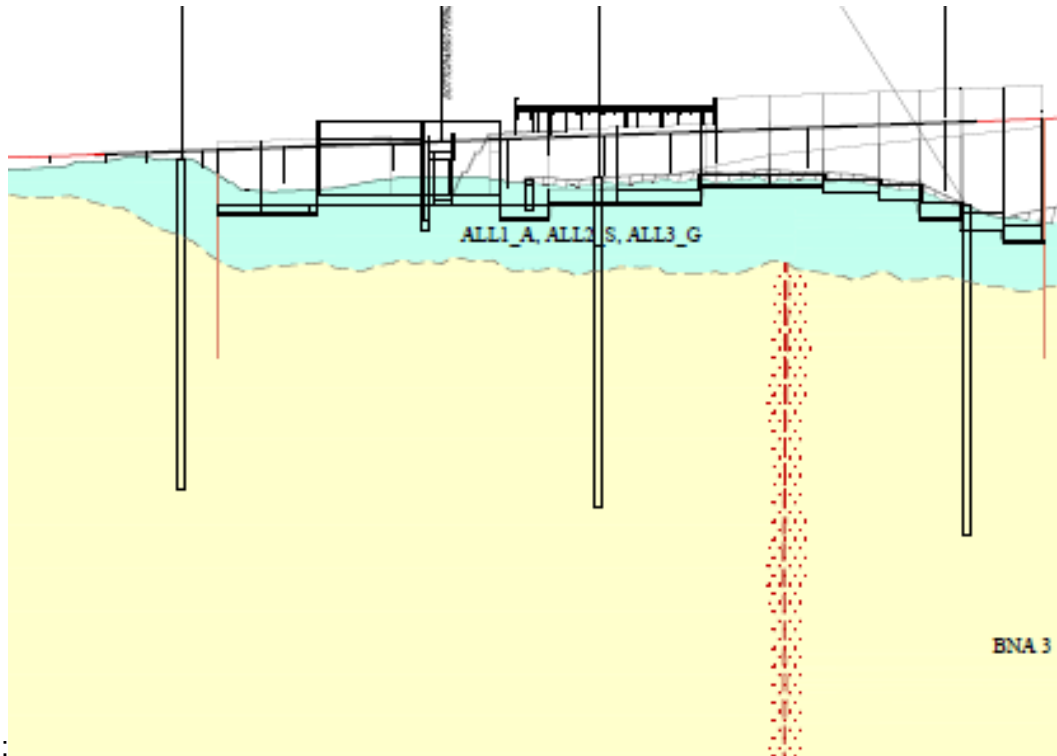
- un anello di terra, posto in corrispondenza delle aree della fermata, costituito da conduttori in rame di sezione 35 mm^2 , integrato con picchetti tondi o a croce di lunghezza 3 m, disposti in maniera da non interferire l'uno con l'altro; la corda nella fermata è posata ad una profondità di 0.6 m;
- corde di rame nudo da 35 mm^2 , stese lungo le banchine.

Le dimensioni dell'anello di terra della fermata sono rappresentate nello specifico elaborato grafico.

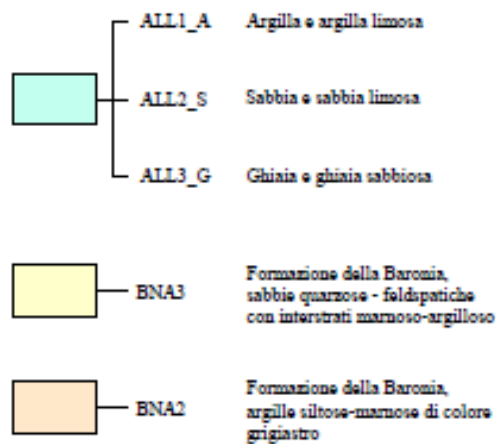
Le caratteristiche del terreno sono state valutate sulla base dei dati di stratigrafia disponibili, di cui si riporta nel seguito un estratto:

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.						
PROGETTO ESECUTIVO Relazione di Calcolo impianto di terra	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RO	DOCUMENTO LF1100 002	REV. B	FOGLIO 15 di 20

FV02 – Zona Fermata di APICE



Unità geotecniche



APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA AV SALINI IMPREGIO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.						
PROGETTO ESECUTIVO Relazione di Calcolo impianto di terra	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RO	DOCUMENTO LF1100 002	REV. B	FOGLIO 16 di 20

Si riporta inoltre una tabella di riferimento, ricavata dalla letteratura tecnica, con alcuni valori tipici di resistività del terreno.

Soil description	Group symbol ^a	Average resistivity (ohm-cm)	Resistance of 15.88 mm x 3 m (5/8 in x 10 ft) rod (ohm)
Well-graded gravel, gravel-sand mixtures, little or no fines	GW	60 000 to 100 000	180 to 300
Poorly graded gravels, gravel-sand mixtures, little or no fines	GP	100 000 to 250 000	300 to 750
Clayey gravel, poorly graded gravel, sand-clay mixtures	GC	20 000 to 40 000	60 to 120
Silty sands, poorly graded sand-silts mixtures	SM	10 000 to 50 000	30 to 150
Clayey sands, poorly graded sand-clay mixtures	SC	5000 to 20 000	15 to 60
Silty or clayey fine sands with slight plasticity	ML	3000 to 8000	9 to 24
Fine sandy or silty soils, elastic silts	MH	8000 to 30 000	24 to 90
Gravelly clays, sandy clays, silty clays, lean clays	CL	2500 to 6000 ^b	17 to 18 ^b
Inorganic clays of high plasticity	CH	1000 to 5500 ^b	3 to 16 ^b

^aThe terminology used in these descriptions is from the Unified Soil Classification System (USCS) and is a standard method of describing soils in a geotechnical or geophysical report.

^bThese soil classification resistivity results are highly influenced by the presence of moisture.

Rif. Table 4-2—Resistivity of soils and resistance of single rods - IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems (IEEE Std 142 - 2007)

Data la tipologia di terreno presente nella zona della fermata, si assume nei calcoli un valore di resistività del terreno ρ_E pari a 300 Ωm .

In conformità al Progetto Definitivo si è considerato l'assetto di rete MT a neutro compensato.

I calcoli saranno eseguiti sulla base dei seguenti valori tipici, tenendo pertanto in considerazione i possibili guasti a monte dell'interruttore generale di utente (Dispositivo Generale), rilevati dalle protezioni del Distributore.

	I_E [A]	t_f [s]
Neutro compensato	50	$\gg 10$

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: <u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.						
PROGETTO ESECUTIVO Relazione di Calcolo impianto di terra	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RO	DOCUMENTO LF1100 002	REV. B	FOGLIO 17 di 20

Inoltre, data la presenza di un'estesa rete di MT in cavo, come riportato in seguito, sarà tenuto conto del contributo capacitivo alla corrente di guasto.

Con riferimento ai valori sopra riportati, i limiti delle tensioni di contatto e di passo ammessi dalla Norma CEI 99-3 assumono i seguenti valori:

	Utp [V]	Usp [V]
Neutro compensato	80	240

Nella verifica delle tensioni di passo e contatto non si è tenuto conto dell'eventuale presenza di manto di asfalto nelle aree interessate, che avrebbe il positivo effetto di aumentare localmente la resistività superficiale.

Nei paragrafi che seguono si riportano i risultati dei calcoli con le seguenti tipologie di risultati grafici:

- distribuzione 3D dei valori di φ (potenziali sulla superficie del terreno) calcolati sulla stazione;
- curve di livello equipotenziali della distribuzione dei valori di φ sull'intera stazione;
- confronto tra tensioni di contatto e di passo ed i relativi limiti ammessi in corrispondenza della griglia di calcolo di φ . La figura riporta quanto segue:
 - con colore verde le aree dove le tensioni di contatto e di passo sono inferiori ai limiti ammessi
 - con colore giallo le aree dove le tensioni di contatto sono superiori ai limiti ammessi e le tensioni di passo sono inferiori ai limiti ammessi. Tali aree sono pericolose solo se comprendono parti metalliche che in caso di guasto assumono il potenziale del dispersore e che possono essere toccate da persone
 - con colore rosso le aree dove le tensioni di contatto e di passo sono superiori ai limiti ammessi

Deve essere tenuto presente che il dimensionamento della rete di terra qui riportato dovrà essere verificato al termine della realizzazione dell'opera, in quanto, in accordo alle normative vigenti, non è sostitutivo delle misure di resistenza di terra ovvero delle eventuali verifiche delle tensioni di contatto e di passo.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGIO S.P.A. ASTALDI S.P.A	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.						
PROGETTO ESECUTIVO Relazione di Calcolo impianto di terra	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RO	DOCUMENTO LF1100 002	REV. B	FOGLIO 18 di 20

8.3 FERMATA DI APICE

Il modello implementato nel calcolo è il seguente:

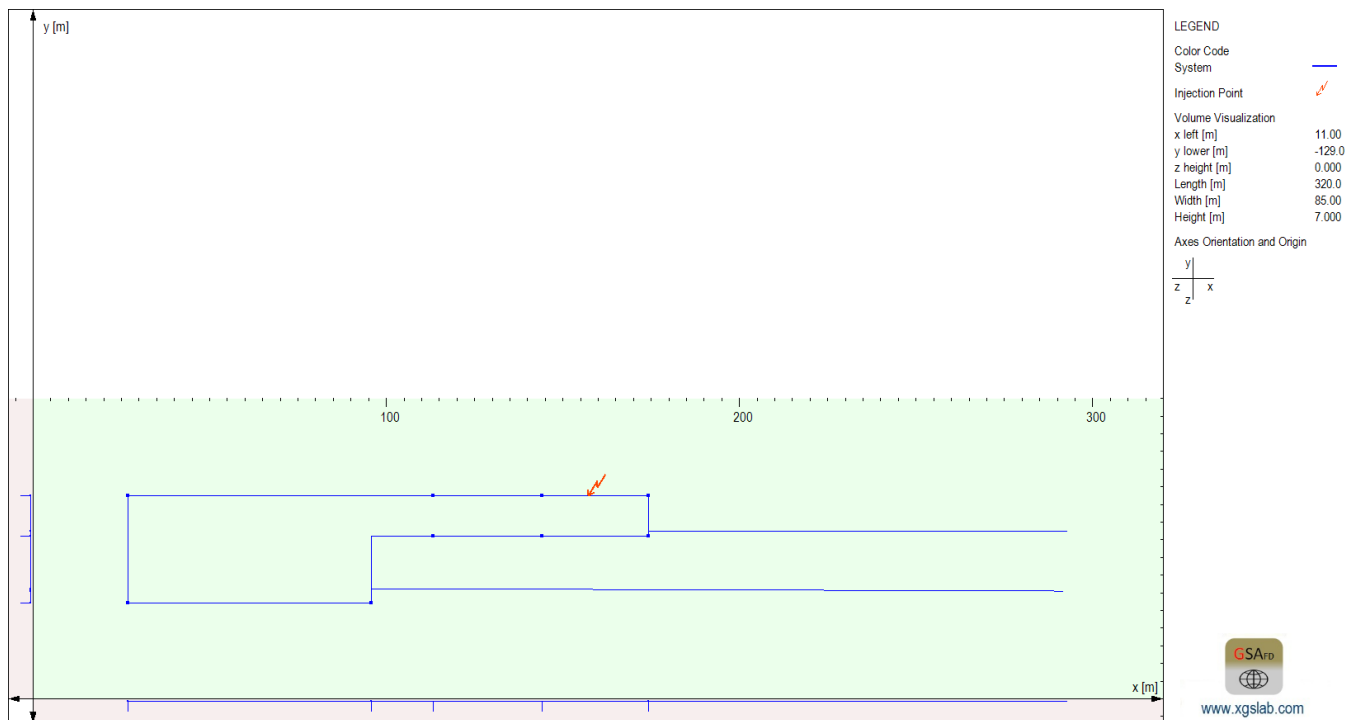


Figura A1-1 - Modello dispersore complessivo

Con rete a neutro compensato:

$I_E = 90$ A (dati dalla somma vettoriale di 50 A di corrente di guasto al punto di consegna ENEL e 70 A derivanti dal contributo al guasto dei cavi che interconnettono i vari fabbricati, costituenti la rete MT di tratta).

$t_f = \gg 10$ s

I risultati sono di seguito riportati:

Neutro compensato	
R_E [Ω]	1,662
U_E [V]	149,6
U_{tp} [V]	80
U_{sp} [V]	240

La tensione totale di terra U_E è inferiore ai limiti imposti dalla Norma CEI 99-3 per le tensioni di contatto ($< 2 U_{TP}$), per cui non è necessario verificare che le massime tensioni di contatto e di passo non superino i limiti ammessi in corrispondenza delle masse; inoltre, qualora dovessero essere rispettati anche i requisiti minimi per l'interconnessione di impianti di bassa e alta tensione basati sui limiti della EPR (Tabella 2 CEI 99-3), si potrebbe valutare la possibilità di considerare l'analoga condizione $U_E < F U_{TP}$, utilizzando il valore tipico di $F=2$.

I risultati grafici sono i seguenti:

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGIO S.P.A. ASTALDI S.P.A	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RO	DOCUMENTO LF1100 002	REV. B	FOGLIO 19 di 20
PROGETTO ESECUTIVO Relazione di Calcolo impianto di terra						

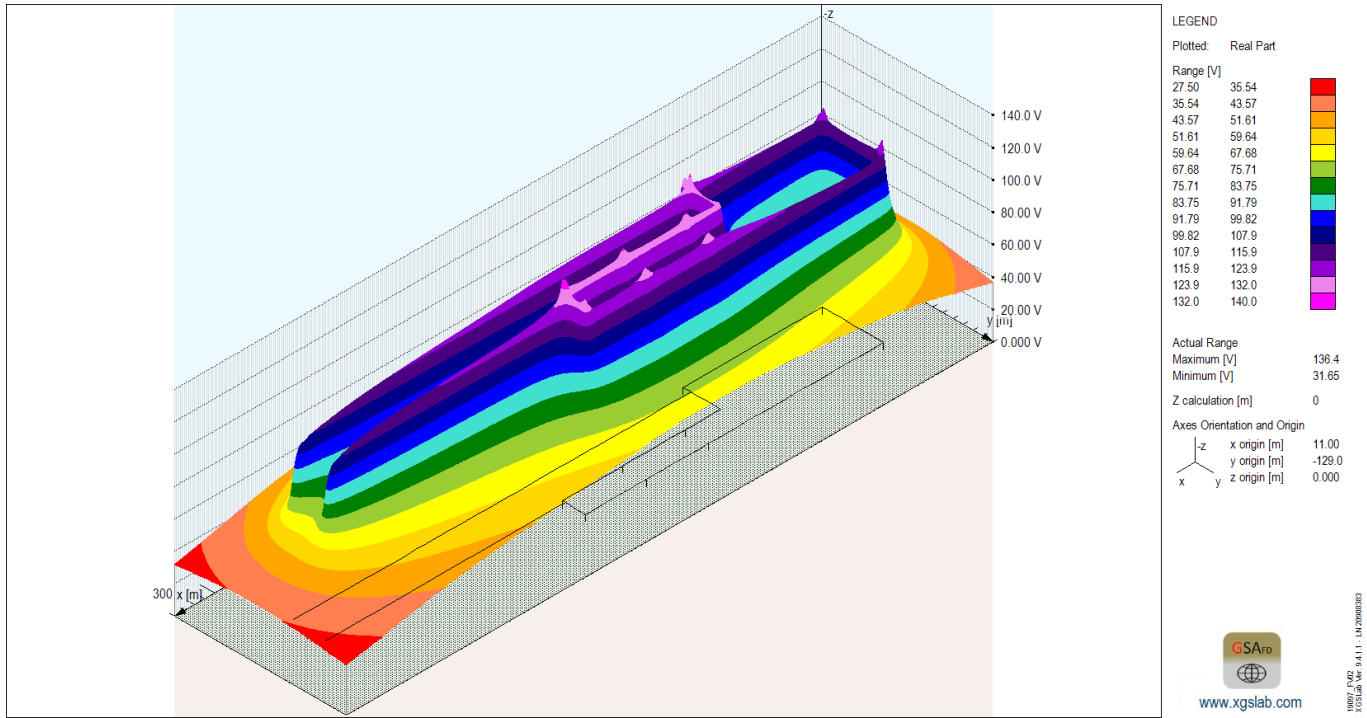


Figura A1-2 - Distribuzione dei potenziali sulla superficie del terreno (rappresentazione 3D)

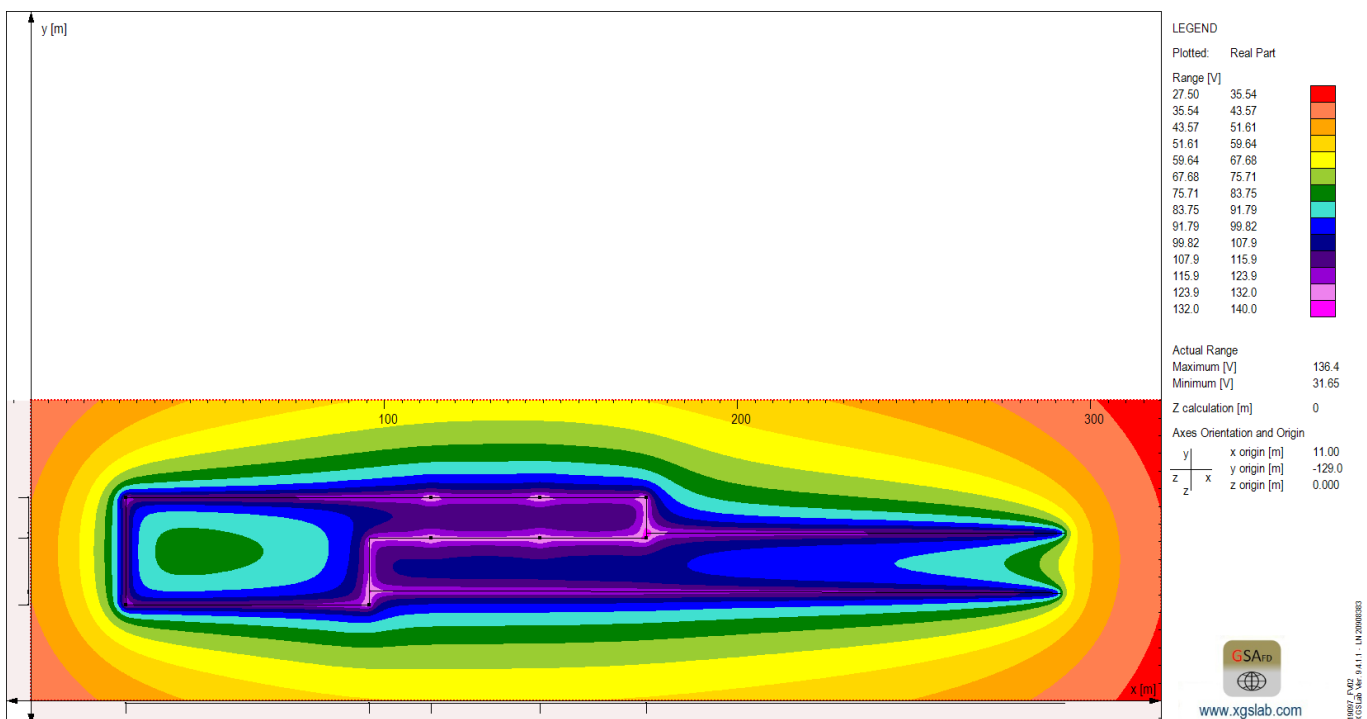


Figura A1-3 - Distribuzione 2D dei potenziali sulla superficie del terreno (impianto di terra complessivo)

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGIO S.P.A. ASTALDI S.P.A	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.						
PROGETTO ESECUTIVO Relazione di Calcolo impianto di terra	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RO	DOCUMENTO LF1100 002	REV. B	FOGLIO 20 di 20

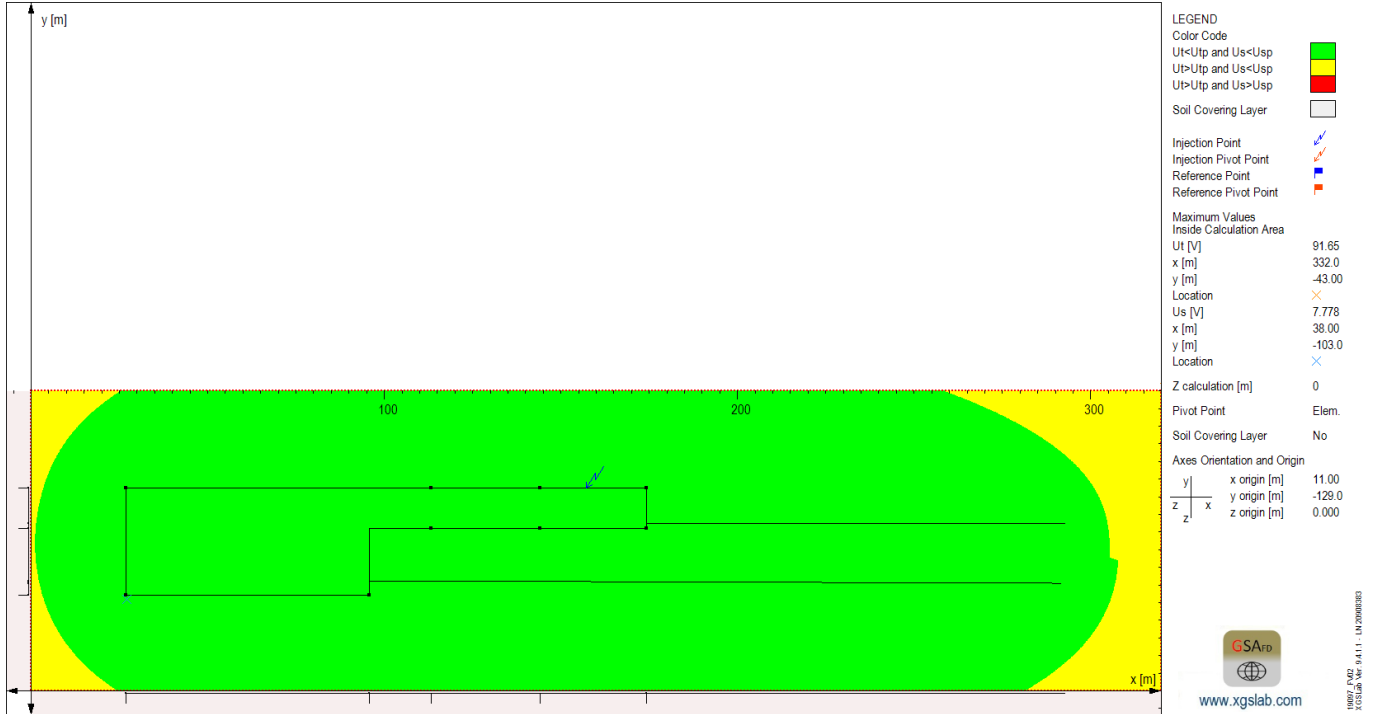


Figura A1-4 - Rappresentazione delle aree sicure sulla superficie del terreno (impianto di terra complessivo)

Le tensioni di passo e contatto, in nessun punto in cui vi può essere la presenza di masse accessibili, superano i limiti ammessi.