

COMMITTENTE:



DIREZIONE INVESTIMENTI
DIREZIONE PROGRAMMI INVESTIMENTI
DIRETTRICE SUD - PROGETTO ADRIATICA

DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:

Mandataria

Mandanti



PROGETTAZIONE:

MANDATARIA

MANDANTI



PROGETTO ESECUTIVO

**LINEA PESCARA - BARI
RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA
LOTTI 2 e 3 - RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA**

**PGEP LATO RIPALTA
Relazione di calcolo Impianto di Terra**

L'Appaltatore
A. D'AGOSTINO COSTRUZIONI GENERALI S.r.l.
Il Direttore Tecnico
Ing. Gianguido Babini (Ing. Gianguido Babini)

I progettisti (il Direttore della progettazione)
Ing. Massimo Facchini

Data 18/12/2022

firma

Data 18/12/2022

firma

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA / DISCIPLINA	PROGR	REV	SCALA
L I O B	0 2	E	Z Z	C L	L F 0 1 C 0	0 0 2	B	/

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato/Data
A	Emissione Esecutiva	Scognamiglio	Dicembre 2022	Cicero	Dicembre 2022	Sorbino	Dicembre 2022	
B	Aggiornamento per RDV	Scognamiglio	Maggio 2023	Cicero	Maggio 2023	Sorbino	Maggio 2023	

MANDATARIA 		MANDANTI 		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA								
PGEP Lato Ripalta Relazione di calcolo Impianto di Terra		COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
		LI0B	02	E	ZZ	CL	LF	01	C0	002	B	1

INDICE

1. PREMESSA.....	2
2. DENOMINAZIONI ED ABBREVIAZIONI	3
3. LEGGI E NORME DI RIFERIMENTO	4
4. DISPERSORE	5
4.1 Requisiti dell'impianto con riferimento alle sollecitazioni meccaniche, alla corrosione ed alle sollecitazioni termiche	5
4.2 Requisiti dell'impianto con riferimento alle tensioni di contatto e di passo	6
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	8
5. CONSIDERAZIONI AGGIUNTIVE	10
6. IMPIANTO DI TERRA SECONDARIO (O IMPIANTO DI TERRA INTERNO)	11
6.1 Generalità	11
6.2 Sezioni minime	13
6.3 Dimensionamento dell'impianto con riferimento alle sollecitazioni termiche	13
6.4 Dimensionamento dei conduttori di terra per guasto MT	14
6.5 Dimensionamento del conduttore di messa a terra del neutro del trasformatore	15
6.6 Dimensionamento dei conduttori di protezione per guasto a valle del QGBT	16
ALLEGATO N.1.....	17

MANDATARIA  	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA										
	PGEP Lato Ripalta Relazione di calcolo Impianto di Terra	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV
	LI0B	02	E	ZZ	CL	LF	01	C0	002	B	2

1. PREMESSA

Nell'ambito del progetto "Raddoppio della tratta ferroviaria Termoli Lesina - lotti 2 e 3 - Raddoppio Termoli Ripalta" è prevista la realizzazione degli Impianti LFM relativi alla galleria di Campomarino di lunghezza pari a 1649 m circa. L'alimentazione di tali impianti sarà conforme a quanto indicato dalla Specifica tecnica di costruzione per il miglioramento della sicurezza nelle gallerie ferroviarie (RFIDPRIMSTCIFSFL610C del 24/04/2012).

Le alimentazioni principali degli impianti facenti parte di quest'intervento sarà realizzata tramite due cabine MT/BT poste nei PGEP: una in corrispondenza dell'imbocco lato Termoli, l'altra in corrispondenza dell'imbocco lato Ripalta.

Nelle cabine MT/BT saranno installati i quadri di Media Tensione ed i trasformatori dedicati a:

- alimentazione dei quadri generali di bassa tensione (attraverso due trasformatori 20/0,4 kV) dedicati alla protezione ed alimentazione delle principali utenze di piazzale e fabbricati ;
- alimentazione delle dorsali ad 1 kV (attraverso due trasformatori 20/1 kV) dedicate alla protezione ed alimentazione delle apparecchiature di sicurezza in galleria per i due binari pari e dispari.

Ogni cabina MT/BT sarà alimentata da una fornitura di energia elettrica in MT a 20 kV e le due fonti di alimentazione saranno tra loro elettricamente distinte in modo da garantire l'alimentazione di tutti i quadri di tratta di galleria anche in mancanza di una delle due fonti.

Scopo del presente documento è quello di riportare le modalità di progettazione, le indicazioni e le prescrizioni per il dimensionamento dell'impianto di terra della cabina MT/BT Lato Termoli, con riferimento a sistemi elettrici di categoria II.

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 evidenzia che la Norma CEI 0-16 prescrive che il dispersore unico, relativo all'impianto di rete presso l'utenza (eventualmente unico con il complessivo impianto d'utenza), deve essere progettato e realizzato a cura dell'Utente sulla base delle informazioni vincolanti fornite dal distributore. Il dimensionamento del dispersore deve essere effettuato dall'Utente sulla base del valore della corrente I_E (come definita nella Norma CEI 99-3) e del tempo di eliminazione del guasto. Il Distributore deve fornire all'Utente il valore della corrente di guasto monofase a terra I_F (come definita dalla CEI 99-3) ed il tempo di eliminazione del guasto.

Visto quanto sopra esposto è stato considerato, ai fini del dimensionamento dell'impianto di terra ed in mancanza di dati del distributore, il valore di massima corrente di guasto a terra e relativo tempo di eliminazione del guasto tipici per reti MT.

MANDATARIA 		MANDANTI 		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA								
PGEP Lato Ripalta Relazione di calcolo Impianto di Terra		COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
		LI0B	02	E	ZZ	CL	LF	01	C0	002	B	3

2. DENOMINAZIONI ED ABBREVIAZIONI

Vengono introdotte le seguenti abbreviazioni (in ordine alfabetico):

a	Corrente alternata
c	Azienda distributrice di energia elettrica (da confermare in fase esecutiva)
A	Bassa Tensione in c.a. (400/230V)
D	Comitato Elettrotecnico Italiano
B	Media Tensione in c.a.: nel caso specifico 22kV
T	resistenza di terra del dispersore
U_E	tensione totale di terra
U_{TP}	massima tensione di contatto effettiva ammessa dalle norme
U_{SP}	massima tensione di passo effettiva ammessa dalle norme
V_L	tensione limite di contatto in BT
I_E	corrente di guasto dispersa a terra
t_f	tempo di intervento delle protezioni
I_{dn}	corrente differenziale nominale
ρ	resistività del mezzo disperdente

Eventuali altri acronimi potranno essere introdotti 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: insieme di conduttori in contatto elettrico diretto con il terreno o annegati nel calcestruzzo a contatto con il terreno.

MANDATARIA  MANDANTI 		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA										
PGEP Lato Ripalta Relazione di calcolo Impianto di Terra		COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
		LI0B	02	E	ZZ	CL	LF	01	CO	002	B	4

Impianto di terra secondario: 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).

3. 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 61936-1:2014) Impianti elettrici con tensione superiore a 1 kV in c.a. – Parte 1: Prescrizioni comuni

Norma CEI 99-3 (CEI EN 50522:2011) Messa a terra degli impianti elettrici a tensione superiore a 1 kV

Norma CEI EN50122-1 - Applicazioni ferroviarie, Installazioni fisse - Provvedimenti concernenti la sicurezza elettrica e la messa a terra;

CEI EN 60865-1 (CEI 11-26) - Correnti di corto circuito - Calcolo degli effetti; parte 1a: Definizioni e metodi di calcolo;

CEI EN 60909-0 - Correnti di corto circuito nei sistemi trifasi in c.a.

Guida CEI 99-5 agosto 2015 – Guida per l'esecuzione degli impianti di terra delle utenze attive e passive connesse ai sistemi di distribuzione con tensione superiore a 1kV in c.a.

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 0-16: Regola tecnica di riferimento per la connessione di Utenti attivi e passivi alle reti AT ed MT delle imprese distributrici di energia elettrica

MANDATARIA HUB ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE & R.L.</small>		MANDANTI HYpro S.P.A.		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA								
PGEP Lato Ripalta Relazione di calcolo Impianto di Terra		COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
		LI0B	02	E	ZZ	CL	LF	01	C0	002	B	5

4. 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:

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 ^(*)	25			
		Tubo	20		2		
	stagnato	Corda	1,8 ^(*)	25		1	5
	zincato	Piattina		50	2	20	40
	con guaina di piombo ⁽¹⁾	Corda	1,8 ^(*)	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)

MANDATARIA HUB ENGINEERING CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE & R.L. MANDANTI HYpro S.P.A.	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA										
	PGEP Lato Ripalta Relazione di calcolo Impianto di Terra	COMMESSA LI0B	LOTTO 02	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC CL	OPERA 7 DISCIPLINA LF 01 C0			PROGR 002	REV B

4.2 REQUISITI DELL'IMPIANTO CON RIFERIMENTO ALLE TENSIONI DI CONTATTO E DI PASSO

L'impianto di terra disperdente, nei confronti della sicurezza delle persone, è da considerarsi correttamente dimensionato se in caso di guasto, lato MT, si verifica una delle due seguenti condizioni:

a) la tensione di contatto sulle masse risulta inferiore al limite ammesso per le tensioni di contatto U_{TP} [V] : valore fornito dalla figura 44.A.2 della Norma CEI 64-8 in funzione della durata di guasto a terra (vedi figura sotto)

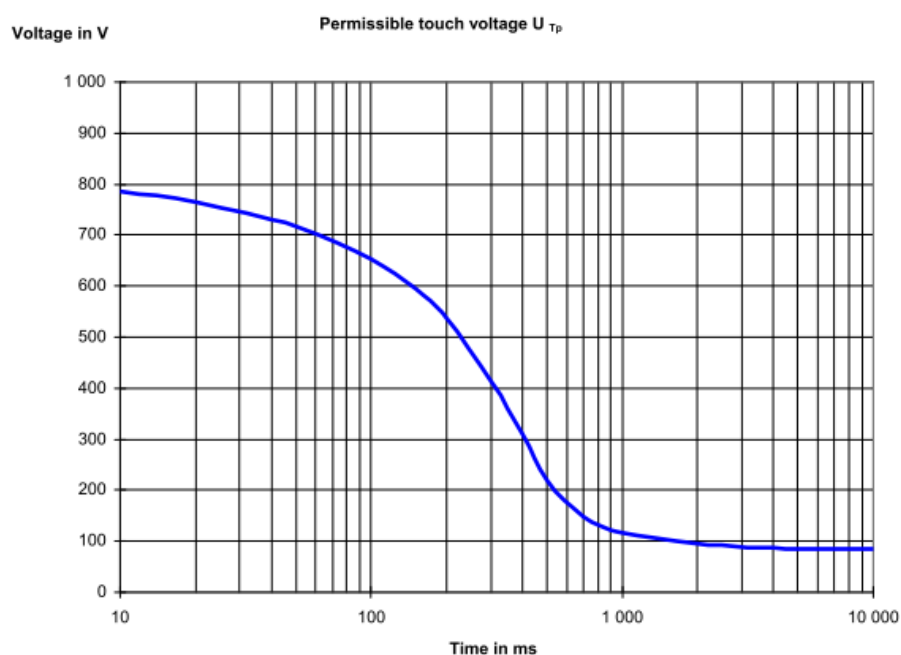


Figura 1: Massima tensione di contatto ammissibile

b) nel caso in cui l'impianto di terra sia costituito da una rete magliata in corrispondenza di tutte le masse dell'impianto utilizzatore, ai fini della sicurezza delle persone, è sufficiente che la tensione totale di terra non superi $2U_{TP}$

$$U_E \leq 2 \cdot U_{TP}$$

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 ed in ragione di quanto esposto al cap. 1 della presente, sulla base di valori tipici per le reti in media tensione, di seguito riportati. Tali valori, validi rispettivamente per reti a neutro compensato o neutro isolato, tengono conto dei possibili guasti a monte dell'interruttore generale di utente (Dispositivo Generale), rilevati dalle protezioni del Distributore.

Regime di neutro	I_E [A]	t_f [s]
neutro compensato	50	10

Si precisa che un'ulteriore verifica dovrà essere eseguita sulla base dei reali valori che saranno comunicati dal Distributore in relazione alle caratteristiche della rete MT, dello stato del neutro della rete MT e delle relative protezioni. 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)

MANDATARIA  MANDANTI 		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA										
PGEP Lato Ripalta Relazione di calcolo Impianto di Terra		COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
		LI0B	02	E	ZZ	CL	LF	01	C0	002	B	7

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 cabina MT/BT si prevede un dispersore costituito da una maglia in corda di rame nuda della sezione di 120mm² interrata a 60cm di profondità lungo il perimetro dei fabbricati tecnologici e da un sistema di dispersori verticali a picchetto in numero idoneo a ottenere la limitazione delle tensioni di contatto.

Nel dettaglio il sistema disperdente sarà composto dai seguenti elementi:

- Anello perimetrale interrato a 60cm di profondità attorno ai fabbricati tecnologici, composto da corda in rame nuda avente sezione 120mm², dimensioni di 61x9 metri circa;
- N. 14 dispersori a picchetto, costituiti da aste componibili in acciaio ramato, diametro 25mm e lunghezza complessiva 3 metri.

La profondità di posa del dispersore non dovrà essere inferiore a 0,5m.

Le reti metalliche elettrosaldate annegate nei pavimenti dei locali MT BT verranno collegate ai collettori di terra dei rispettivi locali

MANDATARIA  MANDANTI 		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA										
PGEP Lato Ripalta Relazione di calcolo Impianto di Terra		COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
		LI0B	02	E	ZZ	CL	LF	01	CO	002	B	8

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 a partire dalla simulazione dell'impianto disperdente con apposito software per il calcolo della resistenza dell'impianto di terra.

4.4.1 Dati in ingresso

I dati necessari per la verifica sono i seguenti:

- dati fisici: caratteristiche del mezzo disperdente (resistività del terreno);
- dati geometrici: geometria del dispersore (ovvero la geometria da verificare);
- dati elettrici: corrente di guasto monofase a terra (IE) e tempo di intervento delle protezioni (tf);
- valori massimi di tensioni di contatto e di passo ammessi dalla norma CEI 99-3.

4.4.2 Resistività del terreno

Le prestazioni di un impianto di terra dipendono in massima parte dalla resistività del mezzo disperdente (parametro all'aumentare del quale lo stesso dispersore può risultare sovradimensionato, idoneo oppure insufficiente).

In generale non è possibile assegnare al mezzo disperdente un solo valore di resistività: la resistività risulta solitamente variabile da punto a punto e pertanto esprimibile in modo compiuto solamente mediante una funzione puntuale. La determinazione di tale funzione all'atto pratico non risulta possibile.

A causa della sua natura elettrolitica, la resistività del suolo è ovviamente influenzata dal contenuto di umidità, dalla temperatura e dal contenuto di sali, acidi e basi.

È evidente comunque che l'umidità, la temperatura e la composizione del suolo in superficie possono variare notevolmente a causa di eventi atmosferici e climatici o a causa di interventi umani.

Quindi, per evitare che modifiche superficiali delle caratteristiche del suolo influiscano macroscopicamente sulle caratteristiche del dispersore sottostante, è consigliabile un interrimento del dispersore a profondità non inferiore a 500 mm in località con clima temperato, fino a 1000 m ed oltre per climi più freddi.

Come ordini di grandezza si possono comunque avere:

- terreni organici: $\rho=10$ [Ωm]
- terreni umidi: $\rho=100$ [Ωm]
- terreni secchi: $\rho=1.000$ [Ωm]
- terreni rocciosi: $\rho=10.000$ [Ωm]

In particolare, qual dati di riferimento, si possono considerare i seguenti valori:

- argille leggere: $\rho=5$ [Ωm]
- argille normali: $\rho=10$ [Ωm]
- marne: $\rho=20$ [Ωm]
- crete, calcari porosi: $\rho=50$ [Ωm]
- terra vegetale mista pietre: $\rho=50$ [Ωm]
- gres porosi, scisti porosi: $\rho=100$ [Ωm]
- calcari compatti, marmi: $\rho=350$ [Ωm]
- ardesie argillose: $\rho=1.000$ [Ωm]
- sabbia, ciottoli: $\rho=1.000$ [Ωm]
- graniti: $\rho=2.000$ [Ωm]

MANDATARIA  MANDANTI 		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA										
PGEP Lato Ripalta Relazione di calcolo Impianto di Terra		COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
		LI0B	02	E	ZZ	CL	LF	01	CO	002	B	9

Nei confronti delle correnti alternate a frequenza industriale più utilizzate (50 - 60 Hz) ed ovviamente nei confronti delle correnti continue, il terreno con ottima approssimazione può considerarsi come un mezzo puramente resistivo (tale approssimazione può estendersi fino a circa 1 kHz). In tale ambito pertanto, ogni fenomeno capacitivo ed induttivo legato agli eventi elettrici di un dispersore di terra può essere trascurato. Inoltre, almeno fino a densità di corrente di 200 A/m² che perdurino per tempi inferiori ad 1 s, i fenomeni di evaporazione dell'umidità contenuta nel terreno possono essere ritenuti trascurabili e, quindi, la resistività del terreno può essere ritenuta indipendente dalla densità di corrente stessa. Trattasi di densità di corrente in pratica difficilmente raggiungibili anche nelle immediate prossimità degli elementi disperdenti, per cui, con ottima approssimazione, il terreno può essere ritenuto mezzo lineare anche nei confronti della densità di corrente.

Infine, la resistività del suolo, fino a limiti che sono ben al di sopra degli intervalli di interesse pratico nell'ambito dello studio degli impianti di terra, non viene influenzata dal gradiente del potenziale (limiti dell'ordine del [kV/cm]). Pertanto, nei confronti del gradiente di potenziale il suolo può essere considerato un mezzo lineare.

La determinazione della resistività del mezzo disperdente può essere condotta con diverse tecniche: la maggiormente utilizzata è quella proposta da Wenner (eventualmente nella variante di Schlumberger-Palmer).

4.4.3 Geometria dei dispersori

Il layout dei dispersori è definito a partire dai dati dimensionali dei diversi elettrodi presenti nel volume di suolo da analizzare.

A tal proposito si definiscono come:

- “Sistema disperdente”: insieme di più Elettrodi, indipendenti o tra loro elettricamente connessi.
- “Elettrodo”: insieme di Conduttori, tra loro equipotenziali, posti nel mezzo disperdente ovvero nel terreno.
- “Conduttore”: insieme di Elementi
- “Elemento”: costituito da un cilindro metallico, lungo e sottile, ovvero caratterizzato da dimensione longitudinale “l” nettamente maggiore della dimensione trasversale “D”.

L'elemento dispersore è tipicamente realizzato con materiale (rame o ferro) avente resistività che si differenzia, da quella del mezzo in cui si trova immerso, di alcuni ordini di grandezza.

Si può pertanto ritenere che il potenziale elettrico u sia costante su tutta la superficie dell'Elemento stesso.

Se l'elemento è massiccio, nelle condizioni di cui sopra il potenziale u è praticamente costante anche al suo interno, la componente resistiva del dispersore in sé è pertanto trascurabile.

La resistenza verso il mezzo disperdente di un Elemento con le suddette caratteristiche, dipende in definitiva oltre che dal fattore di mezzo (ovvero la resistività del suolo) solo dalla sua superficie esterna e dal suo fattore di forma (ovvero k_f) che per elementi lineari cilindrici aventi lunghezza l nettamente preponderante sul diametro D vale: Con queste ipotesi, si può affermare che elementi geometricamente uguali, anche se non pieni, sono caratterizzati

$$k_f = \frac{1}{2\pi} \left[\ln \left(\frac{4l}{D} \right) - 1 \right]$$

dallo stesso fattore di forma.

Il fatto che il dispersore sia o meno massiccio interessa solo ai fini del suo dimensionamento termico e meccanico.

Nella pratica impiantistica è usuale l'utilizzo, oltre che di Elementi disperdenti in corda o tondino, anche di piattine e cioè elementi rettilinei aventi due delle dimensioni (lunghezza e larghezza), nettamente prevalenti sulla terza (e cioè sullo spessore).

In generale, ogni elemento rettilineo avente una dimensione nettamente preponderante sulle altre due può essere ridotto ad un elemento cilindrico, tramite la determinazione del suo diametro equivalente, e cioè di quel particolare diametro che, assegnato ad un elemento cilindrico di pari lunghezza, ne rende la resistenza verso un mezzo omogeneo isotropo lineare indefinito uguale alla resistenza dell'Elemento rettilineo nelle stesse condizioni.

<p>MANDATARIA</p>  <p>MANDANTI</p> 	<p>LINEA PESCARA – BARI</p> <p>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</p> <p>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</p>										
<p>PGEP Lato Ripalta</p> <p>Relazione di calcolo Impianto di Terra</p>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
	LI0B	02	E	ZZ	CL	LF	01	C0	002	B	10

5. 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 le ipotesi di progetto adottate ed i calcoli eseguiti nel presente progetto dovranno essere verificati in corso d'opera mediante misure di resistenza di terra e, qualora necessario, di tensioni di contatto e di passo.

MANDATARIA HUB ENGINEERING CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE & S.R.L.	MANDANTI HYpro S.P.A.	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA									
		PGEP Lato Ripalta Relazione di calcolo Impianto di Terra	COMMESSA LI0B	LOTTO 02	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC CL	OPERA 7 DISCIPLINA LF 01 C0			PROGR 002

6. IMPIANTO DI TERRA SECONDARIO (O IMPIANTO DI TERRA INTERNO)

6.1 GENERALITÀ

All'interno della cabina, tutte le parti metalliche accessibili delle macchine, delle apparecchiature e della struttura, 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.

Il nodo di terra (collettore) può essere sostituito da un anello equipotenziale montato sulle pareti interne di cabina, con la funzione di agevolare il collegamento a terra delle apparecchiature.

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

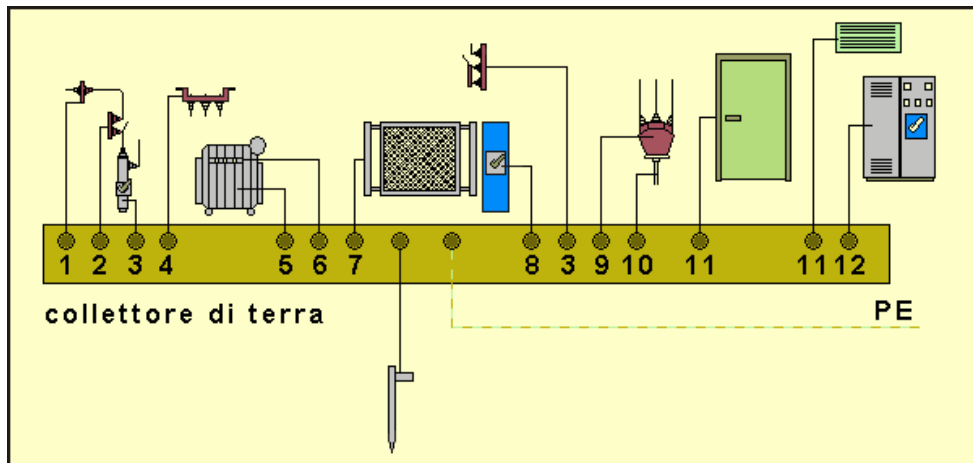


Figura 11 – Esempi di collegamenti a terra in cabina

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)

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).

PGEP Lato Ripalta
Relazione di calcolo Impianto di Terra

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	CL	LF	01	C0	002	B	12

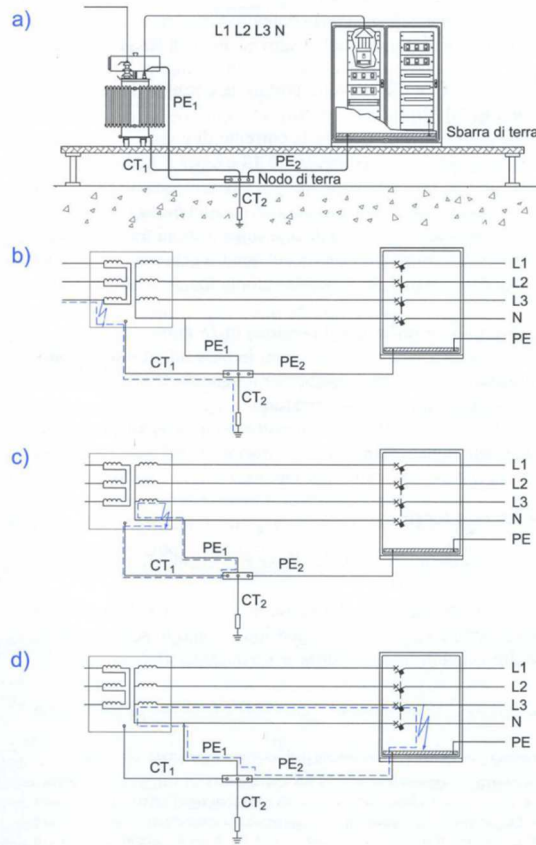


Figura 12 - Collegamenti a terra in cabina

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.

MANDATARIA HUB ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE & S.R.L.</small>		MANDANTI HYpro S.P.A.		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA								
PGEP Lato Ripalta Relazione di calcolo Impianto di Terra		COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
		LI0B	02	E	ZZ	CL	LF	01	CO	002	B	13

6.2 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

6.3 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 formula dell'integrale di Joule che garantisce la "tenuta termica" del conduttore:

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

- rame: $K = 226 \text{ (As}^{1/2}\text{mm}^{-2}\text{)}$, $\beta = 234,5 \text{ (}^\circ\text{C)}$
- acciaio: $K = 78 \text{ (As}^{1/2}\text{mm}^{-2}\text{)}$, $\beta = 202 \text{ (}^\circ\text{C)}$
- alluminio: $K = 148 \text{ (As}^{1/2}\text{mm}^{-2}\text{)}$, $\beta = 228 \text{ (}^\circ\text{C)}$

La formula suddetta può essere così semplificata:

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

in cui K_t è funzione del tipo di materiale e delle temperature iniziali e finali del conduttore.

Con riferimento alla figura 12, 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 12-b): 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 12-c): 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 12-d): 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)

Ciascun conduttore deve essere verificato nella condizione più gravosa.

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.

Il conduttore PE1, 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). Tuttavia, specialmente quando le potenze (e quindi le sezioni) in gioco sono elevate, è preferibile ricorrere al dimensionamento in base all'integrale di Joule.

I risultati del dimensionamento dei conduttori di terra e di protezione, ottenuti tramite foglio di calcolo basato sulle formule e considerazioni qui esposte, sono riportati in Allegato 1.

MANDATARIA HUB ENGINEERING CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE & R.L.		MANDANTI HYpro S.P.A.		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA										
PGEP Lato Ripalta Relazione di calcolo Impianto di Terra				COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
				LI0B	02	E	ZZ	CL	LF	01	C0	002	B	14

6.4 DIMENSIONAMENTO DEI CONDUTTORI DI TERRA PER GUASTO MT

In mancanza di informazioni specifiche, come proposto dalla Norma CEI 0-16, per la corrente di guasto ed il tempo di intervento delle protezioni si assumono i valori:

$$t = 10 \text{ s};$$

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

che andranno poi confermati in fase di Progettazione Esecutiva.

In funzione del valore stabilito per la corrente di guasto a terra, può essere eseguita la verifica della sezione scelta per il conduttore di terra utilizzato per la costruzione della maglia.

Nel caso in cui la durata della corrente di guasto sia $t_F \leq 5\text{s}$ (fenomeno adiabatico), la verifica può essere svolta mediante l'applicazione della formula proposta dalla Norma CEI EN 50522 - Allegato D, di seguito riportata:

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

Nella quale:

A [mm ²]	sezione del conduttore;
I _F [A]	corrente di guasto;
t [s]	tempo di permanenza del guasto;
K [A mm ⁻² s ^{0.5}]	costante tipica del materiale del conduttore;
β [°C]	reciproco del coefficiente di temperatura della resistenza del componente percorso dalla corrente a 0°C;
Θ _i [°C]	temperatura iniziale in gradi Celsius;
Θ _f [°C]	temperatura finale in gradi Celsius.

Per correnti di guasto che fluiscono per un periodo $t_F \gg 10\text{s}$ (impianto con neutro compensato), le correnti ammissibili che possono fluire in un conduttore di sezione circolare, riferite ad una temperatura iniziale di 20°C e finale di 300°C, sono riportate nella seguente figura:

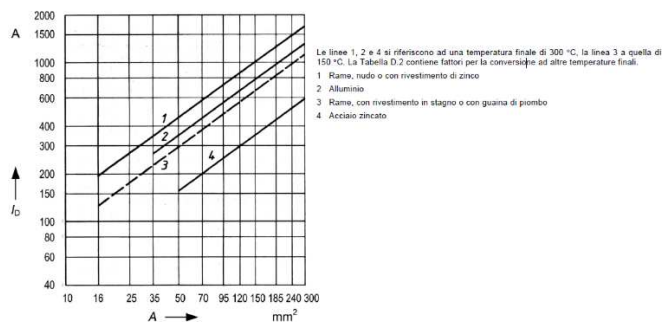


Figura 1 - Corrente permanente I_D nei conduttori di terra aventi sezione A di tipo circolare.

Dalla figura 1, dunque, è possibile ottenere la sezione minima del cavo per il conduttore di terra CT2, ovvero del dispersore interrato, data la corrente di guasto lato MT.

MANDATARIA  MANDANTI 		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA										
PGEP Lato Ripalta Relazione di calcolo Impianto di Terra		COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
		LI0B	02	E	ZZ	CL	LF	01	C0	002	B	15

6.5 DIMENSIONAMENTO DEL CONDUTTORE DI MESSA A TERRA DEL NEUTRO DEL TRASFORMATORE

I conduttori CT1 e PE1, ovvero il cavo di collegamento al dispersore interrato e il cavo di messa a terra del neutro del trasformatore, devono essere in grado di sostenere la corrente di cortocircuito a terra in caso di guasto sugli avvolgimenti lato BT del trasformatore. Tale corrente rappresenta la massima corrente di guasto a terra prevedibile nell'impianto e l'interruzione della stessa è deputata alla protezione lato MT del primario del trasformatore.

Posta cautelativamente la rete a potenza infinita e noti i dati di targa del trasformatore MT/bt, la massima corrente di guasto a valle del trasformatore può essere stimata come segue:

$$I_{cc} = 100 \frac{S_n}{\sqrt{3} V_{n2} V_{cc\%}}$$

Dove:

Vn2 [V] Tensione nominale lato BT;
 Sn [kVA] Potenza nominale del trasformatore;
 Vcc% Tensione di cortocircuito percentuale.

Nel sistema in progetto non sarà ammesso il funzionamento in parallelo dei due trasformatori in cabina, pertanto posti:

Vn2 = 400 V
 Sn = 250 kVA
 Vcc% = 6%

il valore della corrente di guasto massima prevedibile, la quale è assunta come riferimento per il dimensionamento termico dei conduttori CT1 e PE1, è pari a:

$$I_{cc} = 6 \text{ kA}$$

Per il calcolo della minima sezione che devono assumere i conduttori per la messa a terra del centrostella del trasformatore, in condizioni adiabatiche, è valida la seguente relazione (integrale di Joule):

$$S_{PE} \geq \sqrt{\frac{I^2 t}{K^2_{PE}}}$$

Dove :

- $I^2 t$ è l'energia specifica lasciata passare dall'interruttore automatico durante l'interruzione del guasto;
- K_{PE} è un fattore il cui valore dipende dal tipo di materiale conduttore e dal materiale isolante.

Posti:

$K_{PE} = 143$ per conduttori in rame isolati in PVC
 $t = 5 \text{ s}$ tempo di apertura della protezione MT (neutro compensato)
 $I_{cc} = 6 \text{ kA}$ Massima corrente di guasto lato BT

MANDATARIA HUB ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE & R.L.</small>		MANDANTI HYpro S.P.A.		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA								
PGEP Lato Ripalta Relazione di calcolo Impianto di Terra		COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
		LI0B	02	E	ZZ	CL	LF	01	C0	002	B	16

La sezione minima dei conduttori CT1 e PE1 risulta essere pari a:

$$S = 93,82 \text{ mm}^2$$

La sezione commerciale più prossima è pari a 95mm² molto vicina al valore teorico calcolato, verrà pertanto adottata la sezione immediatamente maggiore pari a 120mm²

6.6 DIMENSIONAMENTO DEI CONDUTTORI DI PROTEZIONE PER GUASTO A VALLE DEL QGBT

Per il dimensionamento dei conduttori di protezione con i quali si realizza la messa a terra delle masse alimentate dalle linee in partenza dei quadri di bassa tensione, la norma CEI 64-8 (art. 543.1) fissa due differenti metodologie:

- semplificativo;
- metodo adiabatico.

Col metodo semplificativo nella seguente tabella, la norma CEI 64/8 definisce i valori minimi della sezione del conduttore PE, in funzione della sezione del conduttore di fase:

Sezione di fase [mmq]	Sezione minima del conduttore di protezione [mmq]
$S \leq 16$	S
$16 \leq S \leq 35$	16
$S \geq 35$	S/2

Tabella 1 - Sezioni minime conduttori di protezione

Con il metodo adiabatico la norma definisce che la sezione minima del conduttore PE deve rispettare la seguente relazione (integrale di Joule), esposto al precedente paragrafo.

$$S_{PE} \geq \sqrt{\frac{I^2 t}{K^2_{PE}}}$$

MANDATARIA HUB ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE & R.L.</small>	MANDANTI HYpro S.P.A.	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA									
		PGEP Lato Ripalta Relazione di calcolo Impianto di Terra	COMMESSA LI0B	LOTTO 02	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC CL	OPERA 7 DISCIPLINA LF 01 C0			Progr 002

ALLEGATO N.1

Nella presente sezione vengono illustrati i calcoli di verifica dell'impianto di terra della cabina, 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} . Qualora necessario sarà effettuata la verifica delle tensioni di contatto e passo;

Il seguente diagramma di flusso rappresenta la procedura di progettazione di un impianto di terra ai fini del rispetto delle tensioni di contatto ammissibili:

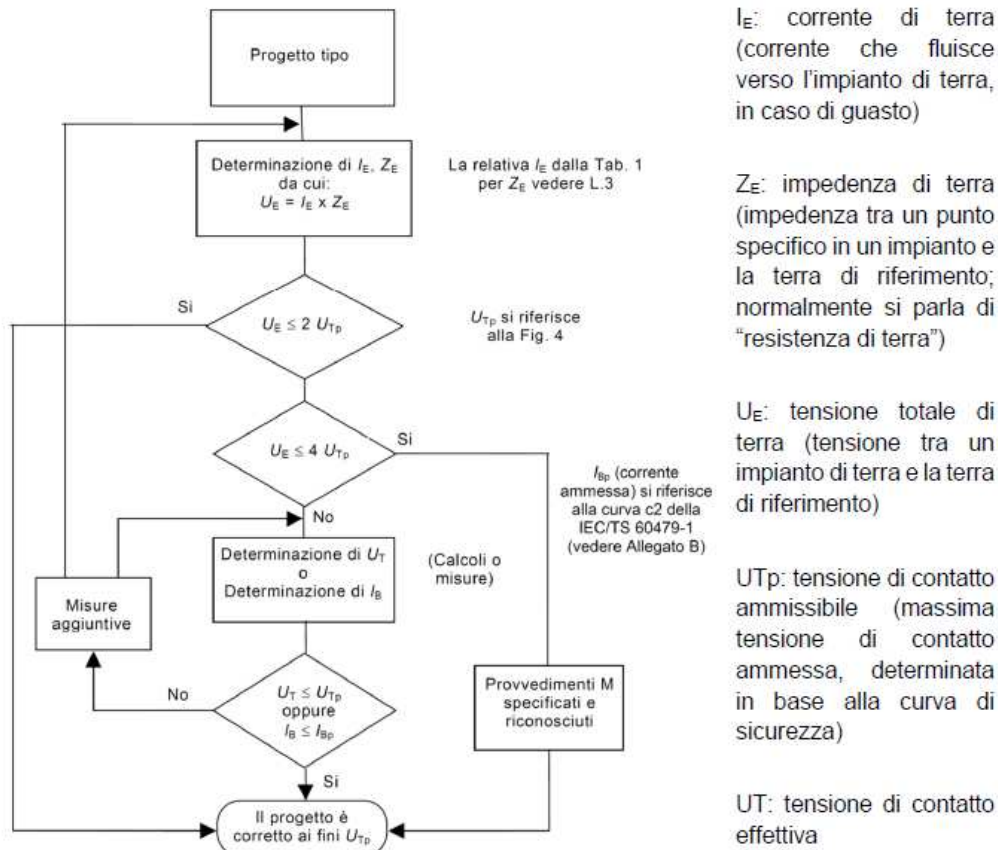


Figura 2 - Procedura di progettazione di un impianto di terra che non fa parte di un impianto di terra globale.

La sicurezza delle persone è ritenuta accettabile quando, a seguito di un guasto a terra, in nessuna parte dell'impianto vengano superati i limiti massimi della tensione di contatto ammissibile U_{Tp} , tenendo conto del tempo di eliminazione del guasto.

Al riguardo, nella seguente tabella sono riportati i valori della tensione di contatto U_{Tp} ammissibile in funzione della durata t_f del guasto:

MANDATARIA HUB ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE & R.L.</small>		MANDANTI HYpro S.P.A.		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA										
PGEP Lato Ripalta Relazione di calcolo Impianto di Terra				COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
				LI0B	02	E	ZZ	CL	LF	01	C0	002	B	18

VERIFICA DISPERSORE

Ipotizzando un terreno di resistività pari a 200Ohm/m, e con un dispersore con le caratteristiche sopra riportate, con riferimento al calcolo di cui alla tabella seguente

TIPO DI DISPERSORE	RESISTIVITA' TERRENO Ru (ohm*m)	a (m)	b (m)	L (m)	RISULTATO Rt (ohm)
PIASTRA	200	< > 3,00	< > 4,000		25,583
PICCHETTO Φ 12	200			3	66,667
PICCHETTO Φ 18	200			3	63,333
CONDUTTORE	200			< > 140	2,857
ANELLO	200	< > 61	< > 9		4,286
MAGLIA	200	< > 90	< > 40		1,538

Si ottiene un valore di resistenza di terra per il dispersore ad anello pari a circa

$$R_t = 4.286 \text{ Ohm,}$$

Si prevedono inoltre n°14 picchetti la cui resistenza equivalente, a partire dal valore del singolo picchetto sopra riportata, è pari a:

$$R_t = 66.667/14 = 4.76 \text{ Ohm.}$$

La resistenza del dispersore equivalente dei due dispersori in parallelo può essere approssimata a $R_t = 20.4/9.046 = 2.25 \text{ Ohm}$

Per la cabina è stato esaminato il seguente caso di studio:

rete MT a neutro compensato con i valori forniti preliminarmente dal Distributore e soggetti a verifica in fase esecutiva;

I calcoli saranno eseguiti sulla base dei valori comunicati per la rete in media tensione a neutro compensato, di seguito riportati. Tali valori tengono conto dei possibili guasti a monte dell'interruttore generale di utente (Dispositivo Generale), rilevati dalle protezioni del Distributore.

	I_E	t_f [s]
Neutro compensato	50	10

MANDATARIA 		MANDANTI 		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA								
PGEP Lato Ripalta Relazione di calcolo Impianto di Terra		COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
		LI0B	02	E	ZZ	CL	LF	01	C0	002	B	19

Con rete a neutro compensato:

$$I_E = 50 \text{ A}$$

$$t_f = 10 \text{ s}$$

I risultati sono di seguito riportati:

Neutro compensato	
$R_E [\Omega]$	2.25
$U_E [V]$	112.5
$U_{tp} [V]$	85
$2U_{tp} [V]$	170

La tensione totale di terra $U_E=112.5V$ è inferiore al valore limite $2U_{tp}=170V$ pertanto l'impianto disperdente è correttamente dimensionato per il contenimento delle tensioni di contatto, tuttavia, dovranno essere verificati in fase costruttiva i calcoli tenendo conto della resistività effettivamente misurata e dei reali valori che saranno comunicati dal Distributore in relazione alle caratteristiche della rete MT e delle relative protezioni.

Deve essere tenuto presente che il dimensionamento della rete di terra pur con ipotesi conservative (sulle correnti di guasto e sulla resistività del suolo) non è sostitutivo delle misure delle tensioni di contatto e di passo che devono comunque essere effettuate in accordo con le normative quando l'impianto è completato.