

IMPIANTO DI PRODUZIONE DA FONTE SOLARE CON POTENZA NOMINALE PARI A 875,00 kW

UBICATO NEL COMUNE DI VILAFRATI (PA) C.DA STALLONE

Richiesta di autorizzazione opere di rete ai sensi dell'art. 4 della L.R. 11/2022

Procedura Abilitativa Semplificata (PAS) ai sensi dell'art. 6 del D.lgs. 28/2011

PROGETTO DEFINITIVO

DOCUMENTAZIONE GENERALE

RELAZIONE TECNICA IMPIANTO DI TERRA

IDENTIFICAZIONE ELABORATO

Livello Prog.	Codice Rintracciabilità	Tipo Docum.	N° elaborato	N° foglio	Tot. fogli	NOME FILE	DATA	SCALA
PD	352033704	REL	02	01	16	REL. 2 Relazione Tecnica Impianto di terra	10/10/2023	--

REVISIONI

Rev	Data	Descrizione	Eseguito	Verificato	Approvato
00	10/10/23	Presentazione PAS e LR	V.R.	L.R.	V.R.

PROGETTAZIONE



dott. ing. VITTORIO RANDAZZO

dott. ing. VINCENZO DI MARCO

GESTORE RETE ELETTRICA

RICHIEDENTE

MARTE S.r.l

MARTE S.r.l
sede legale: Via G.B. Soresina, 2
20144 Milano - Italia

Marte Srl
Via Giovanni Battista Soresina, 2
20144 Milano
CF e P.IVA 13054620961

MARTE S. r. l. Sede Legale: Via G.B. Soresina 2 20144 - Milano	Codice di rintracciabilità: 352033704	DATA: 04/10/2023
	Villafrati (PA) - Contrada Stallone, snc	<i>Relazione tecnica</i> <i>Impianto di terra</i>

Sommario

1. PREMESSA	3
2. IMPIANTO DI TERRA DELLE CABINE	3
3. CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE	7
3.1 CARATTERISTICHE DELL'IMPIANTO DEL GENERATORE	8
4 CONCLUSIONI	16

MARTE S. r. l. Sede Legale: Via G.B. Soresina 2 20144 - Milano	Codice di rintracciabilità: 352033704	DATA: 04/10/2023
	Villafrati (PA) - Contrada Stallone, snc	<i>Relazione tecnica</i> <i>Impianto di terra</i>

1. PREMESSA

Il presente documento descrive l'impianto di terra di un impianto fotovoltaico nella configurazione grid-connected per la generazione di energia elettrica da fonte solare con tecnologia ad inseguimento monoassiale situato nel Comune di Villafrati (PA) in Contrada Stallone, di potenza di picco pari a 935,22 kWp. L'impianto di terra sarà realizzato in conformità a quanto rappresentato nell'elaborati grafici "Tav 07 - Schema di messa a terra impianto di produzione", "Tav 9 – Piante prospetti e sezioni cabina di consegna cabina di campo" e in particolare sarà costituito da una rete generale di terra realizzata con dispensori artificiali a picchetto completi di pozzetti ispezionabili onde poter effettuare le dovute verifiche, misure ed ispezioni e da corda nuda in rame con posa interrata a contatto con il suolo. L'impianto è concettualmente diviso in impianto di terra delle cabine e impianto di terra del generatore, benché essendo di fatto un unico sistema (non presentando cioè interruzioni elettriche tra i due sistemi) nel corso di questa relazione saranno trattati come impianti distinti, ciò andrà a favore della sicurezza poiché le due sezioni sono in parallelo tra di loro e quindi daranno come risultante una RE (resistenza di terra) minore della minore delle due ed essendo verificati i criteri di sicurezza singolarmente per entrambi lo saranno anche nel sistema complessivo.

2. IMPIANTO DI TERRA DELLE CABINE

In relazione all'art. 9.2.4 della norma CEI 99-3 in vigore, relativa agli impianti utilizzatori a tensione nominale maggiore di 1000 V dotati di propria cabina di campo/trasformazione, il valore della resistenza dell'impianto di terra deve essere tale che non si verifichino tensioni di contatto e di passo pericolose per le persone.

L'impianto di terra esterno alle cabine è costituito da:

- un dispersore intenzionale che realizza un anello di corda di rame nudo da 35 mm² (ETP UNI 649-71) per ogni cabina, posato ad una profondità di 0,6-0,8 m completo di morsetti per il collegamento tra rame e rame;
- morsetti a compressione in rame per realizzare le giunzioni tra i conduttori trasversali alla maglia principale;
- 4 dispensori verticali a picchetto a croce zincato H = 1,55 m per ciascuna cabina;
- morsetti in rame stagnato o ottone per il collegamento ai dispensori in acciaio;
- pozzetti in calcestruzzo armato vibrato di tipo ispezionabile completi di chiusino.

L'impianto sorge su un terreno di tipo argilloso.

Nel calcolo della resistenza di terra si assume una resistività media del terreno pari a $\rho_E = 30 \Omega m$.

MARTE S. r. l. Sede Legale: Via G.B. Soresina 2 20144 - Milano	Codice di rintracciabilità: 352033704	DATA: 04/10/2023
	Villafrati (PA) - Contrada Stallone, snc	<i>Relazione tecnica</i> <i>Impianto di terra</i>

Il dispersore è costituito dall'insieme dei dispersori ad anello rettangolare interrati attorno alle cabine di Consegna e di Campo, dei 4 dispersori (per ogni anello) a picchetto a croce di lunghezza 1,55 m connessi ai vertici dell'anello rettangolare di terra e dalla corda nuda di rame che realizza la connessione tra i due anelli. In questa maniera è garantita l'equipotenzialità del sistema elettrico dando origine alla resistenza totale di terra R_E .

Il valore della resistenza di terra R_{E1} del dispersore interrato attorno al manufatto della cabina di Consegna sarà in questo caso di:

$$R_{E1} = R_{anello} // R_{picchetti}$$

$$R_{anello} = 1,5 \times \frac{\rho_E}{a + b} = 1,5 \times \frac{30}{8,81 + 4,50} \Omega = 3,38 \Omega$$

$$R_{picchetti} = \frac{\rho_E}{4L} = \frac{30}{4 \times 1,55} \Omega = 4,84 \Omega$$

$$R_{E1} = \mathbf{1,99 \Omega}$$

Dove:

a= lato lungo anello =8,81 m

b= lato corto anello = 4,50 m

L= lunghezza picchetto = 1,55 m

Il valore di R_{E2} è quello relativo alla maglia della cabina di Campo e viene calcolato come descritto precedentemente per la cabina di consegna (le due strutture sono omologhe).

Considerati i valori delle strutture come:

- a_2 = lato lungo anello =7,82 m,
- b_2 = lato corto anello = 4,55 m,
- L= lunghezza picchetto = 1,55 m,

ne risulta una resistenza di anello (R_{anello}) pari a 3,64 Ω , una resistenza di picchetto ($R_{picchetto}$) pari a 4,84 Ω che portano ad una resistenza di terra R_{E2} **pari a 2,08 Ω .**

MARTE S. r. l. Sede Legale: Via G.B. Soresina 2 20144 - Milano	Codice di rintracciabilità: 352033704 Villafrati (PA) - Contrada Stallone, snc	DATA: 04/10/2023 <i>Relazione tecnica Impianto di terra</i>

Il valore di R_{E3} è quello relativo alla linea interrata che collega la cabina di Campo alla cabina di Consegna. Il suo valore viene calcolato

$$R_{corda} = 2 \frac{\rho_E}{L} = 2 \times \frac{30}{160} \Omega = 0,34 \Omega$$

Dove:

L= lunghezza della corda pari a 160 m.

Il valore di resistenza di terra che garantisce la protezione contro i contatti indiretti rappresenta la resistenza totale di terra R_E che verrà presa in considerazione per le opportune verifiche calcolata come di seguito indicata:

$$R_E = R_{E1} // R_{E2} // R_{E3}$$

$$R_E = 0,25 \Omega$$

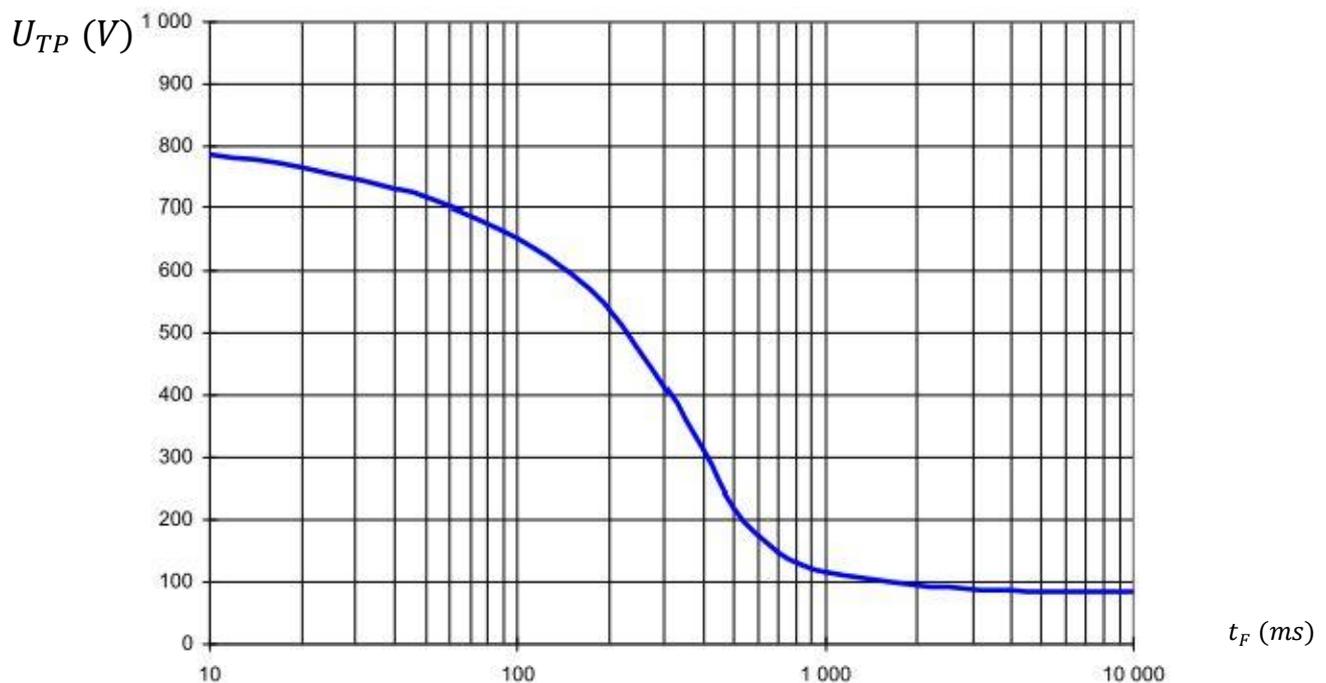


Figura 1 Curva di sicurezza tensione-tempo per sistemi elettrici con tensione superiore a 1000 V, secondo la norma CEI 99-3

La tabella C-3 dell'allegato C indica i limiti per le tensioni di contatto e di passo, e per la tensione totale di terra, secondo la norma CEI 99-3, fasc. 5025.

MARTE S. r. l. Sede Legale: Via G.B. Soresina 2 20144 - Milano	Codice di rintracciabilità: 352033704	DATA: 04/10/2023
	Villafrati (PA) - Contrada Stallone, snc	Relazione tecnica Impianto di terra

In riferimento alla figura sopra riportata e con quanto indicato dal Distributore, per un tempo di eliminazione del guasto $t_f \gg 10$ s, è ammessa dalla norma una tensione di contatto massima ammissibile:

$$U_{TP} = R_E I_E = R_E \cdot 50 \leq 80 \text{ V}$$

Considerando, a favore della sicurezza¹, $I_E = I_F$ occorre, per garantire la protezione contro i contatti indiretti a causa di un guasto a terra sulla media tensione, una resistenza di terra pari o inferiore a:

$$R_E \leq \frac{U_{TP}}{I_E} = \frac{80}{50} = \mathbf{1,60 \Omega}$$

Pertanto, noti la corrente di guasto $I_F = 50$ A e il tempo di eliminazione del guasto $t_f \gg 10$ s, è sufficiente che la resistenza di terra (R_E) soddisfi la condizione $R_E \leq U_{Tp} / I_F$

Durata del guasto t_f [s]	Tensione di contatto ammissibile U_{Tp} [V]
0,05	716
0,1	654
0,2	537
0,5	220
1	117
2	96
5	86
10	85
>10	80

Tabella 1 Tabella estratta dalla Norma CEI EN 50522 (CEI 99-3): fornisce i valori di tensione di contatto Ammissibile U_{Tp} per il tempo di durata del guasto t_f .

La resistenza di terra verrà misurata con metodo voltamperometrico e se si riscontreranno discostamenti dei valori tali da inficiare i sistemi di protezione si provvederà ad adattare tutti i sistemi ad uso comune al ripristino e al mantenimento delle condizioni di sicurezza (e.g. sostituire il terreno attorno ai dispersori lineari a corda nuda, per un raggio ≥ 30 cm, con terreno a resistività minore).

¹ I valori della corrente di guasto e la corrispondente durata del guasto sono dati caratteristici della rete elettrica in MT che vengono forniti dal Distributore. Allo stato attuale, non essendo disponibili i suddetti dati, ai fini del calcolo del dispersore, si è ipotizzato che il sistema della rete ENEL a 20 kV sia con neutro compensato, per cui sono stati assunti i seguenti valori rilevati dalla letteratura tecnica: -corrente di guasto monofase a terra $I_F = 50$ A - tempo di eliminazione del guasto $t_f > 10$ s. Al suddetto tempo corrisponde una $U_{Tp} = 80$ V (CEI 99-3 Tab. B.3 - CEI 99-5 Tab.1).

MARTE S. r. l. Sede Legale: Via G.B. Soresina 2 20144 - Milano	Codice di rintracciabilità: 352033704 Villafrati (PA) - Contrada Stallone, snc	DATA: 04/10/2023 <i>Relazione tecnica</i> <i>Impianto di terra</i>

3. CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE

La conformazione geometrica prevista per l'impianto di messa a terra è specificata nella relativa tavola.

L'impianto di terra di cui sono dotati i locali produttore, consegna e misura è costituito da un anello equipotenziale in treccia di rame nudo in intimo contatto con il terreno, 4 picchetti ai vertici di ogni anello e di una corda nuda di rame in intimo contatto con il terreno a connessione degli anelli delle cabine.

Con riferimento alla norma CEI 99-3 l'impianto di terra sarà:

- realizzato secondo le regole della buona tecnica;
- di caratteristiche tali che ne garantiscano la resistenza meccanica e alla corrosione;
- rispondente ai requisiti termici.

All'impianto di terra ("dispersore intenzionale") così realizzato sono collegati i "dispersori naturali" costituiti da tutte le masse e tutte le masse estranee (ove prevista dalla norma) attraverso opportuni collegamenti equipotenziali (realizzati in piastra di rame perforata o adeguata morsettiera realizzati secondo le regole della buona tecnica).

Il resto dell'impianto, ovvero la parte in bassa tensione dell'impianto generatore, è gestita come sistema IT. Sono collegati al nodo equipotenziale di campo, e quindi alla terra, gli involucri metallici dei quadri e l'involucro metallico dell'inverter attraverso un conduttore di protezione PE. Le strutture metalliche degli inseguitori sono anch'esse collegate all'impianto di terra tramite collegamento equipotenziale sulla struttura metallica. Sono previsti anche dispositivi di protezione dalle scariche atmosferiche (SPD) connesse francamente a terra.

I conduttori di protezione, in relazione ai conduttori di fase, sono dimensionati secondo la seguente tabella:

	Protetto meccanicamente	Non protetto meccanicamente
--	------------------------------------	--

MARTE S. r. l. Sede Legale: Via G.B. Soresina 2 20144 - Milano	Codice di rintracciabilità: 352033704 Villafrati (PA) - Contrada Stallone, snc	DATA: 04/10/2023 <i>Relazione tecnica Impianto di terra</i>

Sezione del conduttore di fase S [mm ²]	Sezione minima del conduttore di protezione [mm ²]	Sezione minima del conduttore di protezione [mm ²]
S ≤ 16	S	16
16 ≤ S ≤ 35	16	
S > 35	S/2	

Tabella 2 sezione dei conduttori di protezione in relazione ai conduttori di fase

3.1 CARATTERISTICHE DELL'IMPIANTO DEL GENERATORE

Il sistema a bassa tensione è progettato come sistema IT. Un tale sistema prevede che la tensione di alimentazione non sia riferita a terra, mentre le masse siano collegate all'impianto di terra dell'utilizzatore.

In caso di primo guasto a terra la corrente di guasto (I_g) si richiude attraverso le capacità verso terra dell'impianto, pertanto la I_g verso terra risulterà essere di valore estremamente ridotto al punto da non determinare alcun intervento delle protezioni; le tensioni di contatto originate assumeranno di conseguenza valori particolarmente bassi.

Ai fini della protezione dai contatti indiretti, secondo la norma CEI 64-8/4, non è necessaria l'interruzione automatica dell'impianto generatore, nella situazione di primo guasto a terra, purché venga verificata la relazione:

$$R_E \times I_g \leq U_L$$

dove:

- R_E è la resistenza dell'impianto di terra al quale sono collegate le masse (in ohm);
- I_g è la corrente di guasto (in ampere), del primo guasto a terra di impedenza trascurabile tra un conduttore di linea ed una massa, tale valore tiene conto delle correnti di dispersione e dell'impedenza totale verso terra dell'impianto elettrico ed è pari al limite inferiore della corrente d'intervento istantaneo dell'interruzione a protezione della linea.
- U_L è la tensione (espressa in volt) sopportabile dal corpo umano per un tempo indefinito (50 V).

MARTE S. r. l. Sede Legale: Via G.B. Soresina 2 20144 - Milano	Codice di rintracciabilità: 352033704 Villafrati (PA) - Contrada Stallone, snc	DATA: 04/10/2023
		<i>Relazione tecnica</i> <i>Impianto di terra</i>

Nell'impianto in oggetto viene considerata come I_g la corrente d'intervento istantaneo del dispositivo differenziale I_d pari a 100 mA (0,1 A).

In questo modo si ottiene una R_E massima ammissibile pari a:

$$R_E \leq \frac{U_L}{I_g} = \frac{50}{0.1} \Omega = 500 \Omega$$

Nel calcolo della resistenza di terra, si ricorda, viene assunta una resistività media del terreno pari a $\rho_E = 30 \Omega\text{m}$.

Il dispersore è costituito dall'insieme dei dispersori in corda nuda di rame (Cu), posanti ad una profondità di circa 0,6 m dal livello di campagna, e da n.2 dispersore a picchetto a croce di lunghezza 1,55 m (il sistema verrà collegato all'impianto di terra delle cabine tramite la dorsale dell'impianto di generatore). In questa maniera è garantita l'equipotenzialità del sistema elettrico dando origine alla resistenza totale di terra $R_{E_{BT}}$.

Il valore della resistenza di terra $R_{E_{BT}}$ del dispersore interrato risulterà essere:

$$R_{E_{BT}} = R_{Corda1} // R_{Corda2} // R_{Corda3} \dots // R_{Corda n} // R_{picchetto1} // R_{picchetto2}$$

La resistenza del ramo n-simo in corda è calcolata secondo la seguente formula, dove L_n è la lunghezza del ramo:

$$R_{corda-n} = 2 \frac{\rho_E}{L_n}$$

Mentre la resistenza del picchetto è calcolata come segue, si noti che in questo caso L corrisponde alla lunghezza del picchetto:

$$R_{picchetto} = \frac{\rho_E}{L}$$

I risultati vengono riportati nella seguente Tabella:

Tratto	L (m)	Ω
--------	-------	----------

MARTE S. r. l. Sede Legale: Via G.B. Soresina 2 20144 - Milano	Codice di rintracciabilità: 352033704 Villafrati (PA) - Contrada Stallone, snc	DATA: 04/10/2023
		<i>Relazione tecnica Impianto di terra</i>

Linea 1	130,11	0,46
Linea 2	139,00	0,43
Linea 3	135,93	0,44
Linea 4	145,35	0,41
Linea 5	145,05	0,41
Linea 6	157,05	0,38
Linea 7	159,96	0,37
Linea 8	176,43	0,34
Picchetto1	1,55	19,35
Picchetto2	1,55	19,35

Figura 2 Impianto di terra Impianto di produzione

MARTE S. r. l. Sede Legale: Via G.B. Soresina 2 20144 - Milano	Codice di rintracciabilità: 352033704 Villafrati (PA) - Contrada Stallone, snc	DATA: 04/10/2023 <i>Relazione tecnica Impianto di terra</i>

La resistenza totale di terra RE_{BT} risulta quindi pari a:

$$RE_{BT} = 0,08 \Omega$$

Il criterio di verifica risulta perciò rispettato.

Va considerato, infine, che un primo guasto a terra non comporterà l'interruzione dell'impianto di generazione ma la norma prescrive che esso venga prontamente segnalato tramite un dispositivo di controllo dell'isolamento che segnala la condizione anomala, tale dispositivo è conforme alla norma CEI EN 61557-8.

Nel caso di un secondo guasto a terra il sistema verrà visto come un sistema TN con neutro non distribuito. La norma prescrive che in questo caso intervenga l'interruttore a protezione della linea non appena non sia più verificata la condizione:

$$Z_s^1 = \frac{\sqrt{3} \times U_0}{2 \times I_d} = \frac{U}{2 \times I_d}$$

Dove:

- I_d è la corrente che provoca l'intervento del dispositivo nei tempi stabiliti dalla norma, per le tensioni presenti sul nostro sistema ($U=800 \text{ V}$) il t_f è pari a 0,1 s

U_0 / U (V)	Tempo di interruzione (s)			
	Condizioni ordinarie ($U_L=50V$)		Condizioni particolari ($U_L=25V$)	
	Neutro non distribuito	Neutro distribuito	Neutro non distribuito	Neutro distribuito
120/240	0,8	5	0,4	1
230/400	0,4	0,8	0,2	0,4
400/690	0,2	0,4	0,06	0,2
580/1000	0,1	0,2	0,02	0,06

Tabella 3 Tempi di interruzione (s) in funzione della tensione del sistema

- U_0 è la tensione nominale verso il neutro;
- U è la tensione nominale tra fase e fase (800 V);
- Z_s^1 è l'impedenza dell'anello di guasto costituito dal conduttore di fase e dal conduttore di protezione del circuito.

MARTE S. r. l. Sede Legale: Via G.B. Soresina 2 20144 - Milano	Codice di rintracciabilità: 352033704	DATA: 04/10/2023
	Villafrati (PA) - Contrada Stallone, snc	<i>Relazione tecnica Impianto di terra</i>

Si considera un interruttore termomagnetico per applicazioni fino a 1150 VAC 1000 V DC – T4 TMA della ABB con le caratteristiche di seguito mostrate:

MARTE S. r. l.

Sede Legale: Via G.B. Soresina 2
20144 - Milano

Codice di rintracciabilità:

352033704

Villafrati (PA) - Contrada Stallone, snc

DATA: 04/10/2023

Relazione tecnica
Impianto di terra

Sganciatore termomagnetico per applicazioni fino a 1150 V AC e 1000 V DC - TMD e TMA

	In [A]	32	50	80	100	125	160	200	250	320	400	500	630	800
	Neutro [A] - 100%	32	50	80	100	125	160	200	250	320	400	500	630	800
 $I_1 = 0,7 \dots 1 \times I_n$	T4 250	■	■	■	■	■	■	■	■					
	T5 400									■	■			
	T5 630											■		
	T6 630												■	
	T6 800													■
 $I_3 = 10 \times I_n$ $I_3 = 5 \dots 10 \times I_n$	$I_3 = 10 \times I_n$ [A]	320	500											
	$I_3 = 5 \dots 10 \times I_n$ [A]	-	-	400...800	500...1000	625...1250	800...1600	1000...2000	1250...2500	1600...3200	2000...4000	2500...5000	3150...6300	4000...8000

MARTE S. r. l. Sede Legale: Via G.B. Soresina 2 20144 - Milano	Codice di rintracciabilità: 352033704 Villafrati (PA) - Contrada Stallone, snc	DATA: 04/10/2023
		<i>Relazione tecnica</i> <i>Impianto di terra</i>

Funzioni di protezione base



(L) Protezione da sovraccarico

Questa funzione di protezione interviene in caso di sovraccarico con intervento ritardato a tempo lungo inverso ($I^2t=k$) secondo la norma IEC 60947-2 ($I^2t=k$). Tale funzione di protezione non è escludibile.



(S) Protezione da cortocircuito con intervento ritardato

Questa funzione di protezione interviene in caso di cortocircuito, con intervento ritardato a tempo lungo inverso ($I^2t=k$ ON) o a tempo costante ($I^2t=k$ OFF). Tale funzione di protezione è escludibile.



(I) Protezione istantanea da corto circuito

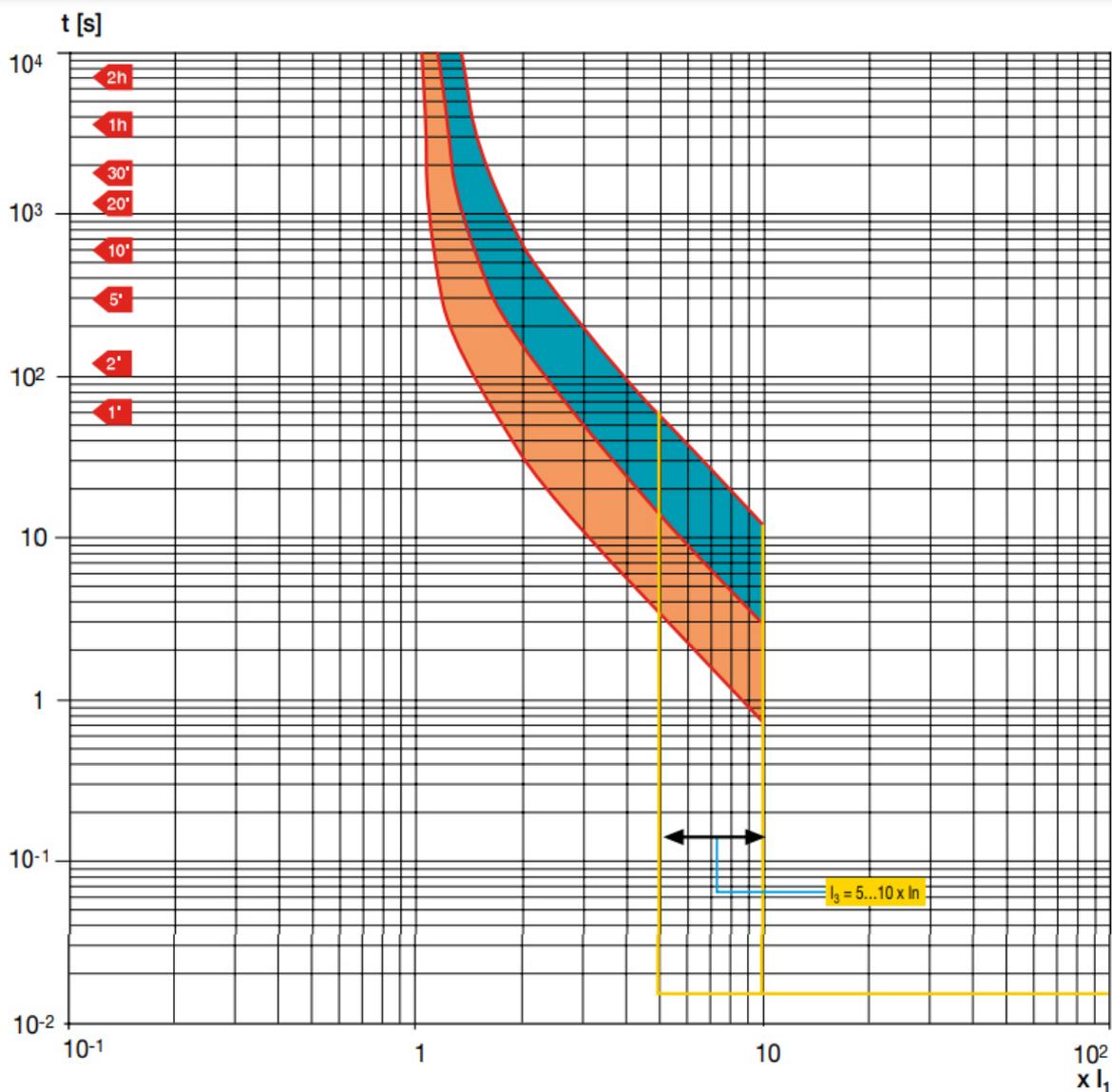
Questa funzione di protezione interviene istantaneamente in caso di cortocircuito. Tale funzione di protezione è escludibile.



(G) Protezione da guasto a terra

La protezione da guasto a terra interviene nel caso in cui la somma vettoriale delle correnti che attraversano i sensori di corrente superi il valore di soglia impostato, con intervento ritardato a tempo lungo inverso ($I^2t=k$ ON) o a tempo costante ($I^2t=k$ OFF). Tale funzione di protezione è escludibile.

La cui curva di intervento è di seguito riportata:



Considerata una tensione fase-fase di 800 V (U) e una corrente d'intervento a $t_f=0,1$ s pari a $I_d = 800$ A, otteniamo:

$$\frac{U}{2 \times I_d} = \frac{800 \text{ V}}{2 \times 800 \text{ A}} = 0,5 \Omega$$

Si consideri:

- la massima lunghezza L per un anello di guasto pari a 255 m (condizione più rischiosa);
- l'impedenza di fase Z_f pari a 0,291 Ω/Km ;

MARTE S. r. l. Sede Legale: Via G.B. Soresina 2 20144 - Milano	Codice di rintracciabilità: 352033704	DATA: 04/10/2023
	Villafrati (PA) - Contrada Stallone, snc	<i>Relazione tecnica Impianto di terra</i>

- l'impedenza del cavo di protezione Z_p pari a 0,524 Ω /Km;
risulta come l'impedenza massima dell'anello di guasto sia pari a

$$Z_S^1 = (Z_f + Z_p) \times L = 0,21 \Omega$$

4 CONCLUSIONI

I valori qui ricavati confermano le scelte progettuali permettendo di considerare l'impianto messo in sicurezza dai contatti indiretti, essi andranno però confermati da misure strumentali durante la cantierizzazione dell'opera per eventualità non prevedibili e nel caso si dovrà procedere ad operazioni atte a ripristinare le condizioni di sicurezza.