



REGIONE PUGLIA  
 PROVINCIA DI FOGGIA  
 COMUNE DI FOGGIA



PROGETTO DELL'IMPIANTO SOLARE FOTOVOLTAICO CON INTEGRAZIONE AGRICOLA E DELLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE DA REALIZZARE NEL COMUNE DI FOGGIA (FG) IN CONTRADA TORRE DI LAMA AL FG. N. 7 PP. N. 101, 239, 447, 449, 451 E FG. N. 9 PP. N. 79, 195, 196, 222, 224, 225, 226, 227, 690, 691, DI POTENZA PARI A 19.359,00 kWp DENOMINATO "TORRE DI LAMA"

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE TECNICA DIMENSIONAMENTO CAVI E VERIFICA DELLA CADUTA DI TENSIONE - TORRE DI LAMA 1



livello prog.	Codice Istanza	N.Elaborato	DATA	SCALA
PD	— 4WZGYD6	A10.1	30.03.2021	

REVISIONI

REV.	DATA	DESCRIZIONE	ESEGUITO	VERIFICATO	APPROVATO

RICHIEDENTE

TRINA SOLAR TETI S.r.l.  
 Piazza Borromeo 14, 20123 Milano



ENTE

PROGETTAZIONE **HORIZON FIRM**

Ing. D. Siracusa  
 Ing. C. Chiaruzzi  
 Ing. A. Costantino  
 Arch. A. Calandrino  
 Arch. M. Gullo  
 Arch. S. Martorana  
 Arch. F.G. Mazzola  
 Arch. P. Provenzano  
 Ing. G. Buffa  
 Ing. G. Schillaci



FIRMA RESPONSABILE TECNICO

# **Dimensionamento dei cavi MT e calcolo delle cadute di tensione**

## **Relazione tecnica**

**Torre di Lama 1 Codice Pratica 227816419**

## **Sommario**

<b>Premessa</b> .....	1
<b>Criteri di dimensionamento e verifica dei cavi</b> .....	4
<b>Descrizione generale dell'impianto</b> .....	9
<b>Dimensionamento linea MT n° 1</b> .....	11
<b>Dimensionamento linea MT n° 2</b> .....	13
<b>Calcolo delle cadute di tensione</b> .....	15

## Premessa

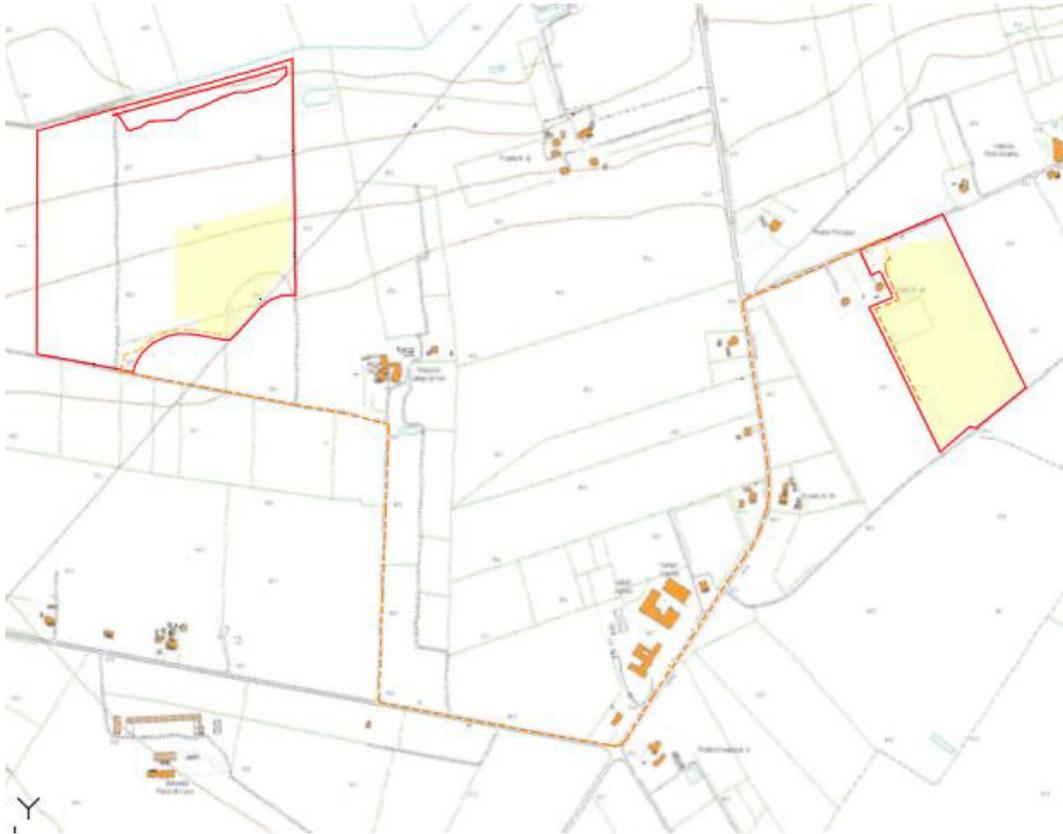
La presente relazione tecnica è parte integrante del progetto definitivo del Parco Fotovoltaico che la Società Trina Solar Teti S.r.l. intende realizzare nel territorio Comunale di Foggia (FG), in contrada Torre di Lama, ed ha per oggetto il dimensionamento e il calcolo delle cadute di tensione che si verificheranno, durante l'esercizio, negli elettrodotti di media tensione in cavo interrato che fanno parte delle Opere Elettriche di Utenza necessarie per la connessione dell'impianto alla Rete Elettrica di distribuzione di media tensione a 20kV. L'impianto, denominato "TORRE DI LAMA" è suddiviso elettricamente in due impianti distinti denominati rispettivamente "TORRE DI LAMA 1" (il cui numero di rintracciabilità della TICA è 227816419) e "TORRE DI LAMA 2" (il cui numero di rintracciabilità della TICA è T0737329).

Nello specifico, la presente relazione analizzerà il dimensionamento e il calcolo delle cadute di tensione dell'Impianto **Torre di Lama 1**, costituito da n° 2 sottocampi fotovoltaici, i quali saranno realizzati su due appezzamenti di terreno non contigui distinti al N.T.C. fg. n.7 p.lle 101, 239, 447 (in parte), 449 (in parte) e 451, fg. 9 p.lle 79 (in parte), 195 (in parte), 196 (in parte), 224 (in parte), 225 (in parte), 226 (in parte), 227 (in parte).

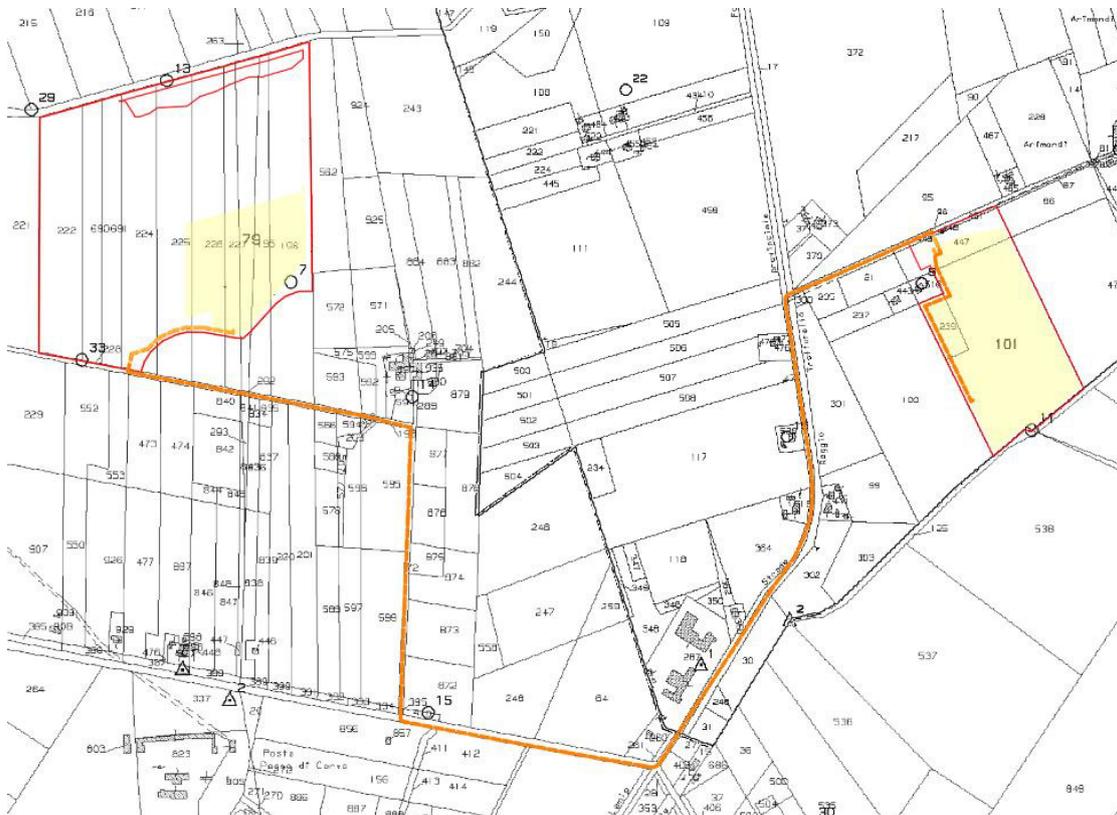
Dagli stralci cartografici è possibile individuare la posizione dell'impianto Torre di Lama 1.



*Figura 1 - Inquadramento territoriale su ortofoto - Torre di Lama 1- in giallo*



**Figura 2: Inquadramento territoriale su CTR - Torre di Lama 1 in giallo**

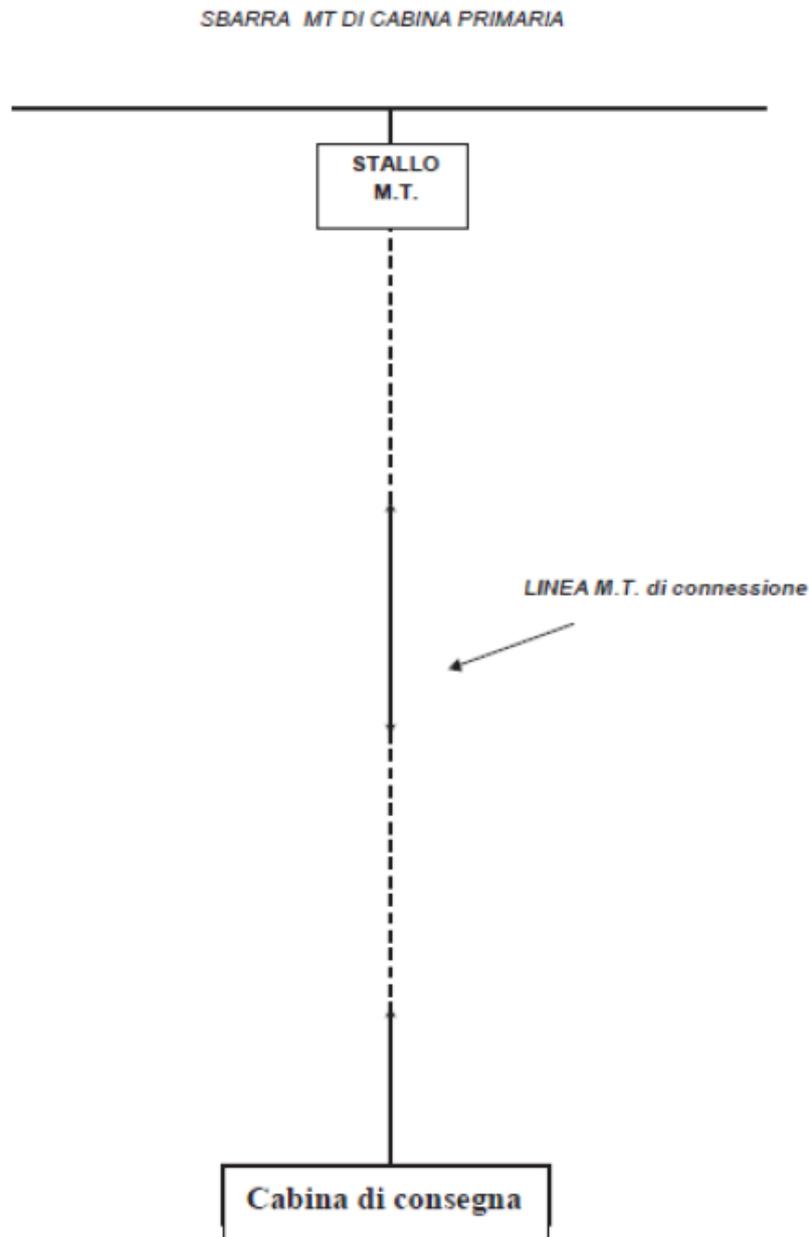


**Figura 3: Inquadramento territoriale su Catastale – Torre di Lama 1 in giallo**

I due lotti sono posti ad un'altitudine media di 43.00 m s.l.m, dalla forma poligonale irregolare; dal

punto di vista morfologico, risultano prevalentemente pianeggianti.

L'impianto sarà connesso alla Rete Elettrica di Distribuzione di Media Tensione di e-Distribuzione, attraverso la realizzazione di una nuova cabina di consegna, conforme alla specifica tecnica e-Distribuzione DG2092 Tipo A edizione 3, collegata in antenna da futura cabina primaria AT/MT "Foggia-Amendola", per mezzo di una nuova linea elettrica di media tensione:



*Figura 4: Schema tipico di inserimento in antenna*

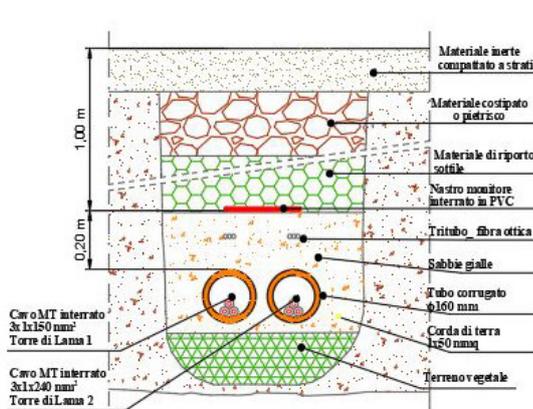
## Criteri di dimensionamento e verifica dei cavi

Il dimensionamento dei cavi è stato condotto applicando il criterio termico, in base al quale il cavo deve avere una sezione tale per cui la sua portata ( $I_z$ ), nelle condizioni di posa previste dal progetto, sia almeno uguale alla corrente di impegno del circuito ( $I_B$ ).

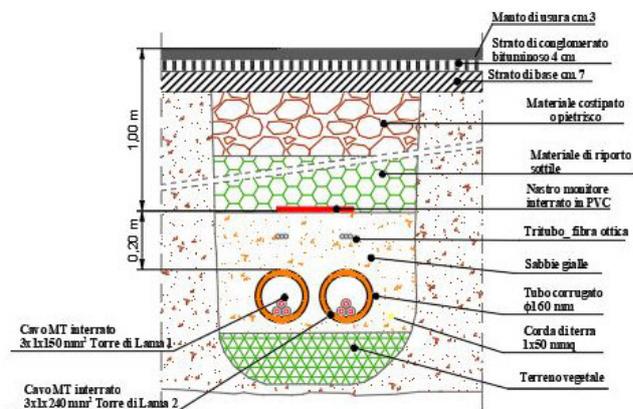
La portata di un cavo, come è noto, dipende dai parametri che influiscono sul bilancio termico a regime e dunque dalla potenza termica sviluppata (sezione e resistività del conduttore), dalla potenza termica ceduta all'ambiente circostante (condizioni di posa) e dal tipo di isolante.

In fase di progettazione definitiva, sono state ipotizzate le seguenti condizioni di posa:

- Profondità di posa pari a 1,2 m;
- Resistività termica del terreno pari a  $1 \text{ }^\circ\text{K m/W}$ ;
- Temperatura di posa pari a  $20^\circ\text{C}$ ;
- Numero di circuiti presenti all'interno della stessa trincea di scavo pari a 2, dato che in parte, la trincea di scavo verrà condivisa (per maggiori dettagli si rimanda alle tavole di progetto allegate);
- Cavi disposti a trifoglio.



PARTECOLARE TIPOLOGICO DI POSA CAVI MT UTENTE  
IN TRINCEA COMUNE AI DUE IMPIANTI - SCALA 1:15



PARTECOLARE TIPOLOGICO DI POSA CAVI MT UTENTE IN TRINCEA SU  
STRADA PUBBLICA ASFALTATA COMUNE AI DUE IMPIANTI - SCALA 1:15

Figura 5: Posa cavidotti MT in trincea condivisa

In questa fase della progettazione, si è scelto di utilizzare *cavi tripolari ad elica visibile* per posa interrata ARE4H5EX 12/20kV installati all'interno di tubi corrugato doppia parete in PE conforme alla Norma CEI EN 61386-24 per la protezione dei cavi, di diametro pari a 160 mm:

**Media tensione**

**ARE4H5EX -12/20 kV**  
 Costruzione e requisiti: ENEL DC 4385/1  
 ENEL DC 4384

- Conduttore:  
Al classe 2 Norma CEI EN 60228
- Isolamento:  
XLPE tipo DX3 o DX8  
secondo tabella 2A  
della HD 620-1
- Guaina esterna:  
PE tipo DMP2 o DMZ1  
come da tabella 4B e 4C  
della HD621 parte 1



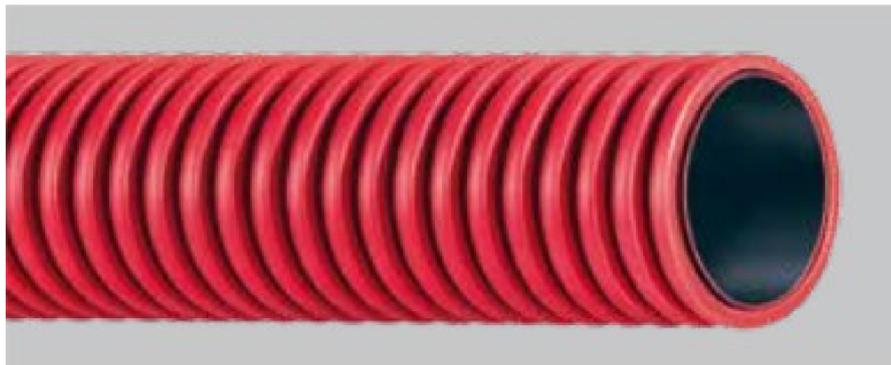
**Descrizione**

- Cavi per media tensione tripolari ad elica visibile, per la distribuzione interrata dell'energia elettrica a tensione 12/20 kV con isolamento a spessore ridotto.
- Conduttore: Corda di alluminio rotonda compatta CEI EN 60228 classe 2
- Isolamento: Polietilene reticolato (XLPE)
- Schermo: Nastro di alluminio longitudinale
- Guaina esterna: Polietilene estruso PE colore rosso

**Caratteristiche funzionali**

- Tensione nominale U<sub>0</sub>/U: 12/20 kV
- Tensione massima di esercizio U<sub>m</sub>: 24 kV
- Temperatura massima di esercizio: 90°C
- Temperatura massima di corto circuito: 250°C

*Figura 6: cavi tripolari ad elica visibile 12/20kV*



*Figura 7: Tubi protettivi per cavi interrati*

Definita la tipologia di cavo e le condizioni di posa, ai fini del corretto dimensionamento dei circuiti, è stata applicata la seguente relazione:

$$I_B \leq I_Z = I_{Z0} K_1 K_2 K_3 K_4 \quad (1)$$

dove:

- $I_B$  è la corrente di impiego del circuito;
- $I_Z$  è la portata del cavo nelle condizioni di posa previste dal progetto;
- $I_{Z0}$  è la portata del cavo in condizioni di posa standard, desumibile dalle schede tecniche fornite dai costruttori;

- K1 è il fattore di correzione della portata da applicare nel caso in cui la temperatura di posa è diversa da 20°C;
- K2 è il fattore di correzione della portata da applicare nel caso in cui all'interno della stessa trincea di scavo sono presenti più circuiti elettricamente indipendenti;
- K3 è il fattore di correzione della portata per profondità di posa diversa da 1,2m;
- K4 è il fattore di correzione della portata da applicare nel caso in cui la resistività termica del terreno sia diversa da 1 °K m/W;

*Il calcolo della corrente di impiego  $I_B$  di ciascuna linea, è stato condotto considerando prudenzialmente la condizione di esercizio più gravosa, che prevede la contemporanea erogazione della potenza apparente nominale dei trasformatori interconnessi, mentre i valori dei coefficienti correttivi della portata sono stati ricavati dalla Norma CEI-UNEL 35026.*

**Tabella F2.14** Fattore di correzione  $K_1$  per temperature del terreno diverse da 20 °C (da norma CEI-UNEL 35026)

Temperatura del terreno (°C)	Tipo di isolante	
	PVC	EPR-XLPE
10	1,10	1,07
15	1,05	1,04
25	0,95	0,96
30	0,89	0,93
35	0,84	0,89
40	0,77	0,85
45	0,71	0,80
50	0,63	0,76
55	0,55	0,71
60	0,45	0,65
65	-	0,60
70	-	0,53
75	-	0,46
80	-	0,38

**Tabella F2.15** Fattore di correzione  $K_2$  per gruppi di circuiti (cavi unipolari) o di più cavi multipolari installati sullo stesso piano (da norma CEI-UNEL 35026)

**CAVI MULTIPOLARI IN TUBI PROTETTIVI INTERRATI (UN CAVO PER TUBO)**

Numero di cavi	Distanza tra tubi adiacenti (m)			
	a contatto	0,25	0,5	1
2	0,85	0,90	0,95	0,95
3	0,75	0,85	0,90	0,95
4	0,70	0,80	0,85	0,90
5	0,65	0,80	0,85	0,90
6	0,60	0,80	0,80	0,90

**CAVI UNIPOLARI IN TUBI PROTETTIVI INTERRATI (UN CAVO PER TUBO)**

Numero di cavi	Distanza tra tubi adiacenti (m)			
	a contatto	0,25	0,5	1
2	0,80	0,90	0,90	0,95
3	0,70	0,80	0,85	0,90
4	0,65	0,75	0,80	0,90
5	0,60	0,70	0,80	0,90
6	0,60	0,70	0,80	0,90

**Tabella F2.16** Fattore di correzione  $K_3$  per differenti valori della profondità di posa (da norma CEI-UNEL 35026)

Profondità di posa (m)	0,5	0,8	1	1,2	1,5
Fattore di correzione	1,02	1,00	0,98	0,96	0,94

**Tabella F2.17** Fattore di correzione  $K_4$  per differenti valori della resistività termica del terreno (da norma CEI-UNEL 35026)

Resistività del terreno (K m/W)	Fattore di correzione	
	Cavi unipolari	Cavi multipolari
1,0	1,08	1,06
1,2	1,05	1,04
1,5	1,00	1,00
2,0	0,90	0,91
2,5	0,82	0,84

**Tabelle 1: coefficienti correttivi della portata dei cavi Norma CEI-UNEL 35026**

Le sezioni scelte, sono state verificate anche dal punto di vista della sollecitazione termica in occasione di guasto, attraverso l'applicazione della relazione di seguito riportata:

$$S \geq (I \sqrt{t}) / K \quad (2)$$

dove:

- S è la sezione del cavo scelto;
- I è la corrente di cortocircuito trifase, pari a 12,5 kA;
- K è un coefficiente che dipende dal tipo di conduttore (rame o alluminio);
- t è il tempo di intervento del dispositivo di protezione, prudenzialmente assunto pari a 1 sec;

I risultati ottenuti vengono riportati nei successivi paragrafi.

## Descrizione generale dell'impianto

L'impianto fotovoltaico denominato Torre di lama 1, ha **una potenza di picco pari a 7371 kWp**, intesa come somma delle potenze nominali, valutate in condizioni STC, dei moduli fotovoltaici scelti in fase di progettazione definitiva e una **potenza nominale**, intesa come somma delle potenze nominali degli inverter scelti, pari a **6720 kW**.

L'impianto sarà suddiviso in due sottocampi fotovoltaici, di potenza pari a **4185 kWp e 3186 kWp** rispettivamente, per ognuno dei quali è prevista la realizzazione di un locale di conversione e trasformazione, all'interno del quale saranno installati gli inverter, i quadri elettrici di media e bassa tensione e i trasformatori MT/BT (N° 2 trasformatori per sottocampo).

Ciascuna cabina MT/BT verrà collegata al quadro elettrico generale di media tensione installato all'interno del locale Utente, adiacente alla cabina di consegna e-Distribuzione, attraverso una linea elettrica di media tensione in cavo interrato, come rappresentato nello schema a blocchi riportato nella figura sottostante:

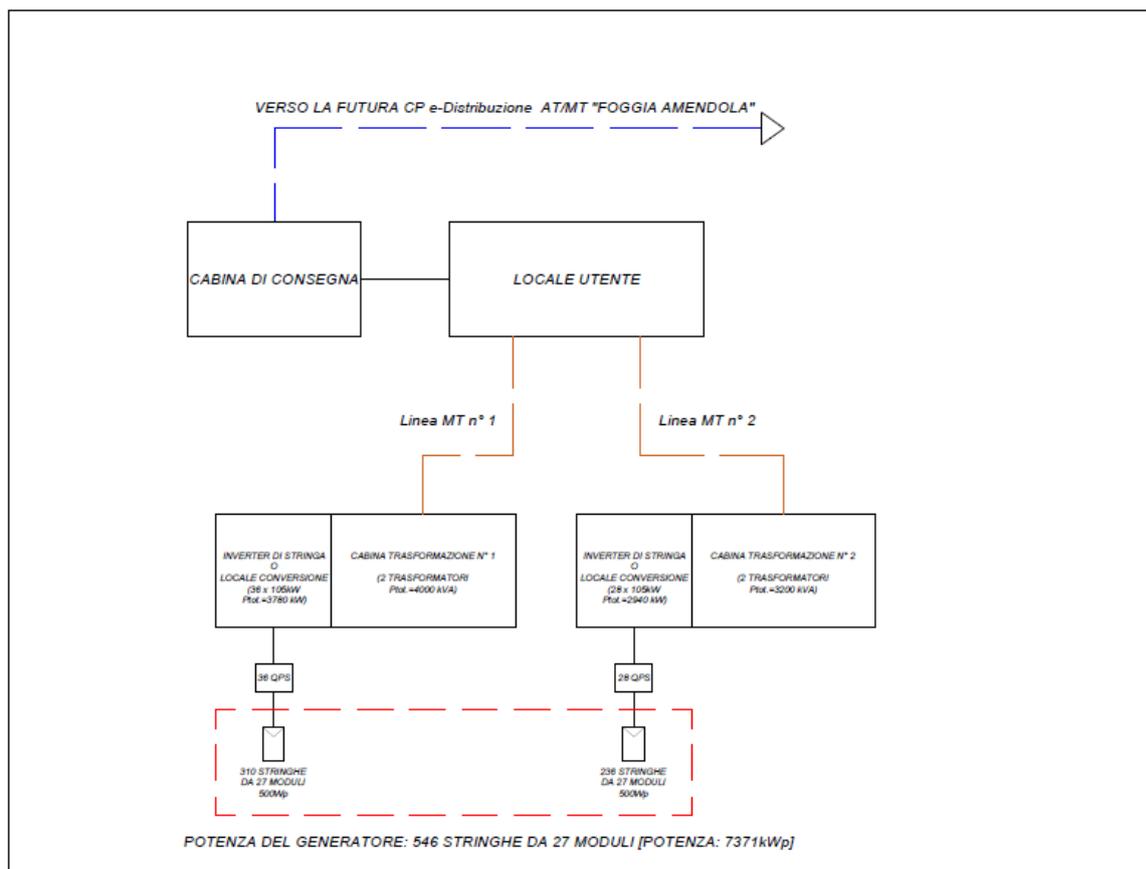
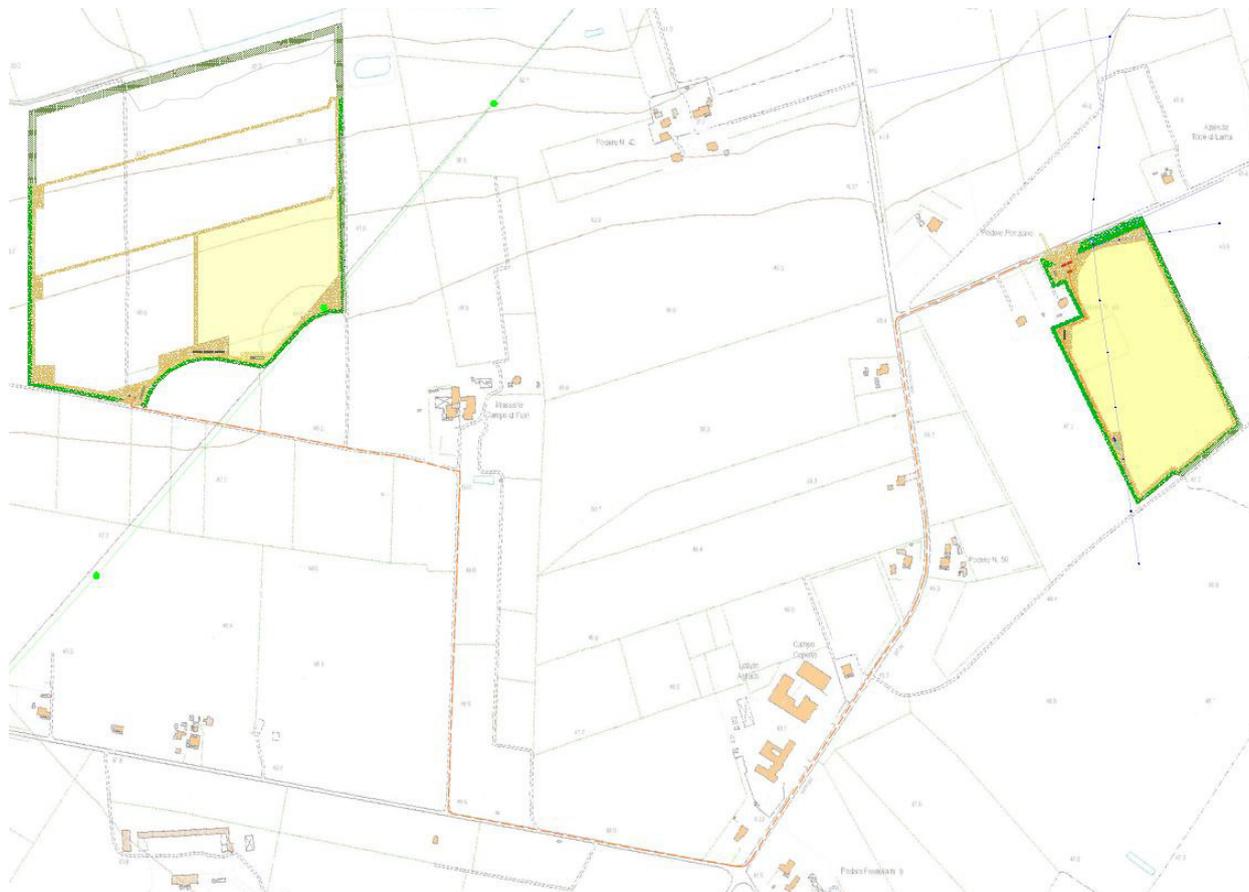
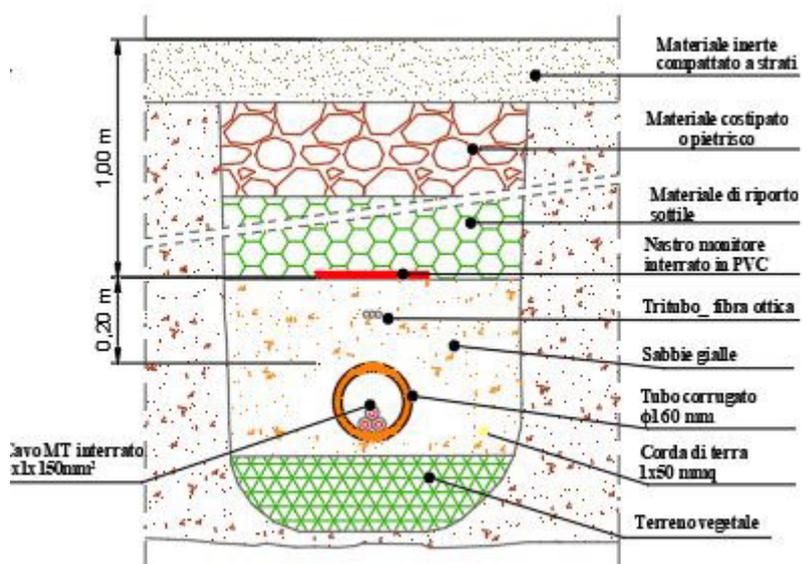


Figura 8: Schema a blocchi rappresentativo dell'impianto

Le linee elettriche verranno interrato ad una profondità di posa non inferiore a 1,2 m, e si svilupperanno secondo il tracciato indicato nella figura sottostante:



*Figura 9: Posizionamento cabine e tracciato cavidotto MT di Utenza - Torre di Lama 1*

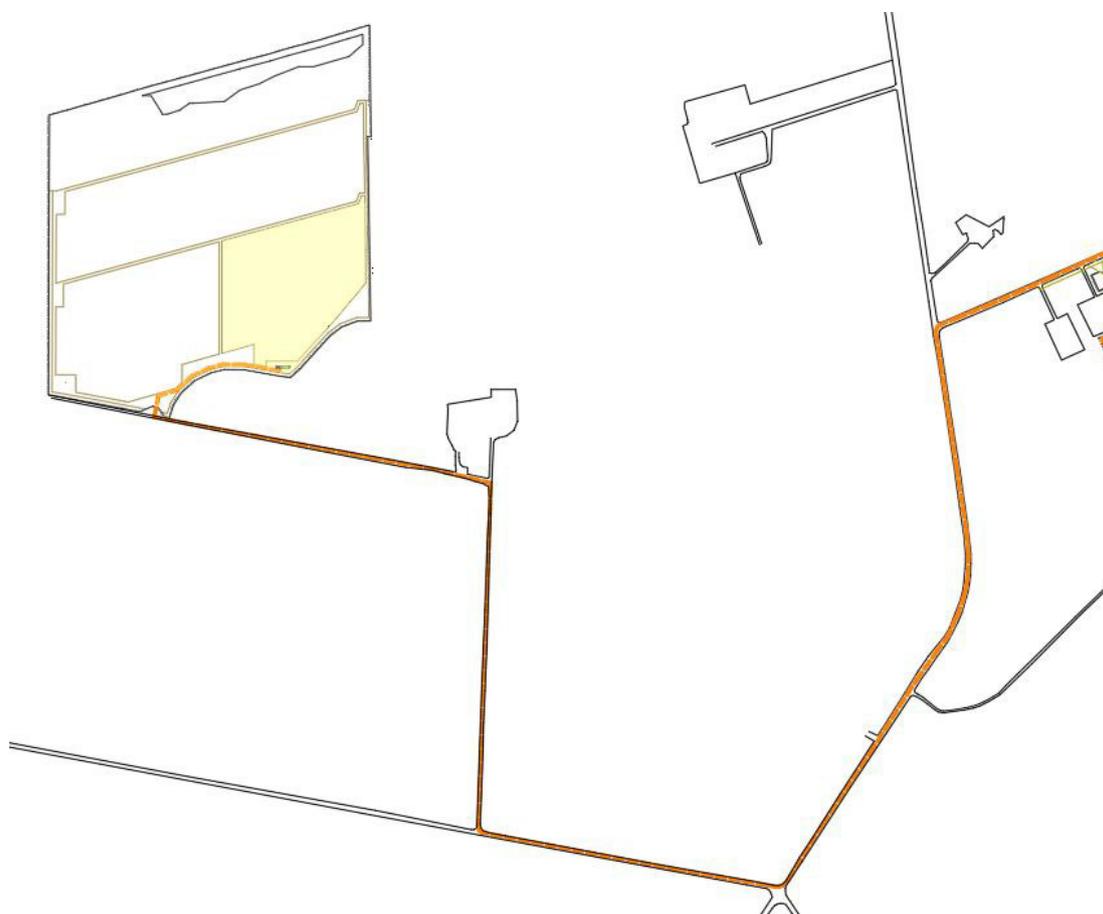


*Figura 10: Posa cavidotto MT di Utenza - Torre di Lama 1*

Per maggiori dettagli sull'architettura dell'impianto, si rimanda alle tavole di progetto "Schema elettrico Unifilare impianto di utenza – Torre di Lama 1" e "Planimetria distribuzione elettrica MT – Torre di Lama 1".

### **Dimensionamento linea MT n° 1**

Come facilmente riscontrabile dalle tavole di progetto allegate, la linea MT n° 1 in uscita dal locale utente, ha una lunghezza di circa 2,72 km e alimenta la cabina di trasformazione MT/BT n° 1, equipaggiata con due trasformatori MT/BT 20/0,8kV da 2000kVA:



*Figura 11 - Tracciato della linea MT n° 1*

Tenendo conto delle condizioni di posa previste dal progetto, considerando una corrente di impiego pari a circa 116 A ed applicando un fattore correttivo della portata che tiene conto della presenza di più circuiti nella stessa trincea pari a 0,85 (valido nel caso di cavi a contatto; gli altri fattori di correzione si assumono unitari dato che le condizioni di posa risultano standard), la prima sezione commerciale che consente di soddisfare la (1) e la (2) è quella da 150 mm<sup>2</sup>. Le caratteristiche elettriche del cavo scelto vengono riportate nella tabella seguente:

## CARATTERISTICHE ELETTRICHE

Nome	Capacità nominale [μF / km]	Reattanza di fase a 50 Hz a trifoglio [Ohm/km]	Massima resistenza el. del cond. a 20°C in c.c. [Ohm/km]	Resistenza el. del cond. a 90°C in c.a. - trifoglio [Ohm/km]	Portata di corrente cavi in aria a 30°C - trifoglio [A]	Portata di corrente cavi interrati a 20°C C - trifoglio [A]	Corrente di corto circuito nel conduttore 1s [kA]
ARE4H5E(X) 12/20 kV 50 mm <sup>2</sup> SK1	0,21	0,141	0,641	0,822	188	167	4,7
ARE4H5E(X) 12/20 kV 70 mm <sup>2</sup> SK1	0,235	0,133	0,443	0,568	231	205	6,6
ARE4H5E(X) 12/20 kV 95 mm <sup>2</sup> SK1	0,262	0,126	0,32	0,411	281	245	9
ARE4H5E(X) 12/20 kV 120 mm <sup>2</sup> SK1	0,288	0,121	0,253	0,325	325	279	11,3
ARE4H5E(X) 12/20 kV 150 mm <sup>2</sup> SK1	0,307	0,117	0,206	0,265	366	312	14,2
ARE4H5E(X) 12/20 kV 185 mm <sup>2</sup> SK1	0,333	0,113	0,164	0,211	421	353	17,5

*Tabella 2: Caratteristiche elettriche dei cavi MT scelti in fase di progettazione definitiva*

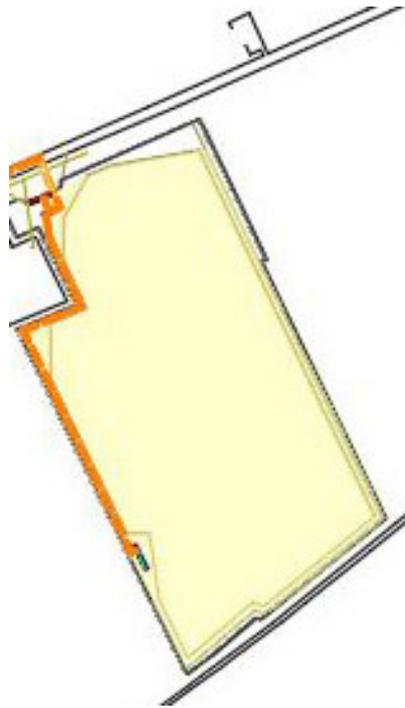
Le portate di corrente riportate nella tabella, sono state calcolate considerando:

- schermi metallici connessi tra loro e a terra ad entrambe le estremità;
- resistività termica del terreno 1,0 °C m/W;
- profondità di posa pari a 1,2m;
- cavi disposti a trifoglio.

Il cavo scelto, in condizioni di posa standard, ha una portata di 312 A mentre nelle condizioni di posa previste dal progetto, la sua portata si riduce a 265 A.

## Dimensionamento linea MT n° 2

Come facilmente riscontrabile dalle tavole di progetto allegate, la linea MT n° 2 in uscita dal locale utente, ha una lunghezza di circa 0,3 km e alimenta la cabina di trasformazione MT/BT n° 2, equipaggiata con due trasformatori MT/BT 20/0,8kV da 1600kVA.



*Figura 12 - Tracciato della linea MT n° 2*

Tenendo conto delle condizioni di posa previste dal progetto, considerando una corrente di impiego pari a circa 93 A ed applicando un fattore correttivo della portata che tiene conto della presenza di più circuiti nella stessa trincea pari a 0,85 (valido nel caso di cavi a contatto; gli altri fattori di correzione si assumono unitari dato che le condizioni di posa risultano standard), la prima sezione commerciale che consente di soddisfare la (1) e la (2) è quella da 150 mm<sup>2</sup>. Le caratteristiche elettriche del cavo scelto vengono riportate nella tabella seguente:

### CARATTERISTICHE ELETTRICHE

Nome	Capacità nominale [μF / km]	Reattanza di fase a 50 Hz a trifoglio [Ohm/km]	Massima resistenza el. del cond. a 20°C in c.c. [Ohm/km]	Resistenza el. del cond. a 90°C in c.a. - trifoglio [Ohm/km]	Portata di corrente cavi in aria a 30°C - trifoglio [A]	Portata di corrente cavi interrati a 20°C - trifoglio [A]	Corrente di corto circuito nel conduttore 1s [kA]
ARE4H5E(X) 12/20 kV 50 mm <sup>2</sup> SK1	0,21	0,141	0,641	0,822	188	167	4,7
ARE4H5E(X) 12/20 kV 70 mm <sup>2</sup> SK1	0,235	0,133	0,443	0,568	231	205	6,6
ARE4H5E(X) 12/20 kV 95 mm <sup>2</sup> SK1	0,262	0,126	0,32	0,411	281	245	9
ARE4H5E(X) 12/20 kV 120 mm <sup>2</sup> SK1	0,288	0,121	0,253	0,325	325	279	11,3
ARE4H5E(X) 12/20 kV 150 mm <sup>2</sup> SK1	0,307	0,117	0,206	0,265	366	312	14,2
ARE4H5E(X) 12/20 kV 185 mm <sup>2</sup> SK1	0,333	0,113	0,164	0,211	421	353	17,5

*Tabella 3: Caratteristiche elettriche dei cavi MT scelti in fase di progettazione definitiva*

Le portate di corrente riportate nella tabella, sono state calcolate considerando:

- schermi metallici connessi tra loro e a terra ad entrambe le estremità;
- resistività termica del terreno 1,0 °C m/W;
- profondità di posa pari a 1,2m;
- cavi disposti a trifoglio.

Il cavo scelto, in condizioni di posa standard, ha una portata di 312 A mentre nelle condizioni di posa previste dal progetto, la sua portata si riduce a 265 A.

## Calcolo delle cadute di tensione

Le sezioni scelte, oltre che dal punto di vista della sollecitazione termica prodotta in occasione di guasto, sono state verificate in termini di massima caduta di tensione.

In generale, in media tensione, la caduta di tensione non costituisce un problema, salvo casi particolari, perché le portate, e dunque le cadute di tensione in valore assoluto, sono simili a quelle in bassa tensione, mentre si riduce la caduta di tensione percentuale. Ciò nonostante, l'analisi è stata condotta ugualmente, al fine di dimostrare quanto affermato.

Per una linea elettrica trifase con un solo punto di alimentazione e carico di estremità, l'espressione che consente di valutare la caduta di tensione industriale è quella di seguito riportata:

$$\Delta V = \sqrt{3} (r L I \cos\varphi + x L I \sin\varphi) \quad (3)$$

dove:

- $\Delta V$  è la caduta di tensione in valore assoluto [V];
- $r$  è la resistenza elettrica del cavo [ $\Omega/\text{km}$ ];
- $x$  è la reattanza del cavo [ $\Omega/\text{km}$ ];
- $L$  è la lunghezza della linea [km];
- $I$  è il valore efficace della corrente di linea [A];
- $\cos\varphi$  è il fattore di potenza.

Particolarizzando la (3) per il caso in esame e tenendo conto delle ipotesi progettuali adottate, sono state calcolate le cadute di tensione nelle diverse linee MT, ottenendo i risultati riportati nella tabella seguente.

Descrizione	Tipologia di cavo	Sezione [mm <sup>2</sup> ]	Resistenza [ $\Omega/\text{km}$ ]	Reattanza [ $\Omega/\text{km}$ ]	Lunghezza [km]	Caduta di tensione [V]	Caduta di tensione %
Linea MT N° 1	ARE4H5EX 12/20kV	3x1x150	0,206	0,117	2,72	129	0,65
Linea MT N° 2	ARE4H5EX 12/20kV	3x1x150	0,206	0,117	0,3	11,4	0,06

*Tabella 4: Cadute di tensione linee MT Torre di Lama 1*