



REGIONE PUGLIA  
 PROVINCIA DI FOGGIA  
 COMUNI DI LUCERA e TROIA



PROGETTO IMPIANTO SOLARE AGRI-VOLTAICO DA  
 REALIZZARE NEL COMUNE DI LUCERA (FG) LOCALITA'  
 MONTARATRO, E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE NEL  
 COMUNE DI TROIA, DI POTENZA PARI A **75.490,24 kWp**,  
 DENOMINATO "LUCERA"

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE TECNICA DIMENSIONAMENTO CAVI



livello prog.	Codice Pratica STMG	N° elaborato	DATA	SCALA
PD	202000419	WUM6CC6_A17	22.03.2022	

REVISIONI

REV.	DATA	DESCRIZIONE	ESEGUITO	VERIFICATO	APPROVATO

RICHIEDENTE E PRODUTTORE



ENTE

PROGETTAZIONE



Viale Francesco Scaduto n°2/D - 90144 Palermo (PA)

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



Il Progettista

Il Progettista

**Impianto di produzione di energia elettrica da fonte energetica  
rinnovabile attraverso tecnologia fotovoltaica**

**denominato**

**“LUCERA”**

**Dimensionamento cavi a 36 kV e verifica della caduta di  
tensione**

## Sommario

1 Definizioni.....	3
2 Adempimenti e riferimenti normativi .....	4
3 Premessa .....	5
4 Criteri di dimensionamento dei cavi.....	9
5 Criterio di verifica .....	14
6 Dimensionamento e verifica delle linee di campo .....	16
7 Dimensionamento e verifica della dorsale a 36 kV di collegamento con la SE Terna .....	18
8 Criteri per l'individuazione del tracciato .....	24
9 Progettazione della canalizzazione.....	24

# 1 Definizioni

Ai fini del presente elaborato, oltre alle definizioni contenute nel Glossario dei termini del Codice di Rete e nella normativa di settore, si adottano specificatamente le seguenti:

- **Impianto di Rete per la connessione:** porzione di impianto per la connessione, di competenza del Gestore di rete, compreso tra il punto di inserimento sulla rete esistente e il punto di connessione;
- **Impianto di Utenza per la Connessione:** porzione di impianto per la connessione la cui realizzazione, gestione, esercizio e manutenzione rimangono di competenza dell'Utente;
- **Impianto per la Connessione:** insieme degli impianti di rete e di utenza necessari per la connessione alla rete di un Utente;
- **Impianto di Utenza:** impianto di produzione nella disponibilità dell'Utente;
- **Stazione Elettrica di Smistamento:** officina elettrica che consente di ripartire l'energia elettrica tra linee di una rete elettrica ad uno stesso livello di tensione;
- **Stazione Elettrica di Trasformazione:** officina elettrica che consente di trasferire l'energia elettrica tra reti a tensioni diverse;
- **Sottostazione Elettrica di Utenza:** officina elettrica di trasformazione di proprietà del Produttore che consente di trasformare la tensione del parco di generazione al valore del punto di connessione alla RTN;

## 2 Adempimenti e riferimenti normativi

Le norme amministrative che regolano il procedimento di autorizzazione per la costruzione di linee elettriche sotterranee sono le seguenti:

- Regio Decreto 11/12/1933 n° 1775 recante il "Testo unico delle disposizioni di legge sulle acque e sugli impianti elettrici";
- Legge Regionale, se vigente, in materia di autorizzazione per la costruzione di linee ed impianti elettrici fino a 150 kV.

Per quanto attiene l'aspetto tecnico le norme che disciplinano la progettazione, la costruzione e l'esercizio delle linee elettriche sotterranee della distribuzione sono:

- DM 24/11/1984 "Norme di sicurezza antincendio per il trasporto, la distribuzione, l'accumulo e l'utilizzazione del gas naturale con densità non superiore a 0,8";
- DM 21/03/1988 "Approvazione delle norme tecniche per la progettazione, l'esecuzione, e l'esercizio delle linee elettriche aeree esterne", limitatamente all'art. 2.1.17;
- D. Lgs. 285/92 "Codice della strada";
- DPR 16/12/92 n° 495 "Regolamento di esecuzione e di attuazione del nuovo Codice della strada";
- DPR 16/09/96 n° 610 "Regolamento recante modifiche al decreto del Presidente della Repubblica 16 dicembre 1992, n° 495, concernente il regolamento di esecuzione e di attuazione del nuovo Codice della strada";
- Direttiva della Presidenza del Consiglio dei Ministri - Dipartimento delle Aree Urbane 03/03/1999 "Sistemazione nel sottosuolo degli impianti tecnologici"
- Norma CEI 11-17 "Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione di energia elettrica - Linee in cavo";
- Norma CEI 11-46 "Strutture sotterranee polifunzionali per la coesistenza di servizi a rete diversi - Progettazione, costruzione, gestione e utilizzo - Criteri generali e di sicurezza";
- Norma CEI 11-47 "Impianti tecnologici sotterranei - Criteri generali di posa".
- Norma CEI EN 50086 2-4 "Sistemi di tubi ed accessori per installazioni elettriche Parte 2-4: Prescrizioni particolari per sistemi di tubi interrati".

### 3 Premessa

La Società “**HF SOLAR 7 S.r.l.**” intende realizzare, nel territorio comunale di Lucera (FG), un impianto di produzione di energia elettrica da fonte energetica rinnovabile, attraverso tecnologia fotovoltaica, integrato da attività agricola, da connettere alla Rete Elettrica di Trasmissione Nazionale RTN.

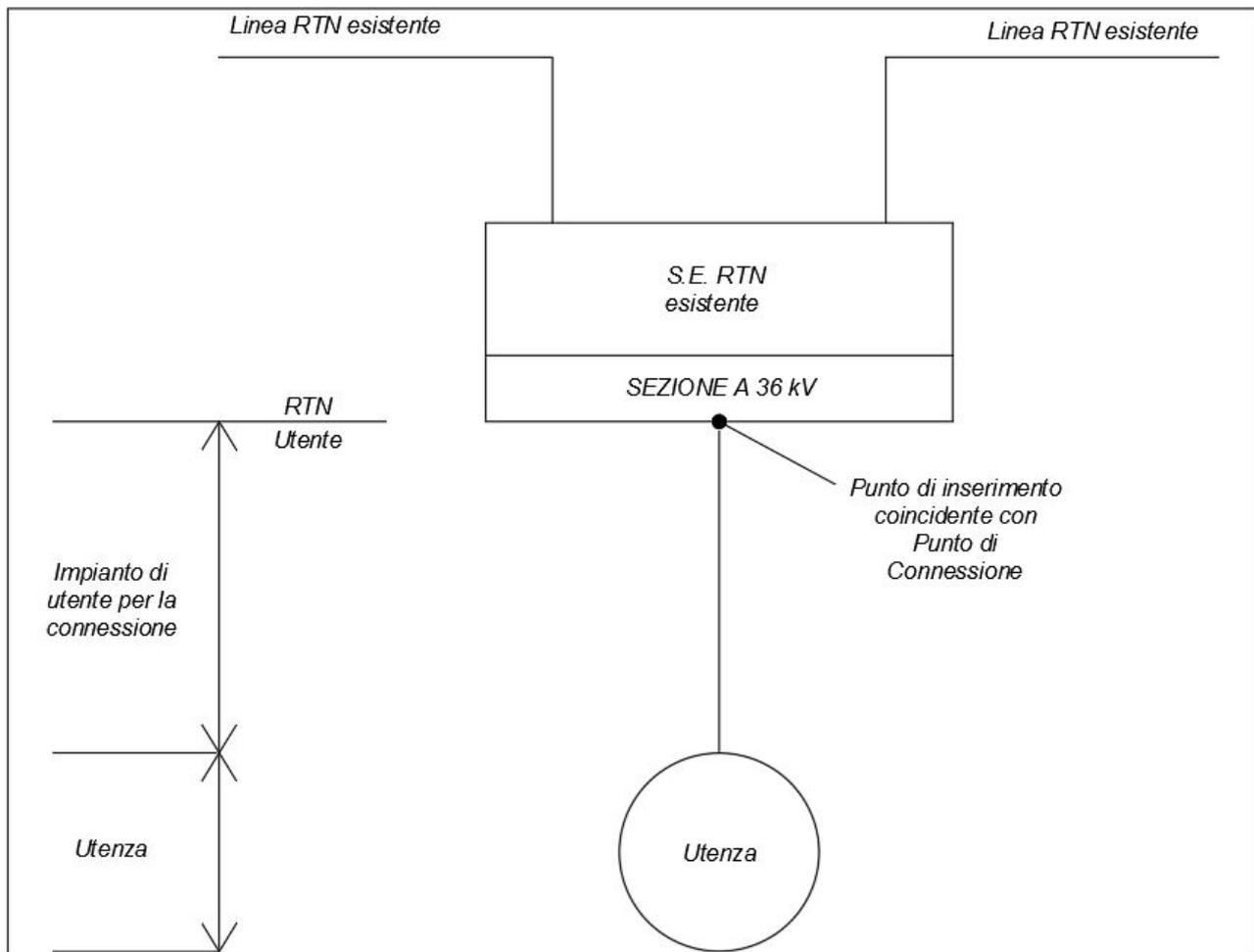
Come riscontrabile dalle tavole di progetto allegate, ed a cui si rimanda per maggiori dettagli, l’impianto di produzione risulta costituito da due sezioni denominate “**Plot 1 da 51.890,16 kWp**” e “**Plot 2 da 23.600,08 kWp**” per una potenza complessiva di **75.490,24 kWp**, le quali verranno realizzate in località Montaratro su lotti di terreno distinti al N.T.C. di Lucera Foglio 149, p.lle 313, 295, 56, 57, 58, 93, 94, 60, 67, 72, 274, 296, 316, 353, 356, 315, 70, 71, 373, 355, e F. 150 p.lle 32, 33, 34, 57 e 140.



**Figura 1: inquadramento area di impianto**

Lo schema di connessione alla Rete, prescritto dal Gestore della Rete Elettrica di Trasmissione Nazionale con preventivo di connessione ricevuto in data 15/06/2020 ed identificato con Codice Pratica 202000419, prevede che l’impianto venga collegato in antenna a 36 kV su un futuro ampliamento della Stazione Elettrica di Trasformazione 380/150/36 kV denominata “Troia”.

Per una maggiore comprensione di quanto descritto, viene riportato lo schema tipico di inserimento in antenna di un impianto di produzione con la sezione a 36 kV di una Stazione Elettrica esistente:



**Figura 2: impianto di produzione collegato in antenna con la sezione a 36 kV di una Stazione Elettrica Esistente**

Ai sensi dell'allegato A alla deliberazione Arg/elt/99/08 e s.m.i. dell'Autorità di Regolazione per Energia Elettrica, Reti e Ambiente, il nuovo elettrodotto a 36 kV per il collegamento della centrale alla citata SE costituisce "**Impianto di Utenza per la Connessione**", mentre lo stallo arrivo produttore nella suddetta stazione costituisce "**Impianto di Rete per la Connessione**". La restante parte di impianto, a valle dell'Impianto di Utenza per la Connessione, si configura, ai sensi della Norma CEI 0-16, come "**Impianto di Utenza**".



**Figura 3: inquadratura territoriale su ortofoto dell'area di impianto con indicazione del tracciato della dorsale a 36 kV di collegamento con la Stazione Elettrica di Trasformazione della RTN denominata Troia**

Considerando che l'impianto sarà sottoposto ad ***Iter di Procedura Unica Ambientale***, ai sensi del D.Lgs. n° 152 del 2006 e s.m.i. e ad ***Autorizzazione Unica***, ai sensi del D.Lgs. n° 387 del 2003 e s.m.i., la Società Proponente espletterà direttamente la procedura autorizzativa fino al conseguimento dell'autorizzazione, oltre che per l'impianto di produzione, anche per le Opere di Rete strettamente necessarie per la connessione alla RTN indicate nella "***Soluzione Tecnica Minima Generale di Connessione – STMG***" descritta nel preventivo di connessione sopra citato.

Il progetto dell'Impianto di Rete per la connessione, verrà elaborato in piena osservanza della "***Soluzione Tecnica Minima Generale***" e sottoposto al Gestore di Rete ai fini della verifica di congruità e rilascio del parere tecnico di rispondenza.

Nel presente elaborato, verranno illustrati i criteri applicati ai fini del "***dimensionamento e della verifica***"<sup>1</sup> dei cavi elettrici a 36 kV, facenti parte delle Opere di Utenza necessarie per la connessione alla RTN. In particolare l'analisi verrà condotta sia per le linee elettriche di campo<sup>2</sup> che per la dorsale

<sup>1</sup> Non conoscendo a priori il valore della resistività termica del terreno né la corrente di cortocircuito trifase netto in corrispondenza del punto di connessione, le sezioni scelte andranno verificate in fase di progettazione esecutiva, successivamente alla predisposizione del Regolamento di Esercizio.

<sup>2</sup> In questo contesto chiameremo linee elettriche di campo quelle che consentono di collegare i quadri elettrici a 36 kV delle Cabine Elettriche di Conversione e Trasformazione, con il quadro elettrico generale a 36 kV installato all'interno della Cabina di Raccolta.

di collegamento dell'impianto con lo stallo arrivo produttore a 36 kV della Stazione Elettrica di Trasformazione denominata Troia.

Considerando che il nuovo standard di connessione a 36 kV è stato ufficialmente introdotto a partire 20.10.2021, tenendo conto delle attuali difficoltà a reperire schede tecniche di componenti ed apparecchiature per applicazioni a 36 kV, ai fini del dimensionamento preliminare delle linee elettriche a 36 kV si è fatto riferimento ad un catalogo tecnico Prysmian relativo a cavi unipolari RG7H1RFR 26/45 kV, fermo restando che le scelte adottate subiranno delle modifiche migliorative in fase di progettazione esecutiva in funzione del progresso tecnologico.

---

## 4 Criteri di dimensionamento dei cavi

Ai fini del dimensionamento dei cavi è stato applicato 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 da progetto, sia almeno uguale alla corrente di impiego 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.

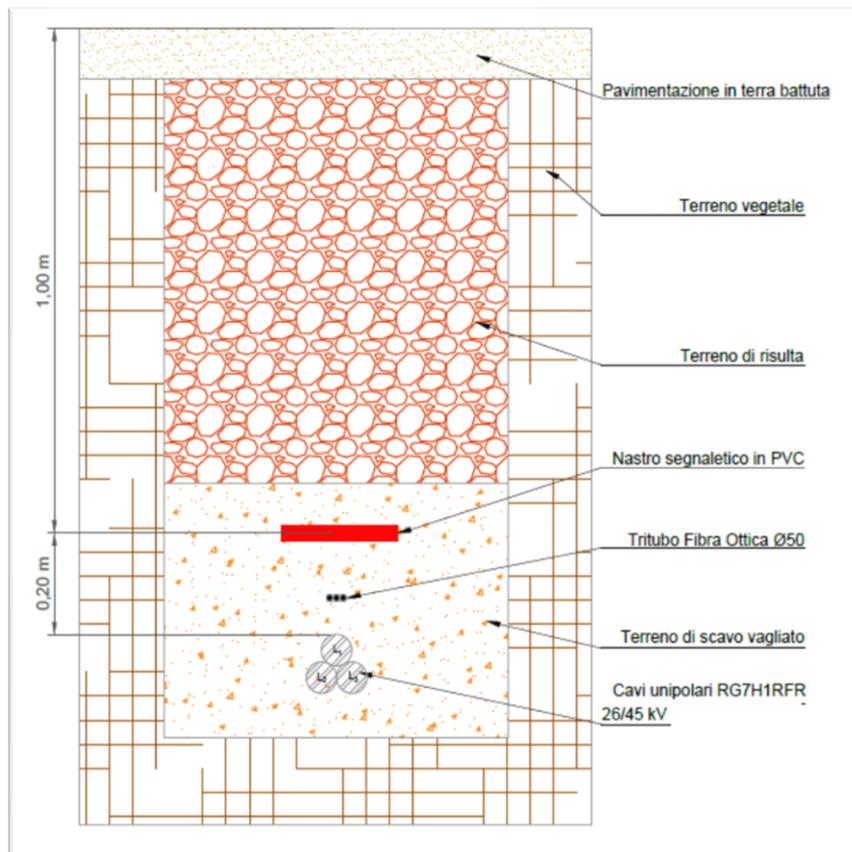
Considerando che le *linee di campo* si svilupperanno all'interno di un sito nella disponibilità del Produttore intercluso alla libera circolazione mentre la *dorsale* di collegamento con la sezione a 36 kV della Stazione Elettrica di Trasformazione della RTN denominata Troia si svilupperà prevalentemente su strada pubblica, ai fini del dimensionamento delle due tipologie di cavi sono state assunte condizioni di posa differenti, come di seguito indicato:

### Linee a 36 kV interne al campo

- 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  $20^\circ\text{C}$ ;
- cavi disposti a trifoglio;
- cavi posati direttamente nel terreno (posa diretta) senza protezione meccanica supplementare;
- massimo numero di circuiti presenti all'interno della stessa trincea di scavo<sup>3</sup> pari a 3.

---

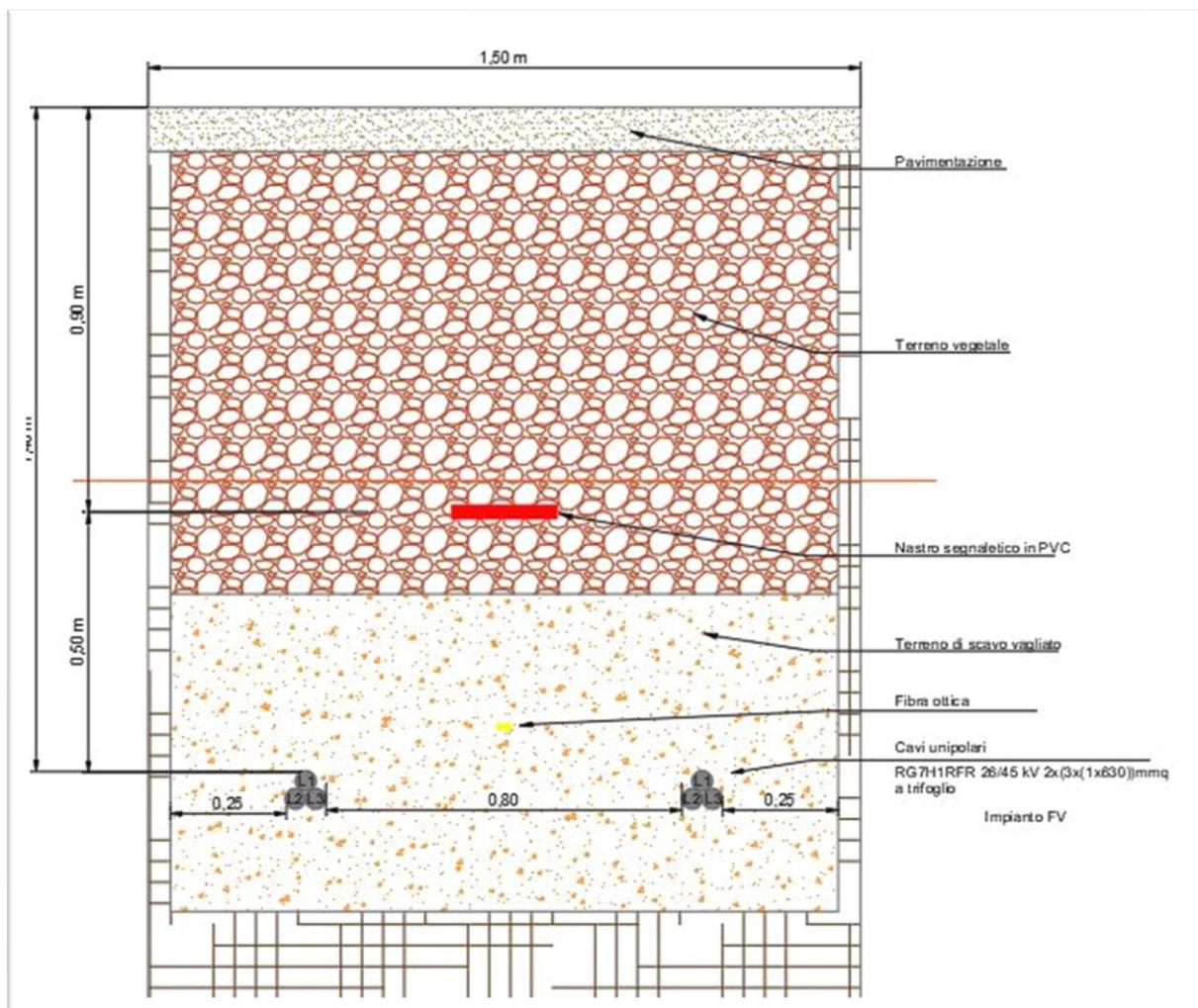
<sup>3</sup> Per la valutazione del coefficiente correttivo, è stato considerato il primo tratto della trincea di scavo nelle immediate vicinanze della cabina di raccolta, all'interno della quale sono previste 3 terne di cavo disposte, per le ipotesi di progetto adottate, ad una distanza di 0,25 m. Il valore del coefficiente, è stato ricavato dalla norma CEI 11-17, nell'ipotesi peggiorativa di installare i cavi all'interno di tubi protettivi. Per la posa diretta ipotizzata, il coefficiente correttivo risulterà meno restrittivo.



*Figura 4: tipico di posa cavi 36 kV interni al campo*

**Dorsale a 36 kV di collegamento con la Stazione Elettrica di Trasformazione denominata Troia**

- profondità di posa non inferiore a 1,4 m;
- resistività termica del terreno pari a  $1 \text{ } ^\circ\text{K m/W}$ ;
- temperatura di posa pari a  $20^\circ\text{C}$ ;
- cavi disposti a trifoglio;
- distanza tra le 2 terne pari a 0,80 m;
- cavi posati direttamente nel terreno (posa diretta) senza protezione meccanica supplementare;
- numero di circuiti presenti all'interno della stessa trincea di scavo pari a 2.



*Figura 5: tipico di posa dorale a 36 kV di collegamento con la SE Terna costituita da due terne di cavi in parallelo*

Come anticipato in premessa, per entrambe le tipologie di linee, in questa fase della progettazione, si è scelto di utilizzare cavi unipolari RG7H1RFR 26/45 kV adatti per posa interrata, le cui caratteristiche tecniche vengono di seguito riportate<sup>4</sup>:

<sup>4</sup> La scheda tecnica allegata, non costituisce un vincolo in quanto in fase di progettazione esecutiva si potrà fare riferimento ad altri Produttori di cavi in funzione del progresso tecnologico.

# RG7H1RFR EPRO-SETTE™



Unipolare da 1,8/3 kV a 26/45 kV  
Single core from 1,8/3 kV to 26/45 kV

**Norma di riferimento**  
CEI 20-13 (IEC 60840 per 26/45 kV)

**Descrizione del cavo**

**Anima**  
Conduttore a corda a fili di rame in accordo alla norma CEI 20-29, classe 2  
**Semiconduttivo interno**  
Elastomerico estruso (solo per cavi con tensione  $\geq 3,6/6$  kV)  
**Isolante**  
Miscela di gomma ad alto modulo G7  
**Semiconduttivo esterno**  
Elastomerico estruso (solo per cavi con tensione  $\geq 3,6/6$  kV) pelabile a freddo  
**Schermo metallico**  
Fili di rame e nastro equalizzatore di rame  
**Guaina di separazione**  
Miscela PVC  
**Armatura**  
Fili di alluminio  
**Guaina esterna**  
Miscela PVC, colore rosso  
**Marchatura**  
PRYSMIAN (\*) RG7H1RFR <tensione> <sezione> <anno>

(\*) Sito produttivo

Marchatura in rilievo ogni metro  
Marchatura metrica progressiva ad inchiostro

**Applicazioni**

I cavi possono essere forniti con caratteristiche di:  
- non propagazione dell'incendio e ridotta emissione di sostanze corrosive  
- ridottissima emissione di fumi opachi e gas tossici e assenza di gas corrosivi (AFUMEX).

**Standard**  
CEI 20-13 (IEC 60840 for 26/45 kV)

**Cable design**

**Core**  
Conductor: annealed stranded copper wires, according to IEC 60228, class 2  
**Inner semi-conducting layer**  
Extruded elastomeric compound (only for rated voltage  $\geq 3,6/6$  kV)  
**Insulation**  
High module rubber compound, G7 type  
**Outer semi-conducting layer**  
Extruded cold strippable elastomeric compound (only for rated voltage  $\geq 3,6/6$  kV)  
**Metallic screen**  
Copper tapes  
**Separation sheath**  
PVC compound  
**Armour**  
Aluminium wires  
**Over sheath**  
PVC compound, red colour  
**Marking**  
PRYSMIAN (\*) RG7H1RFR <rated voltage> <cross-section> <year>

(\*) Plant of production

Embossed marking each meter  
Meter marking by ink

**Applications**

Cables can be supplied with the following characteristics:  
- fire retardant and with low emission of corrosive substances  
- low emission of opaque smoke and toxic gases and without corrosive gases (AFUMEX).

TEMPERATURA FUNZIONAMENTO/ OPERATING TEMPERATURE	TEMPERATURA CIRCUITO CHIUSO/ SHORT CIRCUIT TEMPERATURE	CEI 20-13 EN 60228	RETI GRID
90°C	250°C		

**Condizioni di posa / Laying conditions**

TEMPERATURA MIN. DI POSA / MINIMUM INSTALLATION TEMPERATURE °C	ONALE INTERNO / INDOOR	TERZO E TERZO / UNDER GUT	ADRI L'ESTERNO / OVER AIR	QUARTI MONTATI INTERNO / UNDER PLANNED

Figura 6: scheda tecnica cavi RG7H1RFR

I cavi scelti, sono adatti per il trasporto di energia elettrica dalle cabine elettriche di trasformazione alla Stazione Elettrica della RTN e per essi, ai sensi dell'art.4.3.11 della norma CEI 11-18, è ammessa la posa interrata anche non protetta. Le loro portate, indicate dal Costruttore, sono state calcolate considerando:

- schermi metallici connessi tra loro e a terra ad entrambe le estremità;
- resistività termica del terreno  $1 \text{ } ^\circ\text{C m/W}$ ;
- profondità di posa: 1,20 m;
- disposizione a trifoglio.

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

$$I_B \leq I_Z = I_{Z0} K_1 K_2 K_3 K_4$$

dove:

- $I_B$  è la corrente di impiego del circuito [A];
- $I_Z$  è la portata del cavo nelle condizioni di posa previste dal progetto [A];
- $I_{Z0}$  è la portata del cavo in condizioni di posa standard, desumibile dalle schede tecniche fornite dai costruttori [A];
- $K_1$  è il fattore di correzione della portata per profondità di posa diversa da 1,20 m;
- $K_2$  è il fattore di correzione della portata da applicare nel caso in cui la temperatura di posa è diversa da  $20^\circ\text{C}$ ;
- $K_3$  è il fattore di correzione della portata da applicare nel caso in cui la resistività termica del terreno sia diversa da  $1 \text{ } ^\circ\text{C m/W}$ ;
- $K_4$  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.

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 11-17.

I risultati di calcolo ottenuti, vengono riportati nei successivi paragrafi.

## 5 Criterio di verifica

Le sezioni scelte, sono state verificate dal punto di vista della sollecitazione termica prodotta in occasione di cortocircuito.

Per garantire la protezione, è necessario che la temperatura raggiunta dal conduttore per effetto della sovracorrente non sia dannosa, come entità e durata, sia per l'isolamento che per altri materiali con cui il conduttore è a contatto.

Assumendo che il fenomeno termico conseguente al regime di sovracorrente sia di breve durata, in modo tale da potersi considerare di tipo adiabatico, ai fini del corretto dimensionamento della sezione è necessario che sia rispettata la seguente relazione:

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

dove:

- S è la sezione del cavo, in mm<sup>2</sup>;
- I è il valore efficace della corrente di cortocircuito permanente<sup>5</sup> (A), secondo la definizione di I<sub>k</sub> della Norma CEI 11-25;
- K è un coefficiente che dipende dal tipo di conduttore costituente il cavo;
- t è la durata della corrente di cortocircuito<sup>6</sup> (s).

Le sezioni scelte sono state verificate anche dal punto di vista della caduta di tensione, imponendo i seguenti valori massimi ammissibili:

- 7% per le linee dorsale;
- 2% per le linee di campo.

a mezzo dell'applicazione della seguente relazione per le linee di derivazione:

$$\Delta V = K_v [ r x \sum_{i=1}^n M i f^A + x x \sum_{i=1}^n M i q^A ]$$

dove:

- K<sub>v</sub> è un coefficiente che per le linee trifasi è pari a  $\sqrt{3}$ ;

---

<sup>5</sup> Non conoscendo il valore della corrente di cortocircuito in corrispondenza del punto di connessione alla Rete Elettrica di Trasmissione Nazionale, prudenzialmente è stata considerata una corrente di cortocircuito trifase netto in corrispondenza del punto di inserimento in rete pari a 16 kA e 12,5 kA in corrispondenza dei quadri a 36 kV delle cabine di raccolta.

<sup>6</sup> La durata della corrente di guasto dipende dal tempo di intervento del dispositivo di protezione; non potendo in questa fase della progettazione procedere con il coordinamento delle caratteristiche di intervento degli interruttori a protezione delle linee, prudenzialmente è stato considerato un valore massimo di 2 sec per gli interruttori installati in SE Terna e 1 sec per gli interruttori installati nei quadri elettrici generali delle cabine di raccolta.

- $r$  è la resistenza elettrica del cavo [ $\Omega/\text{km}$ ];
- $x$  è la reattanza del cavo [ $\Omega/\text{km}$ ];
- $n$  è il numero di cabine elettriche di trasformazione interconnesse;
- $\sum_{i=1}^n Mif^A$  è la somma dei momenti amperometrici in fase, valutati rispetto al punto di derivazione della linea a 36 kV dal quadro elettrico generale installato nella cabina di raccolta;
- $\sum_{i=1}^n Miq^A$  è la somma dei momenti amperometrici in quadratura, valutati rispetto al punto di derivazione della linea a 36 kV dal quadro elettrico generale installato nella cabina di raccolta;
- $A$  è il punto di derivazione della linea sopra menzionato.

mentre per la dorsale è stata applicata al seguente relazione:

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

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.

## 6 Dimensionamento e verifica delle linee di campo

Come facilmente riscontrabile dalle tavole di progetto allegare e dallo schema elettrico unifilare dell'impianto, a cui si rimanda per una maggiore comprensione di quanto descritto, il layout di impianto proposto, prevede n° 3 linee elettriche elettrificate a 36 kV, ciascuna delle quali interconnette, in entra-esce, un certo numero cabine elettriche di trasformazione secondo l'ordine di seguito indicato:

- Linea a 36 kV n° 1: interconnette le cabine di trasformazione 1, 2, 3 e 4;
- Linea a 36 kV n° 2: interconnette le cabine di trasformazione 5, 6 e 7;
- Linea a 36 kV n° 3: interconnette le cabine di trasformazione 8, 9 e 10.

Considerando che i trasformatori di potenza scelti hanno una potenza nominale pari a 3.150 kVA, applicando il criterio di dimensionamento esposto al paragrafo 4 e i criteri di verifica illustrati al paragrafo 5, sono state individuate le sezioni commerciali da adottare. I risultati ottenuti vengono riportati nella tabella seguente:

Denominazione linea	Lunghezza [km]	N° di trasformatori interconnessi	I <sub>B</sub> [A]	Numero di circuiti presenti nella stessa trincea di scavo <sup>7</sup>	Fattore correttivo K <sub>4</sub>	Formazione	I <sub>z</sub> [A]	ΔV%
Linea 36 kV n° 1	1,37	8	405	3	0,8	3x(1x400)mm <sup>2</sup>	472	< 2%
Linea 36 kV n° 2	1,53	6	304	3	0,8	3x(1x240)mm <sup>2</sup>	387	< 2%
Linea 36 kV n° 3	1,555	6	304	3	0,8	3x(1x240)mm <sup>2</sup>	387	< 2%

*Tabella 1: riepilogo risultati di dimensionamento e verifica linee a 36 kV interne al campo*

I valori di resistenza e di reattanza presi in considerazione ai fini del calcolo delle cadute di tensione sono deducibili dalle schede tecniche di seguito riportate:

---

<sup>7</sup> Ai fini del dimensionamento elettrico si è fatto riferimento al primo tratto di trincea di scavo, in prossimità di ciascuna delle due cabine di raccolta, dove è prevista la posa di due terne di cavi.

sezione nominale conductor cross-section (mm <sup>2</sup> )	CAVI UNIPOLARI conduttore in rame - alluminio								CAVI UNIPOLARI conduttore in rame - alluminio tutte le tensioni		CAVI TRIPOLARI conduttore in rame - alluminio tutte le tensioni	
	SINGLE CORE CABLES copper-aluminium conductor				SINGLE CORE CABLES copper-aluminium conductor any rated voltage				SINGLE CORE CABLES copper-aluminium conductor any rated voltage		THREE CORE CABLES copper-aluminium conductor any rated voltage	
	1,8/3 kV - 3,6/6 kV (Ω/km)		6/10 kV - 8,7/15 kV (Ω/km)		12/20 kV - 18/30 kV (Ω/km)		26/45 kV (Ω/km)		(Ω/km)		(Ω/km)	
	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al
10	2,330	3,9100	2,3300	3,9100	-	-	-	-	2,330	3,9100	2,3300	3,9100
16	1,470	2,4700	1,4700	2,4700	-	-	-	-	1,470	2,4700	1,4700	2,4700
25	0,929	1,5600	0,9290	1,5600	0,9290	1,5600	-	-	0,929	1,5600	0,9270	1,5600
35	0,670	1,1200	0,6710	1,1300	0,6710	1,1300	-	-	0,670	1,1300	0,6690	1,1200
50	0,495	0,8320	0,4950	0,8320	0,4950	0,8320	-	-	0,495	0,8320	0,4940	0,8320
70	0,347	0,5830	0,3440	0,5800	0,3440	0,5800	0,3440	0,5800	0,344	0,5800	0,3430	0,5760
95	0,248	0,4160	0,2480	0,4160	0,2480	0,4160	0,2480	0,4160	0,248	0,4160	0,2470	0,4150
120	0,198	0,3330	0,1980	0,3330	0,1980	0,3330	0,1980	0,3330	0,198	0,3330	0,1960	0,3290
150	0,161	0,2700	0,1610	0,2700	0,1610	0,2700	0,1610	0,2700	0,161	0,2700	0,1600	0,2690
185	0,130	0,2180	0,1300	0,2180	0,1300	0,2180	0,1300	0,2180	0,130	0,2180	0,1290	0,2170
240	0,0984	0,1650	0,0983	0,1650	0,0982	0,1650	0,0981	0,1650	0,100	0,1680	0,1000	0,1680
300	0,0789	0,1320	0,0788	0,1320	0,0787	0,1320	0,0786	0,1320	0,081	0,1360	0,0800	0,1340
400	0,0625	0,1050	0,0624	0,1050	0,0623	0,1050	0,0622	0,1050	0,065	0,1090	0,0650	0,1090
500	0,0496	0,0833	0,0494	0,0830	0,0493	0,0828	0,0491	0,0825	0,053	0,0890	0,0536	0,0900
630	0,0396	0,0665	0,0394	0,0662	0,0393	0,0662	0,0391	0,0657	0,044	0,0739	-	-

#### Reattanza di fase a 50 Hz / Phase reactance at 50 Hz

sezione nominale conductor cross-section (mm <sup>2</sup> )	CAVI UNIPOLARI (VALORI MEDI)						
	SINGLE CORE CABLES (AVERAGE VALUES)						
	1,8/3 kV (Ω/km)	3,6/6 kV (Ω/km)	6/10 kV (Ω/km)	8,7/15 kV (Ω/km)	12/20 kV (Ω/km)	18/30 kV (Ω/km)	26/45 kV (Ω/km)
10	0,19	0,20	0,21	-	-	-	-
16	0,18	0,19	0,20	0,21	-	-	-
25	0,18	0,18	0,19	0,20	0,21	-	-
35	0,17	0,18	0,19	0,19	0,20	0,21	-
50	0,16	0,17	0,18	0,19	0,19	0,20	-
70	0,16	0,17	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21
95	0,16	0,16	0,17	0,17	0,18	0,19	0,20
120	0,15	0,16	0,16	0,17	0,18	0,18	0,19
150	0,15	0,16	0,16	0,17	0,17	0,18	0,19
185	0,15	0,15	0,16	0,16	0,17	0,18	0,18
240	0,14	0,15	0,16	0,16	0,16	0,17	0,18
300	0,14	0,15	0,15	0,16	0,16	0,17	0,17
400	0,14	0,15	0,15	0,15	0,16	0,16	0,17
500	0,14	0,14	0,15	0,15	0,15	0,16	0,17
630	0,14	0,14	0,15	0,15	0,15	0,16	0,16

Figura 7: resistenza e reattanza cavi elettrici in rame RG7H1RFR

## 7 Dimensionamento e verifica della dorsale a 36 kV di collegamento con la SE Terna

La dorsale a 36 kV in cavo interrato, consentirà di collegare l'impianto di produzione in antenna con la sezione a 36 kV della Stazione Elettrica di Trasformazione della RTN denominata Troia:



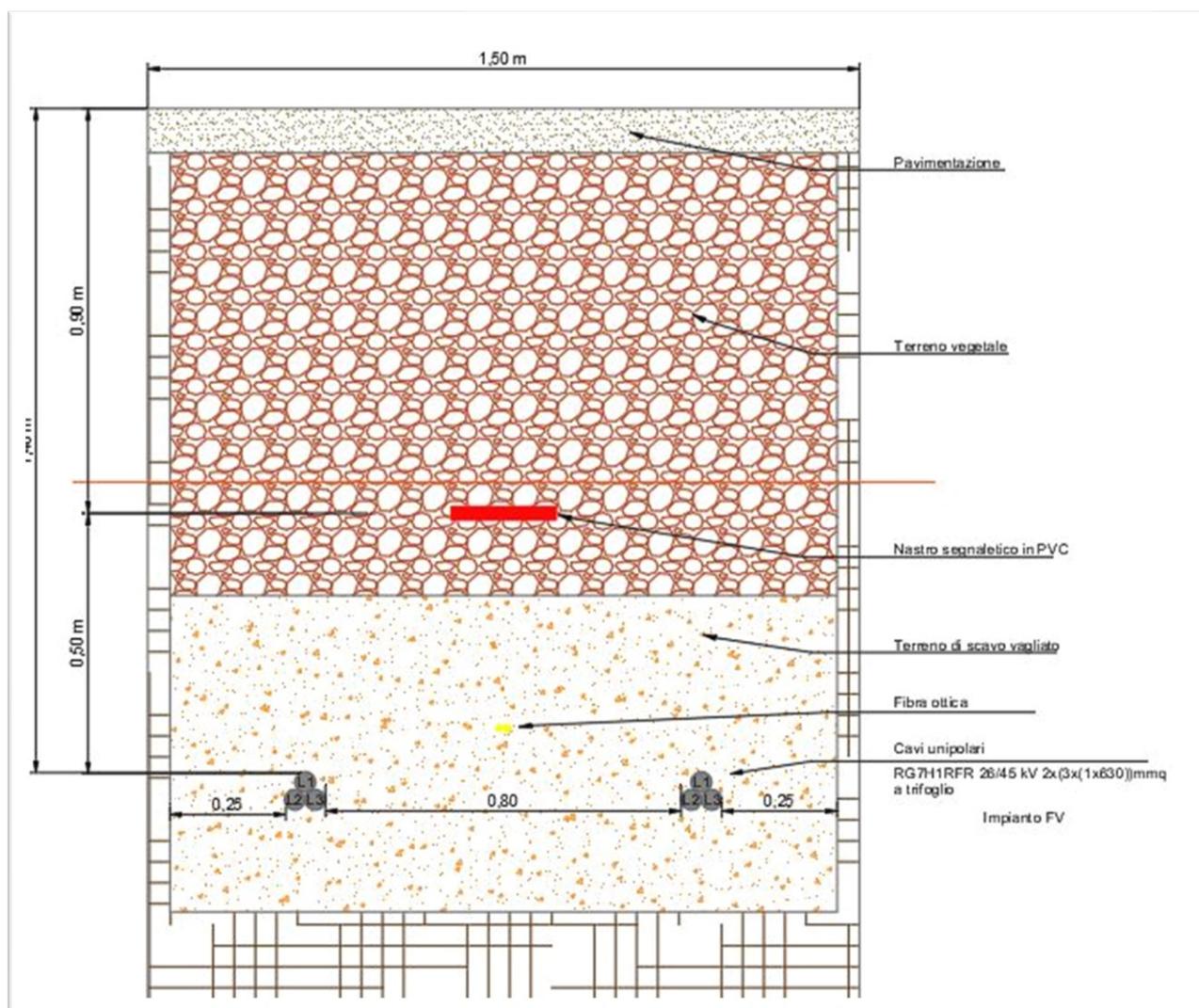
*Figura 8: inquadratura territoriale su ortofoto dell'area di impianto con indicazione del tracciato della dorsale a 36 kV di collegamento con la Stazione Elettrica di Trasformazione della RTN denominata Troia*

La linea è stata dimensionata in funzione della potenza nominale della sezione di generazione, pari alla somma delle potenze nominali di gruppi di conversione ivi previsti, assumendo un fattore di contemporaneità  $F_{co}$  unitario. Ai fini del calcolo della caduta di tensione è stato ipotizzato un funzionamento a fattore di potenza<sup>8</sup>  $\cos\varphi = 0,8$ .

Analogamente a quanto previsto per le linee interne al campo, anche per la dorsale è stata considerata la disposizione delle fasi a trifoglio. Tuttavia, considerando che essa si svilupperà su strada pubblica, al fine di ridurre il livello di induzione magnetica generata durante l'esercizio a livello del suolo, è stata ipotizzata una profondità di posa non inferiore a 1,40 m ed una distanza tra le due terne di 0,80 m:

---

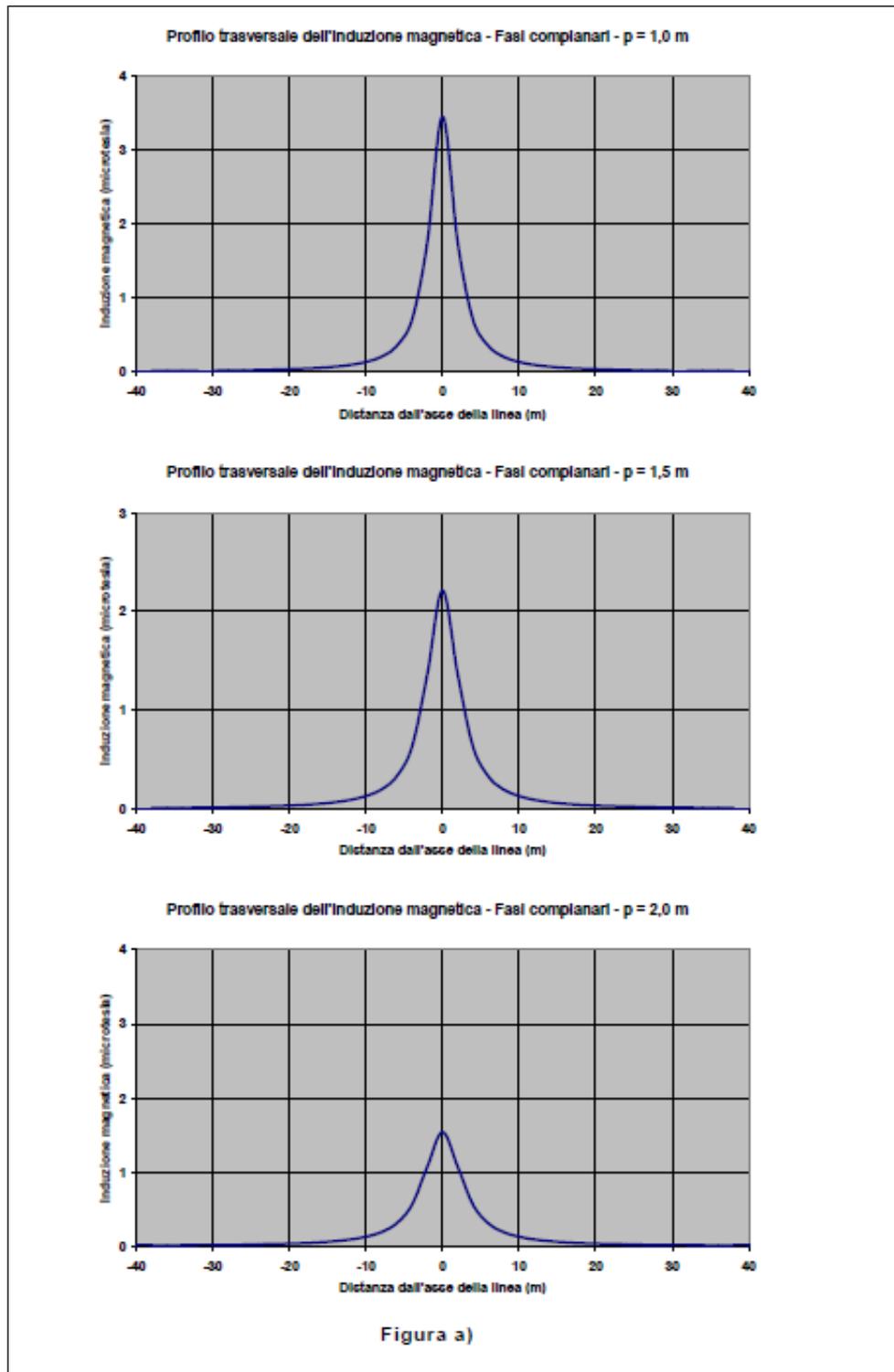
<sup>8</sup> Per il calcolo della caduta di tensione è stato considerato il fattore di potenza nominale degli inverter centralizzati.



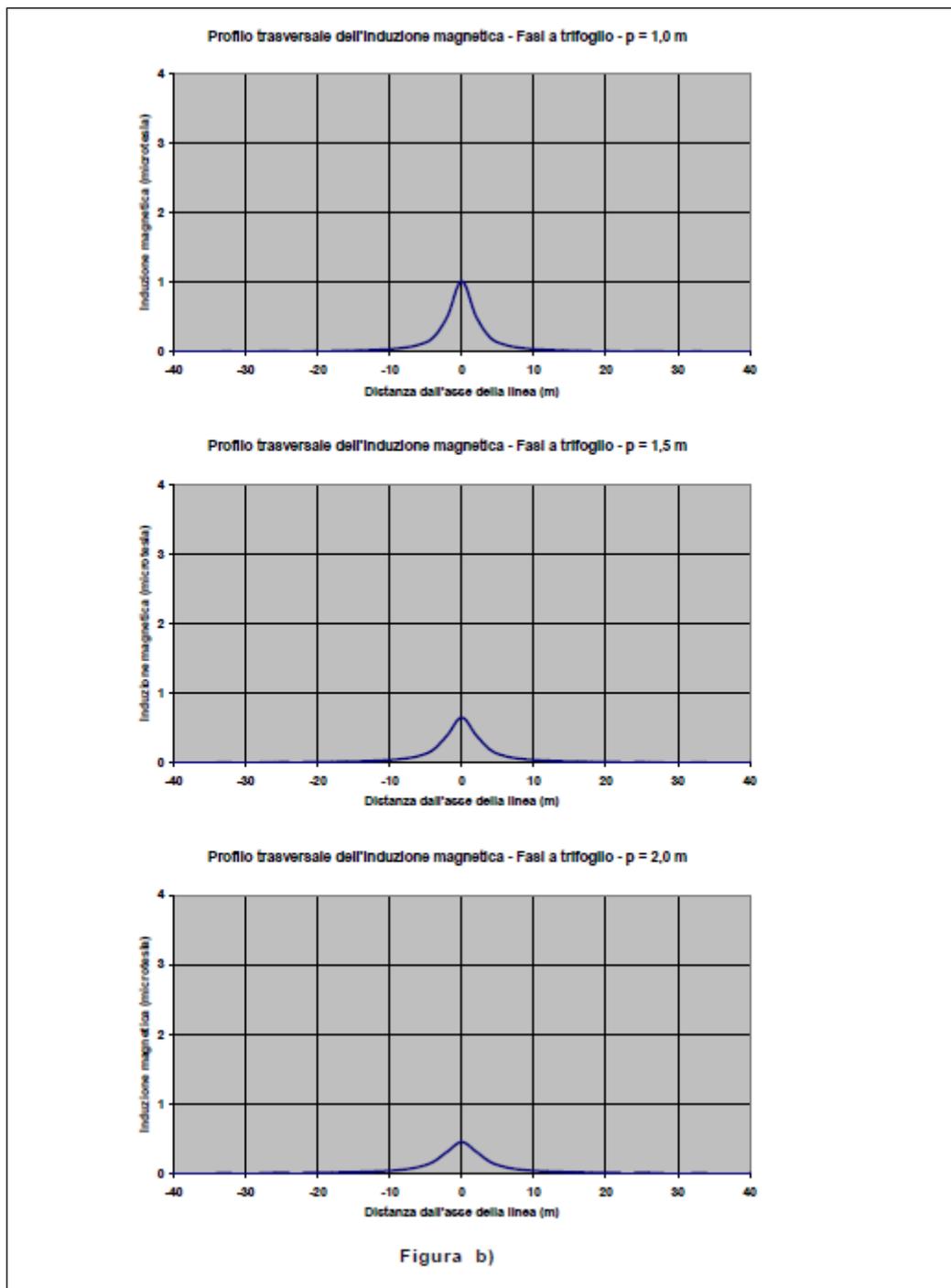
**Figura 9: particolare di posa dorsale a 36 kV**

Il profilo trasversale del campo magnetico generato dalle linee elettriche in cavo interrato, misurato ad 1,00 m dal piano di calpestio, ha infatti un andamento del tipo rappresentato nelle figure seguenti, dove:

- le curve della figura a si riferiscono a linee trifasi con conduttori distanziati tra loro di 0,20 m posati rispettivamente a 1,00 m, 1,50 m e 2,00 m di profondità, paralleli tra loro e alla superficie di calpestio. La corrente di ogni fase è di 200 A;
- le tre curve di figura b sono riferite a linee con fasi disposte a trifoglio e distanti tra loro 0,05 m con profondità di posa per fase di cui alla precedente figura.



**Figura 10:** andamento del Campo Induzione Magnetica generata a livello del suolo sulla verticale del cavo – linea trifase con conduttori distanziati di 0,20 m posati rispettivamente a 1,00 m, 1,50 m e 2,00 m di profondità, paralleli tra loro e alla superficie di calpestio; corrente di ogni fase pari a 200 A.



**Figura 11:** andamento del Campo Induzione Magnetica generata a livello del suolo sulla verticale del cavo – linea trifase con conduttori distanziati di 0,50 m posati rispettivamente a 1,00 m, 1,50 m e 2,00 m di profondità, paralleli tra loro e alla superficie di calpestio; corrente di ogni fase pari a 200 A.

Analizzando i grafici sopra rappresentati, si nota che l'intensità del campo magnetico generato decresce rapidamente con la distanza e che l'incremento della profondità di posa e l'avvicinamento delle fasi e la loro disposizione a trifoglio, a parità di altre condizioni, attenua il campo.

Considerando che i gruppi di conversione scelti hanno una potenza nominale pari a 3.000 kVA, applicando il criterio di dimensionamento esposto al paragrafo 4 e i criteri di verifica illustrati al paragrafo 5, è stata individuata la sezione commerciale da adottare. Il risultato ottenuto viene riportato nella tabella seguente:

Denominazione linea	Lunghezza [km]	N° di gruppi di conversione sottesi	I <sub>B</sub> [A]	Numero di circuiti presenti nella stessa trincea di scavo	Fattore correttivo K <sub>1</sub>	Fattore correttivo K <sub>4</sub>	Formazione	I <sub>z</sub> [A]	ΔV%
Dorsale 36 kV	14,5	20	963	2	0,94	0,95	2x[3x(1x630)]mm <sup>2</sup>	1253	≤ 7%

**Tabella 2: riepilogo dei risultati di dimensionamento e verifica della dorsale a 36 kV di collegamento con la futura sezione a 36 kV della Stazione Elettrica di Trasformazione denominata Troia**

I valori di resistenza e di reattanza presi in considerazione ai fini del calcolo delle cadute di tensione sono deducibili dalle schede tecniche di seguito riportate:

sezione nominale conductor cross-section (mm <sup>2</sup> )	CAVI UNIPOLARI conduttore in rame - alluminio								CAVI UNIPOLARI conduttore in rame - alluminio tutte le tensioni		CAVI TRIPOLARI conduttore in rame - alluminio tutte le tensioni	
	SINGLE CORE CABLES copper-aluminium conductor								SINGLE CORE CABLES copper-aluminium conductor any rated voltage		THREE CORE CABLES copper-aluminium conductor any rated voltage	
	1,8/3 kV - 3,6/6 kV (Ω/km)		6/10 kV - 8,7/15 kV (Ω/km)		12/20 kV - 18/30 kV (Ω/km)		26/45 kV (Ω/km)		(Ω/km)		(Ω/km)	
	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al
10	2,330	3,9100	2,3300	3,9100	-	-	-	-	2,330	3,9100	2,3300	3,9100
16	1,470	2,4700	1,4700	2,4700	-	-	-	-	1,470	2,4700	1,4700	2,4700
25	0,929	1,5600	0,9290	1,5600	0,9290	1,5600	-	-	0,929	1,5600	0,9270	1,5600
35	0,670	1,1200	0,6710	1,1300	0,6710	1,1300	-	-	0,670	1,1300	0,6690	1,1200
50	0,495	0,8320	0,4950	0,8320	0,4950	0,8320	-	-	0,495	0,8320	0,4940	0,8320
70	0,347	0,5830	0,3440	0,5800	0,3440	0,5800	0,3440	0,5800	0,344	0,5800	0,3430	0,5760
95	0,248	0,4160	0,2480	0,4160	0,2480	0,4160	0,2480	0,4160	0,248	0,4160	0,2470	0,4150
120	0,198	0,3330	0,1980	0,3330	0,1980	0,3330	0,1980	0,3330	0,198	0,3330	0,1960	0,3290
150	0,161	0,2700	0,1610	0,2700	0,1610	0,2700	0,1610	0,2700	0,161	0,2700	0,1600	0,2690
185	0,130	0,2180	0,1300	0,2180	0,1300	0,2180	0,1300	0,2180	0,130	0,2180	0,1290	0,2170
240	0,0984	0,1650	0,0983	0,1650	0,0982	0,1650	0,0981	0,1650	0,100	0,1680	0,1000	0,1680
300	0,0789	0,1320	0,0788	0,1320	0,0787	0,1320	0,0786	0,1320	0,081	0,1360	0,0800	0,1340
400	0,0625	0,1050	0,0624	0,1050	0,0623	0,1050	0,0622	0,1050	0,065	0,1090	0,0650	0,1090
500	0,0496	0,0833	0,0494	0,0830	0,0493	0,0828	0,0491	0,0825	0,053	0,0890	0,0536	0,0900
630	0,0396	0,0665	0,0394	0,0662	0,0393	0,0662	0,0391	0,0657	0,044	0,0739	-	-

### Reattanza di fase a 50 Hz / Phase reactance at 50 Hz

sezione nominale conductor cross-section (mm <sup>2</sup> )	CAVI UNIPOLARI (VALORI MEDI)						
	SINGLE CORE CABLES (AVERAGE VALUES)						
	1,8/3 kV (Ω/km)	3,6/6 kV (Ω/km)	6/10 kV (Ω/km)	8,7/15 kV (Ω/km)	12/20 kV (Ω/km)	18/30 kV (Ω/km)	26/45 kV (Ω/km)
10	0,19	0,20	0,21	-	-	-	-
16	0,18	0,19	0,20	0,21	-	-	-
25	0,18	0,18	0,19	0,20	0,21	-	-
35	0,17	0,18	0,19	0,19	0,20	0,21	-
50	0,16	0,17	0,18	0,19	0,19	0,20	-
70	0,16	0,17	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21
95	0,16	0,16	0,17	0,17	0,18	0,19	0,20
120	0,15	0,16	0,16	0,17	0,18	0,18	0,19
150	0,15	0,16	0,16	0,17	0,17	0,18	0,19
185	0,15	0,15	0,16	0,16	0,17	0,18	0,18
240	0,14	0,15	0,16	0,16	0,16	0,17	0,18
300	0,14	0,15	0,15	0,16	0,16	0,17	0,17
400	0,14	0,15	0,15	0,15	0,16	0,16	0,17
500	0,14	0,14	0,15	0,15	0,15	0,16	0,17
630	0,14	0,14	0,15	0,15	0,15	0,16	0,16

Figura 12: resistenza cavi elettrici in rame RG7H1RFR

## **8 Criteri per l'individuazione del tracciato**

La progettazione della linea in cavo è stata improntata a criteri di sicurezza, sia per quanto attiene le modalità di realizzazione sia per quanto concerne la compatibilità in esercizio con le opere interferite. La progettazione ha inoltre mirato all'ottimizzazione del tracciato di posa in funzione del costo del cavo in opera, tenendo in considerazione la riduzione dei tempi e dei costi di realizzazione.

Per definire dettagliatamente il tracciato di posa, è stato necessario:

- rilevare, interpellando i proprietari interessati, la posizione degli altri servizi esistenti nel sottosuolo, quali: tubazioni di gas, acquedotti, cavi elettrici, cavi telefonici, fognature ec..;
- verificare la transitabilità dei macchinari.

Inoltre, come riscontrabile dalle tavole di progetto allegate, le occupazioni longitudinali saranno realizzate nelle fasce di pertinenza stradale, al di fuori della carreggiata e alla massima distanza dal margine della stessa.

## **9 Progettazione della canalizzazione**

Per canalizzazione si intende l'insieme del canale, delle protezioni e degli accessori indispensabili per la realizzazione di una linea in cavo sotterraneo (trincea, riempimenti, protezione, segnaletica).

La materia è disciplinata, eccezione fatta per i riempimenti, dalla Norma CEI 11-17. In particolare detta Norma stabilisce che l'integrità dei cavi deve essere garantita da una robusta protezione meccanica supplementare, in grado di assorbire, senza danni per il cavo stesso, le sollecitazioni meccaniche, statiche e dinamiche, derivanti dal traffico veicolare e dagli abituali attrezzi manuali di scavo.

La Norma stabilisce inoltre che protezione meccanica supplementare non è necessaria nel caso di cavi posati ad una profondità di posa maggiore di 1,70 m o nel caso di cavi cosiddetti airbag.

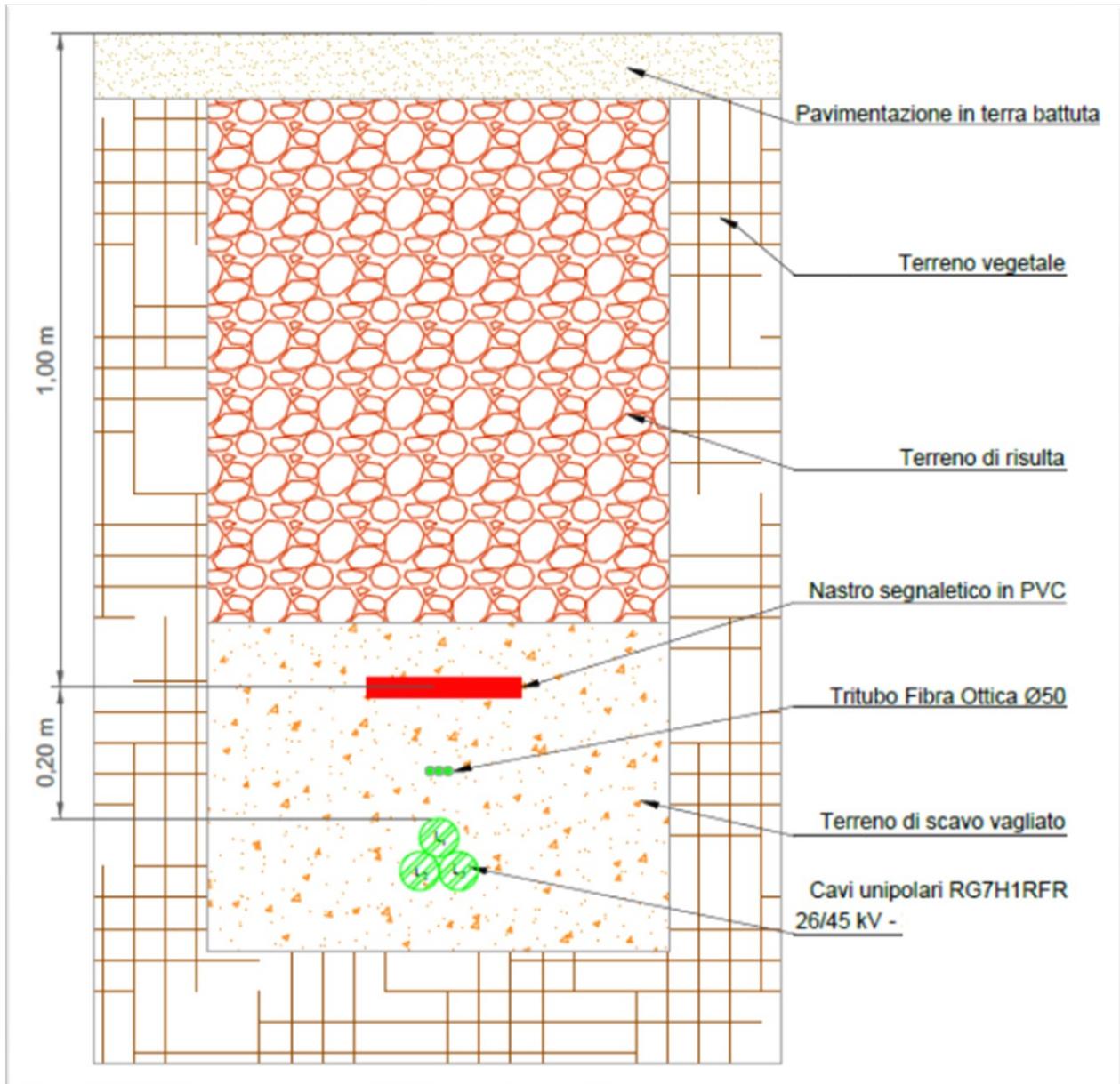
La profondità minima di posa per le strade ad uso pubblico è fissata dal Nuovo Codice della Strada ad 1 m dall'estradosso della protezione; per tutti gli altri suoli e le strade ad uso privato valgono i seguenti valori, dal piano di appoggio del cavo, stabiliti dalla Norma CEI 11-17:

- 0,6 m su terreno privato;
- 0,8 m su terreno pubblico.

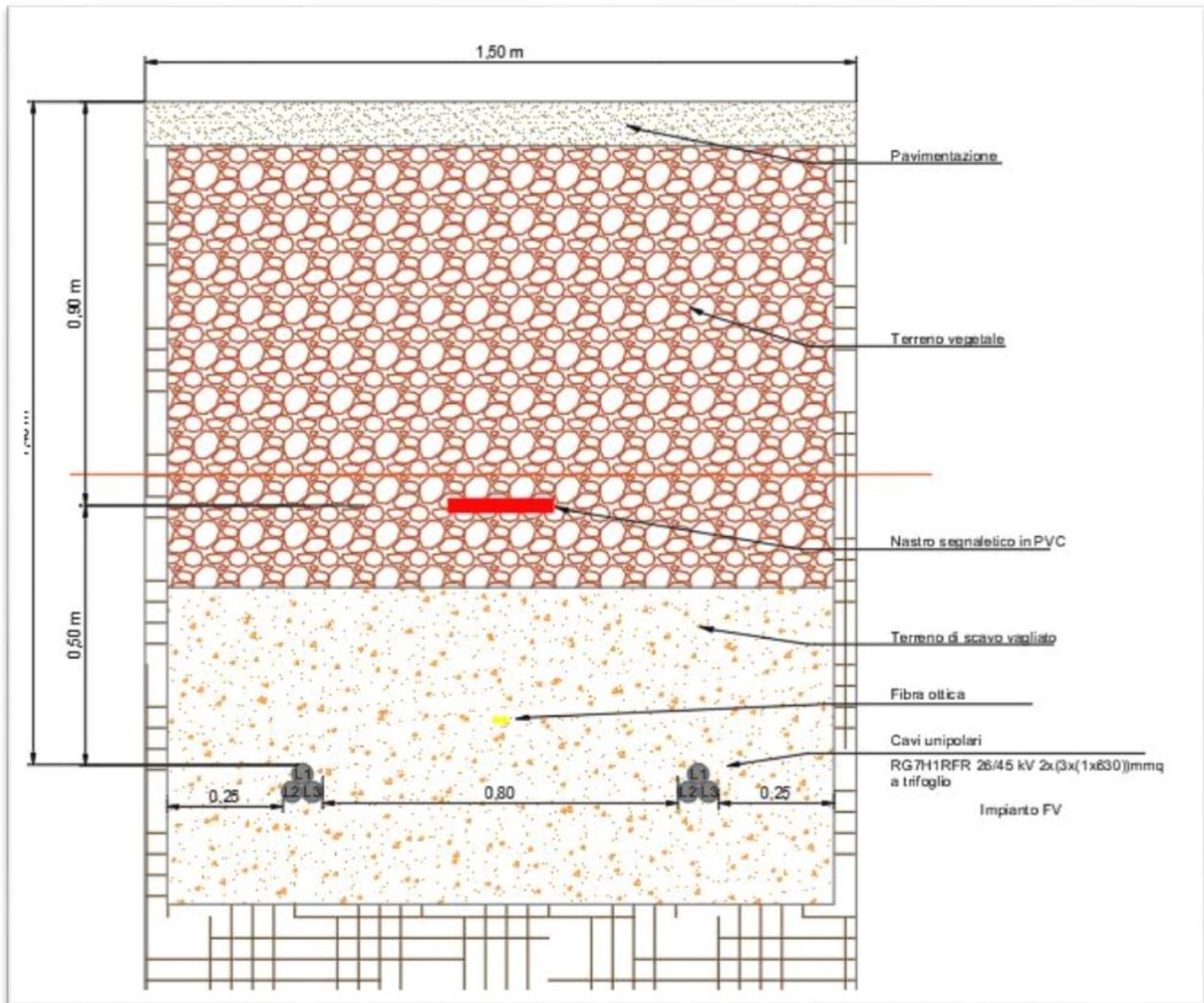
Ciò nonostante, cautelativamente, è stata prevista una profondità di posa non inferiore a 1,2 m e 1,4 m rispettivamente per le linee interne al campo e per la dorsale di collegamento con la futura sezione a 36 kV Stazione Elettrica della RTN denominata Troia.

La presenza dei cavi sarà rilevabile mediante l'apposito *nastro monitore* posato a non meno di 0,2 m dall'estradosso del cavo ovvero della protezione, come raffigurato nella figura seguente:

Per entrambe le tipologie di linee, non sono previsti pozzetti o camerette di posa dei cavi in corrispondenza di giunti e deviazioni dl tracciato.



*Figura 13: tipico di posa linee a 36 kV interne al campo*



*Figura 14: tipico di posa dorsale a 36 kV*