



REGIONE PUGLIA
PROVINCIA DI FOGGIA
COMUNI DI CASTELLUCCIO DEI SAURI,
BOVINO, DELICETO E ASCOLI SATRIANO



PROGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO DA REALIZZARE NEL COMUNE DI BOVINO (FG) IN LOCALITA' "LAMIA", E NEL COMUNE DI CASTELLUCCIO DEI SAURI IN LOCALITA' "POSTA CONTESSA", E DELLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE DA REALIZZARE NEI COMUNI DI BOVINO, CASTELLUCCIO DEI SAURI, DELICETO E ASCOLI SATRIANO (FG), AVENTE UNA POTENZA PARI A **63.784,00 kWp**, DENOMINATO "**DELICETO HV**"

PROGETTO DEFINITIVO

DIMENSIONAMENTO CAVI MT E VERIFICA DELLA CADUTA DI TENSIONE



LIV. PROG.	RIF. COD. PRATICA TERNA	CODICE ISTANZA AU	TAVOLA	DATA	SCALA
PD	202001480	JUTWD01	A.6	15.02.2024	-

REVISIONI

REV.	DATA	DESCRIZIONE	ESEGUITO	VERIFICATO	APPROVATO

RICHIEDENTE E PRODUTTORE



HF SOLAR 8 S.r.l.



ENTE

FIRMA RESPONSABILE

PROGETTAZIONE



Ing. D. Siracusa
Ing. A. Costantino
Ing. C. Chiaruzzi
Ing. G. Schillaci
Ing. G. Buffa
Ing. M.C. Musca

Arch. A. Calandrino
Arch. S. Martorana
Arch. F. G. Mazzola
Arch. G. Vella
Dott. Agr. B. Miciluzzo
Dott. Biol. M. Casisa

HORIZONFIRM S.r.l. - Viale Francesco Scaduto n°2/D - 90144 Palermo (PA)

PROFESSIONISTA INCARICATO

FIRMA DIGITALE PROGETTISTA



FIRMA OLOGRAFA E TIMBRO
PROFESSIONISTA

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

denominato

“DELICETO HV”

Dimensionamento cavi MT e verifica della caduta di tensione

Relazione tecnica

Sommario

1 Definizioni	1
2 Adempimenti e riferimenti normativi	2
3 Premessa.....	3
4 Criteri di dimensionamento dei cavi	8
5 Criterio di verifica	13
6 Dimensionamento e verifica delle linee di campo	15
7 Dimensionamento e verifica delle dorsali a 30 kV di collegamento con la Sottostazione Elettrica di Utenza	17
8 Criteri per l'individuazione del tracciato	23
9 Progettazione della canalizzazione	23

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.

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 8 S.r.l.**” intende realizzare 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, l’impianto di produzione risulta suddiviso in due sezioni di generazione denominate “**Lotto Bovino da 23.149,84 kWp**” e “**Lotto Castelluccio dei Sauri da 40.634,16 kWp**”, per una potenza complessiva di **63.784,00 kWp**, le quali verranno realizzate nel territorio comunale di Bovino (FG), in Località Lamia, su lotti di terreno distinti al N.T.C. al foglio n°12 particella 163 e nel territorio comunale di Castelluccio dei Sauri (FG) in Località Posta Contessa al Foglio n°14 particelle 10, 12, 13, 16, 21, 63, 66, 67, 68, 71, 72, 73, 88, 89, 94 e 233.

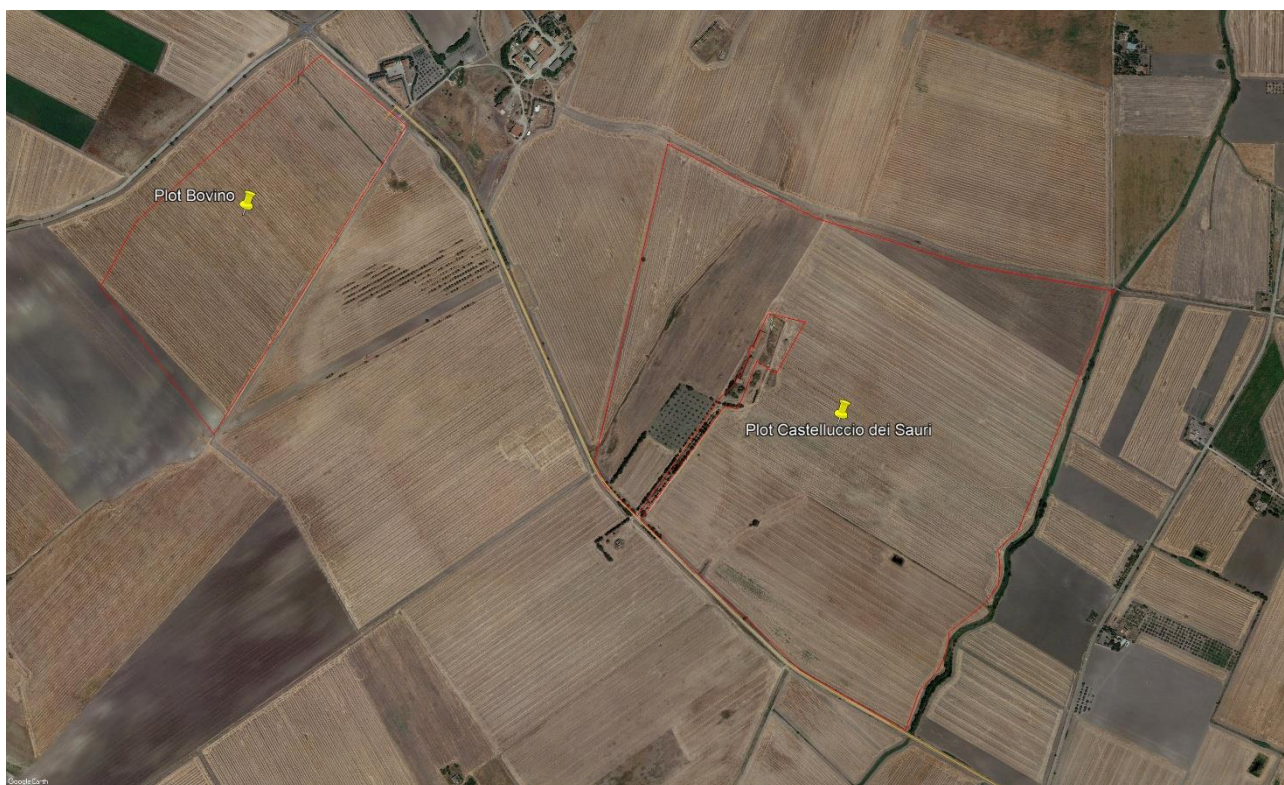


Figura 1: inquadramento area di impianto

Lo schema di connessione alla Rete, prescritto dal Gestore delle Rete Elettrica di Trasmissione Nazionale con preventivo di connessione ricevuto ed identificato con Codice Pratica 202001480, prevede che l’impianto venga collegato in antenna a 150 kV sul futuro ampliamento della Stazione Elettrica (SE) a 380/150 kV della RTN denominata “Deliceto”. Per una maggiore comprensione di quanto descritto, viene riportato lo schema tipico di inserimento in antenna di un impianto di produzione con una Stazione Elettrica esistente:

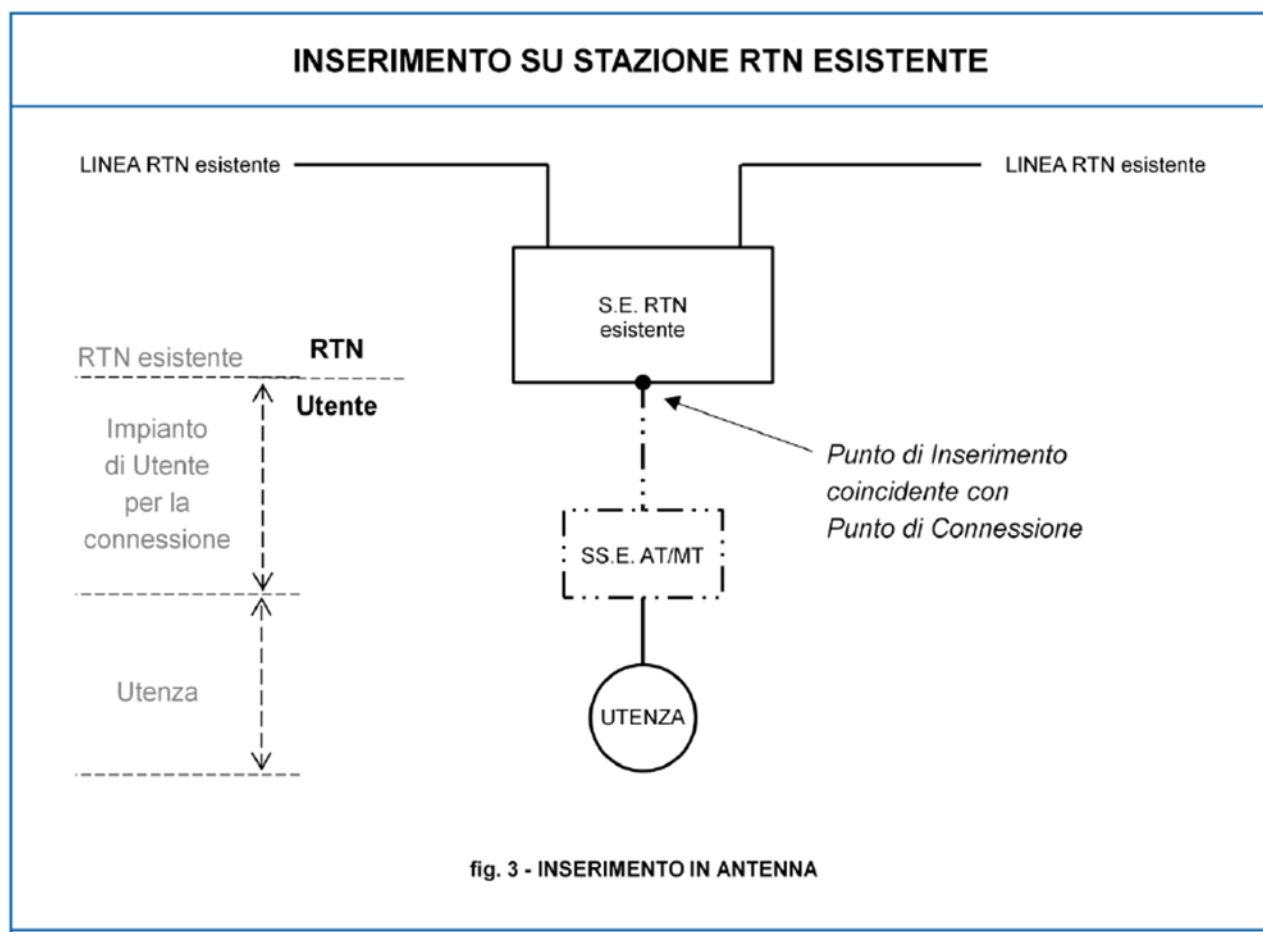


Figura 2: impianto di produzione collegato in antenna con la sezione a 150 kV di una Stazione Elettrica

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 150 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**".

Ciascuna delle due sezioni di generazione verrà collegata in antenna con la sezione di media tensione della Sottostazione Elettrica di Utenza MT/AT a mezzo di una dorsale in cavo interrato dimensionata in funzione della potenza da trasmettere.



Figura 3: inquadramento territoriale su ortofoto dell'area di impianto; in magenta è stato rappresentato il tracciato delle dorsali a 30 kV di collegamento con la Sottostazione Elettrica di Utenza; in blu il tracciato dell'elettrodotto AT a 150 kV che consente di collegare la Sottostazione Elettrica di Utenza (rettangolo in magenta) con l'ampliamento della Stazione Elettrica di Trasformazione di Deliceto; in ciano l'ampliamento della Stazione Elettrica di Deliceto; in rosso il collegamento in AT tra il satellite (ampliamento) e la Stazione Elettrica 380/150 kV di Deliceto

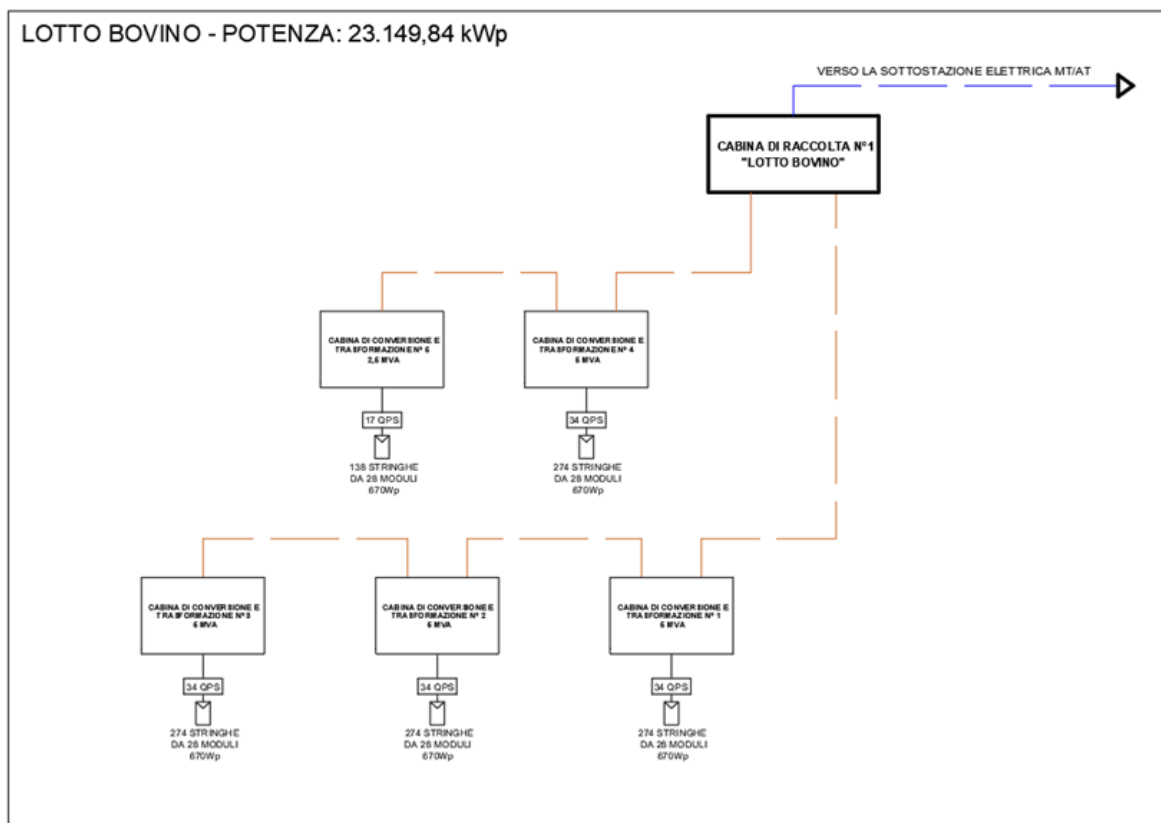


Figura 4: schema a blocchi corrispondente al Lotto Bovino con indicazione della dorsale di collegamento a 30 kV con la Sottostazione Elettrica di Utenza

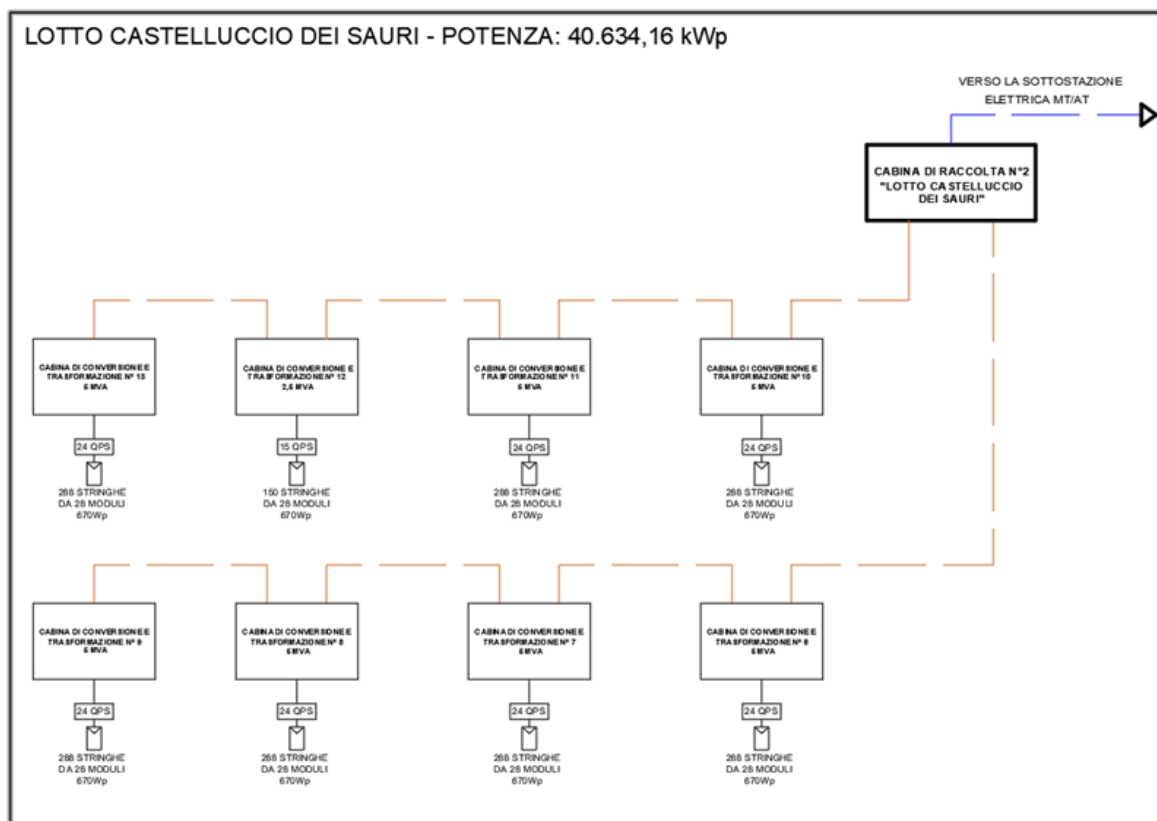


Figura 5: schema a blocchi corrispondente al Lotto Castelluccio dei Sauri con indicazione della dorsale di collegamento a 30 kV con la Sottostazione Elettrica di Utenza

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 espleterà 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, è stato 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, ottenendo il benestare tecnico in data 27/12/2023.

Nel presente elaborato, verranno illustrati i criteri applicati ai fini del “*dimensionamento e della verifica¹*” dei cavi elettrici a 30 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 campo² che per le dorsali di collegamento delle due sezioni di generazione con la sezione di media tensione della Sottostazione Elettrica di Utenza MT/AT.

¹ 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.

² In questo contesto chiameremo linee elettriche di campo quelle che consentono di collegare i quadri elettrici a 30 kV delle Cabine Elettriche di Conversione e Trasformazione, con il quadro elettrico generale a 30 kV installato all'interno della Cabina di Raccolta di pertinenza.

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 le **dorsali** di collegamento con la Sottostazione Elettrica di Utenza si svilupperanno 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 30 kV interne al campo

- profondità di posa pari a 1,2 m;
- resistività termica del terreno pari a 1 °K m/W;
- temperatura di posa pari a 20°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 scavo³ pari a 2.

³ 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 2 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.

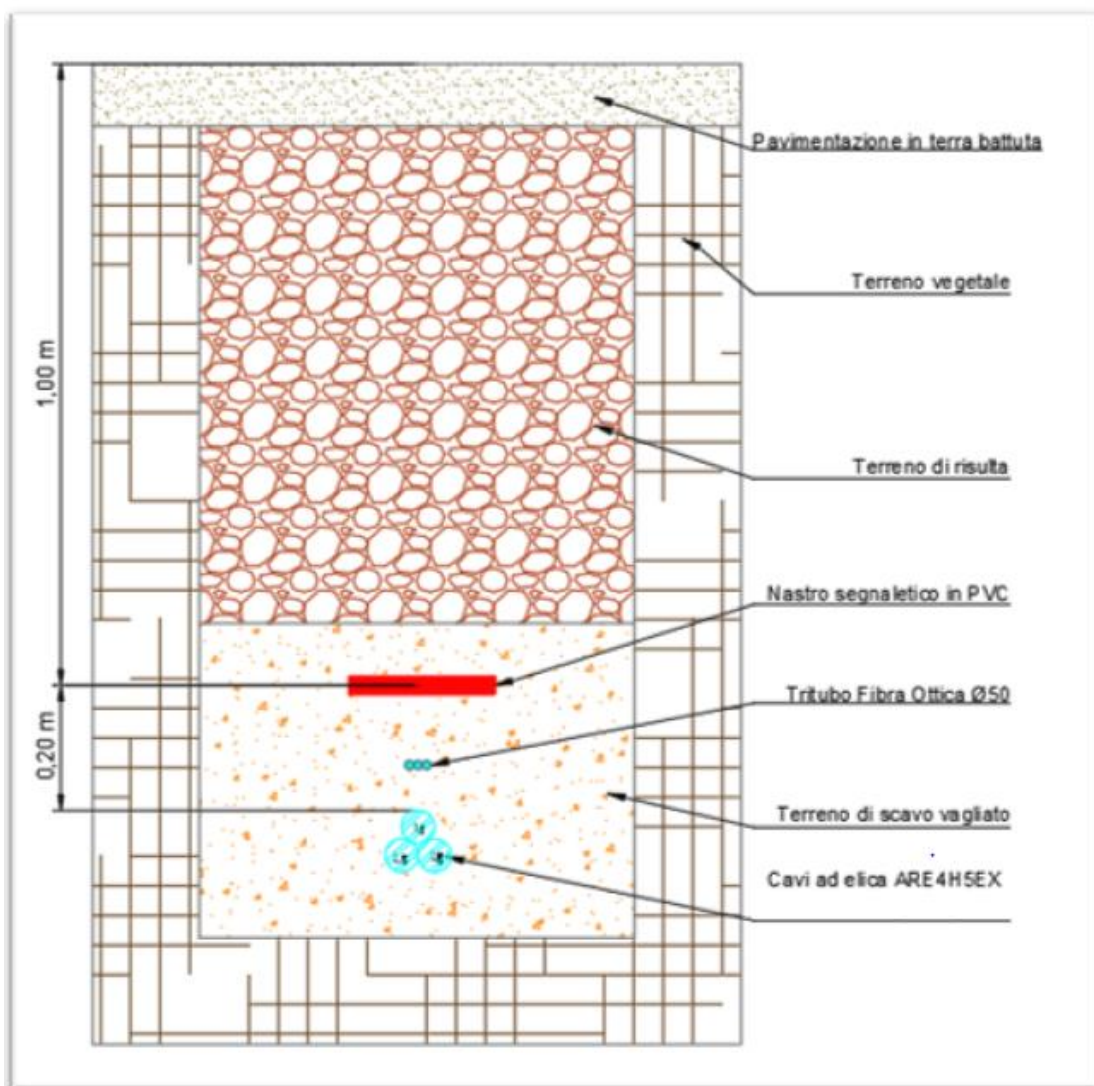
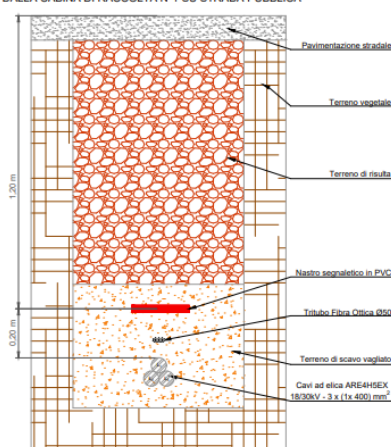


Figura 6: tipico di posa cavi 30 kV interni al campo

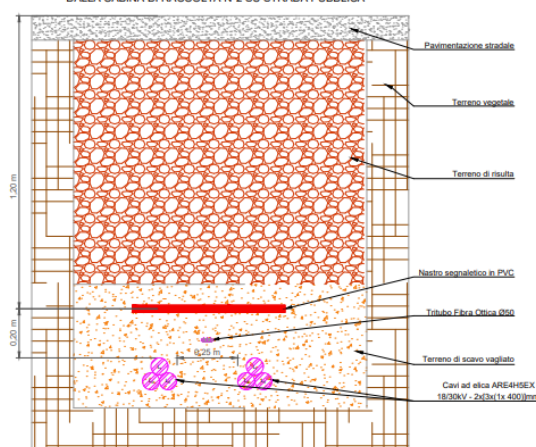
Dorsali a 30 kV di collegamento con la Stazione Elettrica di Deliceto

- profondità di posa non inferiore a 1,4 m;
- resistività termica del terreno pari a 1 °K m/W;
- temperatura di posa pari a 20°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.

PARTICOLARE DI POSA DELLA DORSALE A 30 kV IN USCITA
DALLA CABINA DI RACCOLTA N°1 SU STRADA PUBBLICA



PARTICOLARE DI POSA DELLA DORSALE A 30 kV IN USCITA
DALLA CABINA DI RACCOLTA N°2 SU STRADA PUBBLICA



PARTICOLARE DI POSA DELLE DUE DORSALI PARALLELE DI CAVI A 30 kV IN USCITA
DALLE RISPETTIVE CABINE DI RACCOLTA SU STRADA PUBBLICA

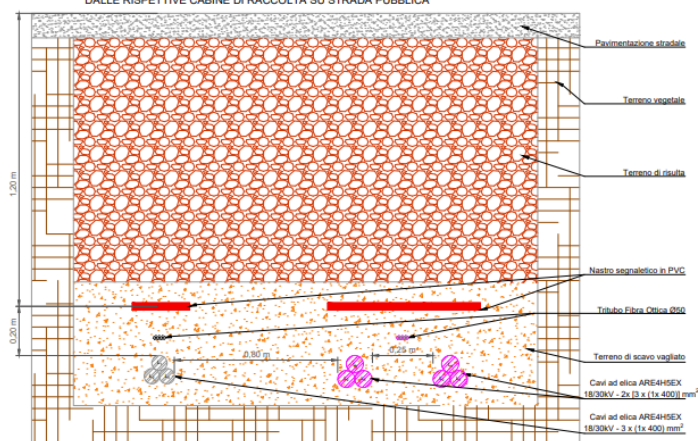


Figura 7: tipico di posa dorsali a 30 kV

Per entrambe le tipologie di linee, in questa fase della progettazione, si è scelto di utilizzare cavi ad elica visibile ARE4H5EX 18/30 kV adatti per posa interrata, le cui caratteristiche tecniche vengono di seguito riportate⁴:

⁴ 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.

ARE4H5E(X) 18/30(36)kV SK1 (SHOCK PROOF 1)

CARATTERISTICHE DIMENSIONALI

Nome	Diametro del conduttore [mm]	Diametro sull'isolante [mm]	Diametro esterno [mm]	Peso approssimativo [kg/km]
ARE4H5E(X) 18/30 kV 50 mm ² SK1	8,2	24,2	36,8	1010
ARE4H5E(X) 18/30 kV 70 mm ² SK1	9,8	25,8	38,4	1130
ARE4H5E(X) 18/30 kV 95 mm ² SK1	11,5	26,5	39,2	1210
ARE4H5E(X) 18/30 kV 120 mm ² SK1	13,1	27,5	40,2	1310
ARE4H5E(X) 18/30 kV 150 mm ² SK1	14,3	28,5	41,3	1410
ARE4H5E(X) 18/30 kV 185 mm ² SK1	16,0	30,2	43,1	1570
ARE4H5E(X) 18/30 kV 240 mm ² SK1	18,5	32,7	45,7	1820
ARE4H5E(X) 18/30 kV 300 mm ² SK1	20,7	34,9	48	2060
ARE4H5E(X) 18/30 kV 400 mm ² SK1	23,5	37,7	50,9	2390
ARE4H5E(X) 18/30 kV 500 mm ² SK1	26,5	40,9	54,3	2820
ARE4H5E(X) 18/30 kV 630 mm ² SK1	30,0	45,0	58,6	3390

Figura 8: scheda tecnica cavi ARE4H5EX

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 ° 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_{zo} 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°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 °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 mm²;
- I è il valore efficace della corrente di cortocircuito permanente⁵ (A), secondo la definizione di I_k 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 cortocircuito⁶ (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 dorsali;
- 2% per le linee di campo.

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

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

dove:

⁵ 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 30 kV delle cabine di raccolta.

⁶ 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 nella Sottostazione Elettrica di Utenza e 1 sec per gli interruttori installati nei quadri elettrici generali delle cabine di raccolta.

- K_v è un coefficiente che per le linee trifasi è pari a $\sqrt{3}$;
- r è la resistenza elettrica del cavo [Ω/km];
- x è la reattanza del cavo [Ω/km];
- n è il numero di cabine elettriche di trasformazione interconnesse;
- $\sum_{i=1}^n \mathbf{Mif}^A$ è la somma dei momenti amperometrici in fase, valutati rispetto al punto di derivazione della linea a 30 kV dal quadro elettrico generale installato nella cabina di raccolta;
- $\sum_{i=1}^n \mathbf{Miq}^A$ è la somma dei momenti amperometrici in quadratura, valutati rispetto al punto di derivazione della linea a 30 kV dal quadro elettrico generale installato nella cabina di raccolta;
- A è il punto di derivazione della linea sopra menzionato.

mentre per le dorsali è stata applicata al seguente relazione:

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

dove:

- ΔV è la caduta di tensione in valore assoluto [V];
- r è la resistenza elettrica del cavo [Ω/km];
- x è la reattanza del cavo [Ω/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 allegate 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° 4 linee elettriche elettrificate a 30 kV, ciascuna delle quali interconnette, in entra-esce, un certo numero cabine elettriche di trasformazione secondo l'ordine di seguito indicato:

- Linea a 30 kV n° 1: interconnette le cabine di trasformazione 1, 2 e 3;
- Linea a 30 kV n° 2: interconnette le cabine di trasformazione 4 e 5;
- Linea a 30 kV n° 3: interconnette le cabine di trasformazione 6, 7, 8 e 9;
- Linea a 30 kV n° 4: interconnette le cabine di trasformazione 10, 11, 12 e 13.

Considerando che i trasformatori di potenza scelti hanno una potenza nominale pari a 2.500 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 _B [A]	Numero di circuiti presenti nella stessa trincea di scavo ⁷	Fattore correttivo K ₄	Formazione	I _z [A]	ΔV%
Linea MT n° 1	0,8	6	289	2	0,8	3x(1x240) mm ²	387	< 2%
Linea MT n° 2	0,91	3	145	2	0,8	3x(1x185) mm ²	340	< 2%
Linea MT n° 3	1,32	8	385	2	0,8	3x(1x400) mm ²	472	< 2%
Linea MT n° 4	0,8	7	337	2	0,8	3x(1x300) mm ²	428	< 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:

⁷ 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.

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) 18/30 kV 50 mm² SK1	0,15	0,152	0,641	0,822	189	168	4,7
ARE4H5E(X) 18/30 kV 70 mm² SK1	0,166	0,143	0,443	0,568	235	205	6,6
ARE4H5E(X) 18/30 kV 95 mm² SK1	0,193	0,134	0,32	0,411	284	245	9
ARE4H5E(X) 18/30 kV 120 mm² SK1	0,217	0,128	0,253	0,325	328	279	11,3
ARE4H5E(X) 18/30 kV 150 mm² SK1	0,233	0,124	0,206	0,265	369	312	14,2
ARE4H5E(X) 18/30 kV 185 mm² SK1	0,252	0,119	0,164	0,211	424	353	17,5
ARE4H5E(X) 18/30 kV 240 mm² SK1	0,28	0,114	0,125	0,161	501	410	22,7
ARE4H5E(X) 18/30 kV 300 mm² SK1	0,304	0,11	0,1	0,129	574	463	28,3
ARE4H5E(X) 18/30 kV 400 mm² SK1	0,335	0,106	0,0778	0,101	669	530	37,8
ARE4H5E(X) 18/30 kV 500 mm² SK1	0,363	0,102	0,0605	0,08	777	604	47,2
ARE4H5E(X) 18/30 kV 630 mm² SK1	0,396	0,098	0,0469	0,063	901	687	59,5

Figura 9: resistenza e reattanza cavi elettrici in rame ARE4H5EX

7 Dimensionamento e verifica delle dorsali a 30 kV di collegamento con la Sottostazione Elettrica di Utenza

Le dorsali a 30 kV in cavo interrato, consentono di collegare le due sezioni di generazione denominate rispettivamente “**Lotto Bovino da 23.149,84 kWp**” e “**Lotto Castelluccio dei Sauri da 40.634,16 kWp**”, con il quadro elettrico generale di media tensione installato all’interno del locale MT della Sottostazione Elettrica di Utenza.

Entrambe le linee sono state dimensionate in funzione della potenza nominale della sezione di generazione di pertinenza, 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 potenza⁸ $\cos\varphi = 0,8$.

Analogamente a quanto previsto per le linee interne al campo, anche per le dorsali è stata considerata la disposizione delle fasi a trifoglio. Tuttavia, considerando che esse si sviluppano su strada pubblica e che condividono la stessa trincea di scavo, 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:

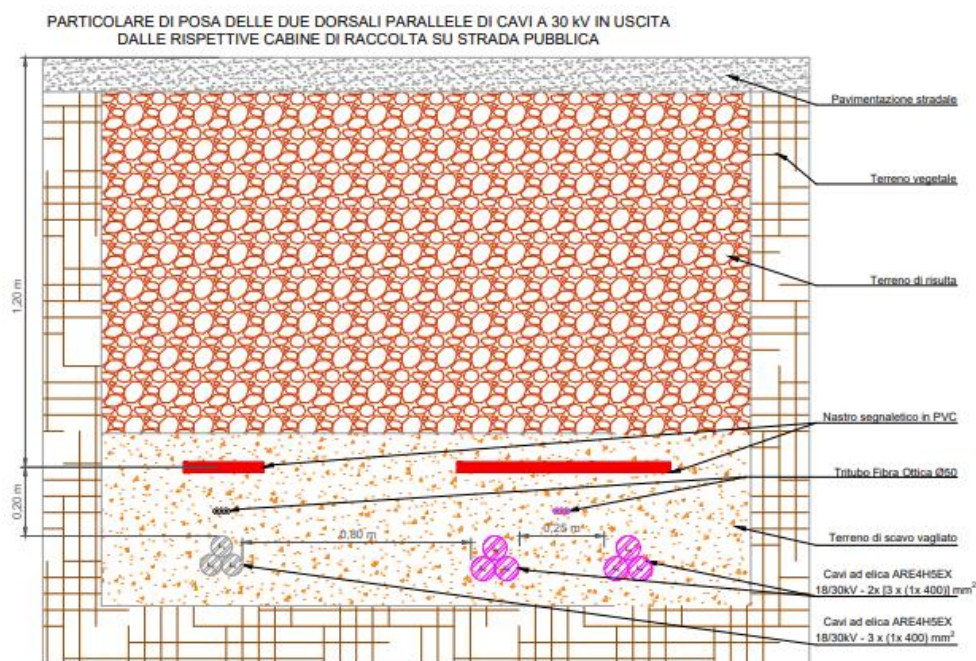


Figura 10: particolare di posa dorsali a 30 kV

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

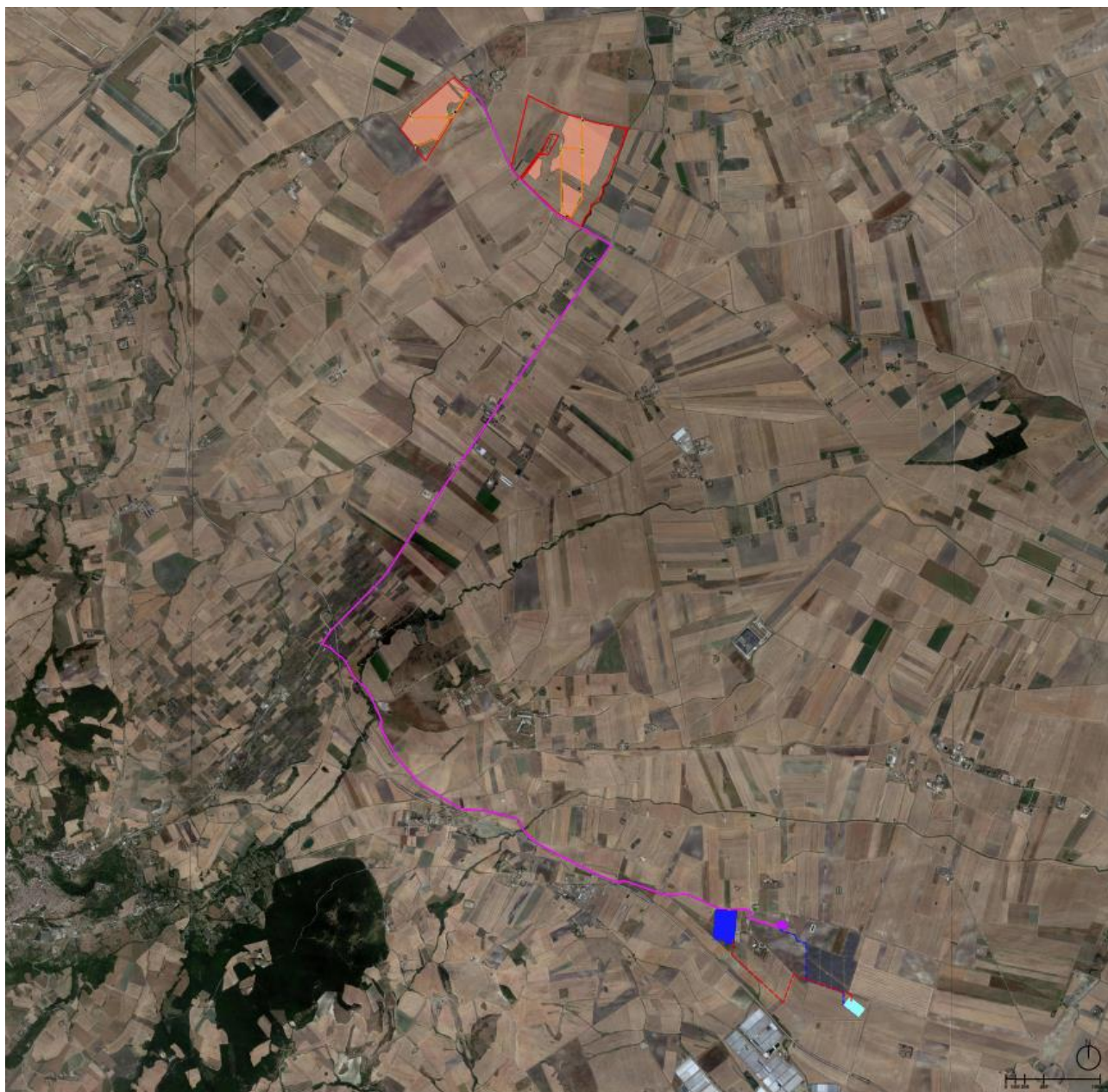


Figura 11: inquadramento territoriale su ortofoto dell'area di impianto, con rappresentazione del tracciato delle dorsali a 30 kV (in magenta) di collegamento con la Sottostazione Elettrica di Utenza

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.

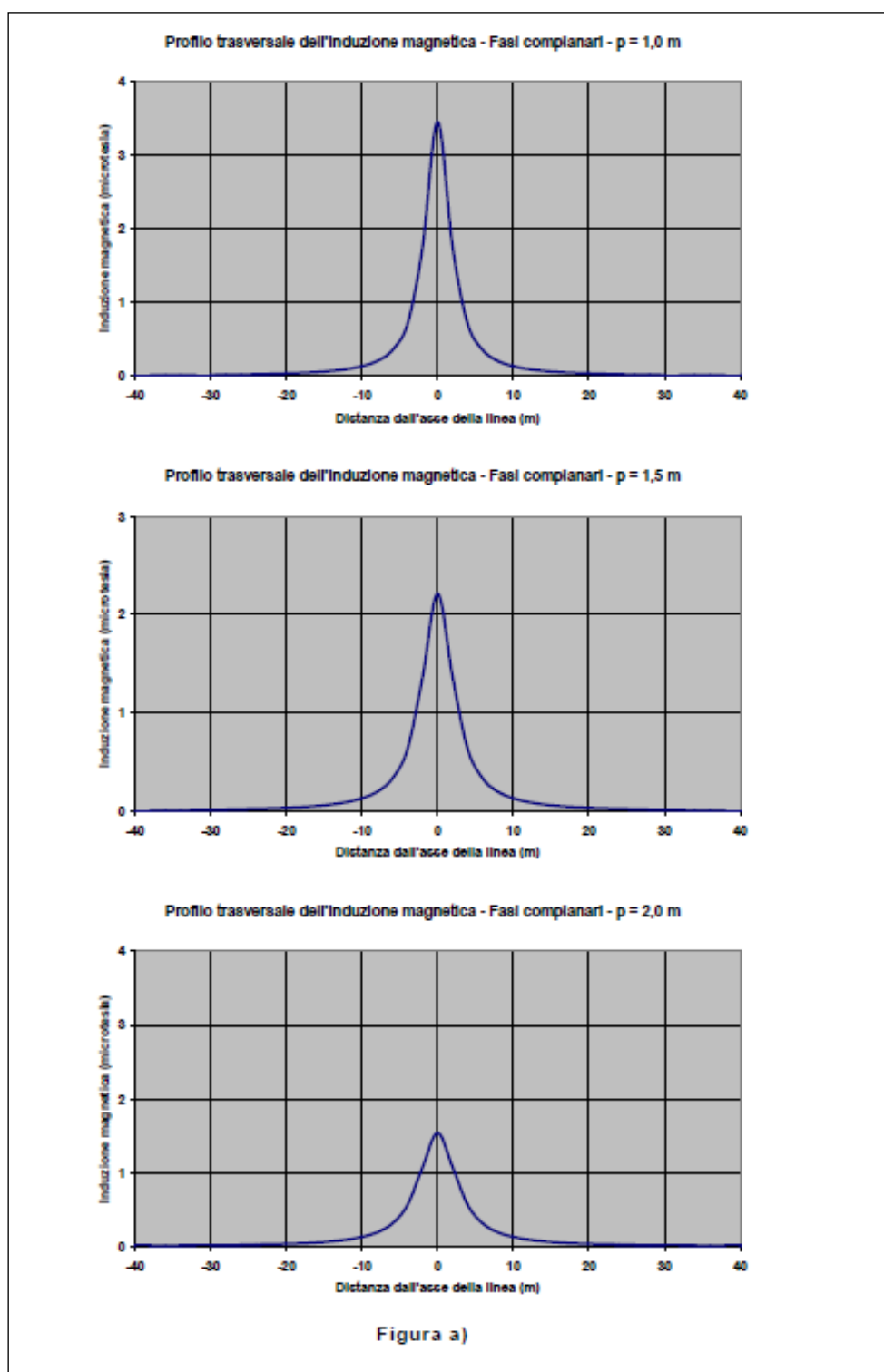


Figura 12: andamento del Campo Induzione Magnetica generata a livello del suolo sulla verticale del cavo – linea trifase con conduttori distanziati di 0,20 m posati rispettivamente a 1,00 m, 1,50 m e 2,00 m di profondità, paralleli tra loro e alla superficie di calpestio; corrente di ogni fase pari a 200 A.

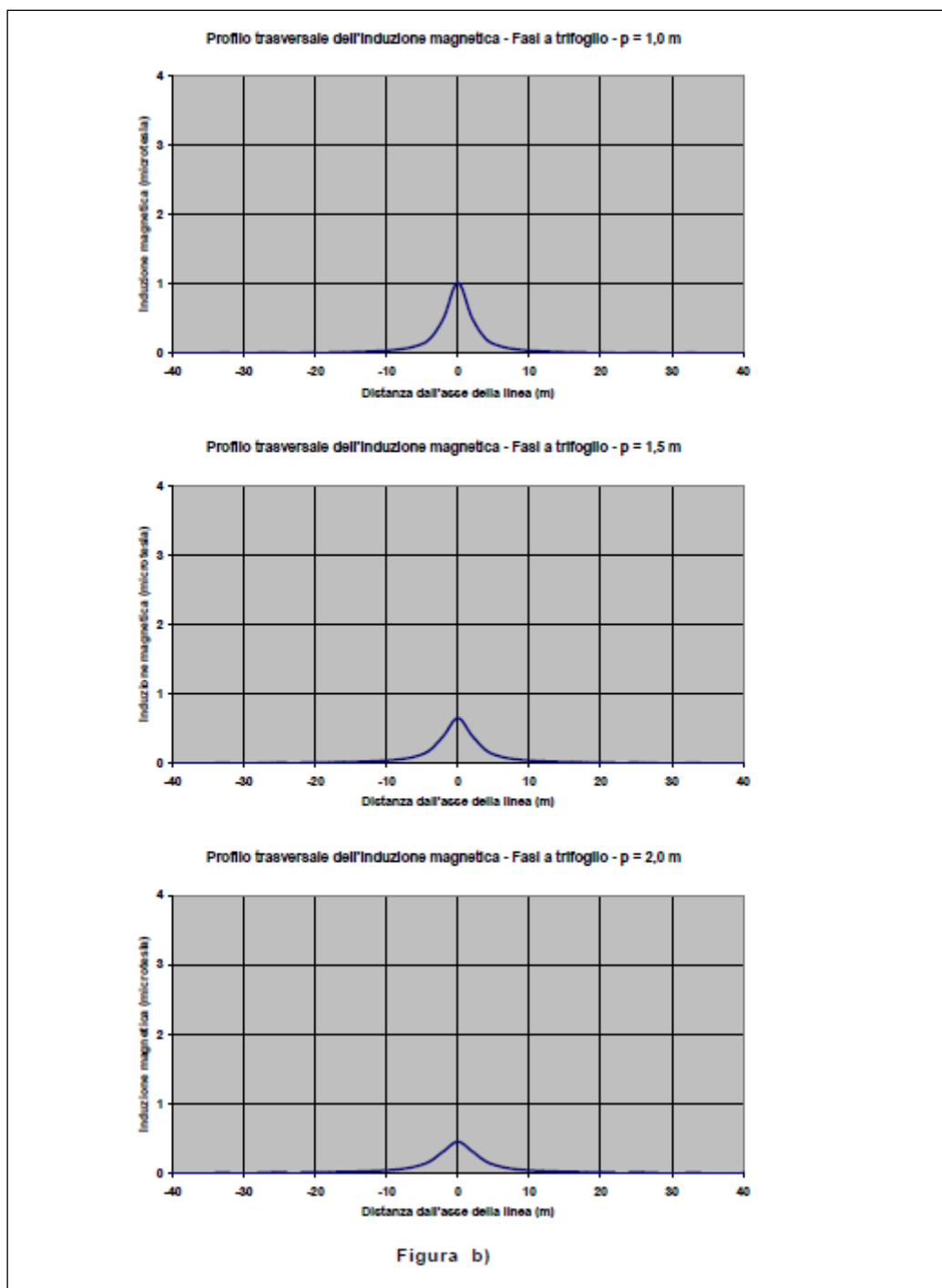


Figura 13: andamento del Campo Induzione Magnetica generata a livello del suolo sulla verticale del cavo – linea trifase con conduttori distanziati di 0,50 m posati rispettivamente a 1,00 m, 1,50 m e 2,00 m di profondità, paralleli tra loro e alla superficie di calpestio; corrente di ogni fase pari a 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 2.500 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 gruppi di conversione sottesi	I _B [A]	Numero di circuiti presenti nella stessa trincea di scavo	Fattore correttivo K ₁	Fattore correttivo K ₄	Formazione	I _z [A]	ΔV%
Dorsale n° 1 Lotto Bovino	13,1	9	433	2	0,94	0,95	3x(1x400) mm ²	526	≤ 7%
Dorsale n° 2 Lotto Castelluccio dei Sauri	11,35	15	721	2	0,94	0,95	2x[3x(1x400)]mm ²	626	≤ 7%

Tabella 2: riepilogo dei risultati di dimensionamento e verifica delle dorsali a 30 kV di collegamento con la Sottostazione Elettrica di Utenza MT/AT

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:

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) 18/30 kV 50 mm² SK1	0,15	0,152	0,641	0,822	189	168	4,7
ARE4H5E(X) 18/30 kV 70 mm² SK1	0,166	0,143	0,443	0,568	235	205	6,6
ARE4H5E(X) 18/30 kV 95 mm² SK1	0,193	0,134	0,32	0,411	284	245	9
ARE4H5E(X) 18/30 kV 120 mm² SK1	0,217	0,128	0,253	0,325	328	279	11,3
ARE4H5E(X) 18/30 kV 150 mm² SK1	0,233	0,124	0,206	0,265	369	312	14,2
ARE4H5E(X) 18/30 kV 185 mm² SK1	0,252	0,119	0,164	0,211	424	353	17,5
ARE4H5E(X) 18/30 kV 240 mm² SK1	0,28	0,114	0,125	0,161	501	410	22,7
ARE4H5E(X) 18/30 kV 300 mm² SK1	0,304	0,11	0,1	0,129	574	463	28,3
ARE4H5E(X) 18/30 kV 400 mm² SK1	0,335	0,106	0,0778	0,101	669	530	37,8
ARE4H5E(X) 18/30 kV 500 mm² SK1	0,363	0,102	0,0605	0,08	777	604	47,2
ARE4H5E(X) 18/30 kV 630 mm² SK1	0,396	0,098	0,0469	0,063	901	687	59,5

Figura 14: resistenza cavi elettrici in rame ARE4H5EX

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 le dorsali di collegamento con la Sottostazione Elettrica di Utenza.

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.

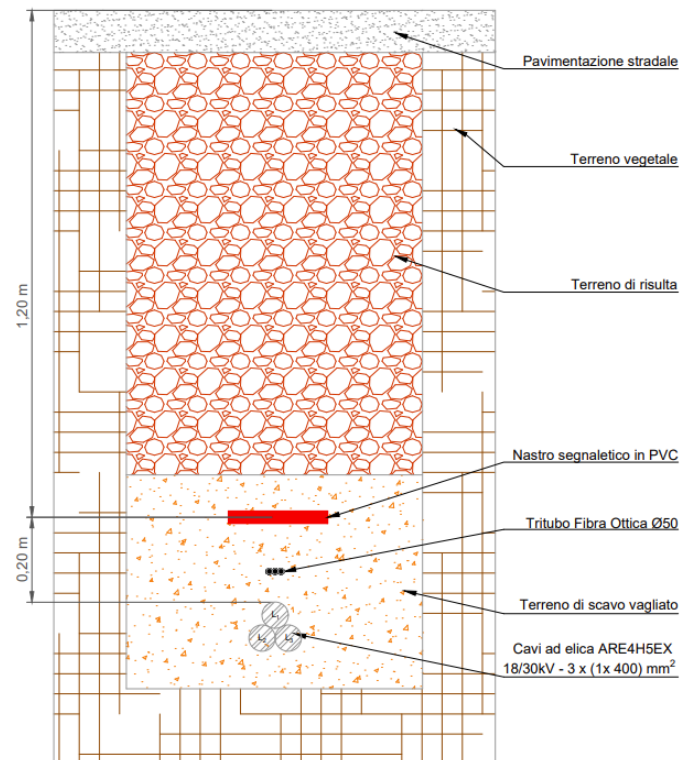


Figura 15: tipico di posa linee a 30 kV interne al campo

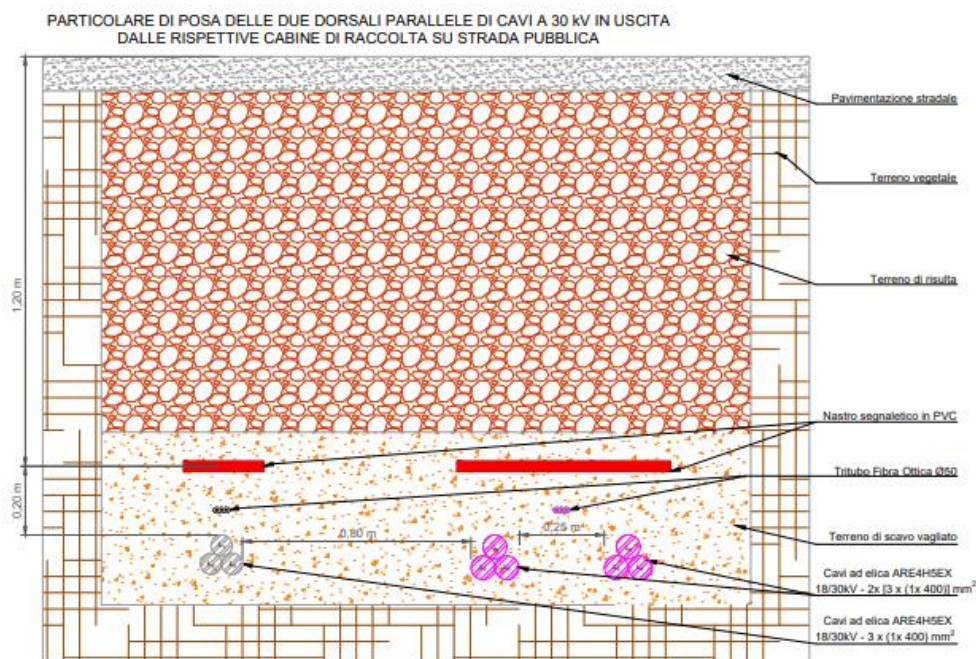


Figura 16: tipico di posa dorsali a 30 kV