



**REGIONE SICILIA**  
**PROVINCE DI SIRACUSA E CATANIA**  
**COMUNI DI FRANCOFONTE E VIZZINI**



PROGETTO DI UN IMPIANTO SOLARE AGRIVOLTAICO DENOMINATO "FRANCOFONTE SAN BIAGIO" DA REALIZZARSI NEL COMUNE DI FRANCOFONTE (SR) NELLA CONTRADA "SAN BIAGIO" CON POTENZA PARI A 29.359,40 kWp (22.000,00 kW IN IMMISSIONE) E DELLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE NEL COMUNE DI VIZZINI (CT).

**PROGETTO DEFINITIVO**

**RELAZIONE TECNICA**

Dimensionamento cavi a 36 kV e verifica della caduta di tensione



livello prog.	GOAL	tipo doc.	N° elaborato	N° foglio	Tot. fogli	NOME FILE	DATA	SCALA
PD						FRSBREL0003		

**REVISIONI**

REV.	DATA	DESCRIZIONE	ESEGUITO	VERIFICATO	APPROVATO



PROPONENTE:  
**HF SOLAR 6 S.R.L.**

ENTE:

PROGETTAZIONE:



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



IL PROGETTISTA

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

**denominato**

**“San Biagio”**

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

**Relazione tecnica**

## Sommario

1 Definizioni.....	3
2 Adempimenti e riferimenti normativi.....	4
3 Premessa.....	5
4 Criteri di dimensionamento dei cavi.....	10
5 Criterio di verifica .....	15
6 Dimensionamento e verifica delle linee di campo.....	16
<b>linea a 36 kV n° 1</b> .....	17
<b>linea a 36 kV n° 2</b> .....	17
<b>linea a 36 kV n° 3</b> .....	18
7 Dimensionamento e verifica della dorsale a 36 kV di collegamento con la SE Terna.....	21
8 Criteri per l'individuazione del tracciato .....	27
9 Progettazione della canalizzazione.....	27

# 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 6 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 all’interno del territorio Comunale di **Francofonte (SR)** in località “**Contrada San Biagio**” su lotti di terreno distinti al N.T.C. Foglio 5, p.lle 592, 364,365 e 97, per una potenza complessiva di **29.359,4 kWp**.

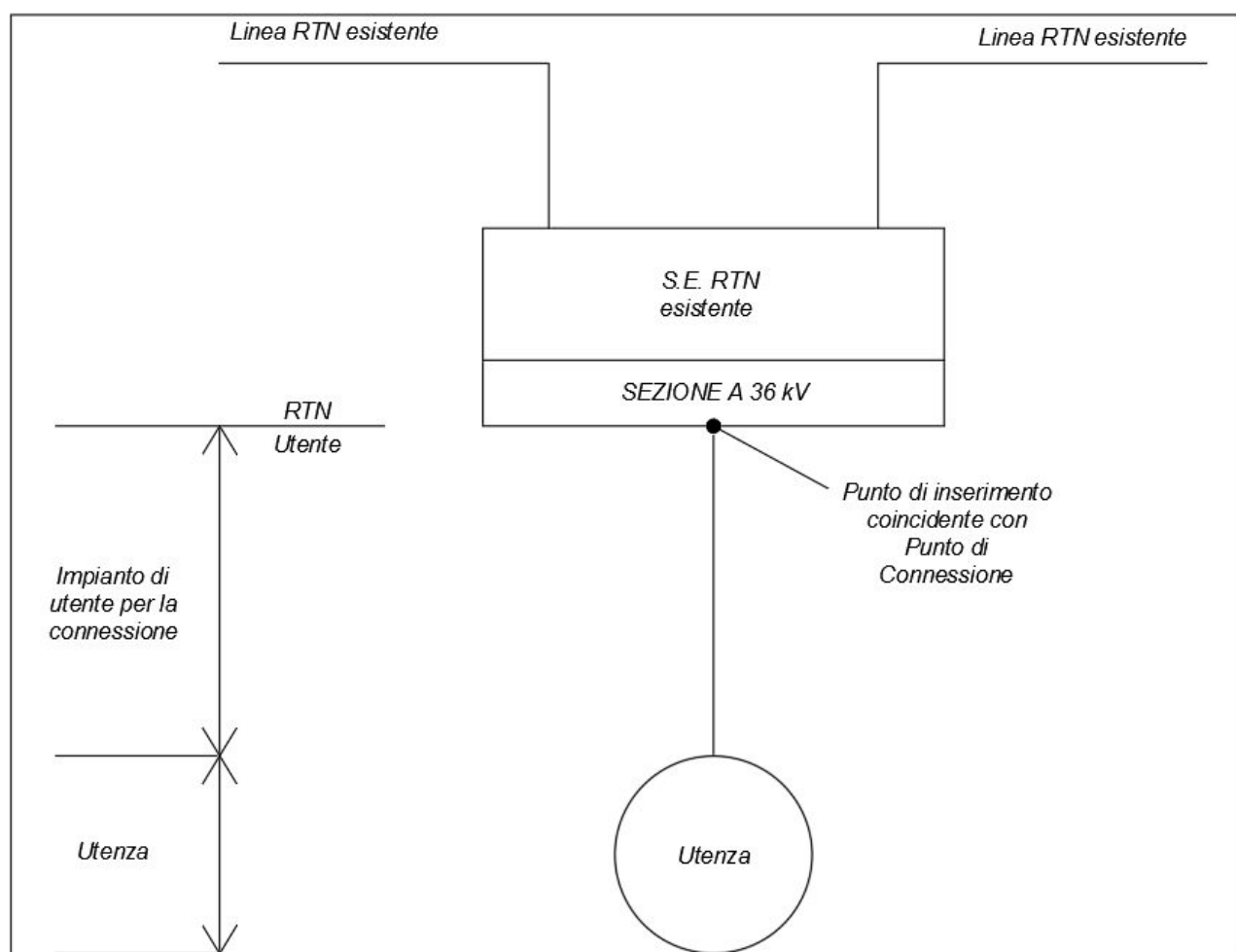


*Figura 1: inquadramento area di impianto*

Lo schema di connessione alla Rete, prescritto dal Gestore delle Rete Elettrica di Trasmissione Nazionale con preventivo di connessione ricevuto in data 8/04/2022 ed identificato con Codice Pratica 201900958 Protocollo Terna P20220030651 prevede che l’impianto produzione collegato in

antenna con la futura sezione a 36 kV della futura stazione di trasformazione 380/150/36 kV denominata “Vizzini”, prevista nel Piano di Sviluppo Terna, da inserire in entra – esce sulla linea RTN a 380 kV “Chiaramonte Gulfi -Paternò”, a mezzo di una dorsale in cavo interrato elettrificata a 36 kV, dimensionata in funzione della potenza da trasmettere, al fine di realizzare un’unica rete di comunicazione per il controllo remoto di tutti gli apparati.

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**".



Salvo diverse indicazioni del Gestore di Rete, ciascuna delle due sezioni di generazione verrà collegata in antenna con la sezione a 36 kV della Stazione Elettrica di Vizzini, a mezzo di una dorsale a 36 kV dedicata, opportunamente dimensionata in funzione della potenza da trasmettere.



*Figura 3: inquadramento territoriale su ortofoto dell'area di impianto; in blu è stato rappresentato il tracciato della dorsale a 36 kV di collegamento con la Stazione Elettrica di Vizzini (quadrato rosso).*



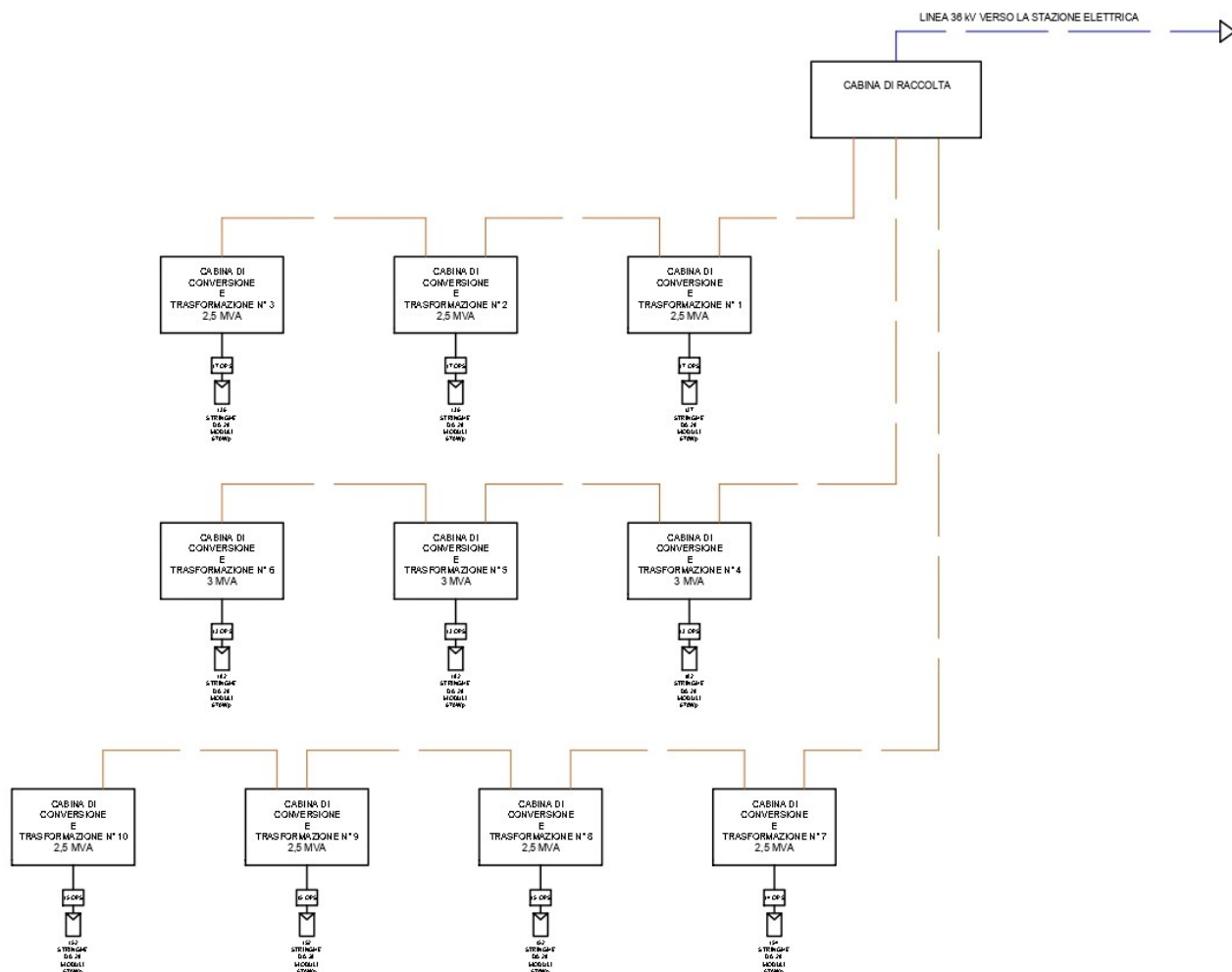


Figura 4: schema a blocchi

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, 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 risponderenza.

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 di collegamento con lo stallo arrivo produttore a 36 kV della Stazione Elettrica.

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.

---

<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 pertinenza.

## 4 Criteri di dimensionamento dei cavi

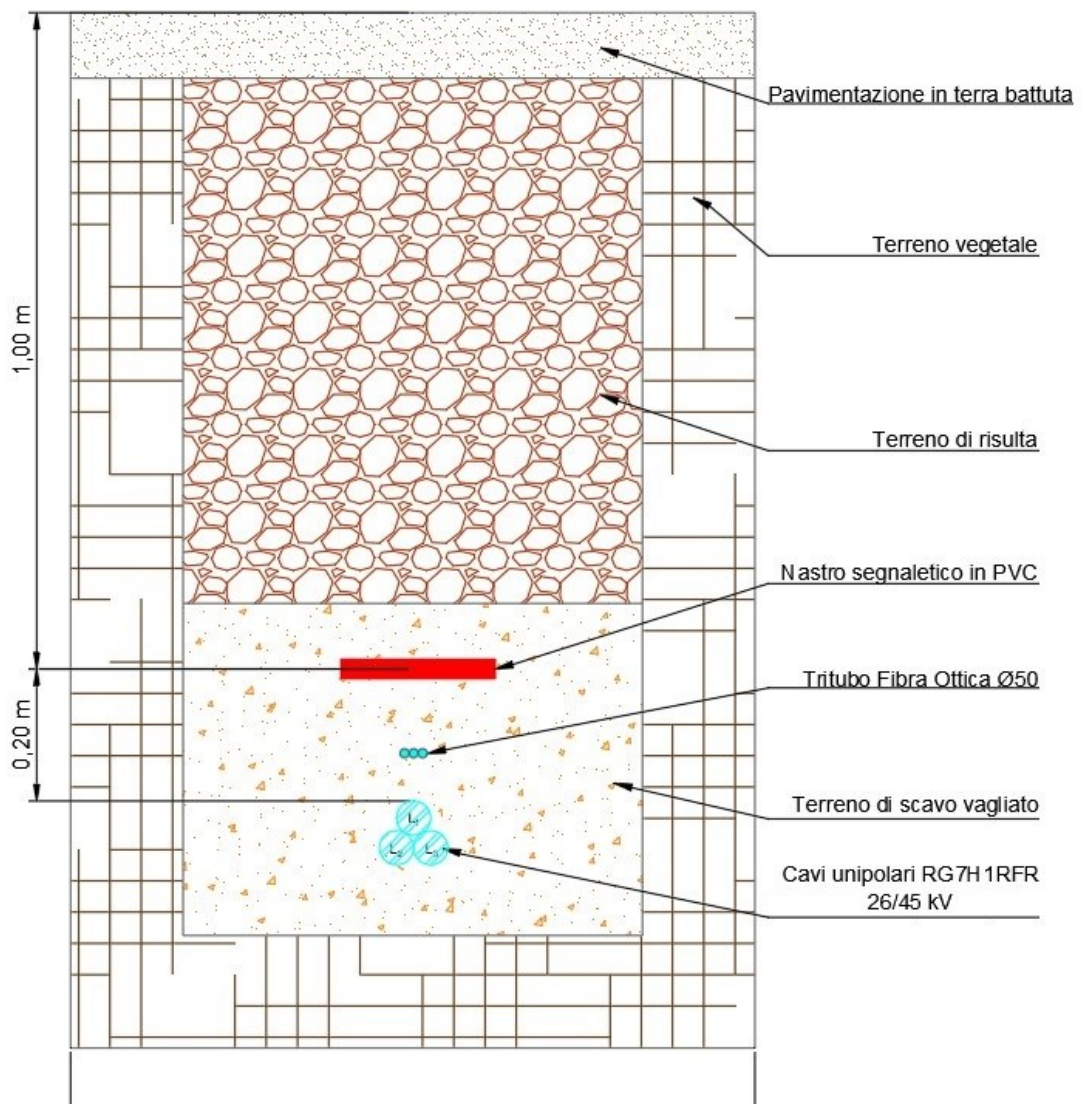
Ai fini del dimensionamento dei cavi è stato applicato il “*criterio termico*” in base al quale il cavo deve avere una sezione tale per cui la sua portata ( $I_z$ ), nelle condizioni di posa previste da progetto, sia almeno uguale alla corrente di impiego del circuito ( $I_B$ ).

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 la *dorsale* di collegamento con la sezione a 36 kV della Stazione Elettrica di Trasformazione della RTN denominata Vizzini 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 36 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 scavo<sup>3</sup> pari a 3 (in un breve tratto di circa 45 metri).



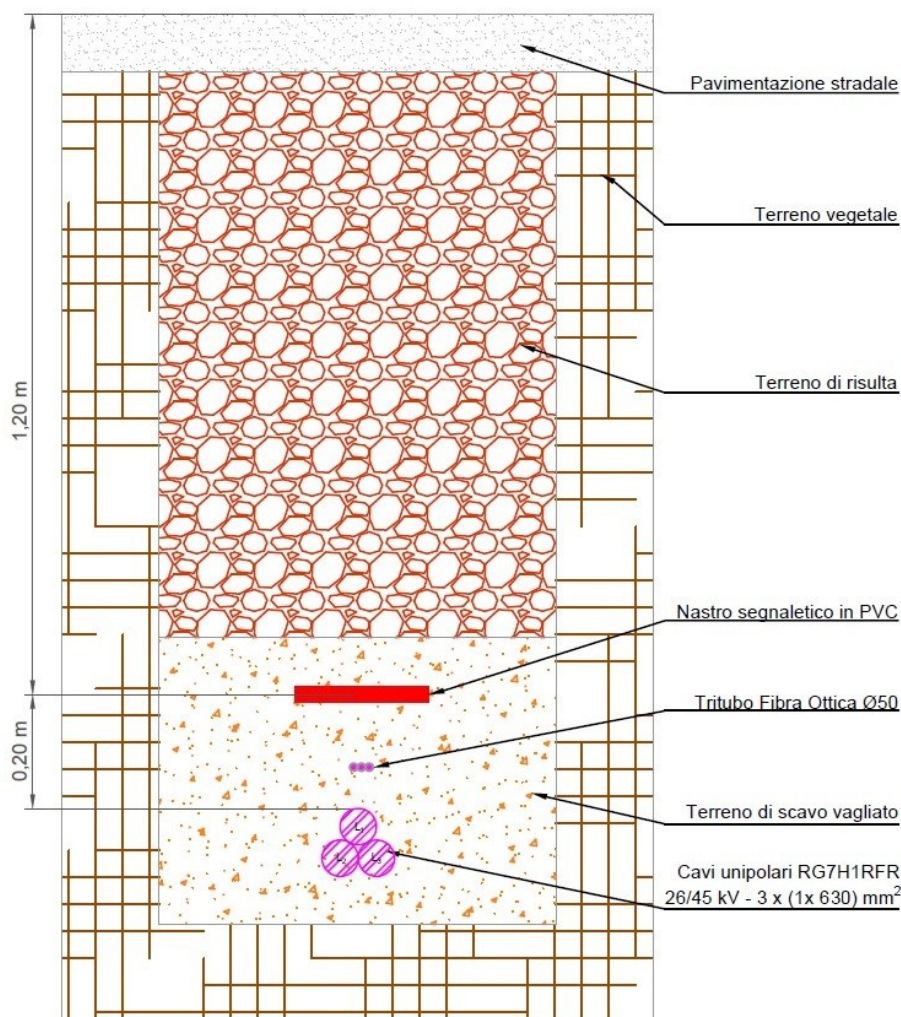
**Figura 5: esempio di tipico di posa cavi 36 kV interni al campo**

<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 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.

### Dorsali a 36 kV di collegamento con la Stazione Elettrica

- 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;
- cavi posati direttamente nel terreno (posa diretta) senza protezione meccanica supplementare;
- numero di circuiti presenti all'interno della stessa trincea di scavo pari a 1.

PARTICOLARE DI POSA DI UNA DORSALE A 36 kV IN USCITA  
DALLA CABINA DI RACCOLTA SU STRADA PUBBLICA



*Figura 6: tipico di posa dorsale a 36 kV di collegamento con la SE Terna*

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  
**Marcatura**  
PRYSMIAN (\*) RG7H1RFR <tensione>  
<sezione> <anno>

(\*) Sito produttivo

Marcatura in rilievo ogni metro  
Marcatura 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).



### Condizioni di posa / Laying conditions



Figura 7: 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:

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

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:

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

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 dorsali;
- 2% per le linee di campo.

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

$$\Delta V = K_v [ r x \sum_{i=1}^n Mif^A + x x \sum_{i=1}^n Miq^A ]$$

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

## **linea a 36 kV n° 1**

Come facilmente riscontrabile dalle tavole di progetto allegate, la linea a 36 kV n° 1 in uscita dalla cabina di raccolta, ha una lunghezza di circa 640 m e alimenta i trasformatori 1, 2 e 3 aventi ognuno le seguenti caratteristiche:

AT/BT 36/0,55kV da 2500kVA:

Tenendo conto delle condizioni di posa previste dal progetto, considerando una corrente di impiego pari a circa 130 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 sezione scelta che consenta di soddisfare la (1) e la (2) è quella da 185 mm<sup>2</sup>.

Il cavo scelto, in condizioni di posa standard, ha una portata di 426 A, mentre nelle condizioni di posa previste dal progetto, la sua portata si riduce a 362 A.

## **linea a 36 kV n° 2**

Come facilmente riscontrabile dalle tavole di progetto allegate, la linea a 36 kV n° 2 in uscita dalla cabina di raccolta, ha una lunghezza di circa 1000 m e alimenta i trasformatori 4, 5 e 6 aventi ognuno le seguenti caratteristiche:

AT/BT 36/0,655kV da 3150kVA:

Tenendo conto delle condizioni di posa previste dal progetto, considerando una corrente di impiego pari a circa 152 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 sezione scelta che consenta di soddisfare la (1) e la (2) è quella da 185 mm<sup>2</sup>.

Il cavo scelto, in condizioni di posa standard, ha una portata di 426 A, mentre nelle condizioni di posa previste dal progetto, la sua portata si riduce a 362 A.



### **linea a 36 kV n° 3**

Come facilmente riscontrabile dalle tavole di progetto allegate, la linea a 36 kV n° 3 in uscita dalla cabina di raccolta, ha una lunghezza di circa 1500 m e alimenta i trasformatori 7, 8,9 e 10 aventi ognuno le seguenti caratteristiche:

AT/BT 36/0,55kV da 2500kVA:

Tenendo conto delle condizioni di posa previste dal progetto, considerando una corrente di impiego pari a circa 161A 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 sezione scelta che consenta di soddisfare la (1) e la (2) è quella da 240 mm<sup>2</sup>.

Il cavo scelto, in condizioni di posa standard, ha una portata di 484 A, mentre nelle condizioni di posa previste dal progetto, la sua portata si riduce a 411 A.

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	0,64	3	130	1	0,8	3x(1x185) mm <sup>2</sup>	362	< 2%
Linea 36 kV n° 2	1	3	152	1	0,8	3x(1x185) mm <sup>2</sup>	362	< 2%
Linea 36 kV n° 3	1,5	4	161	1	0,8	3x(1x240) mm <sup>2</sup>	411	< 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:

sezione nominale	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	
	(mm <sup>2</sup> )	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	-	-

Figura 8: resistenza cavi elettrici in rame RG7H1FR

<sup>7</sup> Ai fini del dimensionamento elettrico si è fatto riferimento al primo tratto di trincea di scavo, in prossimità della cabina di raccolta, dove è prevista la posa di tre terne di cavi a 25cm di distanza l'uno dall'altro, per un breve tratto.

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


 CAVI UNIPOLARI (VALORI MEDI) SINGLE CORE CABLES (AVERAGE VALUES)							
sezione nominale conductor cross-section (mm <sup>2</sup> )	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 5: reattanza cavi elettrici in rame RG7HIRFR

## 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 generazione avente potenza di **29359,4 kWp**, con la sezione a 36 kV futura stazione di trasformazione 380/150/36 kV denominata "Vizzini". La linea è stata dimensionata 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 potenza<sup>8</sup>  $\cos\phi = 0,8$ . Analogamente a quanto previsto per le linee interne al campo, anche per le dorsali è stata considerata la disposizione delle fasi a trifoglio. Ed è stata ipotizzata una profondità di posa non inferiore a 1,40 m:

PARTICOLARE DI POSA DI UNA DORSALE A 36 kV IN USCITA DALLA CABINA DI RACCOLTA SU STRADA PUBBLICA

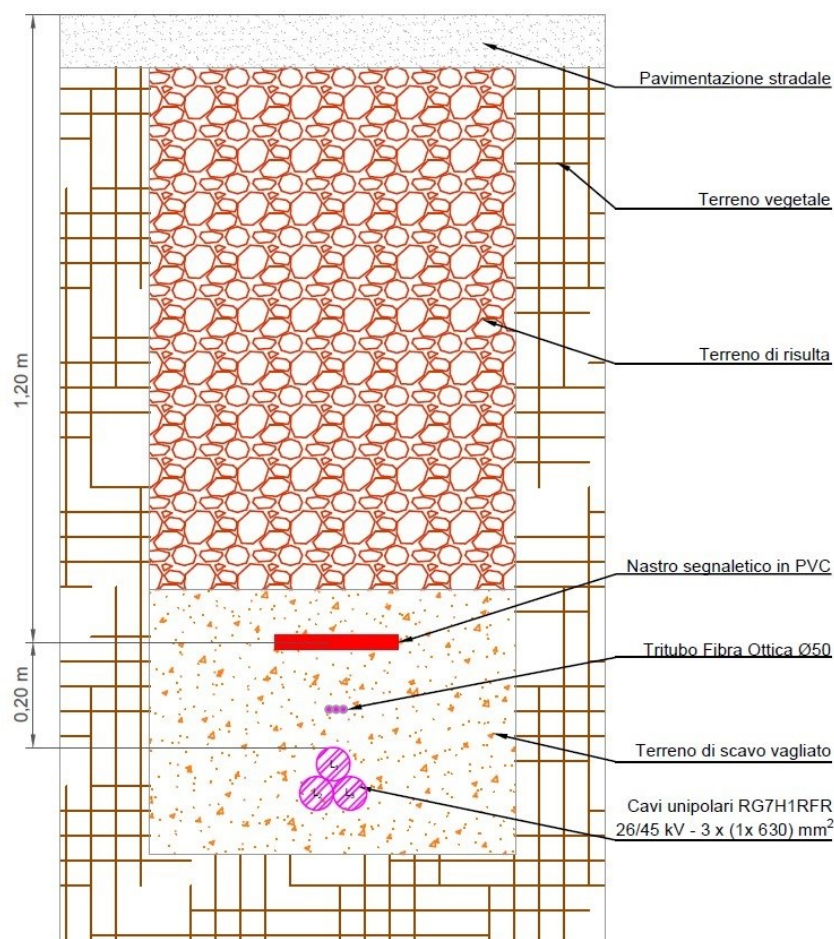


Figura 6: particolare di posa dorsali a 36 kV

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



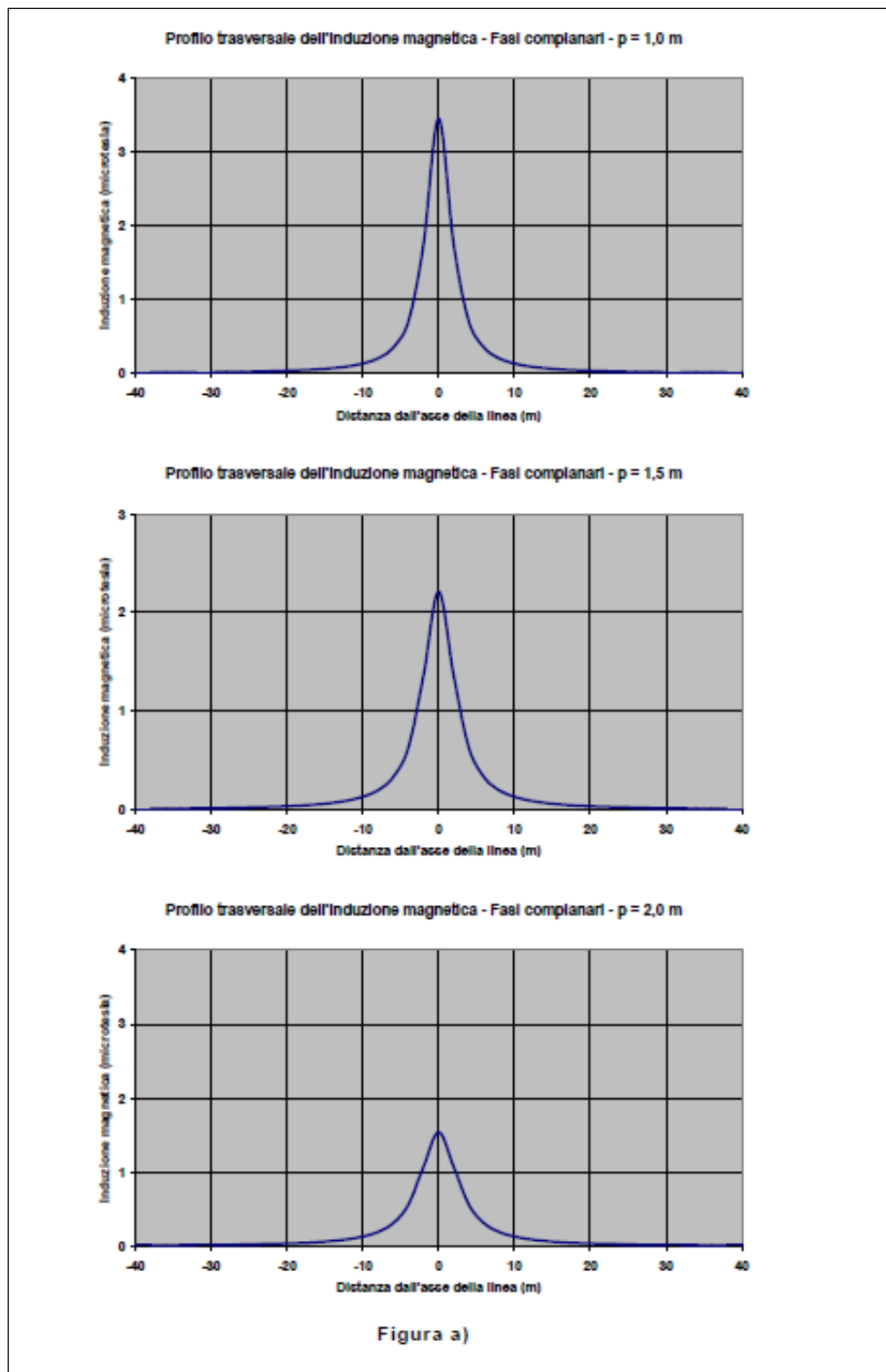


*Figura 11: inquadramento territoriale su ortofoto dell'area di impianto; in blu è stato rappresentato il tracciato della dorsale a 36 kV di collegamento con la Stazione Elettrica di Vizzini (quadrato rosso).*

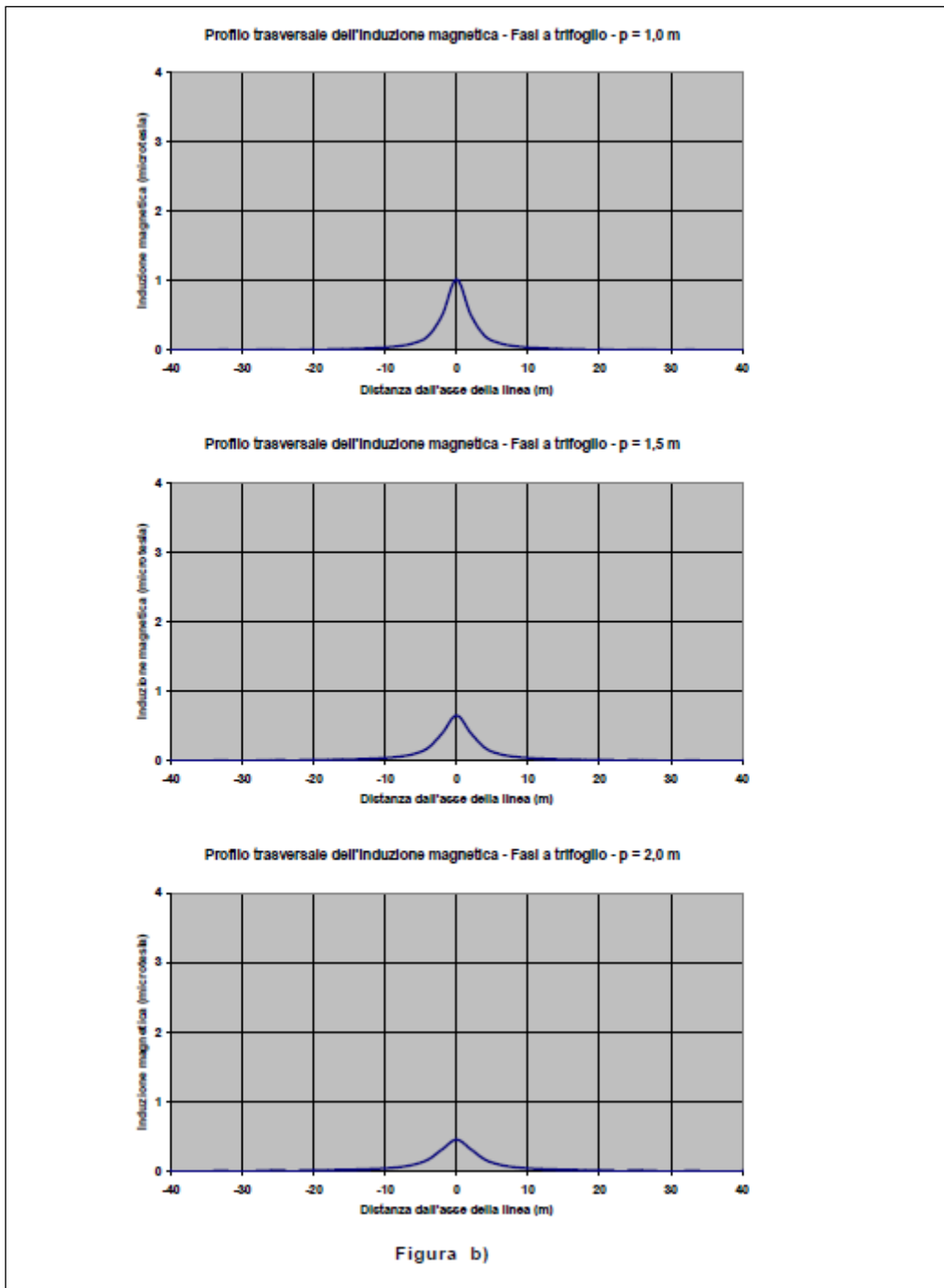
Il profilo trasversale del campo magnetico generato dalle linee elettriche in cavo interrato, misurato ad 1,00 m dal piano di calpestio, ha infatti un andamento del tipo rappresentato nelle figure seguenti, dove:

- 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 0,50 m con profondità di posa per fase di cui alla precedente figura.





*Figura 7: 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 8: 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.

Come facilmente riscontrabile dalle tavole di progetto allegate, la dorsale a 36 kV ha una lunghezza di circa 10,9 km.

Tenendo conto delle condizioni di posa previste dal progetto, considerando una corrente di impiego pari a circa 585 A ed applicando un fattore correttivo della portata che tiene conto, prudenzialmente (seppure non sia il caso), della presenza di più circuiti nella stessa trincea pari a 0,95 (valido nel caso di terne all'interno della stessa trincea di scavo; gli altri fattori di correzione si assumono unitari dato che le condizioni di posa risultano standard), la sezione che consenta di soddisfare la (1) e la (2) è quella da 500 mm<sup>2</sup>.

Si è scelta comunque la sezione di 630mm<sup>2</sup> in quanto a seguito della verifica conservativa delle portate si è passati in quest'ultimo caso da una portata di 702 A a 667 A nelle condizioni di posa ipotizzate prudenzialmente.

I risultati ottenuti vengono riportati 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	Formazione	I <sub>z</sub> [A]	ΔV%
Dorsale 36 kV	10,9	10	585	1	3x(1x630) mm <sup>2</sup>	667	≤ 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 Vizzini**

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	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	
conductor cross- section  (mm <sup>2</sup> )	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	CAVI UNIPOLARI (VALORI MEDI)						
	SINGLE CORE CABLES (AVERAGE VALUES)						
conductor cross-section (mm <sup>2</sup> )	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 9: 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 ecc.;
- 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 futura sezione a 36 kV Stazione Elettrica della RTN denominata Vizzini.

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