



REGIONE SICILIANA
PROVINCIA DI CALTANISSETTA
COMUNE DI MAZZARINO



PROGETTO DI UN IMPIANTO AGRO-FOTOVOLTAICO E DELLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE DA REALIZZARE NEL COMUNE DI MAZZARINO (CL), IN CONTRADA "PIANO LAGO" DELLA POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 50 MW DENOMINATO "ZIGOLO HV"

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE TECNICA DIMENSIONAMENTO CAVI 36kV E VERIFICA DELLA CADUTA DI TENSIONE



IMPIANTO
AGRIVOLTAICO
AVANZATO

LAOR
(Land Area
Occupation Ratio)
20%

LIV. PROG.	COD. PRATICA TERNA	CODICE ELABORATO	TAVOLA	DATA	SCALA
PD	202203183	ZIGOLOHV_B27		08.05.2024	-

REVISIONI

REV.	DATA	DESCRIZIONE	ESEGUITO	VERIFICATO	APPROVATO

RICHIEDENTE E PRODUTTORE

HF SOLAR 19 S.r.l.

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

ENTE

FIRMA RESPONSABILE

PROGETTAZIONE

HORIZONFIRM

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

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

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

PROGETTISTA INCARICATO

FIRMA DIGITALE PROGETTISTA



FIRMA OLOGRAFA E TIMBRO PROGETTISTA

**Impianto di produzione di energia elettrica da
fonte energetica rinnovabile attraverso tecnologia
fotovoltaica
denominato
“Zigolo HV”**

Relazione tecnica linee elettriche a 36 kV

Progetto definitivo

Sommario

1 Definizioni.....	1
2 Adempimenti e riferimenti normativi	2
3 Premessa	2
4 Criterio di dimensionamento dei cavi	6
5 Criterio di verifica	8
6 Dimensionamento e verifica linee elettriche di campo	10
7 Dimensionamento e verifica delle dorsali di collegamento con la Stazione Elettrica di Trasformazione della RTN	12
8 Criteri per l'individuazione del tracciato	18
9 Progettazione della canalizzazione.....	18
9.1 Posa direttamente interrata tradizionale.....	19
9.2 Posa entro tubo di materiale plastico	19
10 Interferenze con altri sottoservizi interrati	20
10.1 Coesistenza tra cavi di energia e cavi di telecomunicazione.....	20
10.2 Parallelismi tra cavi.....	21
10.3 Coesistenza tra cavi di energia e tubazioni o serbatoi metallici interrati	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 presente relazione tecnica è parte integrante del Progetto Definitivo di un impianto agro-fotovoltaico, che la Società "**HF Solar 19 S.r.l.**" intende realizzare nel territorio comunale di

Mazzarino (CL) in località “Contrada Piano Lago” su quattro lotti di terreno distinti catastalmente come segue:

- Plot 1: Foglio 190 p.lle 10, 12, 70, 71, 80, 83, 103, 108, 109, 111, 112, 113, 114, 122, 151, 154, 181, 185, 186, 188, 187, 190, 191, 192, 193 (N.C.T.) e Foglio 190 p.lle 194, 213 (N.C.F.);
- Plot 2: Foglio 191 p.lle 6, 7, 8, 9, 13, 14, 15, 16, 35, 36, 37, 38; Foglio 192 p.la 34 (N.C.T.);
- Plot. 3: Foglio 193 p.lle 3, 4, 116, 120, 126, 134, 144, 154, 156, 164, 172; Foglio 194 p.lle 4, 39, 46, 52, 53, 55, 56, 54, 88 (N.C.T.);
- Plot. 4: Foglio 195 p.lle 8, 9, 10, 28, 12, 30, 31; Foglio 196 p.lle 4, 21, 20, 17, 22, 11 (N.C.T.).

L'impianto oggetto di progettazione, ha una potenza di picco¹ pari a **53.343,36 kWp** e sarà connesso alla Rete Elettrica di Trasmissione Nazionale RTN a 36 kV. Lo schema di connessione alla Rete, prescritto dal Gestore della Rete Elettrica di Trasmissione Nazionale con preventivo di connessione ricevuto in data **01/03/2024** e identificato con **Codice Pratica 202203183**, prevede che l'impianto venga collegato in antenna a 36 kV con la sezione a 36 kV di una nuova stazione elettrica di trasformazione (SE) a 220/150/36 kV della RTN, da inserire in entra - esce sulla linea RTN a 220 kV “Chiaromonte Gulfi - Favara”.

Ai sensi dell'allegato A alla deliberazione Arg/elt/ 99/08 e s.m.i. dell'Autorità di Regolazione per Energia, Reti e Ambiente, il/i nuovo/i elettrodotto/i in antenna a 36 kV per il collegamento della centrale alla citata SE costituisce/constituiscono **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**.

Per una maggiore comprensione di quanto descritto, viene riportato lo schema tipico di inserimento in antenna con nuova stazione elettrica RTN, riportato nella Guida agli Schemi di Connessione del Codice di Rete Terna:

¹ Per potenza di picco del Campo Fotovoltaico si intende, ai sensi della Norma CEI 0-16, la somma delle potenze nominali dei moduli fotovoltaici installati valutate in condizioni STC.

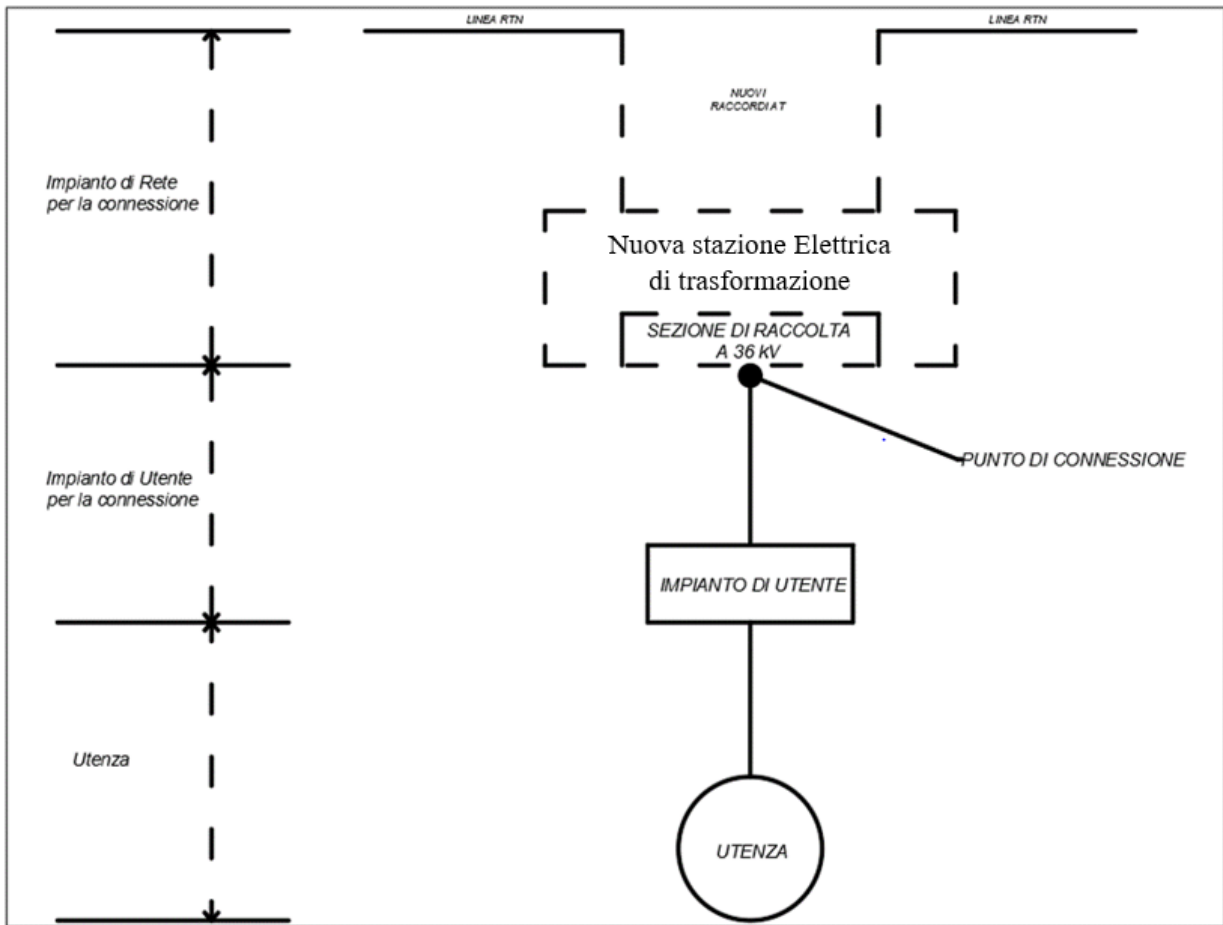


Figura 1: Schema tipico di collegamento in antenna su Nuova Stazione elettrica RTN collegata in entra-esce su linea RTN

Considerando che l'impianto sarà sottoposto ad **Iter Autorizzativo Unico**, ai sensi del D.Lgs. n° 387 del 2003, la Società Proponente espletterà direttamente la procedura autorizzativa fino al conseguimento dell'Autorizzazione Unica, oltre che per l'impianto di produzione e di Utenza per la connessione, 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.

Nel presente elaborato, verranno illustrati i criteri applicati ai fini del "dimensionamento e della verifica²" dei cavi elettrici a 36 kV, facenti parte delle Opere di Utenza necessarie per la connessione dell'impianto di produzione alla Rete Elettrica di Trasmissione Nazionale. In particolare l'analisi

² 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.

verrà condotta sia per le linee elettriche di campo³ che per la dorsale di collegamento con la Stazione Elettrica di Trasformazione della RTN.

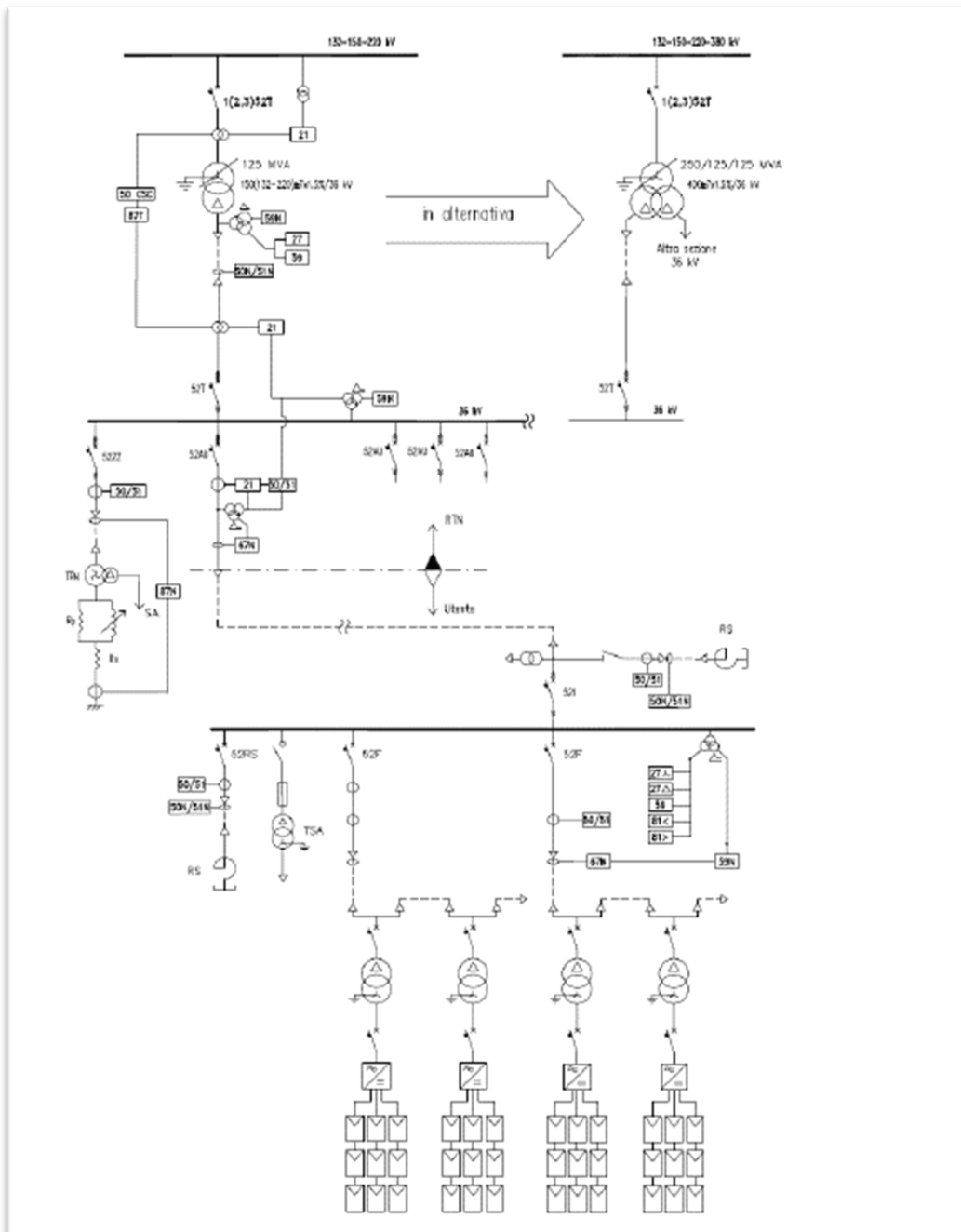


Figura 2: Composizione tipica di una Centrale Fotovoltaica

³ In questo contesto chiameremo linee elettriche di campo le linee che consentono di collegare i quadri elettrici delle Power Station, con il quadro elettrico generale installato all'interno della Cabina di Raccolta.

Per le caratteristiche delle altre infrastrutture costituenti l’Impianto di Utenza, si rimanda alle rispettive relazioni tecniche specialistiche allegate al progetto.

4 Criterio 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 dal progetto, sia almeno uguale alla corrente di impegno del circuito (I_B).

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

Considerando che le linee di campo si svilupperanno all’interno di un sito nella disponibilità del Produttore intercluso alla libera circolazione, mentre gli elettrodotti di collegamento con la Stazione Elettrica della RTN su strada pubblica, ai fini del dimensionamento delle due tipologie di cavi sono state assunte condizioni di posa differenti, come di seguito indicato:

Linee di 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;
- numero di circuiti presenti all’interno della stessa trincea di scavo⁴ pari a 4.

Dorsali di collegamento con la Stazione Elettrica di Trasformazione

- 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.

⁴ 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 4 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.

Per entrambe le tipologie di linee, in questa fase della progettazione si è scelto di utilizzare cavi ad elica visibile, in modo tale da rispettare l'obiettivo di qualità del Campo Induzione Magnetica di 3 μ T fissato dal D.P.C.M. 8 luglio 2003.

I cavi scelti, sono adatti per il trasporto di energia elettrica 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 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 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 cavo⁶;
- t è la durata della corrente di cortocircuito⁷ (s).

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

- 4% per le dorsali⁸;
- 2% per le linee di sottocampo⁹.

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

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

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 guasto trifase netto sulle sbarre della Stazione Elettrica RTN pari a 16 kA e 12,5 kA in corrispondenza dei quadri di campo.

⁶ Considerando che i cavi scelti sono in alluminio, questo coefficiente vale 92.

⁷ 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 automatici di protezione delle linee, prudenzialmente è stato considerato un valore massimo di 2 sec per gli interruttori installati nella SE Terna e 1 sec per gli interruttori installati nei quadri di campo.

⁸ In questo contesto chiameremo linea dorsale quella che consente di collegare il quadro elettrico generale installato all'interno della cabina di raccolta con la Stazione Elettrica di Trasformazione della RTN.

⁹ In questo contesto chiameremo linee di sottocampo quelle che consentono di collegare le Power Station con il quadro elettrico generale installato all'interno della cabina di raccolta.

dove:

- 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 Power Station interconnesse dalla linea;
- $\sum_{i=1}^n Mif^A$ è la somma dei momenti amperometrici in fase, valutati rispetto al punto di derivazione della linea 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 dal quadro elettrico generale installato nella cabina di raccolta;
- A è il punto di derivazione della linea sopra menzionato.

mentre per la linea dorsale 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 linee elettriche 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 di sottocampo ciascuna delle quali interconnette in entra-esce, un certo numero di Power Station secondo l'ordine di seguito indicato:

- Linea n° 1: interconnette le Power Station 1, 2, 3 e 4;
- Linea n° 2: interconnette le Power Station 5 con il quadro elettrico generale;
- Linea n° 3: interconnette le Power Station 6 e 7;
- Linea n° 4: interconnette le Power Station 8, 9 e 10.

Considerando che ciascuna delle Power Station risulta equipaggiata con un trasformatore AT/BT da 5000 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 2:

Linea	Lunghezza [km]	N° di PS alimentate	I _B [A]	Numero di circuiti presenti nella stessa trincea di scavo ¹⁰	K ₁	K ₄	Formazione	I _z [A]	ΔV%
Linea n° 1	2,042	4	321	4	0,96	0,8	3x(1x400)mm ²	407	< 2%
Linea n° 2	0,086	1	81	4	0,96	0,8	3x(1x185)mm ²	271	< 2%
Linea n° 3	1,109	2	161	4	0,96	0,8	3x(1x240)mm ²	314	< 2%
Linea n° 4	2,433	3	241	4	0,96	0,8	3x(1x300) mm ²	355	< 2%

Tabella 1: Riepilogo risultati di dimensionamento e verifica linee di campo

I parametri elettrici utilizzati ai fini del dimensionamento e della verifica dei cavi, vengono riportati nella tabella seguente:

¹⁰ 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 delle 4 linee elettriche oggetto di dimensionamento.

CARATTERISTICHE ELETTRICHE

Nome	Capacità nominale [µF / km]	Reattanza di fase a 50 Hz a trifoglio [Ohm/km]	Massima resistenza el. del cond. a 20°C in c.c. [Ohm/km]	Resistenza el. del cond. a 90°C in c.a. - trifoglio [Ohm/km]	Portata di corrente cavi in aria a 30°C - trifoglio [A]	Portata di corrente cavi interrati a 20° C - trifoglio [A]	Corrente di corto circuito nel conduttore 1s [kA]
ARE4H5E(X) 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

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 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

Tabella 2: scheda tecnica dei cavi utilizzati

7 Dimensionamento e verifica delle dorsali di collegamento con la Stazione Elettrica di Trasformazione della RTN

La dorsale a 36 kV, consentirà di collegare l'impianto con la Stazione Elettrica di Trasformazione 220/150/36 kV della RTN.

La linea è stata dimensionata, cautelativamente, in funzione dalla potenza apparente complessiva delle Power Station previste, assumendo un fattore di contemporaneità F_{co} unitario. Per il calcolo della caduta di tensione è stato ipotizzato un funzionamento a fattore di potenza¹¹ $\cos\phi = 0,8$.

Anche per le dorsali, è stata privilegiata la posa dei cavi a trifoglio:

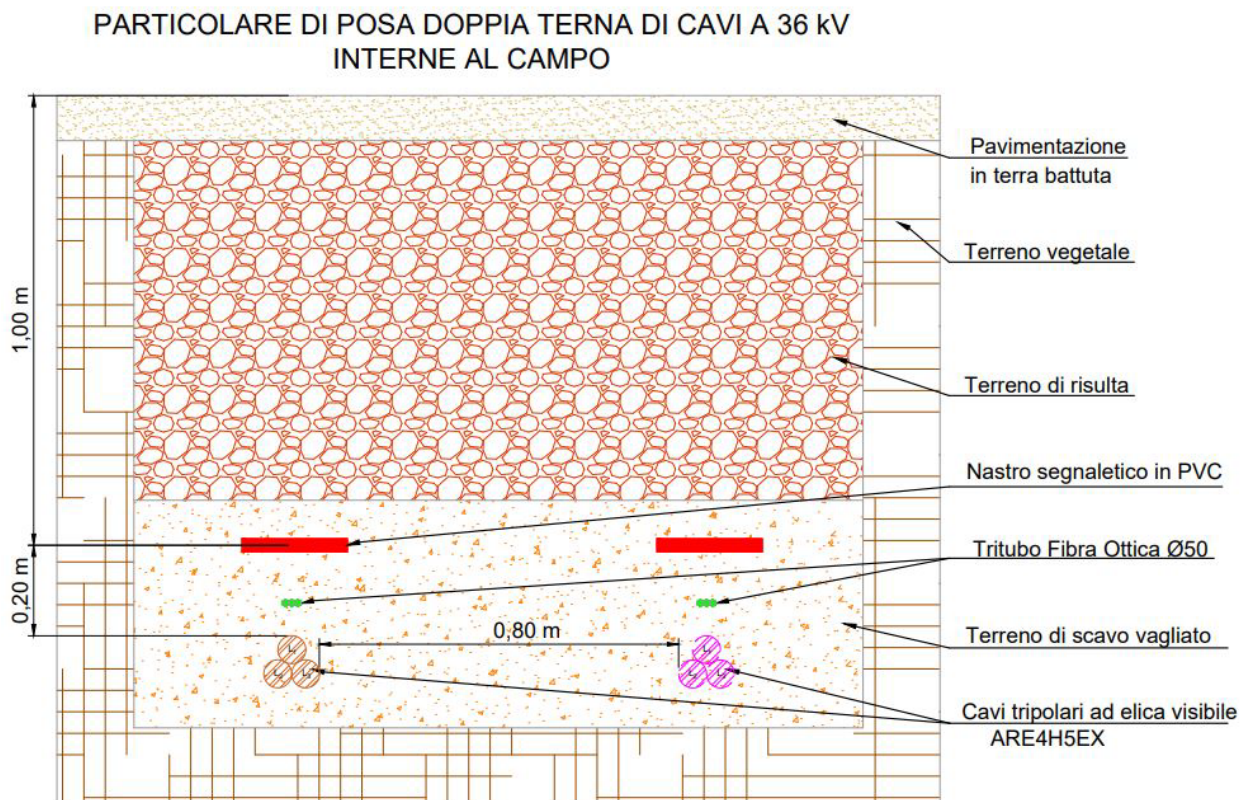


Figura 3: particolare di posa dorsale di collegamento con la Stazione Elettrica di Trasformazione della RTN singola terna di cavi da $2 \times [3 \times (1 \times 400)] \text{mm}^2$ profondità di posa 1,40 m

Ciò al fine di limitare il valore dell'induzione magnetica generata durante l'esercizio a livello del suolo sulla verticale del cavo nelle condizioni limite di portata.

¹¹ Per il calcolo della caduta di tensione è stato considerato il fattore di potenza nominale delle Power Station scelte.

Il profilo trasversale del campo magnetico generato dalle linee elettriche in cavo interrato, misurato a 1 m dal piano di calpestio, ha infatti un andamento del tipo indicato 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.

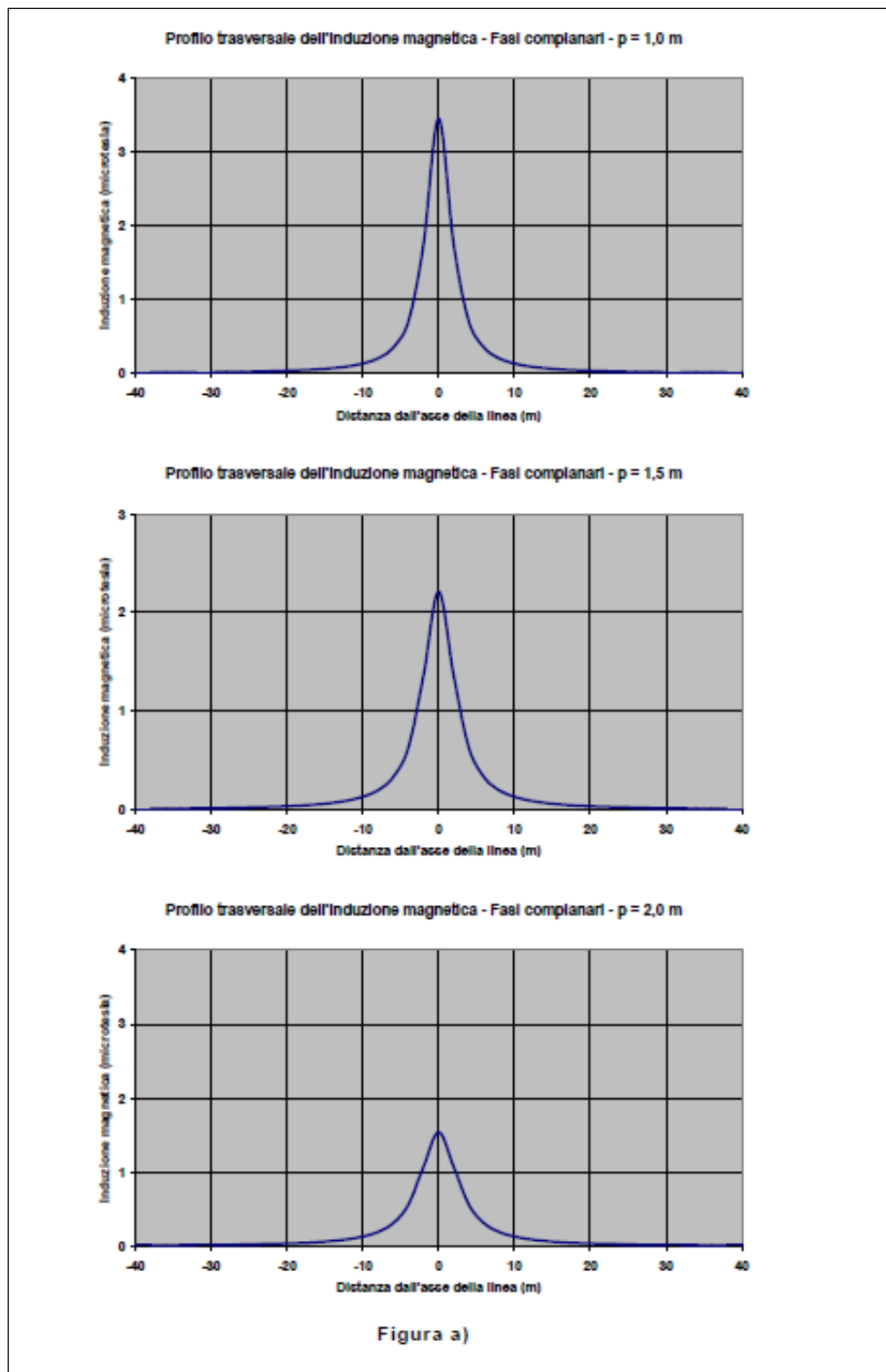


Figura 4: induzione magnetica generata da linee trifasi con conduttori distanziati tra loro di 0,20 m posati rispettivamente a 1,00 m, 1,50 m e 2,00 m di profondità, paralleli tra loro e alla superficie di calpestio. La corrente di ogni fase è di 200 A – Norma CEI 11-17

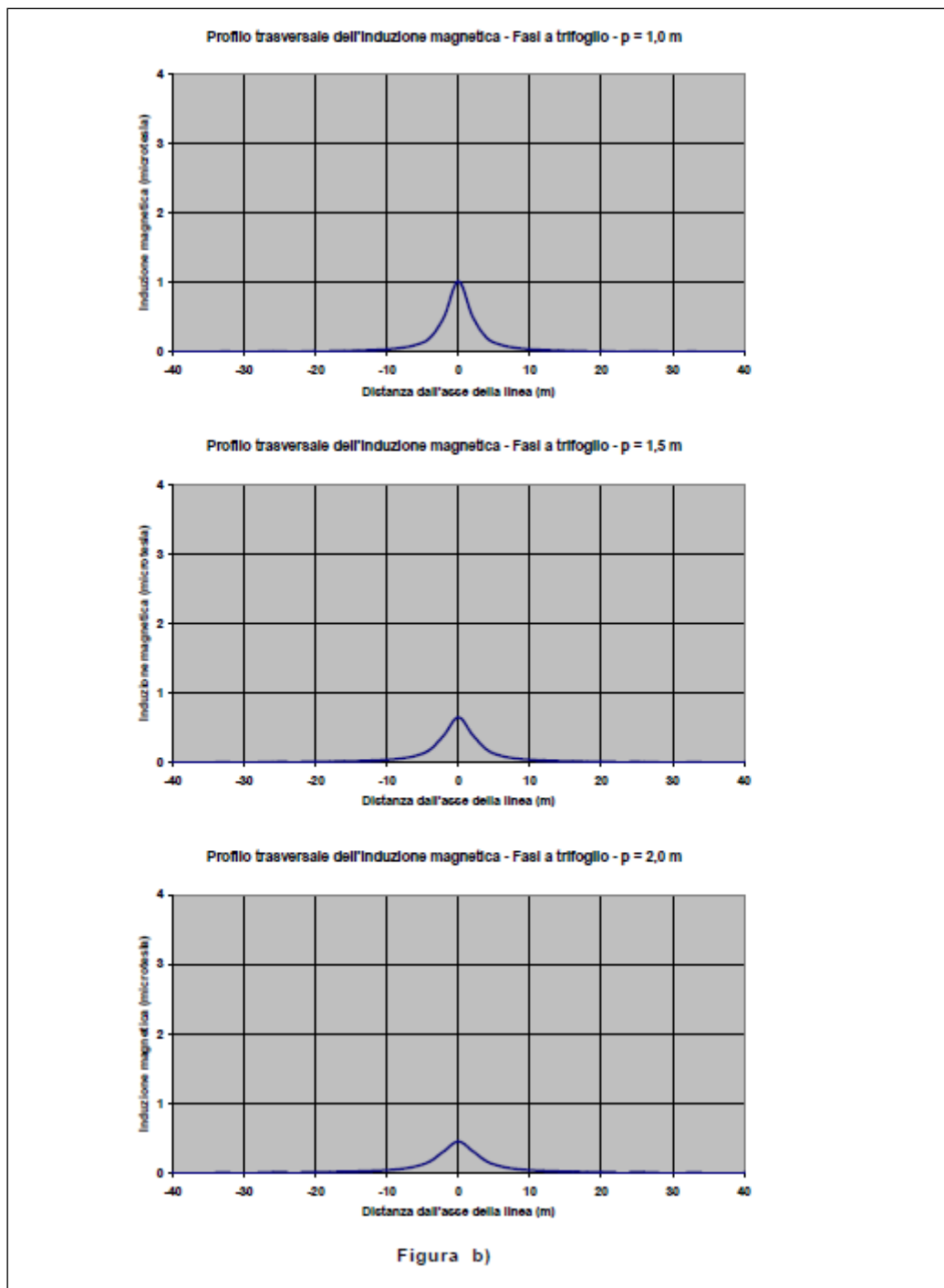


Figura 5: induzione magnetica generata da linee trifasi con conduttori distanziati tra loro di 0,05 m posati rispettivamente a 1,00 m, 1,50 m e 2,00 m di profondità, paralleli tra loro e alla superficie di calpestio. La corrente di ogni fase è di 200 A – Norma CEI 11-17

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, l'avvicinamento delle fasi e la loro disposizione a trifoglio, a parità di altre condizioni, attenua il campo.

Al contrario, nel caso di linea in doppia terna, a parità di profondità di posa, la configurazione con le fasi disposte in piano e a contatto è, in genere, migliore di quella a trifoglio, se le fasi delle due terne sono disposte in maniera ottimale, soprattutto per quanto riguarda i valori di induzione magnetica ad una certa distanza dall'asse della linea. Inoltre, in questi casi, anche la distanza tra le due terne rappresenta un fattore importante ai fini della mitigazione del campo magnetico. I risultati di calcolo riportati nella figura seguente, tratta dalla Norma CEI 106-11, illustrano tali affermazioni ed evidenziano come, nel caso della posa a trifoglio, i valori dell'induzione magnetica diminuiscano all'aumentare della distanza tra le due terne, mentre con la posa in piano si verifichi esattamente l'opposto.

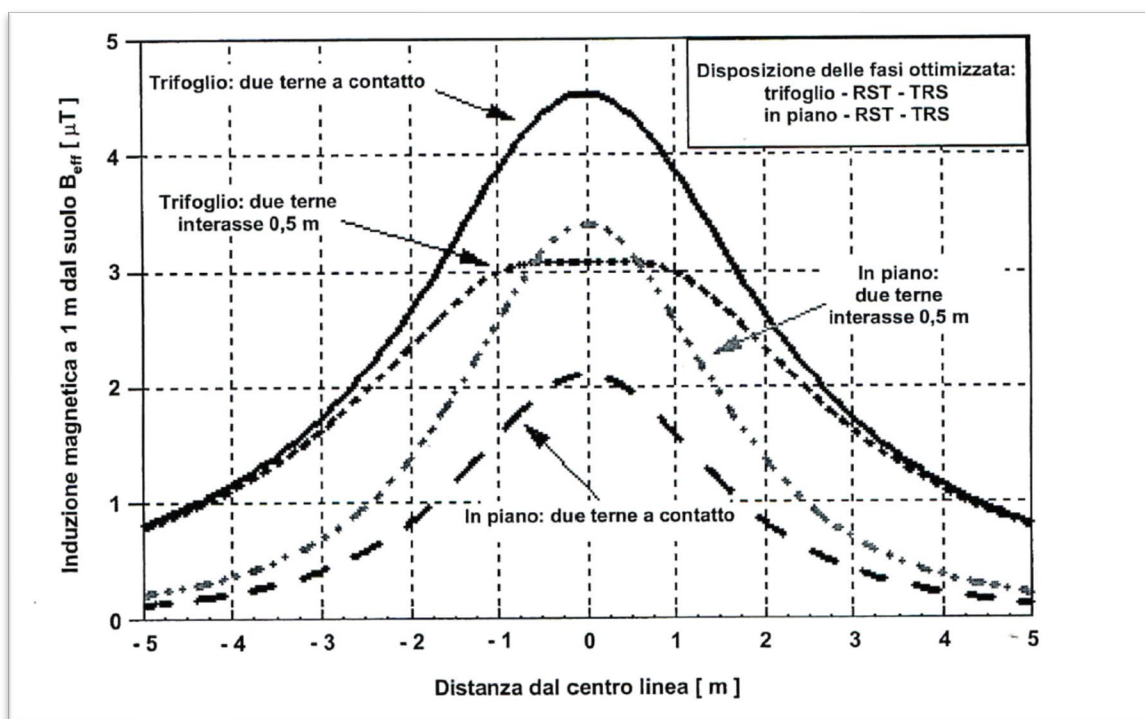


Figura 6: confronto tra i profili laterali dell'induzione magnetica a 1 m da terra di due terne posate rispettivamente a trifoglio e in piano a contatto, $I = 1000 A$, profondità di posa = 1,20 m, diametro dei cavi 100 mm

L'esempio riportato sopra dimostra inoltre come, nel caso dei cavi disposti in doppia terna, le combinazioni dei parametri geometrici ed elettrici che entrano in gioco nella determinazione della distribuzione del campo magnetico siano in pratica più numerose e/o maggiormente modificabili di quelle precedentemente individuate per tipiche linee elettriche aeree. Infatti, come è facilmente intuibile, esiste una maggior libertà nella scelta della geometria di posa delle due terne e nella disposizione delle fasi dei cavi.

Tenendo conto delle ipotesi progettuali adottate e applicando il criterio di dimensionamento esposto al paragrafo 4, per soddisfare il vincolo imposto dal criterio termico è necessario che le linee vengano realizzate ciascuna in semplice trerna:

Denominazione linea	Lunghezza [km]		N° di PS alimentate	I _B [A]	Numero di circuiti presenti nella stessa trincea di scavo	Fattore correttivo K ₁	Formazione	I _z [A]	ΔV%
Dorsale	15,35		10	802	1	0,94	2x[3x(1x400)]mm ²	996	< 4 %

Tabella 3: Riepilogo risultati di dimensionamento e verifica dorsali di collegamento con la Stazione Elettrica RTN

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 240 mm ² SK1	0,28	0,114	0,125	0,161	501	410	22,7
ARE4H5E(X) 18/30 kV 300 mm ² SK1	0,304	0,11	0,1	0,129	574	463	28,3
ARE4H5E(X) 18/30 kV 400 mm ² SK1	0,335	0,106	0,0778	0,101	669	530	37,8
ARE4H5E(X) 18/30 kV 500 mm ² SK1	0,363	0,102	0,0605	0,08	777	604	47,2
ARE4H5E(X) 18/30 kV 630 mm ² SK1	0,396	0,098	0,0469	0,063	901	687	59,5

Tabella 4: scheda tecnica dei cavi scelti per la realizzazione delle dorsali di

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 per le linee interne al campo e per le dorsali di collegamento con la Stazione Elettrica della RTN.

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.

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

9.1 Posa direttamente interrata tradizionale

La posa direttamente interrata va prevista nel caso di tracciati particolarmente tortuosi nei quali i cavi vengono calati nella trincea a cielo aperto.

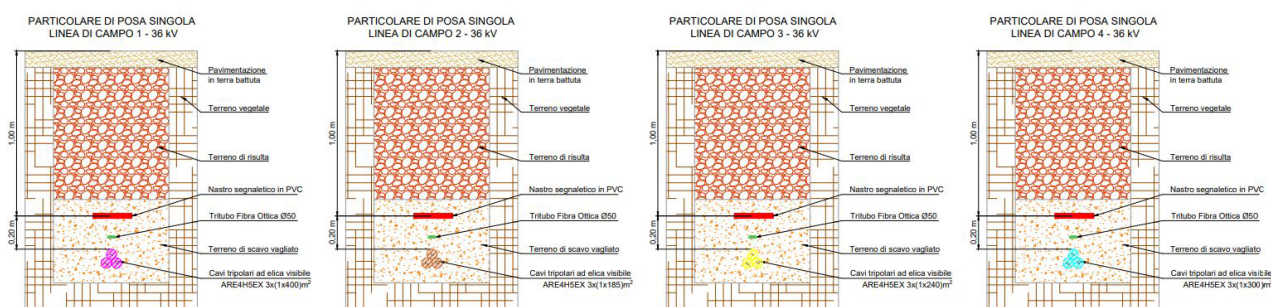


Figura 7: particolare di posa linee di campo – posa diretta

Questo tipo di posa offre il vantaggio di sfruttare al massimo la portata del cavo semplificandone la posa.

9.2 Posa entro tubo di materiale plastico

Questo tipo di posa è quella privilegiata nella generalità dei casi.

Rispetto alla soluzione della posa direttamente interrata, pur determinando una riduzione della portata del cavo, facilita l'ottenimento delle autorizzazioni allo scavo su suolo pubblico, in particolare per le restrizioni introdotte dal Nuovo Codice della Strada, in applicazione del quale gli Enti proprietari tendono a non autorizzare scavi a cielo aperto di lunghezza rilevante.

In ogni caso il diametro interno del tubo e relativi accessori (curve, manicotti, ecc) non deve essere inferiore a 1,4 volte il diametro del cavo.

10 Interferenze con altri sottoservizi interrati

In presenza di parallelismo e/o di incroci tra cavi di energia oggetto di dimensionamento ed altri servizi tecnologici interrati quali cavi di telecomunicazione, di comando e segnalamento, tubazioni metalliche del gas, dell'acqua, ecc..., verranno valutati, in fase di progettazione esecutiva, i limiti delle interferenze magnetiche dovute a fenomeni induttivi facendo riferimento alle Norme del CT 304 del CEI.

I provvedimenti adottabili in presenza di altri sottoservizi interrati lungo il tracciato delle linee di collegamento con la Stazione Elettrica della RTN, saranno quelli descritti nei successivi paragrafi.

10.1 Coesistenza tra cavi di energia e cavi di telecomunicazione

In caso di coesistenza tra cavi di energia oggetto di progettazione con cavi di telecomunicazione, verranno adottati i seguenti provvedimenti:

- il cavo di energia deve, di regola, essere situato inferiormente al cavo di telecomunicazione;
- la distanza tra i due cavi non deve essere inferiore a 0,30 m.

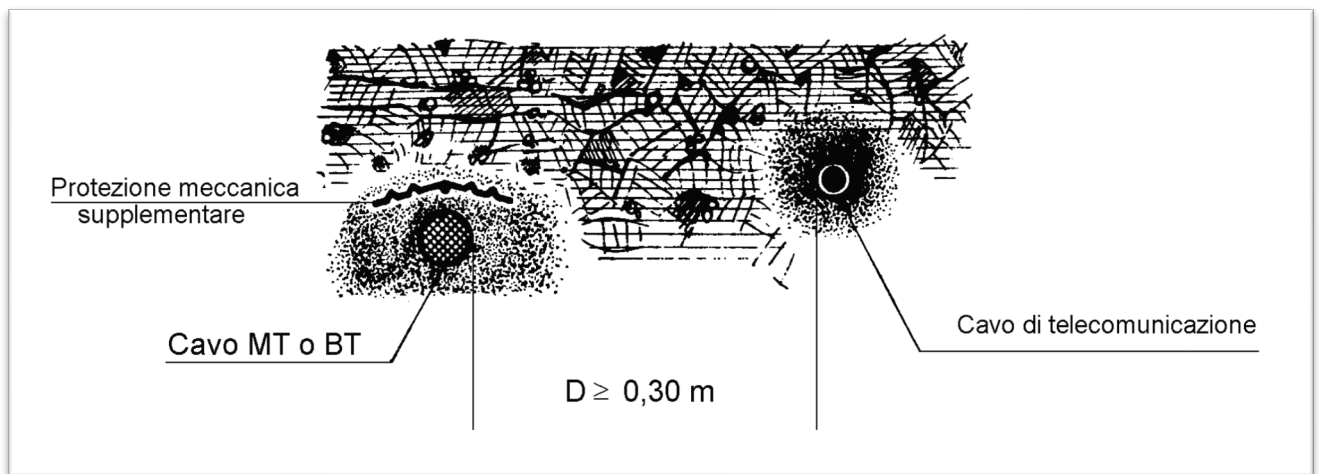


Figura 8: Distanze di sicurezza da mantenere in presenza di interferenze con linee di telecomunicazione – cavi di energia posati direttamente nel terreno

Ove, per giustificate esigenze tecniche, non possa essere rispettata la distanza minima della linea precedente, verrà applicata su entrambi i cavi una protezione meccanica:

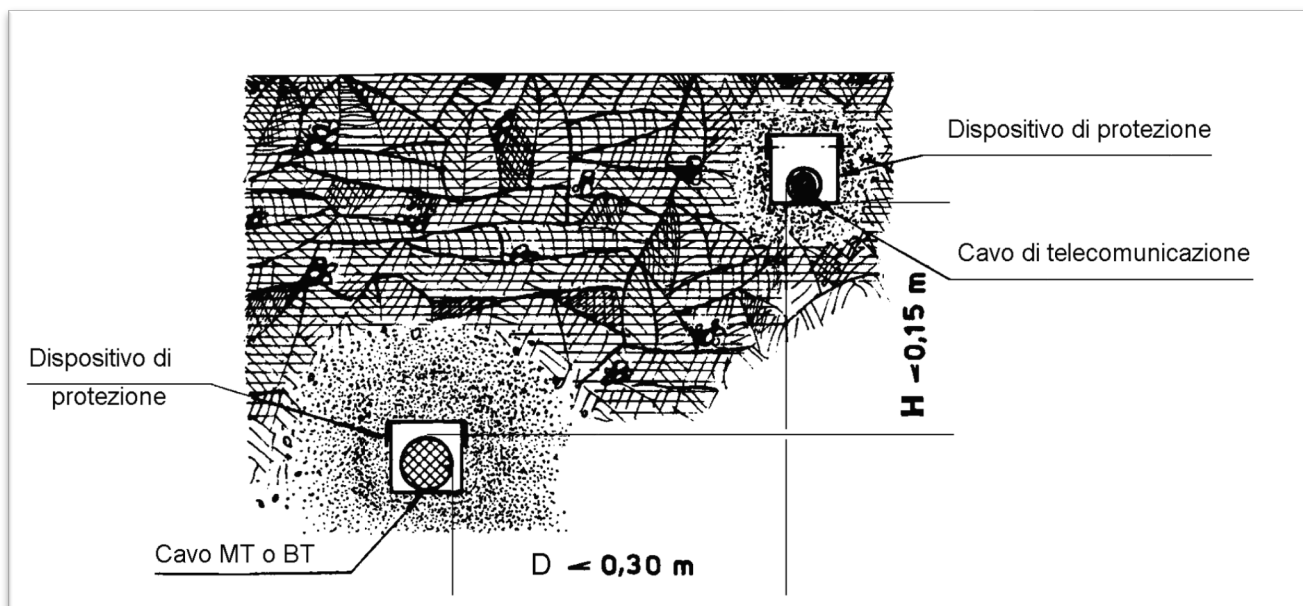


Figura 9: distanze di sicurezza da mantenere in presenza di interferenze con linee di telecomunicazione – cavi di energia dotati di protezione meccanica

Quando almeno uno dei due cavi è posto dentro appositi manufatti (tubazioni, cunicoli, ecc.) che proteggono il cavo stesso e ne rendono possibile la posa e la successiva manutenzione senza la necessità di effettuare scavi, non è necessario osservare le prescrizioni sopraelencate.

10.2 Parallelismi tra cavi

In caso di parallelismo, i cavi di energia ed i cavi di telecomunicazione devono, di regola, verranno posati alla maggiore possibile distanza tra loro.

Ove per giustificate esigenze tecniche il criterio di cui sopra non possa essere seguito, è ammesso posare i cavi vicini fra loro purché sia mantenuta, fra essi, una distanza minima, in proiezione su di un piano orizzontale, non inferiore a 0,30 m.

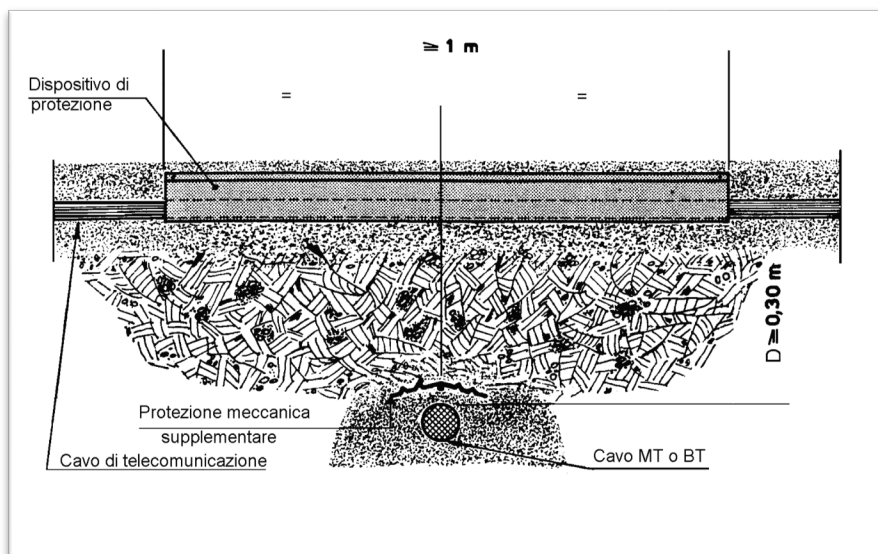


Figura 10: distanze di sicurezza da mantenere in presenza di parallelismi – cavi di energia posati direttamente nel terreno

Qualora detta distanza non possa essere rispettata, verrà applicata sul cavo posato alla minore profondità (oppure su entrambi i cavi quando la differenza di quota fra essi è minore di 0,15 m) una protezione meccanica:

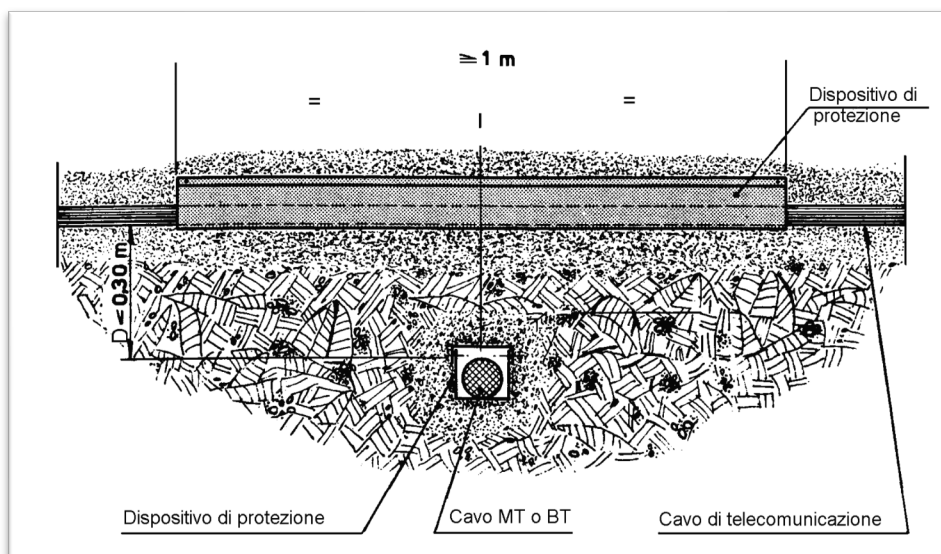


Figura 11: distanze di sicurezza da mantenere in presenza di parallelismi – cavi di energia dotati di protezione meccanica

Le prescrizioni di cui sopra non saranno applicate quando almeno uno dei due cavi è posato, per tutta la tratta interessata, in appositi manufatti (tubazioni, cunicoli, ecc.) che proteggono il cavo stesso e ne rendono possibile la posa e la successiva manutenzione senza la necessità di effettuare scavi.

10.3 Coesistenza tra cavi di energia e tubazioni o serbatoi metallici interrati

L'incrocio tra i cavi elettrici oggetto di dimensionamento ed eventuali tubazioni metalliche adibite al trasporto e alla distribuzione di fluidi (acquedotti, oleodotti e simili) non verrà eseguito sulla proiezione verticale di giunti non saldati delle tubazioni metalliche stesse. Non verranno realizzati giunti sui cavi di energia a distanza inferiore a 1 m dal punto di incrocio, a meno che non siano attuati i provvedimenti descritti nel seguito. Nessuna particolare prescrizione è data nel caso in cui la distanza minima, misurata fra le superfici esterne di cavi di energia e di tubazioni metalliche o fra quelle di eventuali loro manufatti di protezione, è superiore a 0,50 m.

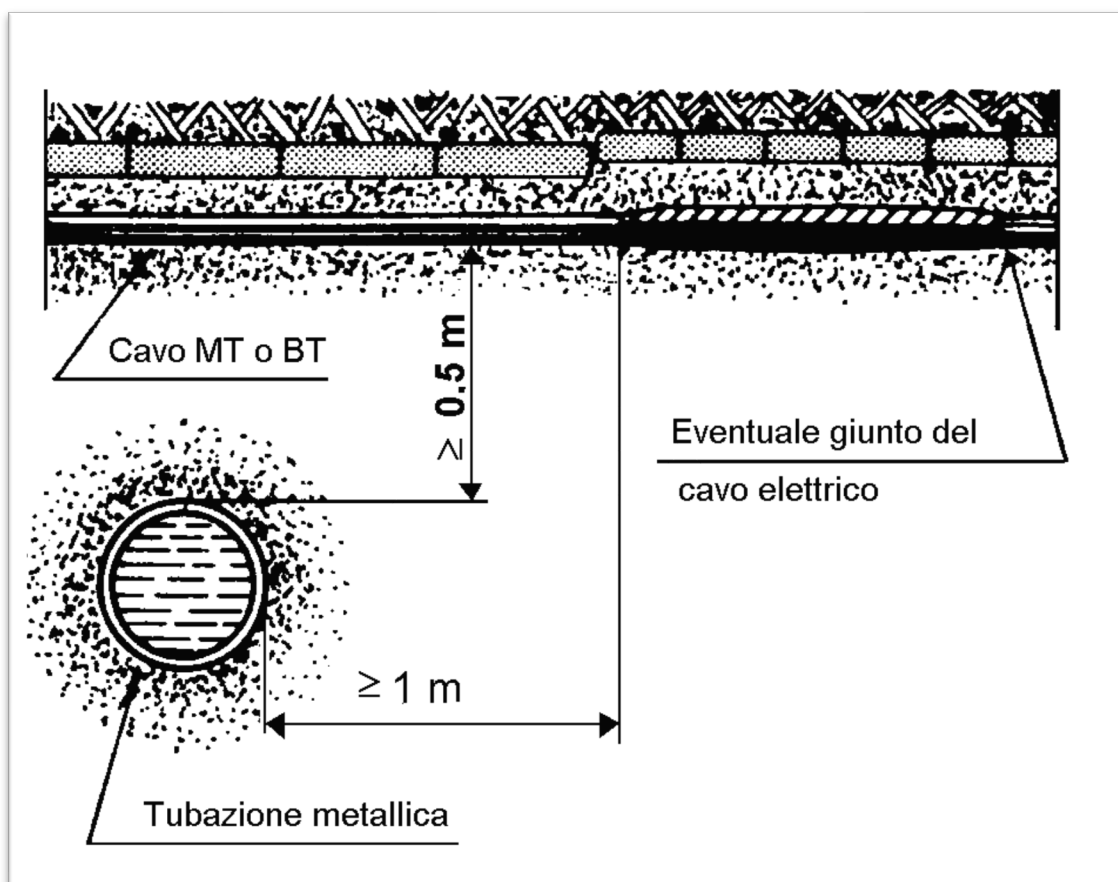


Figura 12: distanze di sicurezza in presenza di interferenze con tubazioni metalliche interrate

Nel caso in cui non sia possibile rispettare la distanza minima di 0,5 m verranno adottati i provvedimenti di seguito indicati:

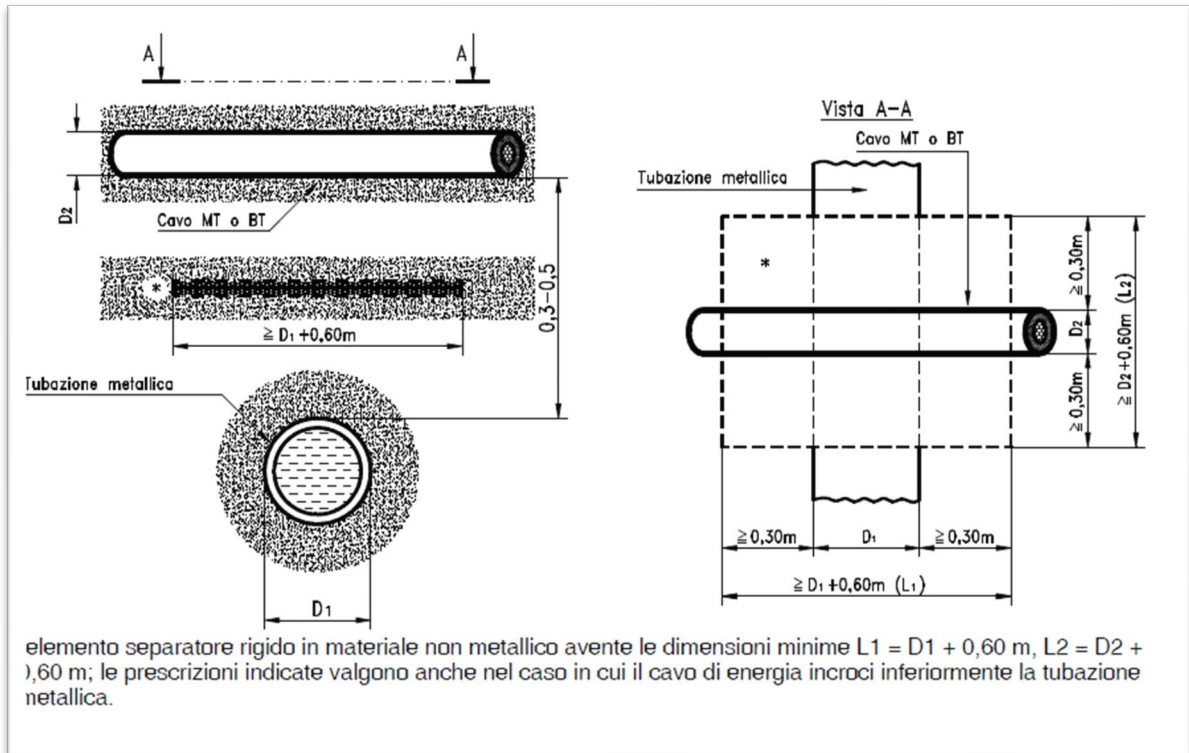


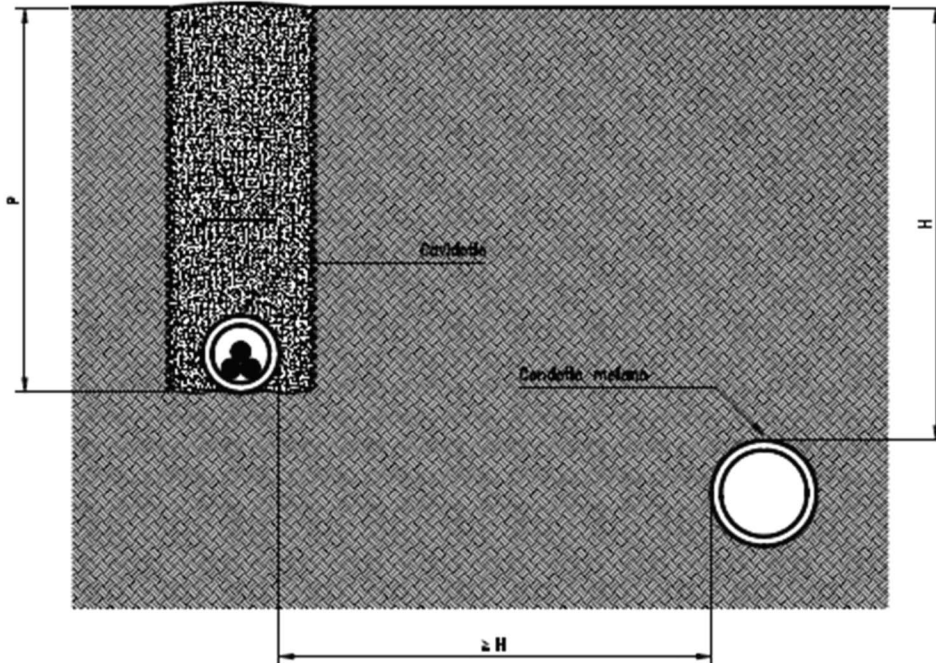
Figura 13: distanze di sicurezza in presenza di interferenze con tubazioni metalliche interrato

In presenza di interferenze con tubazioni metalliche adibite al trasporto e la distribuzione di gas naturale con densità $\leq 0,8$, i provvedimenti adottabili sono quelli di seguito indicati:

PARALLELISMI

1) Condotte con pressione massima di esercizio > 5 bar (1^a, 2^a e 3^a specie);

- ♦ Posa dei cavi: in tubazione (art. 2.4.2.e D.M. 24.11.1984):



P = profondità di posa del cavidotto (Vedi Tavole C2.1÷ C2.6 Parte II)
H = profondità di posa della condotta (≥ 0,9 m)

Nel caso in cui non sia possibile rispettare la distanza minima indicata devono essere interposti elementi separatori non metallici che costituiscano un diaframma continuo^(*).
Le stesse prescrizioni devono essere rispettate dalla Società proprietaria o concessionaria delle condotte se il cavo è preesistente alla posa di queste ultime.

- ♦ Posa dei cavi: direttamente interrata o meccanizzata (art. 4.3.02 Norme CEI 11-17):

Vedi Tavola U3.5

^(*) la riduzione delle distanze di rispetto deve essere sempre concordata con la Società proprietaria o concessionaria delle condotte.

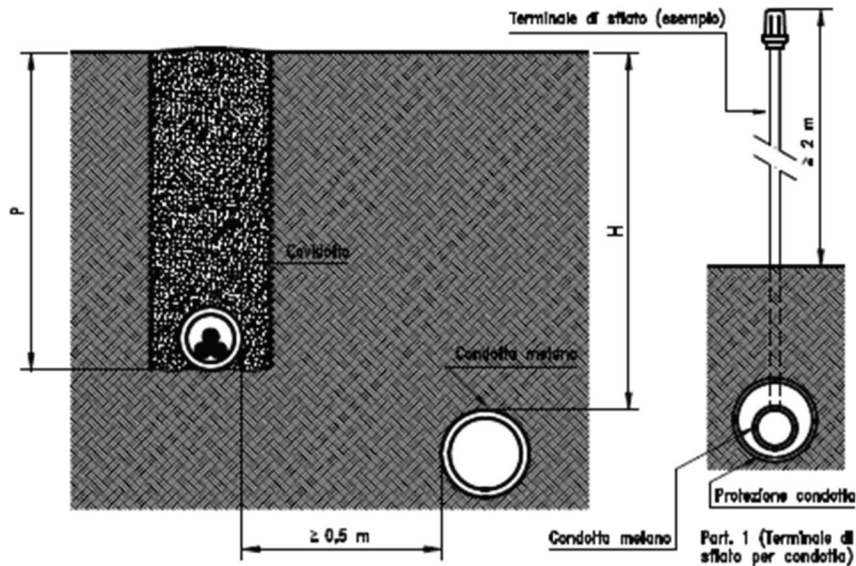
Figura 14: distanze di sicurezza in presenza di interferenze con tubazioni metalliche interrate adibite al trasporto e distribuzione di gas naturale

OPERE INTERFERENTI: TUBAZIONI METALLICHE PER IL TRASPORTO E LA DISTRIBUZIONE DEL GAS NATURALE CON DENSITA' $\leq 0,8$ (Metano)

PARALLELISMI

2) Condotte con pressione massima di esercizio ≤ 5 bar (4^a, 5^a, 6^a e 7^a specie);

- ♦ Posa dei cavi: in tubazione (art. 3.4.2.d D.M. 24.11.1984):
 - a) Distanza di rispetto per condotte con pressione massima di esercizio $> 0,5$ bar e ≤ 5 bar (4^a e 5^a specie):



P = profondità di posa del cavidotto (Vedi Tavole C2.1÷ C2.6 Parte II)
 H = profondità di posa della condotta ($\geq 0,9$ m)

Nel caso in cui non sia possibile rispettare la distanza minima indicata le condotte devono essere collocate entro un manufatto o altra tubazione di protezione. Se il parallelismo è di lunghezza superiore a 150 m, devono essere previsti sulle condotte diaframmi e dispositivi di sfiato verso l'esterno (Vedi part. 1), costruiti con tubi di diametro non inferiore a 30 mm e posati ad una distanza massima tra di loro di 150 m^(*).

- b) Distanza di rispetto per condotte con pressione massima di esercizio $\leq 0,5$ bar (6^a e 7^a specie):
 - non è prescritta nessuna distanza minima; essa deve essere comunque tale da consentire gli eventuali interventi di manutenzione su entrambi gli impianti.

- ♦ Posa dei cavi: direttamente interrata o meccanizzata (art. 4.3.02 Norme GEI 11-17):

Vedi Tavola U3.5

^(*) la riduzione delle distanze di rispetto deve essere sempre concordata con la Società proprietaria o concessionaria delle condotte.

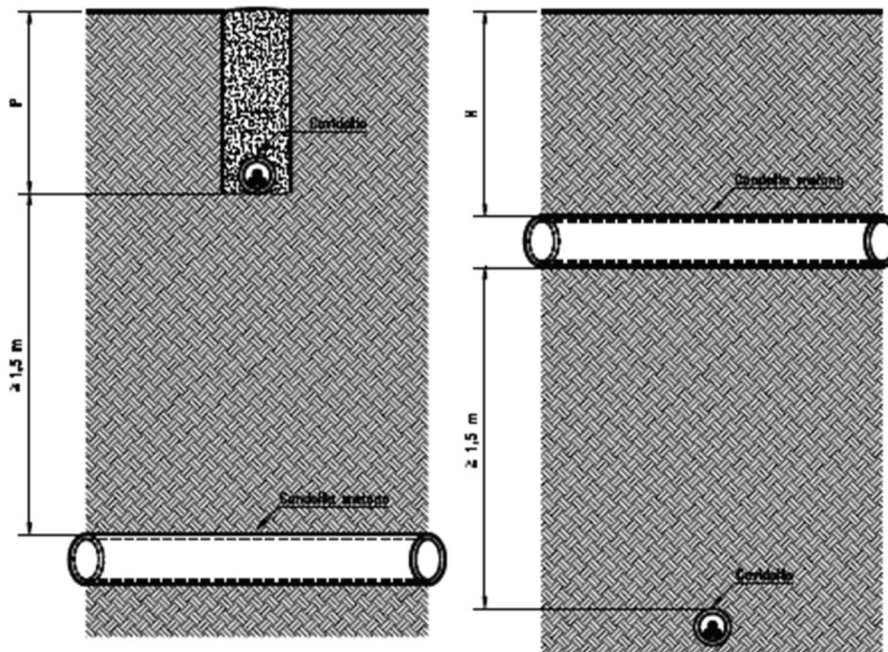
Figura 15: distanze di sicurezza in presenza di interferenze con tubazioni metalliche interrate adibite al trasporto e distribuzione di gas naturale

OPERE INTERFERENTI: TUBAZIONI METALLICHE PER IL TRASPORTO E LA DISTRIBUZIONE DEL GAS NATURALE CON DENSITA' $\leq 0,8$ (Metano)

ATTRAVERSAMENTI

1) Condotte con pressione massima di esercizio > 5 bar (1^a, 2^a e 3^a specie);

- ◆ Posa dei cavi: in tubazione (art. 2.4.2.e D.M. 24.11.1984):



P = profondità di posa del cavidotto (Vedi Tavole C2.1+ C2.6 Parte II)
 H = profondità di posa della condotta ($\geq 0,9$ m)

Nel caso in cui non sia possibile rispettare la distanza minima indicata devono essere interposti elementi separatori non metallici che costituiscano un diaframma continuo^(*).

Le stesse prescrizioni devono essere rispettate dalla Società proprietaria o concessionaria delle condotte se il cavo è preesistente alla posa di queste ultime, altrimenti le condotte devono essere collocate entro un manufatto o altra tubazione di protezione che deve essere prolungata da entrambi i lati per:

- 1 m in caso di incrocio superiore;
- 3 m in caso di incrocio inferiore.

Le suddette distanze devono essere misurate a partire dalle tangenti verticali alla superficie esterna del cavidotto.

- ◆ Posa dei cavi: direttamente interrata o meccanizzata (art. 4.3.02 Norme CEI 11-17):

Vedi Tavola U3.6

^(*) la riduzione delle distanze di rispetto deve essere sempre concordata con la Società proprietaria o concessionaria delle condotte.

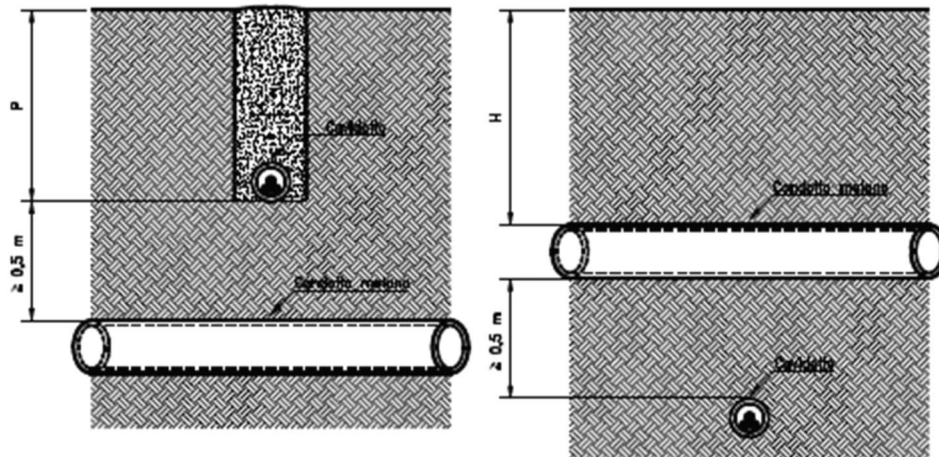
Figura 16: distanze di sicurezza in presenza di interferenze con tubazioni metalliche interrate adibite al trasporto e distribuzione di gas naturale

OPERE INTERFERENTI: TUBAZIONI METALLICHE PER IL TRASPORTO E LA DISTRIBUZIONE DEL GAS NATURALE CON DENSITA' $\leq 0,8$ (Metano)

ATTRAVERSAMENTI

2) Condotte con pressione massima di esercizio ≤ 5 bar (4^a, 5^a, 6^a e 7^a specie);

- ◆ Posa dei cavi: in tubazione (art. 3.4.2.d D.M. 24.11.1984):
 - a) Distanza di rispetto per condotte con pressione massima di esercizio $> 0,5$ bar e ≤ 5 bar (4^a e 5^a specie):



P = profondità di posa del cavidotto (Vedi Tavole C2.1+ C2.6 Parte II)

H = profondità di posa della condotta ($\geq 0,9$ m)

Le stesse prescrizioni devono essere rispettate dalla Società proprietaria o concessionaria delle condotte se il cavo è preesistente alla posa di queste ultime, altrimenti le condotte devono essere collocate entro un manufatto o altra tubazione di protezione che deve essere prolungata da entrambi i lati per:

- 1 m in caso di incrocio superiore;
- 3 m in caso di incrocio inferiore.

Le suddette distanze devono essere misurate a partire dalle tangenti verticali alla superficie esterna del cavidotto.

- b) Distanza di rispetto per condotte con pressione massima di esercizio $\leq 0,5$ bar (6^a e 7^a specie):
 - non è prescritta nessuna distanza minima; essa deve essere comunque tale da consentire gli eventuali interventi di manutenzione su entrambi gli impianti.

- ◆ Posa dei cavi: direttamente interrata o meccanizzata (art. 4.3.02 Norme CEI 11-17):

Vedi Tavola U3.6

Figura 17: distanze di sicurezza in presenza di interferenze con tubazioni metalliche interrate adibite al trasporto e distribuzione di gas naturale