



REGIONE PUGLIA
 PROVINCIA DI FOGGIA
 COMUNI DI FOGGIA E MANFREDONIA



PROGETTO IMPIANTO SOLARE AGRI-VOLTAICO DA
 REALIZZARE NEL COMUNE DI FOGGIA (FG) C.DA TITOLO, E
 RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE NEL COMUNE DI
 MANFREDONIA, DI POTENZA PARI A **62.452,04 kWp**,
 DENOMINATO "**FOGGIA - MANFREDONIA**"

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica dimensionamento cavi MT e verifica della caduta di
 tensione



livello prog.	Codice Pratica STMG	N. ELABORATO	DATA	SCALA
PD	201901116	VF6FYQ3_A15	15.09.2021	

REVISIONI

REV.	DATA	DESCRIZIONE	ESEGUITO	VERIFICATO	APPROVATO

RICHIEDENTE E PRODUTTORE

HF Solar 3 S.r.l.



ENTE

PROGETTAZIONE



Arch. A. Calandrino
 Arch. M. Gullo
 Arch. S. Martorana
 Arch. F. G. Mazzola
 Arch. G. Vella
 Arch. Y. Kokalah

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



Il Progettista

Il Progettista

**Impianto di produzione di energia elettrica da fonte
energetica rinnovabile attraverso tecnologia fotovoltaica
denominato
“Foggia-Manfredonia”**

Codice Pratica STMG 201901116

**Relazione tecnica dimensionamento cavi MT e verifica
della caduta di tensione**

Progetto definitivo

Sommario

1 Definizioni.....	3
2 Adempimenti e riferimenti normativi	4
3 Premessa	5
4 Criterio di dimensionamento dei cavi	8
5 Criterio di verifica	11
6 Dimensionamento e verifica delle linee elettriche MT di campo (linee di derivazione).....	13
7 Dimensionamento e verifica della dorsale di media tensione	15
8 Criteri per l'individuazione del tracciato	21
9 Progettazione della canalizzazione.....	22
9.1 Posa direttamente interrata.....	23
9.2 Posa entro tubo di materiale plastico	24
10 Interferenze con altri sottoservizi interrati	24
10.2 Coesistenza tra cavi di energia e cavi di telecomunicazione.....	24
10.2 Parallelismi tra cavi.....	26
10.3 Coesistenza tra cavi di energia e tubazioni o serbatoi metallici interrati	27

1 Definizioni

Ai fini del presente elaborato, oltre alle definizioni contenute nel Glossario dei termini del Codice di Rete Terna 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 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 presente relazione tecnica è parte integrante del Progetto Definitivo di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte energetica rinnovabile attraverso tecnologia fotovoltaica, che la Società “**HF Solar 3 S.r.l.**” intende realizzare nel Territorio Comunale di Foggia in località c.da Titolo su lotti di terreno distinti al N.T.C. Foglio 163, p.lle 38, 43, 62, 75, 131, 215 – 25, 105, 210, 219, 214, 208, 207, 206, 222, 218, 277, 229, 209, 39, 44, 28, 211 – 32, 226, 228, 212, 90, 61, 93 – 24, 34, 72, 74, 89, 205, 227 – 4, 81, 82, 92, 176 - 31 ed (annesse opere di connessione nel territorio comunale di Manfredonia).

L'impianto oggetto di progettazione ha una potenza di picco¹ pari a **62.452,040 kWp** e in base a quanto prescritto dal Gestore di Rete con preventivo di connessione identificato con Codice Pratica 201901116 verrà connesso in antenna a 150 kV su uno stallo a 150 kV della Stazione Elettrica di Trasformazione 380/150 kV della RTN di Manfredonia.

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 nuovo elettrodotto in antenna a 150 kV per il collegamento della centrale fotovoltaica alla citata SE costituisce ***Impianto di Utenza per la Connessione***, mentre lo Stallo Arrivo Produttore da realizzare in 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 su stazione RTN esistente, riportato nella “*Guida agli Schemi di Connessione del Codice di Rete Terna*”:

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

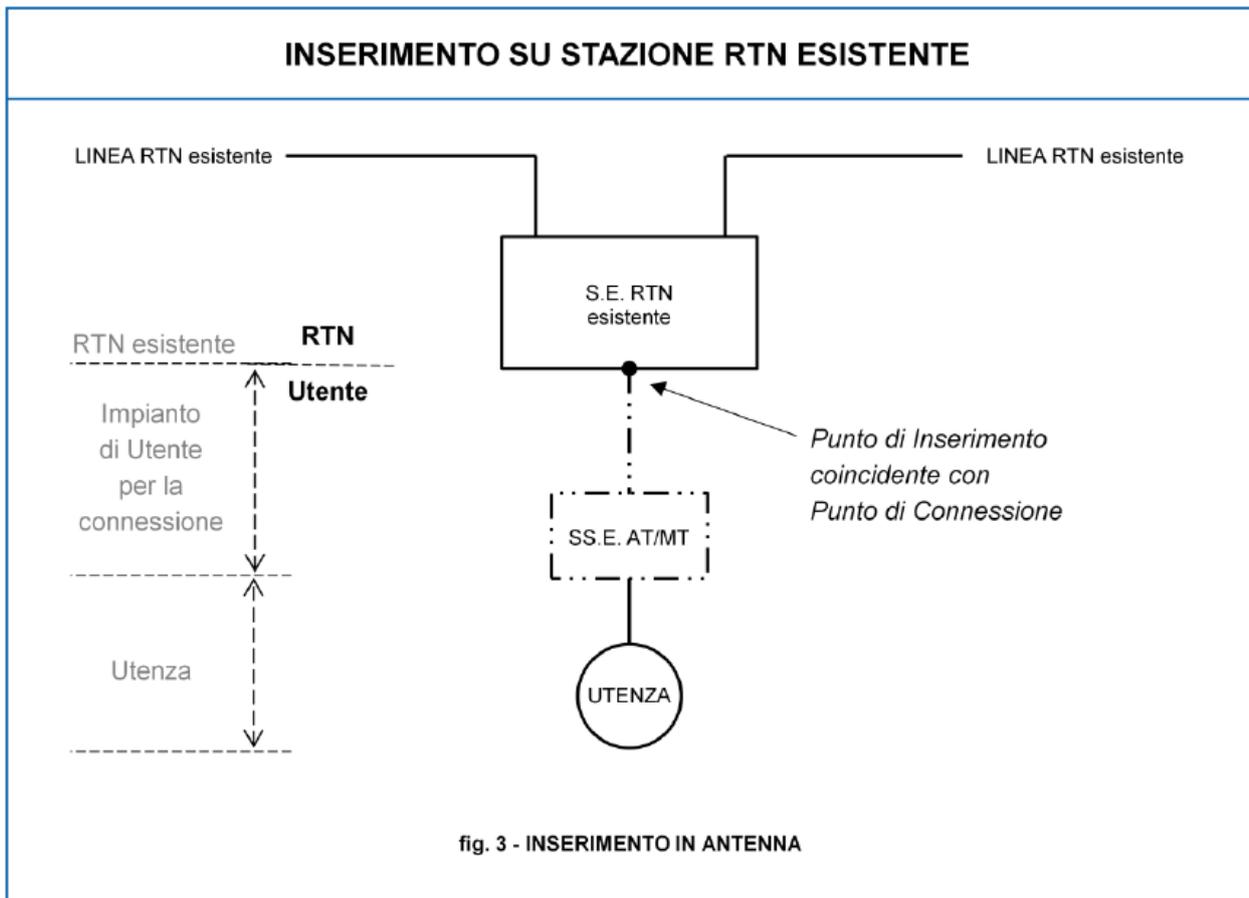


Figura 1: schema tipico di inserimento in antenna su Stazione RTN esistente

Le infrastrutture elettriche di Utenza a mezzo delle quali la centrale di produzione di energia elettrica verrà collegata alla Rete Elettrica di Trasmissione Nazionale RTN a 150 kV, sono quelle di seguito elencate:

- Dorsali MT a 30 kV di collegamento con la sezione MT della Sottostazione Elettrica di Utenza 30/150 kV;
- Sottostazione Elettrica di Utenza 30/150 kV, con esecuzione in aria ed equipaggiata con un singolo stallo di trasformazione da 70 MVA;
- Sottostazione Elettrica condivisa, consistente in un sistema di sbarre AT predisposto per la connessione degli stalli di trasformazione degli altri Produttori con cui la Società Proponente dovrà condividere lo Stallo Arrivo Produttore a 150 kV da realizzare presso la Stazione Elettrica di Trasformazione della RTN di Manfredonia, e da uno stallo partenza linea anch'esso da condividere;
- Nuovo elettrodotto in cavo interrato a 150 kV di collegamento tra lo Stallo Partenza linea AT della Sottostazione Elettrica condivisa e lo Stallo Arrivo Produttore in SE Terna.

Considerando che l'impianto sarà sottoposto ad ***Iter Autorizzativo Unico***, ai sensi dell'art. 12 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 indicate nella "*Soluzione Tecnica Minima Generale di Connessione - STMG*" descritta nel preventivo di connessione alla rete.

Nel presente elaborato, verranno illustrati i criteri applicati ai fini del dimensionamento e della verifica² dei cavi elettrici di media tensione a 30 kV, facenti parte delle Opere di Utenza necessarie per la connessione alla Rete Elettrica di Trasmissione Nazionale. In particolare l'analisi verrà condotta sia per le linee elettriche di campo³ che per gli elettrodotti di media tensione interrati che consentiranno di collegare il parco di generazione con la sezione di media tensione della Sottostazione Elettrica di Utenza:

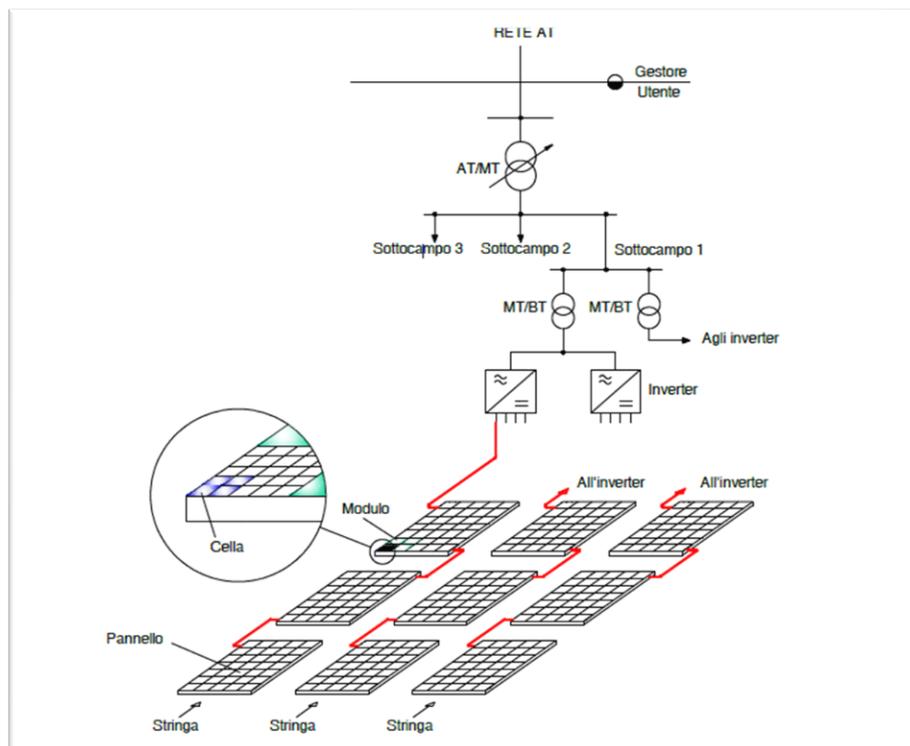


Figura 2: Composizione tipica di una Centrale Fotovoltaica

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.

² In questo contesto chiameremo linee elettriche di campo le linee MT che consentono di collegare i quadri elettrici di MT delle Power Station, con il quadro elettrico generale di media tensione installato all'interno della Cabina di Raccolta

³ In questo contesto chiameremo linee elettriche di campo le linee MT che consentono di collegare i quadri elettrici di MT delle Power Station, con il quadro elettrico generale di media tensione 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.

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 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 MT di campo

- Profondità di posa pari a 1,20 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 massimo di circuiti presenti all'interno della stessa trincea di scavo⁴ pari a 5.

Linee MT di collegamento con la Sottostazione Elettrica di Utenza

- Profondità di posa non inferiore a 1,40 m;
- Resistività termica del terreno pari a 1 °K m/W;
- Temperatura di posa pari a 20° C;
- Cavi disposti a trifoglio;

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 5 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.

- Cavi posati direttamente nel terreno (posa diretta) senza protezione meccanica supplementare;
- Numero massimo di circuiti presenti all'interno della stessa trincea di scavo pari a 3.

Per entrambe le tipologie di linee, in questa fase della progettazione, si è scelto di utilizzare cavi unipolari di media tensione ARE4H5E 18/30 kV adatti per posa interrata, le cui caratteristiche tecniche vengono di seguito riportate⁵:

⁵ La scheda tecnica allegata, non costituisce un vincolo in quanto in fase di progettazione esecutiva si potrà fare riferimento ad altri Produttori di cavi.

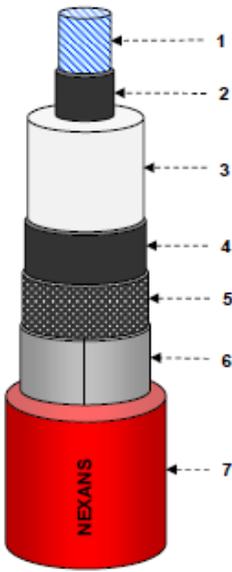
		ARE4H5E 18/30kV 1x...												
MEDIUM VOLTAGE POWER CABLES SINGLE CORE CABLES WITH ALUMINIUM CONDUCTOR, REDUCED THICKNESS XLPE INSULATION, ALUMINIUM TAPE SCREEN AND PE OUTER SHEATH, LONGITUDINAL AND RADIAL WATERTIGHTNESS														
APPLICATIONS In MV energy distribution networks for voltage systems up to 36kV. Suitable for fixed installation indoor or outdoor laying in air or directly or indirectly buried, also in wet location.														
FUNCTIONAL CHARACTERISTICS Rated voltage U_0/U : 18/30 kV Maximum voltage U_m : 36 kV Test voltage: 3,5 U_0 Max operating temperature of conductor: 90 °C Max short-circuit temperature: 250 °C (max duration 5 s) Max short-circuit temperature (screen): 150 °C														
CONSTRUCTION 1. Conductor <i>stranded, compacted, round aluminium - class 2 acc. to IEC 60228</i> 2. Conductor screen <i>extruded semiconducting compound</i> 3. Insulation <i>extruded XLPE compound</i> 4. Insulation screen <i>extruded semiconducting compound - fully bonded</i> 5. Longitudinal watertightness <i>semiconducting water blocking tape</i> 6. Metallic screen and radial water barrier <i>aluminium tape longitudinally applied (nominal thickness = 0,20 mm)</i> 7. Outer sheath <i>extruded PE compound - colour: red</i>														
INSTALLATION DATA Max pulling force during laying 50 N/mm ² (applied on the conductors) Min bending radius during laying 14 D_{cable} (dynamic condition) Min temperature during laying - 25 °C (dynamic condition)		STANDARDS IEC 60502-2 w.a. (design, materials and testing) HD 620-10-G (insulation thickness)												
MARKING by ink-jet of the following legend: "NEXANS B <Year> ARE4H5E 18/30kV 1x<S> <meter marking>" <Year> = year of manufacturing <S> = section of the conductor														
<table border="0"> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Mechanical resistance to impacts: good</td> <td>Longitudinal waterproof</td> <td>Radial waterproof</td> <td>Max operating temp. of conductor: 90 °C</td> <td>Max short-circuit temperature: 250 °C</td> <td>Minimum installation temperature: -25 °C</td> </tr> </table>									Mechanical resistance to impacts: good	Longitudinal waterproof	Radial waterproof	Max operating temp. of conductor: 90 °C	Max short-circuit temperature: 250 °C	Minimum installation temperature: -25 °C
														
Mechanical resistance to impacts: good	Longitudinal waterproof	Radial waterproof	Max operating temp. of conductor: 90 °C	Max short-circuit temperature: 250 °C	Minimum installation temperature: -25 °C									

Tabella 1: scheda tecnica dei cavi scelti in fase di progettazione definitiva

I cavi scelti sono adatti per il trasporto di energia elettrica dalle cabine di trasformazione alla Sottostazione Elettrica di Utente 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 pari a 1° C m/W;

- Profondità di posa 1,00 m;
- Disposizione delle fasi 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 di 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 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 permanente⁶ (A), secondo la definizione di I_k della Norma CEI 11-25;
- K è un coefficiente che dipende dal tipo di conduttore costituente il cavo⁷;
- t è la durata della corrente di cortocircuito⁸ (s).

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

- 7% per la linea dorsale⁹;
- 2% per le linee di derivazione¹⁰.

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_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;

⁶ 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 MT della Sottostazione Elettrica di Utenza pari a 16 kA e 12,5 kA in corrispondenza dei quadri MT di campo.

⁷ Considerando che i cavi scelti sono in alluminio, questo coefficiente vale 92.

⁸ 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 media tensione a protezione delle linee, prudenzialmente è stato considerato un valore massimo di 2 sec per gli interruttori MT installati nella sezione MT della SSE e 1 sec per gli interruttori installati nei quadri MT di campo.

⁹ In questo contesto chiameremo linea dorsale quella che consente di collegare il quadro elettrico generale di media tensione installato all'interno della cabina di raccolta con il montante MT della SSE.

¹⁰ In questo contesto chiameremo linee di derivazione quelle che consentono di collegare le Power Station con il quadro elettrico generale di media tensione installato all'interno della cabina di raccolta.

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

mentre per la linea dorsale è stata applicata la 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 elettriche MT di campo (linee di derivazione)

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° 5 linee elettriche di media tensione elettrificate a 30 kV, ciascuna delle quali interconnette, in entra-esce, un certo numero di Power Station secondo l'ordine di seguito indicato:

- Linea MT N.1: interconnette, in entra-esce, le Power Station 1, 2 e 3;
- Linea MT N.2: interconnette, in entra-esce, le Power Station 4, 5 e 6;
- Linea MT N.3: interconnette, in entra-esce, le Power Station 7, 8 e 9;
- Linea MT N.4: interconnette, in entra-esce, le Power Station 10, 11 e 12;
- Linea MT N.5: interconnette, in entra-esce, le Power Station 13 e 14.

Considerando che ciascuna delle Power Station risulta equipaggiata con un trasformatore MT/BT da 5000 kVA, applicando il criterio di dimensionamento esposto al paragrafo 4 e i criteri di verifica descritti al paragrafo 5, sono state ricavate le sezioni commerciali da adottare, ottenendo i risultati riportati in tabella 2:

Denominazione linea	Lunghezza [m]	N° di PS alimentate	I _B [A]	Numero di circuiti presenti nella stessa trincea di scavo ¹¹	Fattore correttivo K ₁	Fattore correttivo K ₄	Formazione	I _z [A]	ΔV%
Linea MT n° 1	1.362	3	290	5	0,96	0,8	3x(1x400) mm ²	423	< 2%
Linea MT n° 2	468	3	290	5	0,96	0,8	3x(1x400) mm ²	423	< 2%
Linea MT n° 3	1.500	3	290	5	0,96	0,8	3x(1x400) mm ²	423	< 2%
Linea MT n° 4	130	3	290	5	0,96	0,8	3x(1x400) mm ²	423	< 2%
Linea MT n° 5	1.070	2	193	5	0,96	0,8	3x(1x300) mm ²	370	< 2%

Tabella 2: riepilogo dei risultati di dimensionamento e verifica linee elettriche MT di campo

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

ARE4H5E 18/30kV 1x...														
Type n° x mm ²	Conductor diameter nominal mm	Insulation		Sheath thickness nominal mm	Cable		Electrical resistance		X at 50 Hz Ω/km	C μF/km	Current capacity		Short circuit current	
		thickness min mm	diameter nominal mm		diameter approx mm	weight indicative kg/km	at 20 °C - d.c. max Ω/km	at 90 °C - a.c. Ω/km			in ground at 20 °C A	in free air at 30 °C A	conductor Tmax 250°C kA x 1,0 s	screen Tmax 150°C kA x 0,5 s
1x50	8,2	7,1	24,7	2,0	32,0	800	0,641	0,822	0,142	0,147	175	189	4,7	1,9
1x70	9,8	7,1	25,8	2,0	33,2	880	0,443	0,568	0,133	0,166	214	235	6,6	2,0
1x95	11,5	6,6	26,5	2,0	33,9	960	0,320	0,411	0,124	0,193	256	284	9,0	2,0
1x120	13,1	6,4	27,7	2,1	35,4	1.070	0,253	0,325	0,119	0,215	291	329	11,3	2,0
1x150	14,3	6,2	28,5	2,1	36,2	1.160	0,206	0,265	0,115	0,233	326	371	14,2	2,1
1x185	16,0	6,0	29,8	2,1	37,6	1.280	0,164	0,211	0,110	0,258	369	426	17,5	2,1
1x240	18,5	5,8	31,9	2,2	40,0	1.510	0,125	0,161	0,105	0,294	428	505	22,7	2,3
1x300	20,7	5,9	34,3	2,3	42,6	1.740	0,100	0,130	0,102	0,316	483	580	28,3	2,4
1x400	23,5	6,0	37,3	2,4	46,0	2.070	0,0778	0,102	0,098	0,344	552	677	37,8	2,5
1x500	26,5	6,1	40,5	2,5	49,5	2.490	0,0605	0,080	0,095	0,373	630	788	47,2	2,7
1x630	30,0	6,2	44,6	2,6	54,0	3.040	0,0469	0,063	0,093	0,411	715	915	59,5	3,0

Tabella 3: scheda tecnica dei cavi utilizzati

¹¹ 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 5 linee elettriche di media tensione oggetto di dimensionamento.

7 Dimensionamento e verifica della dorsale di media tensione

La dorsale di media tensione, consentirà di collegare il quadro elettrico generale di media tensione installato all'interno della cabina di raccolta, posizionata all'interno dell'area di impianto, con la sezione di media tensione della Sottostazione Elettrica di Utente MT/AT (per approfondimenti si rimanda alle tavole di inquadramento allegate alla presente).

La linea è stata dimensionata, cautelativamente, in funzione della 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 potenza¹² $\cos\phi = 0,8$.

Anche per la dorsale di media tensione, è stata privilegiata la posa a trifoglio, con terne di cavi opportunamente distanziate (25 cm).

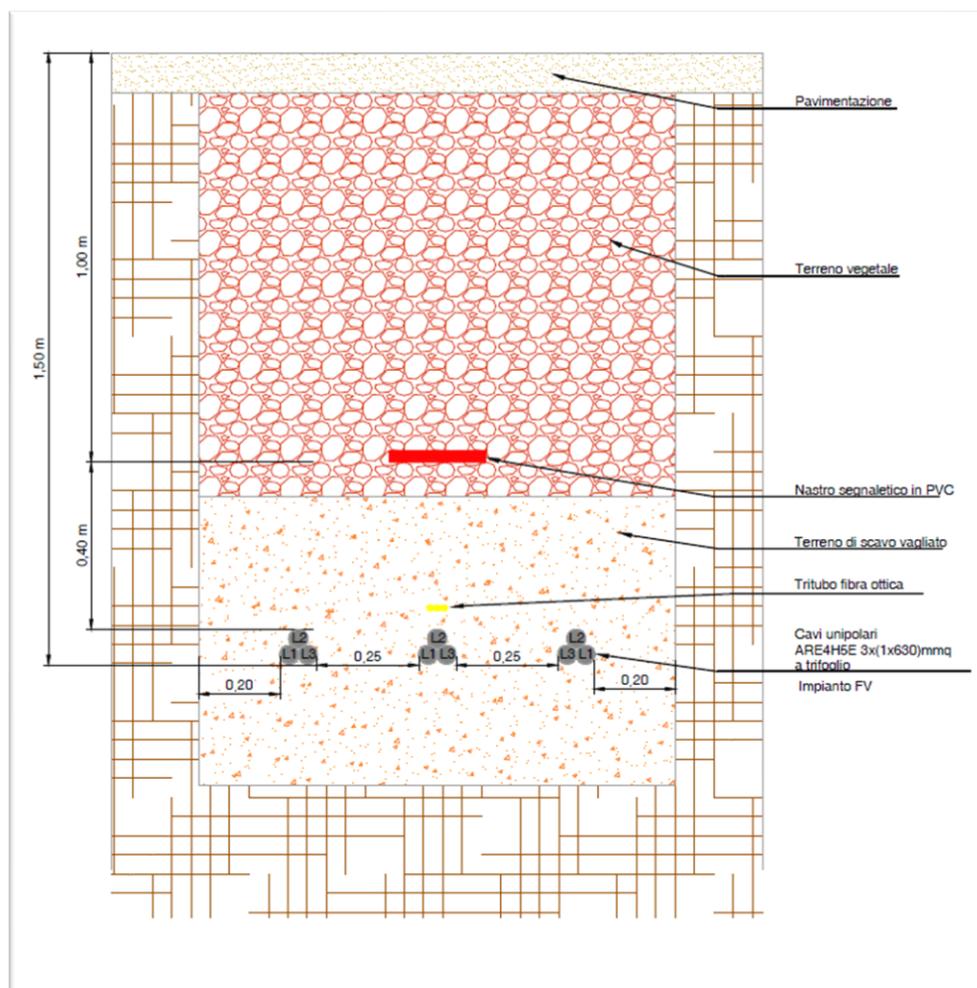


Figura 3: particolare di posa dorsale MT di collegamento con la SSE

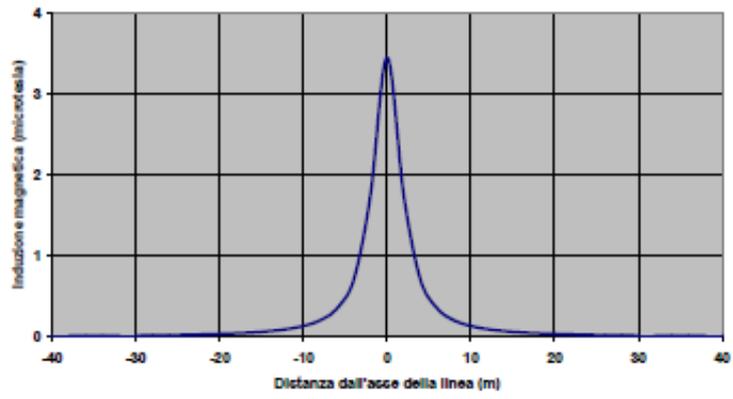
¹² Per il calcolo della caduta di tensione è stato considerato il fattore di potenza nominale delle Power Station scelte.

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.

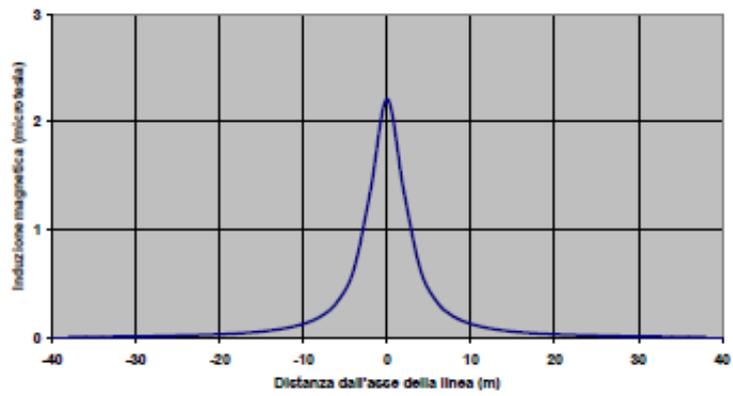
Il profilo trasversale del campo magnetico generato dalle linee elettriche in cavo interrato, misurato a 1 m dal piano di calpestio, ha infatti un andamento del tipo indicato nelle figure seguenti, dove:

- 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.

Profilo trasversale dell'induzione magnetica - Fasce complanari - $p = 1,0$ m



Profilo trasversale dell'induzione magnetica - Fasce complanari - $p = 1,5$ m



Profilo trasversale dell'induzione magnetica - Fasce complanari - $p = 2,0$ m

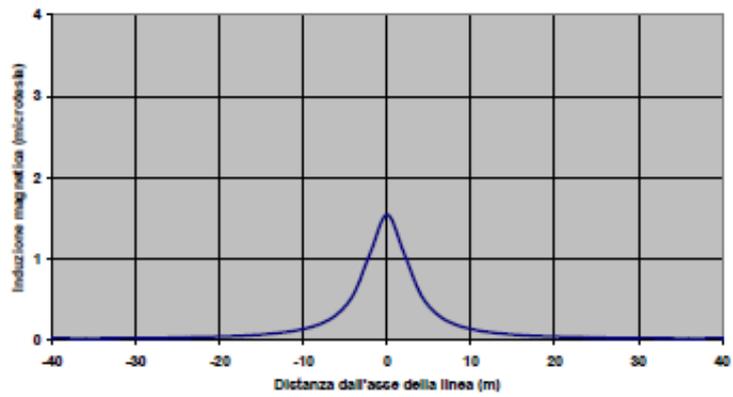
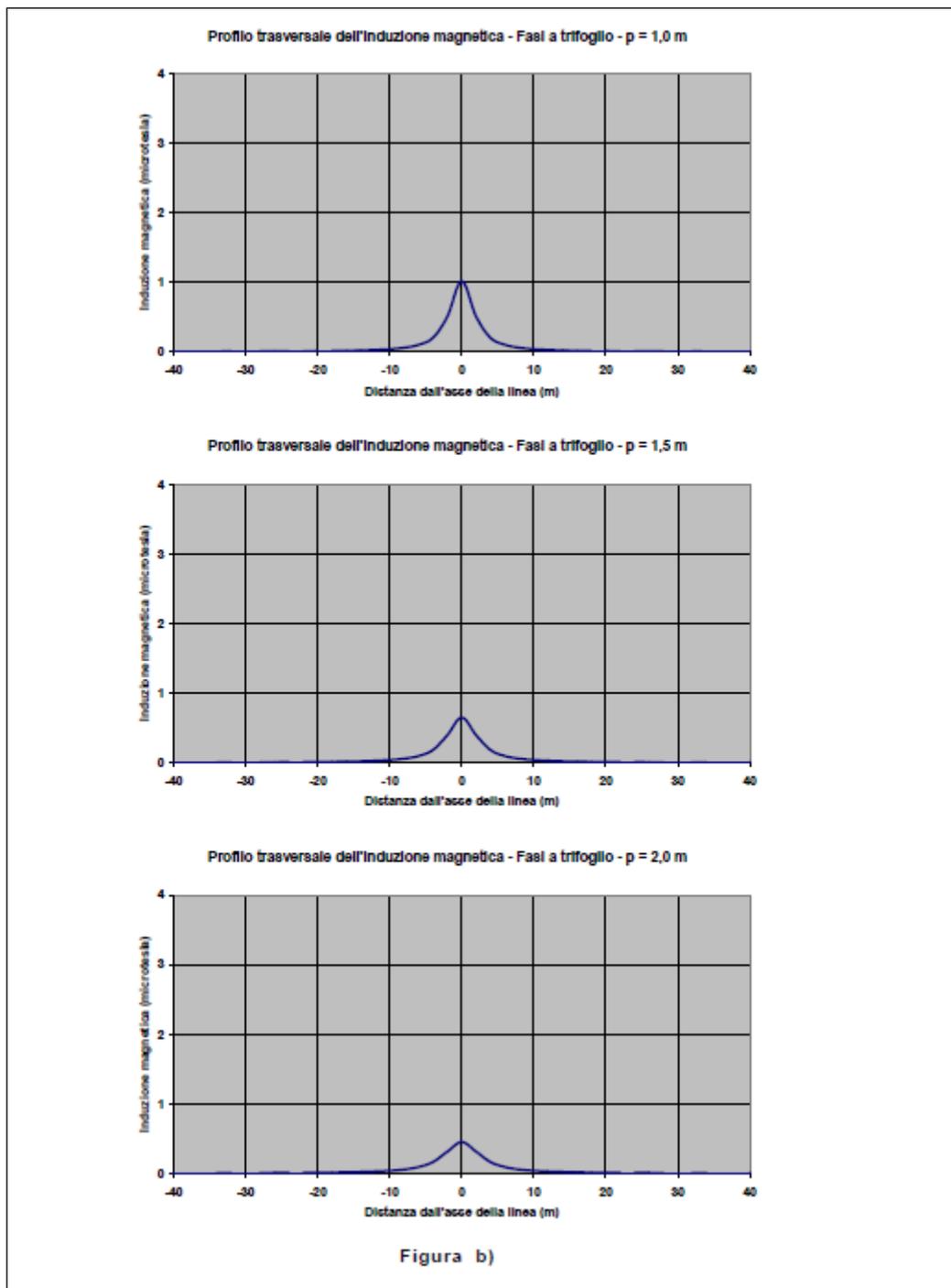


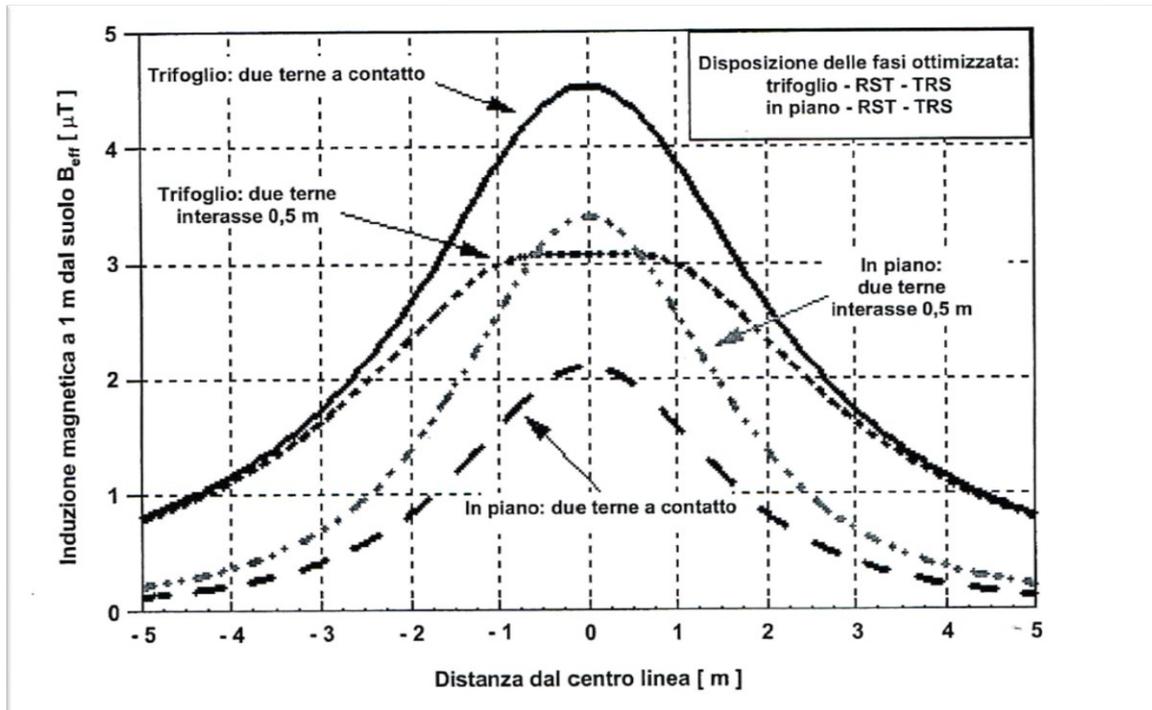
Figura a)



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.

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 verifici esattamente l'opposto.



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 la linea venga realizzata con una tripla terna di cavi in parallelo:

Denominazione linea	Lunghezza [km]	N° di PS alimentate	I _B [A]	Numero di circuiti presenti nella stessa trincea di scavo ¹³	Fattore correttivo K ₁	Fattore correttivo K ₄	Formazione	I _z [A]	ΔV%
Dorsale MT	12,1	14	1350	3	0,93	0,80	3x[3x(1x630)] mm ²	1590	< 7%

Tabella 4: riepilogo dei risultati di dimensionamento e verifica della dorsale di media tensione

I parametri elettrici utilizzati ai fini della verifica della c.d.t. sono riportati nella seguente tabella:

ARE4H5E 18/30kV 1x...														
Type n° x mm ²	Conductor diameter nominal mm	Insulation		Sheath thickness nominal mm	Cable		Electrical resistance		X at 50 Hz Ω/km	C μF/km	Current capacity		Short circuit current	
		thickness min mm	diameter nominal mm		diameter approx mm	weight indicative kg/km	at 20 °C - d.c. max Ω/km	at 90 °C - a.c.Ω/km			in ground at 20 °C A	in free air at 30 °C A	conductor Tmax 250°C kA x 1,0 s	screen Tmax 150°C kA x 0,5 s
1x50	8,2	7,1	24,7	2,0	32,0	800	0,641	0,822	0,142	0,147	175	189	4,7	1,9
1x70	9,8	7,1	25,8	2,0	33,2	880	0,443	0,568	0,133	0,166	214	235	6,6	2,0
1x95	11,5	6,6	26,5	2,0	33,9	960	0,320	0,411	0,124	0,193	256	284	9,0	2,0
1x120	13,1	6,4	27,7	2,1	35,4	1.070	0,253	0,325	0,119	0,215	291	329	11,3	2,0
1x150	14,3	6,2	28,5	2,1	36,2	1.160	0,206	0,265	0,115	0,233	326	371	14,2	2,1
1x185	16,0	6,0	29,8	2,1	37,6	1.280	0,164	0,211	0,110	0,258	369	426	17,5	2,1
1x240	18,5	5,8	31,9	2,2	40,0	1.510	0,125	0,161	0,105	0,294	428	505	22,7	2,3
1x300	20,7	5,9	34,3	2,3	42,6	1.740	0,100	0,130	0,102	0,316	483	580	28,3	2,4
1x400	23,5	6,0	37,3	2,4	46,0	2.070	0,0778	0,102	0,098	0,344	552	677	37,8	2,5
1x500	26,5	6,1	40,5	2,5	49,5	2.490	0,0605	0,080	0,095	0,373	630	788	47,2	2,7
1x630	30,0	6,2	44,6	2,6	54,0	3.040	0,0469	0,063	0,093	0,411	715	915	59,5	3,0

Tabella 5: scheda tecnica dei cavi scelti per la realizzazione della dorsale di media tensione

Poiché la soluzione proposta prevede l'utilizzo di n° 3 terne di cavi in parallelo, considerando che a ciascuno scomparto di media tensione si può collegare una sola terna di cavi, si installeranno n° 3 moduli di media tensione lato cabina di raccolta e n° 3 moduli di media tensione lato sottostazione elettrica di Utenza, prevedendo un opportuno interblocco elettrico e meccanico in modo tale da impedire l'apertura/chiusura di un solo modulo MT, sia lato cabina di raccolta sia lato Sottostazione Elettrica di Utenza.

¹³ 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 3 linee elettriche di media tensione oggetto di dimensionamento.

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 MT 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 MT interne al campo e per la dorsale di collegamento con la Sottostazione Elettrica di Utenza rispettivamente.

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.

9.1 Posa direttamente interrata

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

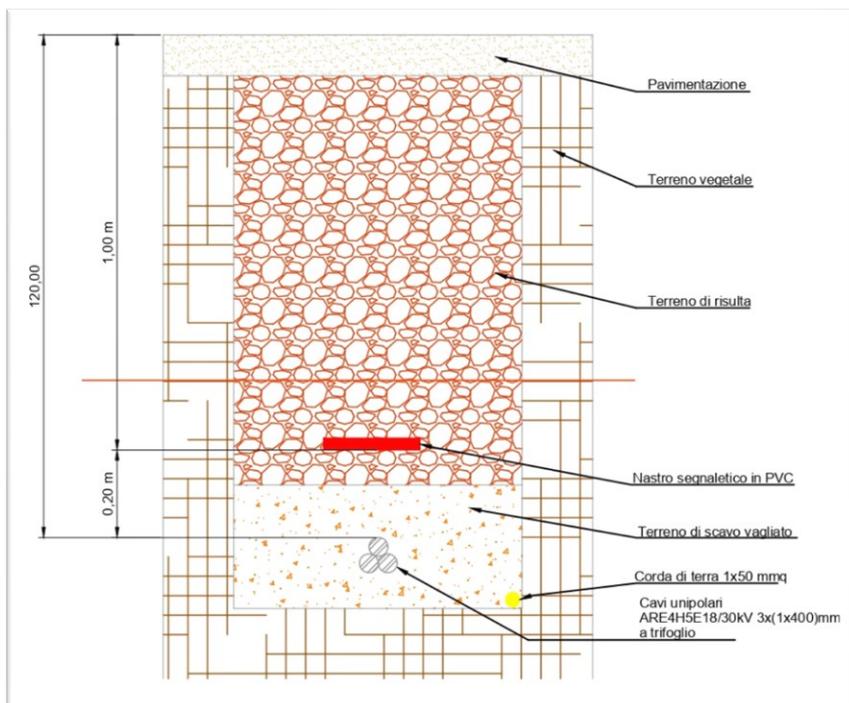
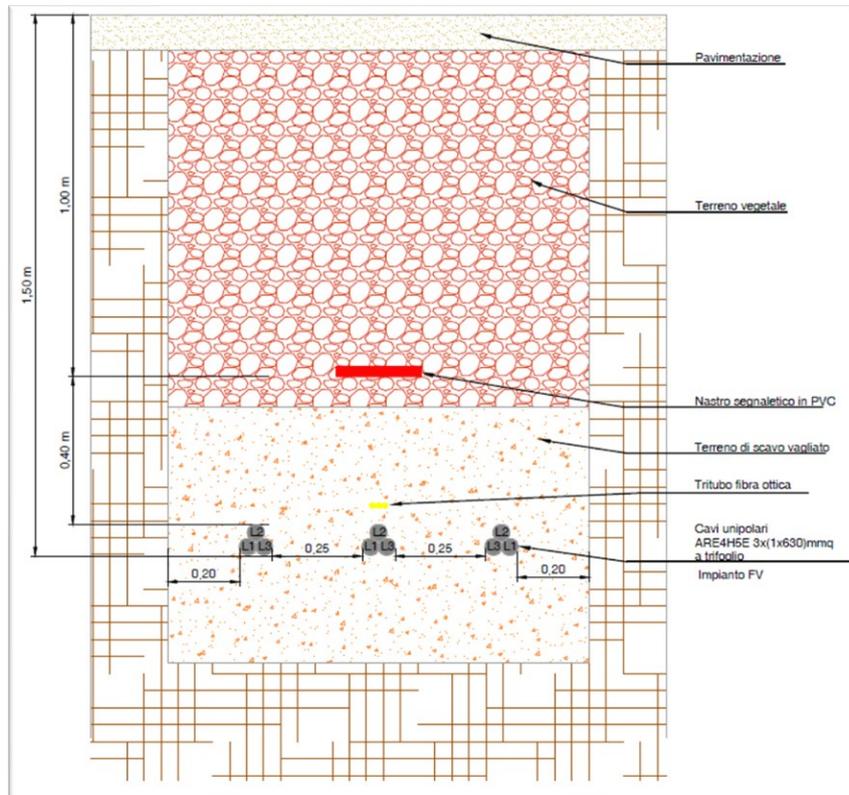


Figura 4: posa diretta linee MT

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 della linea MT di collegamento con la Sottostazione Elettrica di Utenza individuato, saranno quelli descritti nei successivi paragrafi.

10.2 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.

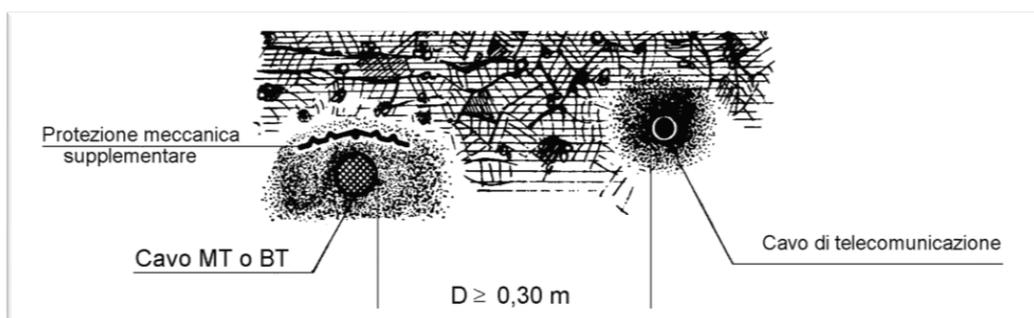


Figura 5: accorgimenti da adottare in caso di interferenza tra cavi di energia e cavi di telecomunicazione

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

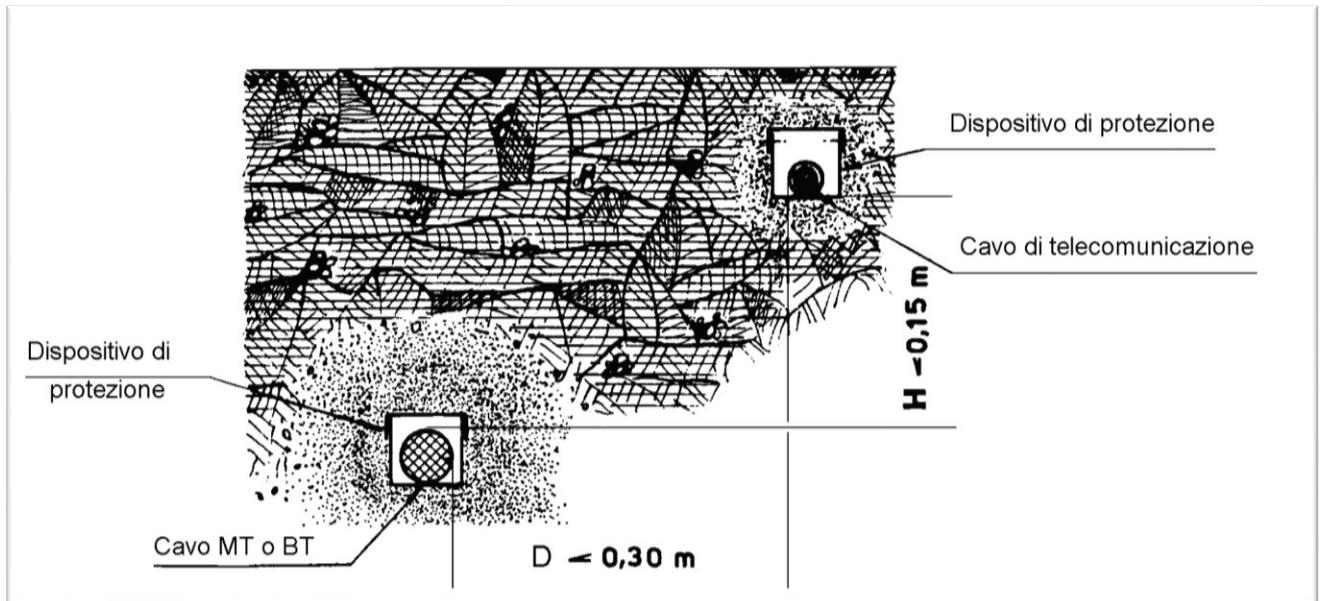


Figura 6: accorgimenti da adottare in caso di interferenza tra cavi di energia e cavi di telecomunicazione

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.

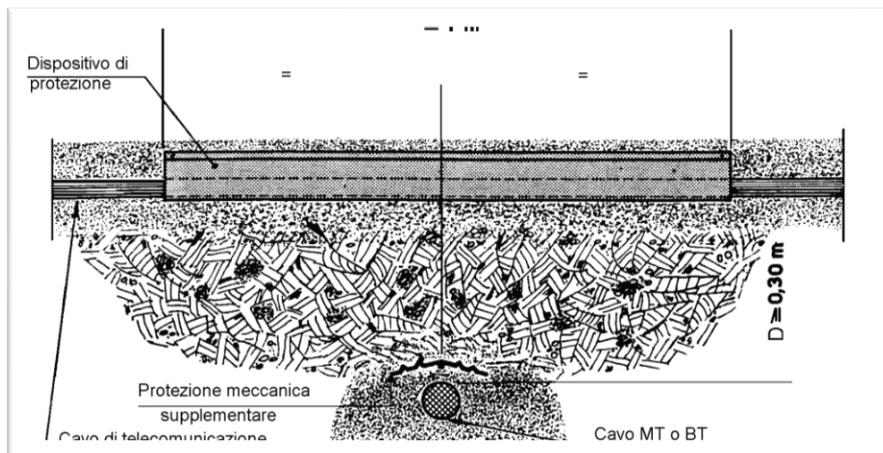


Figura 7: accorgimenti da adottare in caso di incroci tra cavi di energia e cavi di telecomunicazione

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:

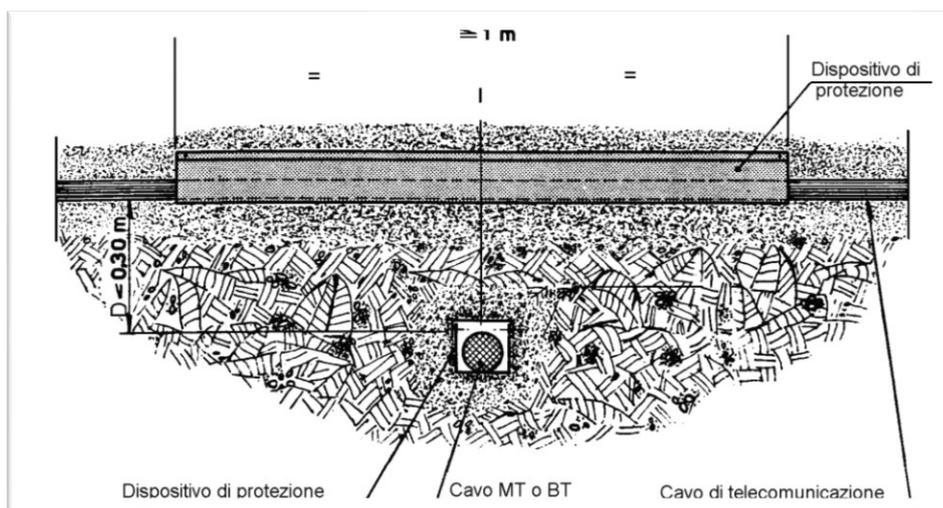


Figura 8: accorgimenti da adottare in caso di incroci tra cavi di energia e cavi di telecomunicazione

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.

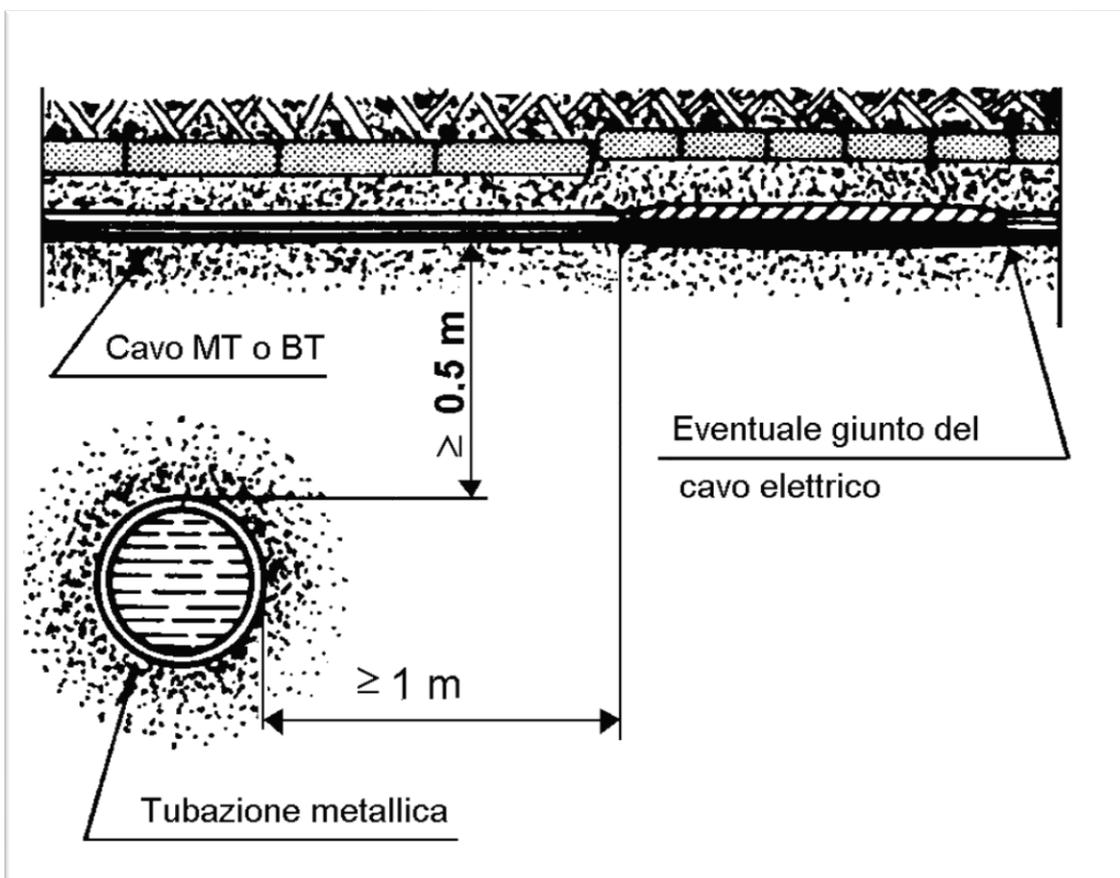


Figura 9: accorgimenti da adottare in caso di coesistenza tra cavi di energia e tubazioni metalliche

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

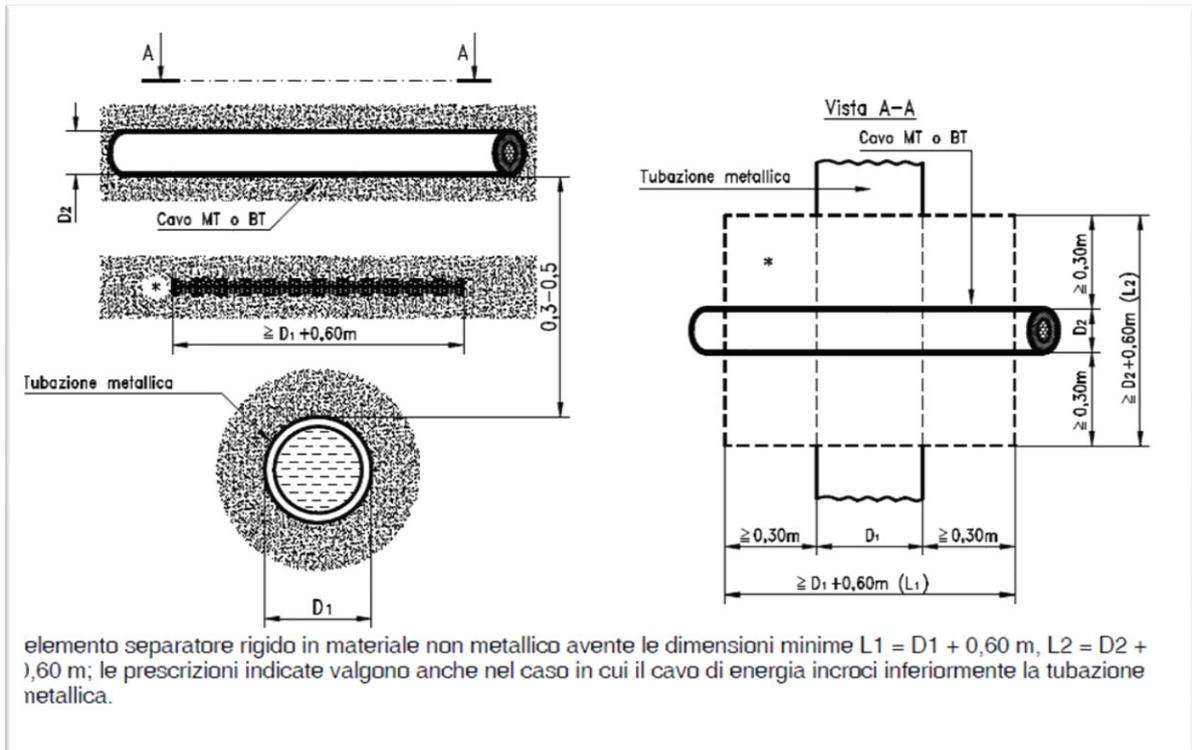


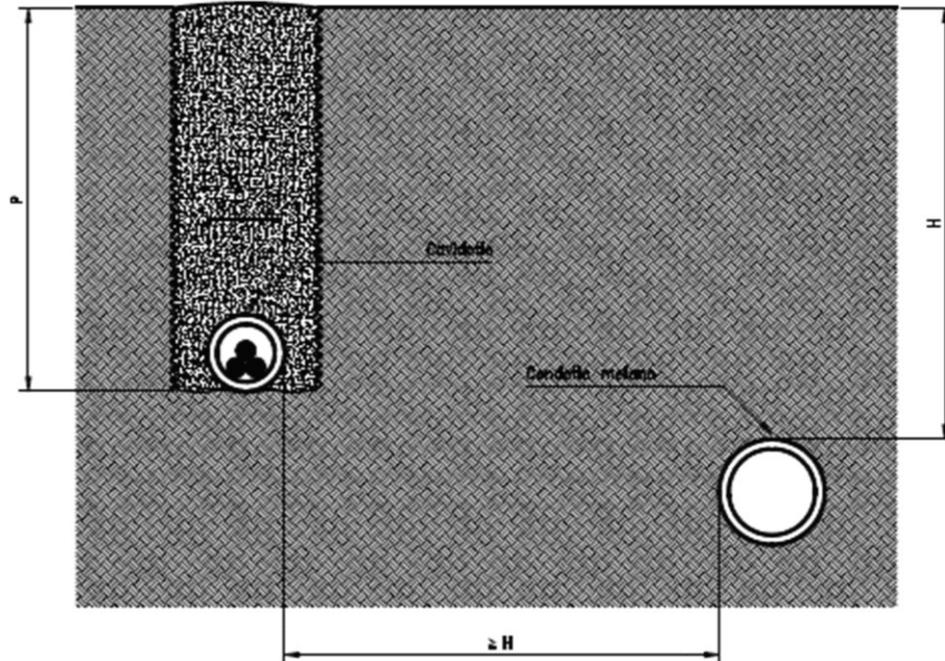
Figura 10: accorgimenti da adottare in caso di coesistenza tra cavi di energia e tubazioni metalliche

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 ($\geq 0,9$ 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⁽⁴⁾.
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

⁽⁴⁾ la riduzione delle distanze di rispetto deve essere sempre concordata con la Società proprietaria o concessionaria delle condotte.

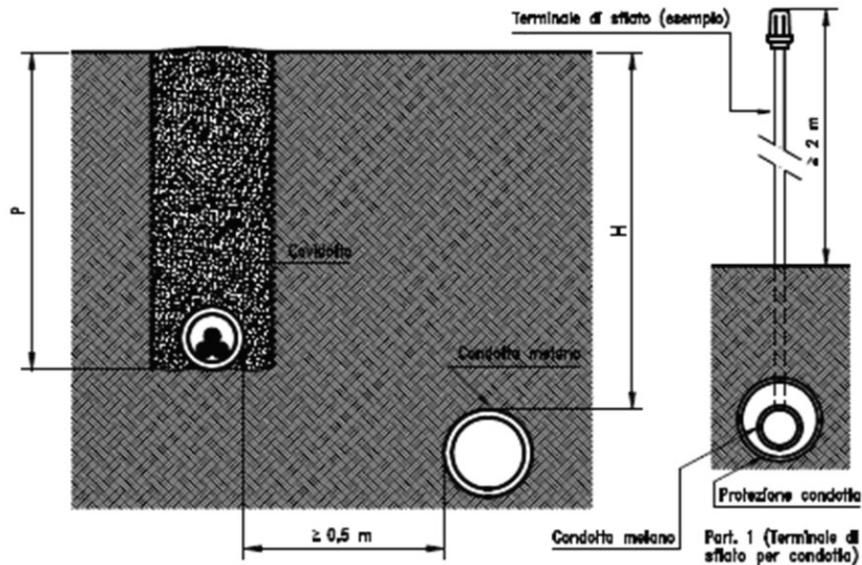
Figura 11: accorgimenti da adottare in caso di coesistenza tra cavi di energia e tubazioni metalliche adibite al trasporto di gas naturale

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 sficato 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 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.

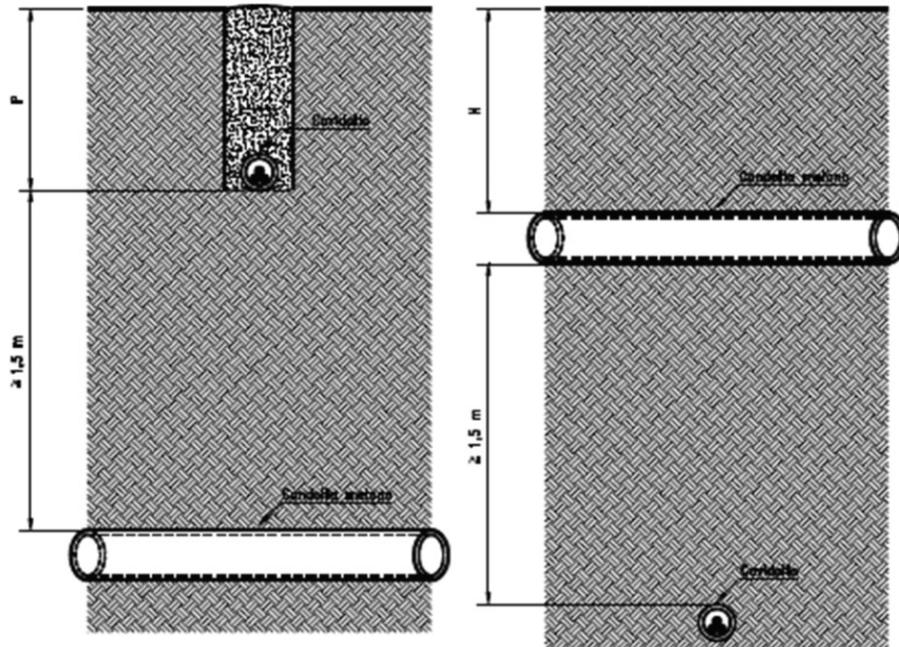
Figura 12: accorgimenti da adottare in caso di coesistenza tra cavi di energia e tubazioni metalliche adibite al trasporto di gas naturale

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.

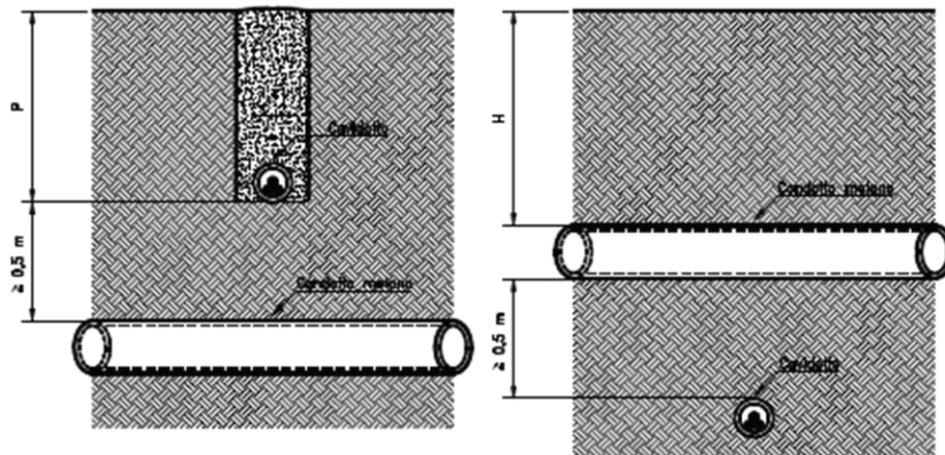
Figura 13: accorgimenti da adottare in caso di coesistenza tra cavi di energia e tubazioni metalliche adibite al trasporto di gas naturale

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 14: accorgimenti da adottare in caso di coesistenza tra cavi di energia e tubazioni metalliche adibite al trasporto di gas naturale