



REGIONE
PUGLIA



PROVINCIA
DI BRINDISI



COMUNE
DI BRINDISI



COMUNE

DI CELLINO SAN MARCO



COMUNE
DI MESAGNE

Realizzazione di impianto agrivoltaico con produzione agricola e di energia elettrica da fonte rinnovabile fotovoltaica da ubicarsi in località Specchione in agro di Brindisi, Cellino San Marco e Mesagne (BR) e delle relative opere di connessione alla RTN

Potenza nominale cc: 42,98 MWp - Potenza in immissione ca: 35,00 MVA

ELABORATO

RELAZIONE DIMENSIONAMENTO CAVI

IDENTIFICAZIONE ELABORATO

Livello progetto	Codice Pratica	documento	codice elaborato	n° foglio	n° tot. fogli	Nome file	Data	Scala
PD	1RCCNG4	R	2.2	-	16	1RCCNG4_R_2.2_CAVOMT.pdf	Ottobre 2021	n.a.

REVISIONI

Rev. n°	Data	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato
00	14/06/2021	1° Emissione	TRAVERSA	TERLIZZI	TERLIZZI
01	15/10/2021	2° Emissione	TRAVERSA	TERLIZZI	TERLIZZI

PROGETTAZIONE:

MATE System Unipersonale srl

Via Papa Pio XII, n.8 70020 Cassano delle Murge (BA)
tel. +39 080 5746758
mail: info@matesystemsrl.it pec: matesystem@pec.it

Progettista:

Ing. Arcangelo TRAVERSA



DIRITTI Questo elaborato è di proprietà della Luminora Specchione S.r.l. pertanto non può essere riprodotto né integralmente, né in parte senza l'autorizzazione scritta della stessa. Da non utilizzare per scopi diversi da quelli per cui è stato fornito.

RICHIEDENTE:
LUMINORA SPECCHIONE S.R.L.
Via TEVERE n.°41
00198 ROMA

L'AMMINISTRATORE
Dott. PABLO MIGUEL OTIN PINTADO

Committente: Società Luminora Specchione S.r.l. con sede a Roma, Via Tevere 41 CAP 00198	Progettazione: Mate System srl Via Papa Pio XII n.8 Cassano delle Murge (BA) Ing. Antonio Terlizzi	
Cod. elab.: R_2.2	Tipo: Relazione Dimensionamento cavo MT	Formato: A4
Data: 15/10/2021		Scala: n.a.

REALIZZAZIONE DI IMPIANTO AGRIVOLTAICO CON PRODUZIONE AGRICOLA E DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE RINNOVABILE FOTOVOLTAICA DA UBICARSI IN LOCALITÀ SPECCHIONE IN AGRO DI BRINDISI CELLINO SAN MARCO E MESAGNE (BR) E DELLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RTN

Potenza nominale cc: 42,98 MWp - Potenza nominale ca: 35,00 MVA

COMMITTENTE:

Società Luminora Specchione S.r.l.

Via Tevere, 41
00198 – Roma

PROGETTAZIONE a cura di:

MATE SYSTEM UNIPERSONALE S.r.l.

Via Papa Pio XII, 8
70020 – Cassano delle Murge (BA)

Ing. Antonio Terlizzi
Ing. Arcangelo Traversa



PIANO TECNICO DELLE OPERE

RELAZIONE DIMENSIONAMENTO CAVO MT

Committente: Società Luminora Specchione S.r.l. con sede a Roma, Via Tevere 41 CAP 00198	Progettazione: Mate System srl Via Papa Pio XII n.8 Cassano delle Murge (BA) Ing. Antonio Terlizzi	
Cod. elab.: R_2.2	Tipo: Relazione Dimensionamento cavo MT	Formato: A4
Data: 15/10/2021		Scala: n.a.

Sommario

1. DESCRIZIONE GENERALE	3
2. NORMATIVE E DOCUMENTI.....	4
3. DATI INIZIALI.....	4
4. CALCOLO DELLA PORTATA IN REGIME PERMANENTE.....	5
5. VERIFICA DELLE CADUTE DI TENSIONE	7
6. CALCOLO DELLE PERDITE DI POTENZA ATTIVA	9
7. VERIFICA DELLA TENUTA AL CORTOCIRCUITO	9
8. CONFORMITÀ AL D.P.C.M. 8 LUGLIO 2003	10
9. COESISTENZA TRA CAVI ELETTRICI ED ALTRE CONDUTTURE.....	12
10. COESISTENZA FRA CAVI DI ENERGIA E GASDOTTI	15
11. CONCLUSIONI	15

Committente: Società Luminora Specchione S.r.l. con sede a Roma, Via Tevere 41 CAP 00198	Progettazione: Mate System srl Via Papa Pio XII n.8 Cassano delle Murge (BA) Ing. Antonio Terlizzi	
Cod. elab.: R_2.2	Tipo: Relazione Dimensionamento cavo MT	Formato: A4
Data: 15/10/2021		Scala: n.a.

PREMESSA

La presente relazione viene redatta nell'ambito della realizzazione da parte della società Luminora Specchione S.r.l. di un impianto fotovoltaico per la produzione di energia elettrica da circa 42,98 MWp in cc nel territorio di più comuni, ossia Cellino San Marco, Mesagne (BR) e Brindisi (BR), e delle relative opere di connessione alla RTN, da realizzare nel territorio comunale di Cellino San Marco (BR). Scopo della presente relazione è quello di fornire una descrizione relativa alla progettazione ed al dimensionamento del cavo di Media Tensione (MT) che consentirà la connessione tra la cabina di smistamento prevista e la stazione utente di elevazione AT/MT (SSE), ossia la linea maggiormente carica.

L'impianto in oggetto è stato progettato coerentemente con le norme tecniche emanate e prescritte dalla legislazione vigente e con le norme UNI e CEI applicabili.

1. DESCRIZIONE GENERALE

L'impianto fotovoltaico sarà suddiviso in tre macro aree ed avrà una potenza nominale di picco complessiva pari a 42,98 kWp, fornita da 74.112 moduli in silicio monocristallino da 580 Wp cadauno, montati su inseguitori mono-assiali di rollio; la potenza nominale generata dagli inverter / trasformatori MT/BT sarà pari a 35.000 kVA. Al fine di ottimizzare le opere di connessione, la SSE utente sarà connessa ad un sistema di sbarre a 150 kV (SE Raccolta), comune ad altri produttori; la SE di Raccolta sarà allacciata in antenna su uno stallo (assegnato da Terna) della futura stazione RTN di Cellino San Marco.

Il parco fotovoltaico sarà elettricamente suddiviso in n. 8 sotto-campi, ciascuno dei quali sarà formato da una serie di stringhe di moduli fv poste in parallelo ed a loro volta connesse ad inverter che consentiranno la conversione c.c./c.a.; inoltre tutti i sotto-campi, dotati di trasformatori MT-BT, saranno connessi tra di loro ed al quadro di media tensione previsto nella cabina di smistamento tramite cavi interrati di media tensione (30 kV). Tale cabina sarà a sua volta connessa sempre in MT alla stazione di elevazione AT/MT; la lunghezza di tale tracciato è pari a 8.790 m.

Tutti i cavi di potenza saranno posati su letto di sabbia vagliata e protetti mediante tubazione in HDPE o elemento separatore non metallico, ossia una lastra di calcestruzzo; le linee MT di connessione tra la cabina di smistamento e la SSE utente, oggetto della presente relazione, saranno idonee alla posa interrata con protezione meccanica aggiuntiva costituita da coppi (eventualmente in alcuni tratti potrebbe comunque rendersi necessaria una protezione con tubo HDPE). La fibra ottica garantirà lo scambio di segnali tra SSE Utente e le aree di campo, al fine di consentire il corretto funzionamento dei sistemi di protezione, comando e controllo; sarà posata in mono-tubo, in affiancamento ai cavi MT. L'impianto fotovoltaico sarà dotato di dispositivi di sicurezza e protezione (lato MT) tali da aprire il circuito in caso di guasti sul generatore.

Committente: Società Luminora Specchione S.r.l. con sede a Roma, Via Tevere 41 CAP 00198	Progettazione: Mate System srl Via Papa Pio XII n.8 Cassano delle Murge (BA) Ing. Antonio Terlizzi	
Cod. elab.: R_2.2	Tipo: Relazione Dimensionamento cavo MT	Formato: A4
Data: 15/10/2021		Scala: n.a.

I giunti sul cavo MT saranno posizionati lungo il percorso del cavo, a circa 400 m l'uno dall'altro, ed ubicati all'interno di opportune buche giunti, all'interno delle quali saranno presenti le schede dei principali materiali occorrenti per la realizzazione dell'opera elettrica. Il posizionamento dei giunti sarà determinato in sede di progetto esecutivo in funzione delle interferenze sotto il piano di campagna e della possibilità di trasporto. La SSE utente di trasformazione ospiterà anche il quadro in aria AT costituito da n. 1 montante trasformatore, che sarà equipaggiato da scaricatori di sovratensione, trasformatori di corrente e di tensione, interruttore e sezionatore.

Nella SSE utente sarà altresì presente un edificio al cui interno saranno installati, oltre ai quadri di media tensione in arrivo dal campo fv, tutti i dispositivi di protezione e controllo della stazione stessa, nonché lo Scada di parco e di stazione. Quest'ultimo acquisirà i dati del campo fv attraverso la rete in fibra ottica posata parallelamente ai cavidotti dell'impianto di produzione.

La SE di Raccolta ospiterà un edificio, dotato di quadri bt di comando e controllo, e un sistema di sbarre a 150 kV, verso cui convergeranno le potenze generate dal suddetto impianto di produzione e da impianti di ulteriori produttori, afferenti lo stesso nodo RTN; la SE di raccolta sarà connessa alla SE RTN di Cellino San Marco tramite un cavo AT della sezione di 1.600 mm² con conduttore in alluminio.

2. NORMATIVE E DOCUMENTI

Le analisi sono basate sulle norme tecniche applicabili tra le quali rilevanti sono:

- [1] CEI 20-21/2007: "Cavi elettrici - Calcolo della portata di corrente";
- [2] CEI 11-17/2006: "Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione pubblica di energia elettrica - Linee in cavo";
- [3] IEC 60287: "Electric cables- calculation of the current rating";
- [4] Prysmian: "Tabelle tecniche cavi MT";
- [5] CEI-UNEL 35027: "Cavi di energia per tensione nominale U da 1 kV a 30 kV Portate di corrente in regime permanente - Posa in aria ed interrata".

3. DATI INIZIALI

Per la realizzazione dei cavidotti esterni dell'impianto fotovoltaico si assumono le seguenti condizioni di posa:

- Cavi MT: **n. 3 terne** di cavi unipolari riuniti ad elica visibile di tipo **ARP1H5EX** di sezione **300 mm²**;
- Estensione della rete: 8.790 m per corda e per fase;

Committente: Società Luminora Specchione S.r.l. con sede a Roma, Via Tevere 41 CAP 00198	Progettazione: Mate System srl Via Papa Pio XII n.8 Cassano delle Murge (BA) Ing. Antonio Terlizzi	
Cod. elab.: R_2.2	Tipo: Relazione Dimensionamento cavo MT	Formato: A4
Data: 15/10/2021		Scala: n.a.

- Posa: a trifoglio, direttamente interrata nei tratti tra la SSE e la cabina di smistamento (CS), mentre in ingresso alla SSE ed alla CS si potrebbe avere la necessità di una posa interrata in tubo; in entrambi i casi si prevede la posa in affiancamento ad una ulteriore terna di cavi di media tensione.
- Collegamenti a terra degli schermi: è previsto un collegamento in cross bonding degli schermi (schermi collegati a terra ad entrambe le estremità); infatti la norma CEI 11-17 (*“Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione pubblica di energia elettrica Linee in cavo”* - 3° ediz.) prevede al par. 5.3.2 che *“Tutti i rivestimenti metallici dei cavi devono essere messi a terra almeno alle estremità di ogni collegamento, per collegamenti di grande lunghezza è pure raccomandabile la messa a terra del rivestimento metallico in corrispondenza dei giunti a distanze non superiori ai 5 km.”*. Per tale ragione ed al fine di ridurre le correnti circolanti nello schermo, il collegamento in cavo sarà suddiviso in tre tratte elementari (o multipli di tre) di uguale lunghezza generalmente corrispondenti con le pezzature di posa. In tale configurazione, denominata **“cross bonding”**, gli schermi sono messi francamente a terra, ed in corto circuito tra loro all’estremità di partenza della prima tratta ed all’estremità di arrivo della terza, mentre tra due tratte adiacenti gli schermi sono isolati da terra e uniti fra loro con collegamento incrociato; tra le tre modalità di collegamento degli schermi metallici la più utilizzata per elettrodotti in cavo terrestre, è proprio quella del cross bonding, utilizzato per le lunghe distanze (maggiori di 1500 – 2000 m) e correnti generalmente superiori a 500 A, come nel caso di specie.
- Profondità di posa: = 1000 --> 1200 mm
- Temperatura del terreno: 25°C
- Resistività termica del terreno: 1 °C·m/W;
- Coefficiente di utilizzazione: KU=1 (Per KU si intende il rapporto tra la potenza erogata e la potenza nominale dell’impianto – ipotesi conservativa).

Successivamente verrà verificato che il cavo, nelle condizioni di posa più sfavorevoli, è correttamente dimensionato per quanto riguarda:

- la portata;
- la caduta di tensione a fine linea;
- la tenuta al cortocircuito.

4. CALCOLO DELLA PORTATA IN REGIME PERMANENTE

La portata del cavo in regime permanente deve essere maggiore od uguale alla massima corrente che si prevede possa transitare sul cavo stesso. La massima corrente che può transitare nel cavidotto esterno è

Committente: Società Luminora Specchione S.r.l. con sede a Roma, Via Tevere 41 CAP 00198	Progettazione: Mate System srl Via Papa Pio XII n.8 Cassano delle Murge (BA) Ing. Antonio Terlizzi
Cod. elab.: R_2.2	Tipo: Relazione Dimensionamento cavo MT
Data: 15/10/2021	Formato: A4 Scala: n.a.

data dalla potenza totale in corrente alternata del parco fotovoltaico erogata al minimo cosfi (fattore di potenza); in questo caso si ipotizza un valore di 0,96 induttivo:

$$P_{MAX} = \sqrt{3} \times V_n \times I_{MAX} \times \cos \varphi_{LIM} \Rightarrow I_{MAX} = \frac{P_{MAX}}{\sqrt{3} \times V_n \times \cos \varphi_{LIM}} = \frac{35000000}{\sqrt{3} \times 30000 \times 0,96} \approx 702 A$$

Questi valori sono comunque sovrastimati, tenendo conto che il rendimento di impianto sarà certamente inferiore all'unità; il valore di corrente per ciascuna fase sarà pari a circa **234 A** (infatti si hanno n. 3 corde da 300 mm² per fase).

Come da tabella del punto [4], la portata nominale per il cavo di collegamento, nelle condizioni di posa sotto specificate, è pari a:

Portata di corrente I _n per una singola terna	506 A
Posa	Interrata a trifoglio
Resistività del terreno	1 °C m/W
Temperatura del terreno	20 °C
Profondità di posa	0,8 m

Per la verifica della portata vengono considerate le condizioni che portano ad un declassamento della portata secondo la normativa [5], ossia:

- temperatura del terreno a 25°C: si ha un fattore di correzione pari a 0,97 (vd. tabella sottostante, specifiche Prysmian)

Temperatura dell'ambiente diversa da quella di riferimento / Ambient temperature different from the conductor's operating temperature

T. conduttore (%) Conduct. temp. (%)	tipo di cavi cables type	temperature ambiente (°C) ambient temperature (°C)											
		10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
90	cavi in terra / buried cables	1,07	1,04	1,00	0,96	0,93	0,89	0,85	0,80	0,76	-	-	-
90	cavi in aria ^(*) / in air cables ^(*)	1,15	1,12	1,08	1,04	1,00	0,96	0,91	0,87	0,82	0,76	0,71	0,65
105	cavi in terra / buried cables	1,06	1,03	1,00	0,97	0,94	0,91	0,87	0,84	0,80	-	-	-
105	cavi in aria ^(*) / in air cables ^(*)	1,12	1,10	1,06	1,03	1,00	0,97	0,93	0,89	0,86	0,82	0,77	0,73

^(*) Non esposti al sole direttamente
Not directly exposed to the sun

Tabella 1 – coefficienti di correzione per temperature del terreno diverse da 20°C

- posa alla profondità di 1,2 mt: secondo [5] si ha un fattore di correzione pari a 0,95 (vd. tab. 20 sottostante);

Committente: Società Luminora Specchione S.r.l. con sede a Roma, Via Tevere 41 CAP 00198	Progettazione: Mate System srl Via Papa Pio XII n.8 Cassano delle Murge (BA) Ing. Antonio Terlizzi	
Cod. elab.: R_2.2	Tipo: Relazione Dimensionamento cavo MT	Formato: A4
Data: 15/10/2021		Scala: n.a.

7.4 Coefficienti di correzione (k_p)

Tabella 20 – Coefficienti di correzione per valori di profondità di posa diversi da 0,8 m (cavi direttamente interrati)

Profondità di posa (m)	Cavi unipolari		Cavi tripolari
	Sezione del conduttore (mm ²)		
	≤185	>185	
1,0	0,98	0,97	0,98
1,25	0,96	0,95	0,96
1,5	0,95	0,93	0,95

Tabella 2 – coefficienti di correzione per valori di profondità di posa diversi da 0,8 mt (CEI-UNEL 35027)

- conservativamente, si considera una posa in affiancamento (distanza > 250 mm) ad una ulteriore terna di cavi MT: si ha un fattore di correzione pari a 0,86 (vd. tabella sottostante, specifiche Prysmian):

Cavi tripolari (o terne di cavi unipolari a trifoglio) posati in terra / Three core buried cables (or 3 core systems in trefoil formation)

distanza tra cavi o terne (in orizzontale)	numero di cavi o terne (in orizzontale)			
<i>distance between cables or systems (horizontally)</i> (cm)	2	3	4	6
7	0,84	0,74	0,67	0,60
25	0,86	0,78	0,74	0,69

Tabella 3 – coefficienti di correzione per posa affiancata da altri sistemi

- circolazione di correnti negli schermi: con la modalità del cross bonding la corrente circolante negli schermi incide in maniera poco significativa; pertanto non si ravvede la necessità di considerare ulteriori fattori di correzione della portata.

Pertanto la portata reale del cavidotto esterno risulta essere:

$$I_b = I_n \times 0,97 \times 0,95 \times 0,86 = 506 \times 0,97 \times 0,95 \times 0,86 = 401A > I_{MAX} = 234A$$

5. VERIFICA DELLE CADUTE DI TENSIONE

Il calcolo della caduta di tensione (indicata con ΔV e riferita alla tensione concatenata del sistema) lungo la tratta in esame può essere effettuato mediante la relazione:

$$\Delta V = \sqrt{3} \times I_{MAX} \times L \times (r_{90^\circ C} \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi)$$

Committente: Società Luminora Specchione S.r.l. con sede a Roma, Via Tevere 41 CAP 00198	Progettazione: Mate System srl Via Papa Pio XII n.8 Cassano delle Murge (BA) Ing. Antonio Terlizzi	
Cod. elab.: R_2.2	Tipo: Relazione Dimensionamento cavo MT	Formato: A4
Data: 15/10/2021		Scala: n.a.

Dove:

- $r_{90^{\circ}C}$ resistenza chilometrica a 90° del conduttore del cavo [Ω /Km]
- x reattanza chilometrica del cavo [Ω /Km]
- L lunghezza del cavo [Km]
- $\cos \varphi$ fattore di potenza limite

Calcolando i singoli termini:

$$\sin \varphi = \sin (\arccos (\cos \varphi)) = 0,28$$

$$r_{90^{\circ}C} = 0,136\Omega / Km$$

come da specifica Prysmian sotto allegata:

Resistenza apparente del conduttore (rame rosso) (alluminio) a 50 Hz e a $90^{\circ}C$
Apparent resistance of red conductor (bare copper) (aluminium) at 50 Hz and at $90^{\circ}C$

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

Tabella 4 – resistenza chilometrica del conduttore

$$x = 0,110\Omega / Km$$

come da specifica Prysmian sotto allegata:

Committente: Società Luminora Specchione S.r.l. con sede a Roma, Via Tevere 41 CAP 00198	Progettazione: Mate System srl Via Papa Pio XII n.8 Cassano delle Murge (BA) Ing. Antonio Terlizzi
Cod. elab.: R_2.2	Tipo: Relazione Dimensionamento cavo MT
Data: 15/10/2021	Formato: A4 Scala: n.a.

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

CAVI UNIPOLARI SINGLE							
sezione nominale							
SINGLE CORE CABLES							
conductor cross-section (mm ²)	1,8/3 kV (Ω/km)	3,6/6 kV (Ω/km)	6/10 kV (Ω/km)	8,7/15 kV (Ω/km)	12/20 kV (Ω/km)	18/30 kV (Ω/km)	26/45 kV (Ω/km)
10	0,140	0,160	0,160	-	-	-	-
16	0,130	0,140	0,150	0,160	-	-	-
25	0,120	0,130	0,140	0,150	0,150	-	-
35	0,110	0,120	0,130	0,140	0,140	0,160	-
50	0,110	0,120	0,120	0,130	0,130	0,150	-
70	0,100	0,110	0,120	0,120	0,130	0,140	0,15
95	0,098	0,110	0,110	0,120	0,120	0,130	0,14
120	0,097	0,100	0,110	0,110	0,120	0,130	0,14
150	0,092	0,099	0,100	0,110	0,110	0,120	0,13
185	0,089	0,096	0,100	0,110	0,110	0,120	0,12
240	0,086	0,093	0,096	0,100	0,100	0,110	0,12
300	0,084	0,092	0,094	0,098	0,100	0,110	0,12
400	0,082	0,090	0,092	0,095	0,099	0,110	0,11
500	0,081	0,088	0,089	0,092	0,095	0,100	0,11
630	0,079	0,086	0,087	0,090	0,093	0,099	0,10

Tabella 5 – reattanza chilometrica del conduttore

Dal calcolo risulta:

$$\Delta V = \sqrt{3} \times 234 \times 8,79 \times (0,136 \cdot 0,96 + 0,110 \cdot 0,28) \approx 575 \text{ V}$$

Quindi:

$$\Delta V_{\%} = \frac{\Delta V}{V_n} \times 100 = \frac{575}{30000} \times 100 \approx 1,92\%$$

La caduta di tensione percentuale rientra ampiamente nel massimo valore accettabile dalle norme (tipicamente 4%).

6. CALCOLO DELLE PERDITE DI POTENZA ATTIVA

In condizioni di pieno carico della linea, quindi con corrente massima, la perdita di potenza attiva per effetto Joule lungo la linea corrisponde a:

$$P_j = 3 \times r_{90^{\circ}C} \times L \times (I_{max} \times \cos \phi)^2 = 3 \times 0,136 \times 8,79 \times (234 \times 0,96)^2 \approx 181 \text{ kW} \approx 0,5\%$$

7. VERIFICA DELLA TENUTA AL CORTOCIRCUITO

Per il dimensionamento al corto circuito si è utilizzata la formula della sezione minima, derivata dall'integrale di joule: $K^2 S^2 \geq I^2 t$, dalla quale si ottiene:

$$S \geq \frac{I_{cc} \times \sqrt{t}}{K}$$

dove:

- S: sezione in mm²;
- I_{cc}: corrente di cc in ampere;

Committente: Società Luminora Specchione S.r.l. con sede a Roma, Via Tevere 41 CAP 00198	Progettazione: Mate System srl Via Papa Pio XII n.8 Cassano delle Murge (BA) Ing. Antonio Terlizzi	
Cod. elab.: R_2.2	Tipo: Relazione Dimensionamento cavo MT	Formato: A4
Data: 15/10/2021		Scala: n.a.

- t: tempo di permanenza del corto circuito in s (tempo di intervento delle protezioni);
- K: costante di corto circuito; tale parametro è riportato nella scheda tecnica del cavo [4] e, per temperature di corto-circuito di 300°C, risulta **K=100**;

Per la linea MT in esame si considera cautelativamente una corrente di corto circuito di linea pari alla massima corrente di cortocircuito sopportabile dai quadri MT (il trasformatore AT/MT a monte limita in realtà la corrente di c.to c.to a valori più bassi): **I_{cc} = 16 kA**

Mentre per il tempo di intervento delle protezioni si considera: **t = 0,7 s**.

Pertanto si ottiene:

$$S \geq \frac{16000 \times \sqrt{0,7}}{100} \approx 134 \text{ mm}^2$$

La sezione scelta, pari a 300 mm², risulta rispettare pienamente la condizione sopra riportata.

8. CONFORMITÀ AL D.P.C.M. 8 LUGLIO 2003

Per quanto riguarda l'andamento del campo magnetico, va detto che esso è funzione, oltreché delle correnti in transito, della geometria con cui sono disposti i conduttori e dal numero di terne posate.

Le leggi di riferimento possono essere così riepilogate:

- Legge 22 febbraio 2001, n. 36, "Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici";
- DPCM 8 luglio 2003, "Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti";
- DM 29 maggio 2008, "DPCM 8 luglio 2003, "Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti";
- Decreto Interministeriale 21 marzo 1988 n. 449 "Approvazione delle norme tecniche per la progettazione, l'esecuzione e l'esercizio delle linee aeree esterne";

Ricordiamo che, ai fini della protezione della popolazione dall'esposizione ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50Hz) generati da linee e cabine elettriche, il DPCM 8 luglio 2003 (artt. 3 e 4) fissa, in conformità alla Legge 36/2001 (art. 4, c. 2):

- i limiti di esposizione del campo elettrico (5 kV/m) e del campo magnetico (100 μT) come valori efficaci, per la protezione da possibili effetti a breve termine; il campo elettrico al suolo in prossimità

Committente: Società Luminora Specchione S.r.l. con sede a Roma, Via Tevere 41 CAP 00198	Progettazione: Mate System srl Via Papa Pio XII n.8 Cassano delle Murge (BA) Ing. Antonio Terlizzi	
Cod. elab.: R_2.2	Tipo: Relazione Dimensionamento cavo MT	Formato: A4
Data: 15/10/2021		Scala: n.a.

di elettrodotti a tensione uguale o inferiore a 150 kV, come da misure e valutazioni, non supera mai il limite di esposizione per la popolazione di 5 kV/m;

- il valore di attenzione (10 μ T) e l'obiettivo di qualità (3 μ T) del campo magnetico da intendersi come mediana nelle 24 ore in normali condizioni di esercizio, per la protezione da possibili effetti a lungo termine connessi all'esposizione nelle aree di gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenza non inferiore a 4 ore giornaliere (luoghi tutelati).

Mentre il valore di attenzione si riferisce ai luoghi tutelati esistenti nei pressi di elettrodotti esistenti, **l'obiettivo di qualità** si riferisce, invece, alla progettazione di nuovi elettrodotti in prossimità di luoghi tutelati esistenti o alla progettazione di nuovi luoghi tutelati nei pressi di elettrodotti esistenti.

Il DPCM 8 luglio 2003, all'art. 6, in attuazione della Legge 36/01 (art. 4 c. 1 lettera h), ha introdotto la metodologia di calcolo delle **fasce di rispetto**, definita nell'allegato al Decreto 29 maggio 2008 (Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti). Detta fascia comprende tutti i punti nei quali, in normali condizioni di esercizio, il valore di induzione magnetica può essere maggiore o uguale all'obiettivo di qualità.

"La metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti" ha previsto una procedura semplificata di valutazione con l'introduzione della **Distanza di prima approssimazione (Dpa)**. Detta Dpa, nel rispetto dell'obiettivo di qualità di 3 μ T del campo magnetico (art. 4 del DPCM 8 luglio 2003), si applica nel caso di:

- realizzazione di nuovi elettrodotti (inclusi potenziamenti) in prossimità di luoghi tutelati;
- progettazione di nuovi luoghi tutelati in prossimità di elettrodotti esistenti.

In particolare, al fine di agevolare/semplificare:

- l'iter autorizzativo relativo alla costruzione ed esercizio degli elettrodotti (linee e cabine elettriche);
- le attività di gestione territoriale relative a progettazioni di nuovi luoghi tutelati e a richieste di redazione dei piani di gestione territoriale, inoltrate dalle amministrazioni locali;

Le Dpa permettono, nella maggior parte delle situazioni, una valutazione esaustiva dell'esposizione ai campi magnetici. Si precisa, inoltre, che sempre secondo quanto previsto dal Decreto 29 maggio 2008 già citato (al § 3.2), la tutela in merito alle fasce di rispetto di cui all'art. 6 del DPCM 8 luglio 2003 si applica alle linee elettriche aeree ed interrate, esistenti ed in progetto ad esclusione di:

- linee esercite a frequenza diversa da quella di rete di 50 Hz (ad esempio linee di alimentazione dei mezzi di trasporto);
- linee di classe zero ai sensi del DM 21 marzo 1988, n. 449 (come le linee di telecomunicazione);
- linee di prima classe ai sensi del DM 21 marzo 1988, n. 449 (quali le linee di bassa tensione);
- **linee di Media Tensione in cavo cordato ad elica (interrate o aeree - Figura 1);**

Committente: Società Luminora Specchione S.r.l. con sede a Roma, Via Tevere 41 CAP 00198	Progettazione: Mate System srl Via Papa Pio XII n.8 Cassano delle Murge (BA) Ing. Antonio Terlizzi
Cod. elab.: R_2.2	Tipo: Relazione Dimensionamento cavo MT
Data: 15/10/2021	Formato: A4 Scala: n.a.

in quanto le relative fasce di rispetto hanno un'ampiezza ridotta, inferiore alle distanze previste dal DM 21 marzo 1988, n. 449 e s.m.i.

Il calcolo delle Dpa per linee AT ed MT è stato elaborato da E-Distribuzione S.p.A., a cura della funzione Qualità, Sicurezza ed Ambiente (QSA) in collaborazione con la funzione Ingegneria ed Unificazione (IUN), quale supporto tecnico all'applicazione del § 5.1.3 (Procedimento semplificato: calcolo della distanza di prima approssimazione) dell'Allegato al DM 29 maggio 2008 (GU n. 156 del 5 luglio 2008) "Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti".

Nelle figure che seguono vengono rappresentate rispettivamente:

- una configurazione esemplificativa di linea interrata, simile a quella da realizzare per portare a compimento il collegamento in analisi;
- una rappresentazione della Distanza di Prima Approssimazione, ossia la distanza, in pianta sul livello del suolo, dalla proiezione del centro linea che garantisce che ogni punto la cui proiezione al suolo disti dalla proiezione del centro linea più della Dpa si trovi all'esterno delle fasce di rispetto.

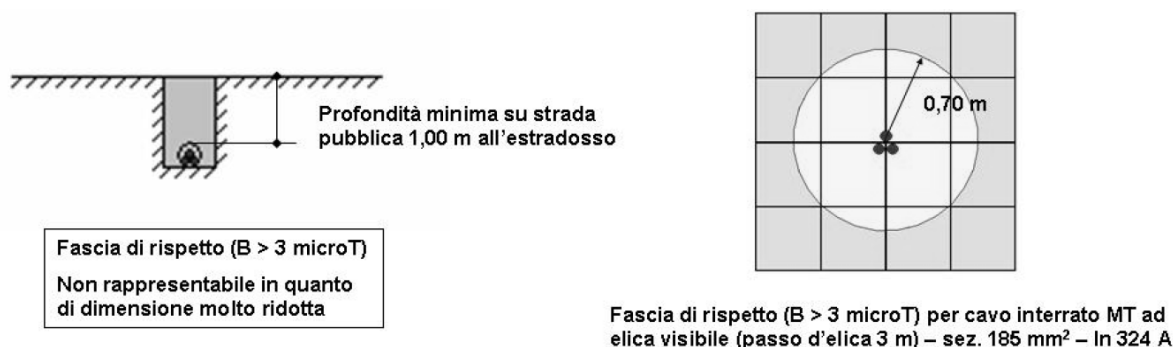


Figura 1 – Configurazione esemplificativa dell'elettrodotto interrato e relativa fascia di rispetto

Pertanto non occorre asservire alcuna fascia di rispetto; si raccomanda, a valle della realizzazione, di eseguire tutte le verifiche e le misure volte a scongiurare eventuali violazioni della normativa, unitamente al possibile generarsi di situazioni di pericolo per la salute e l'integrità di persone, animali e cose. Per maggiori dettagli si rimanda alla relazione di dettaglio sulla compatibilità elettromagnetica di tutto l'intervento proposto.

9. COESISTENZA TRA CAVI ELETTRICI ED ALTRE CONDUTTURE

Innanzitutto occorre precisare che in fase di progettazione esecutiva sarà necessario condurre un'accurata verifica sul tracciato del cavo ipotizzato, al fine di verificare l'eventuale presenza di sotto-servizi esistenti e gestire le relative interferenze; tale indagine potrà essere svolta ad es. con l'ausilio di un georadar.

Committente: Società Luminora Specchione S.r.l. con sede a Roma, Via Tevere 41 CAP 00198	Progettazione: Mate System srl Via Papa Pio XII n.8 Cassano delle Murge (BA) Ing. Antonio Terlizzi	
Cod. elab.: R_2.2	Tipo: Relazione Dimensionamento cavo MT	Formato: A4
Data: 15/10/2021		Scala: n.a.

Per quanto riguarda i parallelismi e incroci fra cavi elettrici, i cavi aventi la stessa tensione nominale, possono essere posati alla stessa profondità utilizzando tubazioni distinte, a una distanza di circa 3 volte il loro diametro. I cavi aventi diversa tensione nominale devono essere posati a strati successivi in ordine di tensione decrescente partendo dal fondo della trincea. Tali prescrizioni valgono anche per incroci di cavi aventi uguale o diversa tensione nominale.

Relativamente ai parallelismi e incroci fra cavi elettrici e cavi di telecomunicazione, i cavi di energia devono, di norma, essere posati alla maggiore possibile distanza, e quando vengono posati lungo la stessa strada si devono dislocare possibilmente ai lati opposti di questa.

Ove, per giustificate esigenze tecniche, non sia possibile attuare quanto sopra, è ammesso posare i cavi in vicinanza, purché sia mantenuta fra i due cavi una distanza minima, in protezione sul piano orizzontale, non inferiore a 0,30 m.

Qualora detta distanza non possa essere rispettata, è necessario applicare sui cavi uno dei seguenti dispositivi di protezione:

- cassetta metallica zincata a caldo;
- tubazione in acciaio zincato a caldo;
- tubazione in materiale plastico conforme alle norme CEI richiamate al paragrafo;

I predetti dispositivi possono essere omessi sul cavo posato alla profondità maggiore quando la differenza di quota tra i due cavi è uguale o superiore a 0,15 m. Le prescrizioni di cui sopra non si applicano quando almeno uno dei due cavi è posato, per tutta la parte interessata, in appositi manufatti (tubazione, cunicoli ecc.) che proteggono il cavo stesso e ne rendono possibile la posa e la successiva manutenzione senza la necessità di effettuare scavi.

Nel caso che i cavi siano posati nello stesso manufatto, non è prescritta nessuna distanza minima da rispettare, purché sia evitata la possibilità di contatti meccanici diretti e siano dislocati in tubazioni diverse.

Negli incroci con cavi di telecomunicazione, il cavo di energia, di norma, deve essere situato inferiormente a quello di telecomunicazione. La distanza fra i due cavi non deve essere inferiore a 0,30 metri ed inoltre il cavo posto superiormente deve essere protetto, per una lunghezza non inferiore ad 1 m, mediante un dispositivo di protezione identico a quello previsto per i parallelismi. Tali dispositivi devono essere disposti simmetricamente rispetto all'altro cavo. Ove, per giustificate esigenze tecniche, non possa essere rispettato il distanziamento minimo di cui sopra, anche sul cavo sottostante deve essere applicata una protezione analoga a quella prescritta per il cavo situato superiormente. Non è necessario osservare le prescrizioni sopraindicate 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 necessità di effettuare scavi.

Committente: Società Luminora Specchione S.r.l. con sede a Roma, Via Tevere 41 CAP 00198	Progettazione: Mate System srl Via Papa Pio XII n.8 Cassano delle Murge (BA) Ing. Antonio Terlizzi	
Cod. elab.: R_2.2	Tipo: Relazione Dimensionamento cavo MT	Formato: A4
Data: 15/10/2021		Scala: n.a.

Nei parallelismi ed incroci fra cavi elettrici e tubazioni o strutture metalliche interrato, la distanza in proiezione orizzontale fra i cavi di energia e le tubazioni metalliche interrato, adibite al trasporto e alla distribuzione di fluidi (acquedotti, oleodotti e simili), posate parallelamente ai cavi medesimi non deve essere inferiore a 0,30 metri.

Si può tuttavia derogare dalla prescrizione suddetta previo accordo fra gli esercenti quando:

- a) la differenza di quota fra le superfici esterne delle strutture interessate è superiore a 0,50 metri;
- b) tale differenza è compresa fra 0,30 e 0,50 metri, ma si interpongono fra le due strutture elementi separatori non metallici nei tratti in cui la tubazione non è contenuta in un manufatto di protezione non metallico.

Non devono mai essere disposti nello stesso manufatto di protezione cavi di energia e tubazioni convoglianti fluidi infiammabili; per le tubazioni adibite ad altro uso tale tipo di posa è invece consentito, previo accordo fra gli soggetti interessati, purchè il cavo di energia e la tubazione non siano posti a diretto contatto fra loro. Le superfici esterne di cavi di energia interrati non devono distare meno di 1 m dalle superfici esterne di serbatoi contenenti liquidi o gas infiammabili.

L'incrocio fra cavi di energia e tubazioni metalliche interrato non deve essere effettuato sulla proiezione verticale di giunti non saldati delle tubazioni stesse. Non si devono effettuare giunti sui cavi a distanza inferiore ad 1 m dal punto di incrocio.

Nessuna 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 manufatti di protezione, è superiore a 0,50 m. Tale distanza può essere ridotta fino a un minimo di 0,30 metri, quando una delle strutture di incrocio è contenuta in manufatto di protezione non metallico, prolungato per almeno 0,30 metri per parte rispetto all'ingombro in pianta dell'altra struttura oppure quando fra le strutture che si incrociano venga interposto un elemento separatore non metallico (a esempio, lastre di calcestruzzo o di materiale isolante rigido); questo elemento deve poter coprire, oltre alla superficie di sovrapposizione in pianta delle strutture che si incrociano, quella di una striscia di circa 0,30 metri di larghezza ad essa periferica.

Le distanze sopraindicate possono essere ulteriormente ridotte, previo accordo fra i soggetti interessati, se entrambe le strutture sono contenute in manufatto di protezione non metallico. Prescrizioni analoghe devono essere osservate nel caso in cui non risulti possibile tenere l'incrocio a distanza uguale o superiore a 1 m dal giunto di un cavo oppure nei tratti che precedono o seguono immediatamente incroci eseguiti sotto angoli inferiori a 60° e per i quali non risulti possibile osservare prescrizioni sul distanziamento.

Committente: Società Luminora Specchione S.r.l. con sede a Roma, Via Tevere 41 CAP 00198	Progettazione: Mate System srl Via Papa Pio XII n.8 Cassano delle Murge (BA) Ing. Antonio Terlizzi	
Cod. elab.: R_2.2	Tipo: Relazione Dimensionamento cavo MT	Formato: A4
Data: 15/10/2021		Scala: n.a.

10. COESISTENZA FRA CAVI DI ENERGIA E GASDOTTI

Le distanze da rispettare nei parallelismi e incroci fra cavi elettrici e gasdotti sono applicabili, ove non in contrasto con il D.M. 24.11.1984 "Norme di sicurezza antincendio per il trasporto, la distribuzione e l'utilizzazione del gas naturale con densità non superiore a 0,8", ai cavi direttamente interrati con le modalità di posa "L" (senza protezione meccanica) e "M" (con protezione meccanica – caso di specie) definite dalle Norme CEI 11-17 (art. 2.3.11 e fig. 1.2.06).

11. CONCLUSIONI

Per quanto esposto ai capitoli precedenti l'installazione delle terne di cavi unipolari riuniti ad elica visibile ARP1H5EX per il tracciato MT di connessione tra la stazione utente e la cabina di smistamento nelle condizioni di posa specificate, è correttamente verificata per quanto riguarda:

- portata di corrente in regime permanente;
- caduta di tensione;
- dimensionamento al cortocircuito;
- compatibilità elettromagnetica.

Cassano delle Murge, lì 15/10/2021

Il Progettista

Ing. Arcangelo Traversa

