

COMMITTENTE



Caltanissetta Solar S.r.l.  
Via Durini, 9 Tel. +39.02.50043159  
20122 Milano PEC: caltanissettasolar@legalmail.it

**CALTANISSETTA SOLAR S.r.l.**

Via Durini, 9  
20122 Milano (MI)  
P. IVA 11875450964

Coordinatore del progetto: Arch. Luigi Giocondo

PROGETTISTI



**ANTEX Group**  
Sede Legale: Via Sabotino, 8 - 96013 Carlentini (SR)  
Uffici: Via Jonica, 16 - Loc. Belvedere - 96100 Siracusa (SR)  
Web: www.antexgroup.it

**Il tecnico:**  
Ing. Antonino Signorello  
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Catania n° A6105

**Responsabile tecnico:**  
Arch. Luigi Giocondo  
Ordine degli Architetti della Prov. di Agrigento n° 133



REGIONE SICILIA



Libero Consorzio Comunale di Caltanissetta



COMUNE DI BUTERA

PROGETTO

Progetto di un impianto agrolvoltaico con soluzioni integrative innovative e sistemi di monitoraggio delle colture, realizzato su inseguitori solari, ai sensi del comma 5, art.31 della L.108/2021 e delle relative opere di connessione alla rete elettrica nazionale, da realizzare nel Comune di Butera in C.da Pozzillo, di potenza nominale di 35.400 KW e di potenza del generatore di 39.606,84 KWp denominato "BUTIRAH"

ELABORATO

Titolo:

**RELAZIONE CONDUTTURE, APPARECCHIATURE  
ELETTRICHE ED IMPATTO ELETTROMAGNETICO**

Doc:

BUT\_PD\_03

Codice elaborato:

Formato:

A4

REV.	DATA	DESCRIZIONE	ELABORAZIONE	VERIFICA	APPROVAZIONE
0	Giugno 2022	Prima emissione	ANTEX	GR VALUE	GR VALUE

## INDICE

1. Premessa .....	2
2. Scopo .....	2
3. Specifiche Tecniche Cavi in Alluminio MT – ARP1H5(AR)E – 18/30 kV – Umax 36 kV .....	2
4. Specifiche Tecniche Cavi in Alluminio AT - ARG7H1E7 – 87/150 kV – Umax 170 kV .....	6
5. Determinazione delle potenze/correnti di cortocircuito .....	8
6. Caratteristiche apparecchiature elettriche MT .....	10
7. Impatto Elettromagnetico - Inquadramento Normativo.....	10
8. Campo elettromagnetico generato da linee interrate MT .....	12
8.1. CEM generato da trincea con 1 circuito (1C).....	13
8.2. CEM generato da trincea con 2 circuiti (2C).....	14
9. Campo elettromagnetico generato da linee interrate AT .....	16
10. Campo elettromagnetico generato da cabine secondarie .....	17
11. Campo elettromagnetico generato da cabine primarie .....	17
12. Riferimenti Legislativi .....	19

## 1. Premessa

Per conto della società proponente, Caltanissetta Solar S.r.l., è stato redatto il progetto definitivo relativo alla realizzazione dell’impianto agrovoltaiico denominato “BUTIRAH”, risultato di una progettazione integrata di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile fotovoltaica e di un impianto di produzione agricola. In particolare, la proposta progettuale è quella di un parco “agrovoltaiico” che adotta soluzioni integrative innovative con montaggio di moduli elevati da terra, anche prevedendo la rotazione dei moduli stessi, comunque in modo da non compromettere la continuità delle attività di coltivazione agricola e consentendo l’applicazione di strumenti di agricoltura digitale e di precisione, come previsto dall’art.31 della L. 108/2021.

L’impianto agrovoltaiico “Butirah” sarà realizzato nel territorio del Comune di Butera in C. da Pozzillo, nella Provincia di Caltanissetta. Il progetto prevede l’installazione di n. 67.704 moduli fotovoltaici in silicio monocristallino da 585 Wp ciascuno, su strutture ad inseguimento monoassiale in acciaio zincato a caldo. Tutta l’energia elettrica prodotta verrà ceduta alla rete tramite collegamento in antenna a 150 kV con la sezione a 150 kV su una nuova stazione elettrica di trasformazione (SE) a 220/150 kV della RTN denominata “Butera 2”, da inserire in entra - esce sulla linea RTN a 220 kV “Chiaromonte Gulfi - Favara”. Inoltre, al fine di razionalizzare l’utilizzo delle strutture di rete, sarà necessario condividere lo stallo in stazione con altri impianti di produzione.

## 2. Scopo

Scopo della presente relazione tecnica la descrizione delle condutture e delle apparecchiature elettriche previste dal progetto, oltre che la valutazione del campo elettromagnetico generato dalla stazione elettrica di trasformazione 30/150 kV di utenza (SSEU), dal cavidotto interrato AT a 150 kV di collegamento tra la SSEU/Area Comune Produttori e la Nuova SE di Trasformazione 150/220 kV denominato “Butera-2”, dalle cabine secondarie, dalle linee interrate MT che collegano l’impianto di produzione di energia elettrica da fonte fotovoltaica, denominato **Impianto Agrovoltaiico “BUTIRAH”**.

## 3. Specifiche Tecniche Cavi in Alluminio MT – ARP1H5(AR)E – 18/30 kV – Umax 36 kV

La Norma CEI 20-13 “Cavi con isolamento estruso in gomma per tensioni nominali da 1 a 30 kV” definisce le principali regole costruttive per i cavi isolati con gomme di qualità G5 e G7 a base di elastomeri etilenpropilenici e stabilisce le prescrizioni di prova a cui devono rispondere nel collaudo. Il paragrafo 4.1.02 “Portate di corrente” afferma che per le portate in regime permanente si deve fare riferimento alla Norma CEI 20-21 “Calcolo delle portate dei cavi elettrici in regime permanente (fattore di carico 100%)” e alle tabelle CEI-UNEL 35027 (nel nostro caso). La Norma CEI-UNEL 35027 è ricavata dalla serie di Norme CEI 20-21 (recepimento della Norma IEC 60287 - serie) ed incorpora la revisione dei valori delle portate in corrente citate nelle Norme CEI. Poiché la sezione massima dei conduttori citata in questa Norma è di 300 mm<sup>2</sup> (cavi in Cu e Al), per i valori di portata in corrente in regime permanente di cavi di dimensioni superiori rimanda alle specifiche tecniche rilasciate dai costruttori per i cavi costruiti in conformità alla CEI 20-13.

ARP1H5(AR)E 18/30kV - Al unipolare Sezione nominale [mmq]	Portata [A] (Trifoglio)	Resistenza apparente a 90°C e 50 Hz [Ohm/km]	Reattanza di fase [Ohm/km]	Impedenza a 90°C e 50 Hz [Ohm/km]
70	212	0,3420	0,15	0,37
95	254	0,2460	0,14	0,28
120	290	0,1960	0,14	0,24
150	324	0,1590	0,13	0,21
185	368	0,1280	0,13	0,18
240	428	0,0985	0,12	0,16
300	486	0,0797	0,12	0,14
400	557	0,0638	0,11	0,13
500	636	0,0517	0,11	0,12
630	725	0,0425	0,10	0,11

MEDIA TENSIONE - APPLICAZIONI TERRESTRI E/O EOLICHE / MEDIUM VOLTAGE - GROUND AND/OR WIND FARM APPLICATION

**ARP1H5(AR)E P-Laser AIR BAG™**  
CABLE SYSTEM



Unipolare 12/20 kV e 18/30 kV  
Single core 12/20 kV and 18/30 kV

Norma di riferimento  
**HD 620/IEC 60502-2**

**Descrizione del cavo**

**Anima**

Conduttore a corda rotonda compatta di alluminio  
**Semiconduttivo interno**  
Miscela estrusa

**Isolante**

Miscela in elastomero termoplastico (qualità HPTE)

**Semiconduttivo esterno**

Miscela estrusa

**Rivestimento protettivo**

Nastro semiconduttore igroespandente

**Schematura**

Nastro di alluminio avvolto a cilindro longitudinale  
(Rmax 3Ω/Km)

**Protezione meccanica**

Materiale Polimerico (Air Bag)

**Gualna**

Polietilene: colore rosso (qualità DMP 2)

**Marcatura**

PRYSMIAN (\*\*) ARP1H5(AR)E <tensione>  
<sezione> <anno>

(\*\*) sigla sito produttivo

Marcatura in rilievo ogni metro

Marcatura metrica ad inchiostro

**Applicazioni**

Temperatura di sovraccarico massima 140°C  
Coefficiente K per temperature di corto circuito di 300°C: K = 100  
**N.B.** Il cavo rispetta le prescrizioni della norma HD 620 per quanto riguarda l'isolante, per tutte le altre caratteristiche rispetta le prescrizioni della IEC 60502-2.

**Accessori idonei**

**Terminali**

ELTI-1C (pag. 115), ELTO-1C (pag. 118), FMCS 250 (pag. 128),  
FMCE (pag. 130), FMCTs-400 (pag. 132),  
FMCTxs-630/C (pag. 136)

**Giunti**

ECOSPEED™ (pag. 140)

**Standard**

**HD 620/IEC 60502-2**

**Cable design**

**Core**

Compact stranded aluminium conductor  
**Inner semi-conducting layer**  
Extruded compound

**Insulation**

Thermoplastic elastomer compound (type HPTE)

**Outer semi-conducting layer**

Extruded compound

**Protective layer**

Semiconductive watertight tape

**Screen**

Aluminium tape longitudinally applied  
(Rmax 3Ω/Km)

**Mechanical protection**

Polymeric material (Air Bag)

**Sheath**

Polyethylene: red colour (DMP 2 type)

**Marking**

PRYSMIAN (\*\*) ARP1H5(AR)E <rated voltage>  
<cross-section> <year>

(\*\*) production site label

Embossed marking each meter

Ink-jet meter marking

**Applications**

Overload maximum temperature 140°C  
K coefficient for short-circuit temperatures at 300°C: K = 100  
**N.B.** According to HD 620 standard for insulation, and the IEC 60502-2 for the other characteristics.

**Suitable accessories**

**Terminations**

ELTI-1C (pag. 115), ELTO-1C (pag. 118), FMCS 250 (pag. 128),  
FMCE (pag. 130), FMCTs-400 (pag. 132),  
FMCTxs-630/C (pag. 136)

**Joints**

ECOSPEED™ (pag. 140)



**Condizioni di posa / Laying conditions**



MEDIA TENSIONE - APPLICAZIONI TERRESTRI E/O EOLICHE / MEDIUM VOLTAGE - GROUND AND/OR WIND FARM APPLICATION

ARP1H5(AR)E *P-Laser* AIR BAG™  
 CABLE SYSTEM

Unipolare 12/20 kV e 18/30 kV  
 Single core 12/20 kV and 18/30 kV

Conduttore di alluminio / Aluminium conductor - ARP1H5(AR)E

sezione nominale	diámetro conduttore	diámetro sull'isolante	diámetro esterno nominale	peso del cavo	raggio minimo di curvatura
conductor cross-section	conductor diameter	diameter over insulation	nominal outer diameter	weight	minimum bending radius
(mm²)	(mm)	(mm)	(mm)	(kg/km)	(mm)

sezione nominale	posa in aria a trifoglio	posa interrata a trifoglio	
conductor cross-section	open air installation trifol	p=1 °C m/W	p=2 °C m/W
(mm²)	(A)	(A)	(A)

Dati costruttivi / Construction charact. - 12/20 kV

50	8,2	18,0	31	720	440
70	9,7	19,1	32	810	450
95	11,4	20,6	34	920	480
120	12,9	22,1	35	1040	490
150	14,0	23,4	37	1150	520
185	15,8	25,6	39	1330	550
240	18,2	27,8	41	1570	580
300	20,8	31,0	45	1840	630
400	25,8	34,9	49	2310	690
500	26,7	32,1	52	2720	730
630	30,5	41,5	57	3300	800

Caratt. elettriche / Electrical charact. - 12/20 kV

50	193	173	129
70	240	215	157
95	292	255	190
120	338	291	217
150	381	325	243
185	439	369	276
240	520	430	321
300	601	487	363
400	703	558	417
500	816	637	476
630	949	726	542

Dati costruttivi / Construction charact. - 18/30 kV

50	8,2	24,8	38	1060	540
70	9,7	25,1	38	1110	550
95	11,4	26,0	39	1200	560
120	12,9	26,9	40	1300	580
150	14,0	27,6	41	1390	580
185	15,8	29,0	42	1540	610
240	18,2	31,4	45	1790	630
300	20,8	34,6	49	2160	690
400	25,8	37,8	53	2570	750
500	26,7	40,9	56	3020	790
630	30,5	45,5	61	3640	860

Caratt. elettriche / Electrical charact. - 18/30 kV

50	195	173	129
70	242	212	158
95	293	254	190
120	339	290	217
150	382	324	242
185	439	368	275
240	519	428	320
300	599	486	363
400	700	557	416
500	812	636	475
630	943	725	541

#### 4. Specifiche Tecniche Cavi in Alluminio AT - ARG7H1E7 – 87/150 kV – Umax 170 kV

La scelta del conduttore, ARG7H1E 87/150kV da  $1 \times 1600 \text{ mm}^2$ , è stata effettuata in base a considerazioni sui carichi e sui criteri di esercizio della terna e sugli eventuali ampliamenti di potenza della connessione ed è conforme allo standard internazionale: IEC 60840 "Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages above 30 kV ( $U_m = 36 \text{ kV}$ ) up to 150 kV ( $U_m = 170 \text{ kV}$ ) - Test methods and requirements".

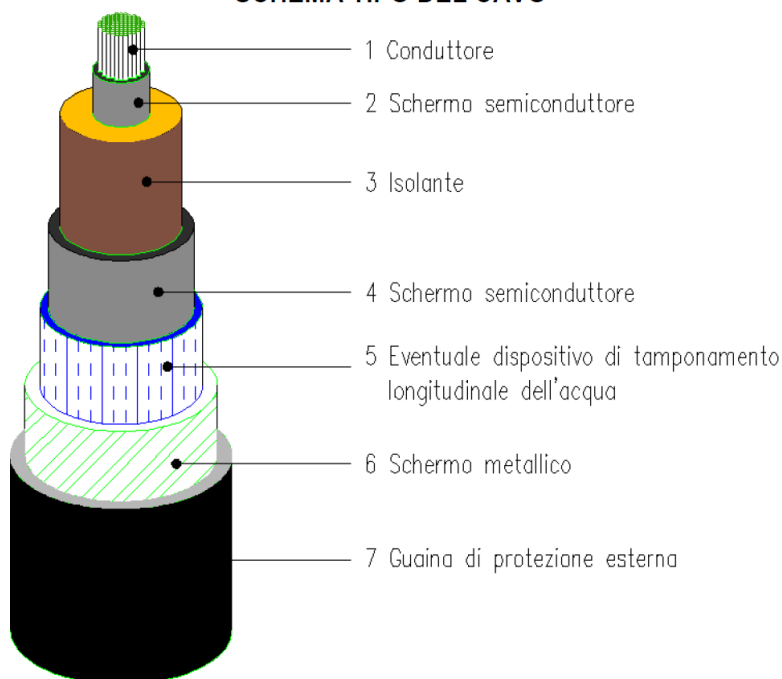
Il conduttore è in alluminio a corda rigida rotonda compatta tamponata tra il conduttore e l'isolante e lo schermo metallico sono interposti strati di semiconduttore estruso, con eventuali fasciature semiconduttive.

L'isolante è costituito da gomma sintetica a base di polietilene reticolato (XLPE), ad alto modulo elastico e rispondente alla norma CEI 20-66.

Lo schermo metallico esterno è costituito da fili di rame ricotto non stagnato disposti secondo un'elica unidirezionale con nastro equalizzatore di rame non stagnato; in ogni caso il rapporto tra la lunghezza dei fili rettificati e la corrispondente lunghezza dell'anima deve risultare maggiore di 1,02; è ammessa la presenza di eventuale nastro non igroscopico.

Il rivestimento protettivo esterno è una guaina in polietilene (PE) di colore nero con qualità Ez, rispondente alle norme CEI 20-66.

#### SCHEMA TIPO DEL CAVO



## DATI TECNICI DEL CAVO

### Cavo 150 kV sezione 1600 mm<sup>2</sup> in alluminio

#### CARATTERISTICHE DI COSTRUZIONE

Materiale del conduttore	Alluminio
Isolamento	XLPE (chemical)
Tipo di conduttore	Corda rotonda compatta
Guaina metallica	Alluminio termosaldato

#### CARATTERISTICHE DIMENSIONALI

Diametro del conduttore	48,9mm
Sezione	1600mm <sup>2</sup>
Diametro esterno nom.	115,0mm
Sezione schermo	670mm <sup>2</sup>
Peso approssimativo	12kg/m

#### CARATTERISTICHE ELETTRICHE

Max tensione di funzionamento	170kV
Messa a terra degli schermi - posa a trifoglio	assenza di correnti di circolazione
Portata di corrente, cavi interrati a 20°C, posa a trifoglio	1045A
Portata di corrente, cavi interrati a 30°C, posa a trifoglio	900A
Messa a terra degli schermi - posa in piano	assenza di correnti di circolazione
Portata di corrente, cavi interrati a 20°C, posa in piano	1175A
Portata di corrente, cavi interrati a 30°C, posa in piano	1010A
Massima resistenza el. del cond. a 20°C in c.c.	0,019Ohm/km
Capacità nominale	0,3µF / km
Corrente ammissibile di corto circuito	70,3kA
Tensione operativa	150kV



Tali dati potranno subire adattamenti, in ogni caso non essenziali, dovuti alla fase successiva di progettazione esecutiva e di cantierizzazione, anche in funzione delle soluzioni tecnologiche adottate dai fornitori e/o appaltatori.

## 5. Determinazione delle potenze/correnti di cortocircuito

Per calcolare la potenza di cortocircuito in un punto dell'impianto, si può fare l'ipotesi che la resistenza sia trascurabile rispetto alla reattanza, perché solitamente il rapporto reattanza/resistenza di una rete di distribuzione (fino alle sbarre) è superiore a sette. In pratica, l'impedenza si può ritenere coincidente con la reattanza:

$$Z = \sqrt{(R^2+X^2)} = \sqrt{((X/7)^2+X^2)} = \sqrt{[(X^2/49)+X^2]} = 1,01 * X \sim X$$

Questo consente, in questa fase preliminare, di calcolare la potenza di cortocircuito di un sistema elettrico costituito da n elementi in serie (generatori, linee, trasformatori) le cui potenza di cortocircuito siano  $P_1, P_2, \dots, P_n$ .

La potenza (apparente) di cortocircuito trifase ( $P_{CC}$ ) vale:

$$P_{CC} = \sqrt{3} * U_n * I_{cc}$$

Dove:

- $U_n$  è la tensione nominale (concatenata);
- $I_{cc}$  è la corrente di cortocircuito trifase.

D'altra parte, nell'ipotesi  $X \sim Z$  si ha:

$$I_{cc} = E/X$$

Dove  $E = U_n/\sqrt{3}$  è la tensione di fase:

$$I_{cc} = U_n/\sqrt{3} * X$$

Si ottiene dunque:

$$P_{CC} = \sqrt{3} * U_n * U_n/\sqrt{3} * X = U_n^2/X$$

La potenza di cortocircuito di un sistema a tensione  $U$  composto da n elementi in serie aventi reattanze  $X_1, X_2, \dots, X_n$  è:

$$P_{CC} = U_n^2/(X_1 + X_2 + \dots + X_n)$$

Poiché, la reattanza  $X_i$  del generico elemento del sistema elettrico con potenza di cortocircuito  $P_i$  vale:

$$X_i = U_n^2/P_i$$

Dunque:

$$P_{CC} = U_n^2/(U_n^2/P_1 + U_n^2/P_2 + \dots + U_n^2/P_n) = 1/[(1/P_1)+(1/P_2)+\dots+(1/P_n)]$$

### Potenza di cortocircuito della rete AT:

La potenza (apparente) di cortocircuito trifase ( $P_r$ ) della rete AT è la potenza espressa in MVA, che si ottiene dalla corrente di cortocircuito simmetrica trifase ( $I_{cc}$ ) alla tensione nominale della rete ( $U_n$ ):

$$P_r = c * \sqrt{3} * U_n * I_{cc}$$

Dove:

- c coefficiente di margine indicato dalla Norma CEI per le reti AT e MT, che tiene conto del possibile aumento della tensione in rete (valore = 1,1).
- $U_n = 150$  kV

- $I_{cc} = 31,5 \text{ kA}$

Pertanto:

$$P_r = 1,1 * \sqrt{3} * 150 * 31,5 = 9.002,33 \text{ MVA}$$

*Potenza di cortocircuito di un trasformatore:*

La potenza (apparente) di cortocircuito trifase ( $P_r$ ) di un trasformatore è:

$$P_r = 100 * P/u_{cc}$$

Dove:

- $P$  è la potenza nominale del trasformatore
- $u_{cc}$  è la tensione di cortocircuito percentuale

La potenza di cortocircuito del trasformatore 150/30 kV da 45 MVA con  $u_{cc} = 13,0\%$  è pari a:

$$P_{r/45} = 100 * 45/13,0 = 346,154 \text{ MVA}$$

La potenza di cortocircuito del trasformatore 30/0,8 kV da 6,30 MVA con  $u_{cc} = 8\%$  presente nelle cabine di sottocampo vale:

$$P_{r/6,3} = 100 * 6,30/8 = 78,75 \text{ MVA}$$

*Potenza di cortocircuito di un generatore:*

La potenza (apparente) di cortocircuito trifase ( $P_G$ ) di un generatore è:

$$P_G = 100 * P/X_d''$$

Dove:

- $P$  è la potenza nominale del sottocampo fotovoltaico (generatore fotovoltaico), 4,950855 MVA
- $X_d''$  è la reattanza sub-transitoria diretta, (valore tipico pari 15%)

Quindi:

$$P_G = 100 * 4,950855/15 = 33,0057 \text{ MVA}$$

*Potenza di cortocircuito massima alle sbarre 30kV dei QMT*

La potenza di cortocircuito massima alle sbarre 30kV è data da:

$$P_{cc/A} = \{1/[(1/P_r)+(1/P_{r/45})]\} + \{1/[(1/P_{r/6,3})+(1/P_G)]\} * 8 = \\ = \{1/[(1/9002,33)+(1/346,154)]\} + \{1/[(1/78,75)+(1/33,0057)]\} * 8 = 519,4 \text{ MVA}$$

La corrente di cortocircuito massima alle sbarre 30kV vale:

$$I_{cc/A} = P_{cc/A} / (\sqrt{3} * U_n) = 519,4 / (\sqrt{3} * 30) = 10 \text{ kA}$$

Questo è il valore di riferimento per il dimensionamento dei cavi (e delle apparecchiature MT). Poiché i valori tipici del potere d'interruzione delle apparecchiature MT sono: 12,5, 16, 20, 25 kA, si è scelto un valore di  $I_{cc}$  pari a 12,5 kA.

## 6. Caratteristiche apparecchiature elettriche MT

La corrente di cortocircuito massima alle sbarre 30kV vale:

$$I_{cc/A} = P_{cc/A} / (\sqrt{3} * U_n) = 519,4 / (\sqrt{3} * 30) = 10 \text{ kA}$$

Questo è il valore di riferimento per il dimensionamento dei cavi (e delle apparecchiature MT). Poiché i valori tipici del potere d'interruzione delle apparecchiature MT sono: 12,5, 16, 20, 25 kA, si è scelto un valore di  $I_{cc}$  pari a 12,5 kA.

I quadri MT saranno installati all'interno dei locali MT della SSEU (protezione e sezionamento delle linee provenienti dalla cabina di raccolta, protezione generale della linea di collegamento al trasformatore AT/MT secondo norma CEI 0-16).

*Caratteristiche elettriche principali:*

- Tensione nominale max 36 kV
- Tensione nominale di tenuta a frequenza industriale: 50 Hz/1 min valore efficace 50 kV
- Tensione nominale di tenuta a impulso atmosferico: 1,2 / 50 microsec. valore di picco 170 kV
- Tensione di esercizio 30 kV
- Frequenza nominale 50 Hz
- N° fasi 3
- Corrente nominale sbarre principali 1250A
- Corrente nominale sbarre derivazione 630/1250A
- Corrente nominale ammissibile di breve durata 25 kA
- Corrente nominale di picco 50 kA
- Potere di interruzione degli interruttori alla V nominale 25 kA
- Durata nominale del corto circuito 3 sec

*Composizione QMT:*

- n. 1 scomparto arrivo trasformatore di potenza MT/AT, con interruttore, TA, TV, relè a microprocessore per le protezioni max. I (50-51-51N-27-59- 59N) e con le misure di A, V, W, VAR, cosfi, frequenza;
- n. 2 scomparti di arrivo linea, con interruttore, TA, relè a microprocessore per le protezioni max. I (50-51-67N) e con le misure di A, V, W, VAR, cosfi, frequenza;
- n. 1 scomparto riserva/reattanza, con interruttore, TA, relè a microprocessore per le protezioni max. I (50-51-67N) e con le misure di A, V, W, VAR, cosfi, frequenza;
- n. 1 cella TV (eventualmente integrata nella cella arrivo trasformatore).
- n. 1 scomparto arrivo trasformatore ausiliario BT/MT.

## 7. Impatto Elettromagnetico - Inquadramento Normativo

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  $\mu$ T) come valori efficaci, per la protezione da possibili effetti a breve termine;
- il valore di attenzione (10  $\mu$ T) e l'obiettivo di qualità (3  $\mu$ 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).

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), introduce 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” prevede una procedura semplificata di valutazione con l'introduzione della Distanza di Prima Approssimazione (DPA). Detta DPA, nel rispetto dell'obiettivo di qualità di 3  $\mu$ 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.

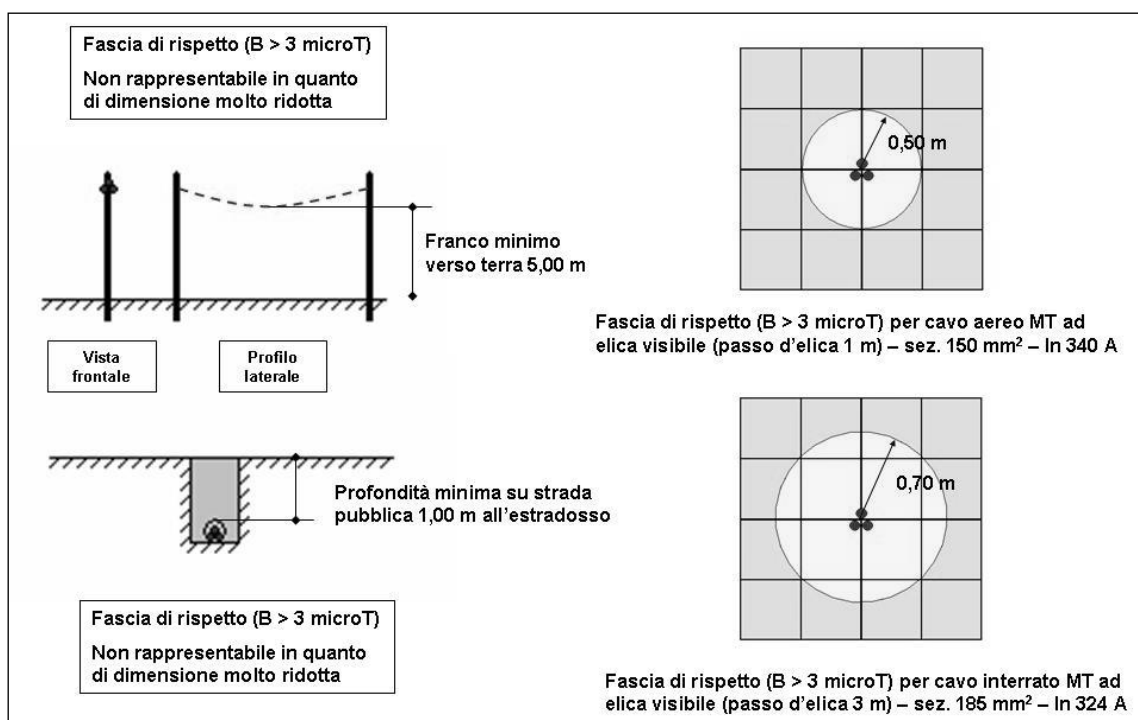
In particolare, al fine di agevolare/semplificare:

- 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 secondo quanto previsto dal Decreto 29 maggio 2008 sopra citato (§ 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);

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.



**Figura 1 – Curve di livello dell'induzione magnetica generata da cavi cordati ad elica**

Si evidenzia infine che le fasce di rispetto (comprese le correlate DPA) non sono applicabili ai luoghi tutelati esistenti in vicinanza di elettrodotti esistenti. In tali casi, l'unico vincolo legale è quello del non superamento del valore di attenzione del campo magnetico (10  $\mu$ T da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio); solo ove tale valore risulti superato, si applicheranno le disposizioni dell'art. 9 della Legge 36/2001.

## 8. Campo elettromagnetico generato da linee interrate MT

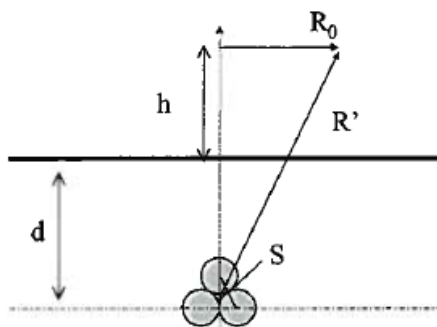
L'intensità del campo elettrico generato da linee interrate è insignificante già al di sopra delle linee stesse grazie all'effetto schermante del rivestimento del cavo e del terreno.

Per quanto riguarda l'intensità del campo magnetico, poiché le linee elettriche interrate MT (aventi sezione pari al max 300 mm<sup>2</sup>, ad una profondità di 1,0 m), relative all'impianto fotovoltaico in oggetto, **saranno realizzati mediante la posa di cavi unipolari posati a trifoglio**, si vuole valutare l'impatto elettromagnetico generato dai cavidotti interrati MT adottando la metodologia di calcolo illustrata nella Norma CEI 106-11, che riportiamo di seguito:

**b) Cavi unipolari posati a trifoglio**

Lo schema di posa in questo caso è illustrato nella Figura 12. Si può quindi ricorrere alle relazioni approssimate viste per le linee aeree con conduttori a triangolo

$$B = 0,1 \cdot \sqrt{6} \cdot \frac{S \cdot I}{R^2} \text{ [\mu T]} \quad R' = 0,286 \cdot \sqrt{S \cdot I} \text{ [m]} \quad (20)$$



**Figura 12 – Schema di principio per il calcolo delle distanze da terne di cavi interrati con posa a trifoglio oltre le quali l'induzione magnetica è inferiore all'obiettivo di qualità (d è la profondità del centro del conduttore)**

I valori di DPA dipendono solo dalla geometria dei conduttori e dai valori di corrente che le attraversano.

**8.1. CEM generato da trincea con 1 circuito (1C)**

Il progetto prevede linee MT a 1 circuito (1C) a singola terna di conduttori unipolari (con posa di tipo interrata a trifoglio) attraversate dai seguenti valori di corrente:

Linea MT-1:

- a)  $I = 72,7 \text{ A}$  e  $S = 40 \text{ mm}$  (conduttori da  $120 \text{ mm}^2$ );
- b)  $I = 141,1 \text{ A}$  e  $S = 40 \text{ mm}$  (conduttori da  $120 \text{ mm}^2$ );
- c)  $I = 256,6 \text{ A}$  e  $S = 41 \text{ mm}$  (conduttori da  $150 \text{ mm}^2$ );
- d)  $I = 350,7 \text{ A}$  e  $S = 45 \text{ mm}$  (conduttori da  $240 \text{ mm}^2$ );

Linea MT-2:

- e)  $I = 59,9 \text{ A}$  e  $S = 40 \text{ mm}$  (conduttori da  $120 \text{ mm}^2$ );
- f)  $I = 175,3 \text{ A}$  e  $S = 40 \text{ mm}$  (conduttori da  $120 \text{ mm}^2$ );
- g)  $I = 290,8 \text{ A}$  e  $S = 42 \text{ mm}$  (conduttori da  $185 \text{ mm}^2$ );
- h)  $I = 406,3 \text{ A}$  e  $S = 49 \text{ mm}$  (conduttori da  $300 \text{ mm}^2$ );

Adottando la formula approssimata per i casi precedentemente esposti si ottiene:

Linea MT-1:

- a)  $R' = 0,286 \cdot \sqrt{S \cdot I} = 0,286 \cdot \sqrt{40 \cdot 72,7} = 0,49 \text{ m}$

Poiché la profondità di posa della terna è di 1 m, il valore di induzione magnetica emesso da questa terna è minore di  $3 \text{ }\mu\text{T}$  già al livello del suolo. Questo implica, per questo caso, un valore

di DPA pari a 0 m.

b)  $R' = 0,286 \cdot \sqrt{(S \cdot I)} = 0,286 \cdot \sqrt{(0,04 \cdot 141,1)} = 0,68 \text{ m}$

Poiché la profondità di posa della terna è di 1 m, il valore di induzione magnetica emesso da questa terna è minore di 3  $\mu\text{T}$  già al livello del suolo. Questo implica, per questo caso, un valore di DPA pari a 0 m.

c)  $R' = 0,286 \cdot \sqrt{(S \cdot I)} = 0,286 \cdot \sqrt{(0,041 \cdot 256,6)} = 0,93 \text{ m}$

Poiché la profondità di posa della terna è di 1 m, il valore di induzione magnetica emesso da questa terna è minore di 3  $\mu\text{T}$  già al livello del suolo. Questo implica, per questo caso, un valore di DPA pari a 0 m.

d)  $R' = 0,286 \cdot \sqrt{(S \cdot I)} = 0,286 \cdot \sqrt{(0,045 \cdot 350,7)} = 1,14 \text{ m}$

**In via precauzionale, arrotondando al metro superiore, si ottiene una DPA pari a 2 m (e una fascia totale pari a 4 m) per le linee MT da 240 mm<sup>2</sup> a singolo circuito.**

Linea MT-2:

e)  $R' = 0,286 \cdot \sqrt{(S \cdot I)} = 0,286 \cdot \sqrt{(0,04 \cdot 59,9)} = 0,44 \text{ m}$

Poiché la profondità di posa della terna è di 1 m, il valore di induzione magnetica emesso da questa terna è minore di 3  $\mu\text{T}$  già al livello del suolo. Questo implica, per questo caso, un valore di DPA pari a 0 m.

f)  $R' = 0,286 \cdot \sqrt{(S \cdot I)} = 0,286 \cdot \sqrt{(0,04 \cdot 175,3)} = 0,76 \text{ m}$

Poiché la profondità di posa della terna è di 1 m, il valore di induzione magnetica emesso da questa terna è minore di 3  $\mu\text{T}$  già al livello del suolo. Questo implica, per questo caso, un valore di DPA pari a 0 m.

g)  $R' = 0,286 \cdot \sqrt{(S \cdot I)} = 0,286 \cdot \sqrt{(0,042 \cdot 290,8)} = 0,99 \text{ m}$

Poiché la profondità di posa della terna è di 1 m, il valore di induzione magnetica emesso da questa terna è minore di 3  $\mu\text{T}$  già al livello del suolo. Questo implica, per questo caso, un valore di DPA pari a 0 m.

h)  $R' = 0,286 \cdot \sqrt{(S \cdot I)} = 0,286 \cdot \sqrt{(0,049 \cdot 406,3)} = 1,27 \text{ m}$

**In via precauzionale, arrotondando al metro superiore, si ottiene una DPA pari a 2 m (e una fascia totale pari a 4 m) per le linee MT da 300 mm<sup>2</sup> a singolo circuito.**

**8.2. CEM generato da trincea con 2 circuiti (2C)**

Il caso peggiore è costituito da due terne di conduttori posati a trifoglio distanti tra loro 0,25 m, ad una profondità di 1 m. Nel progetto sono previste due tratte di trincee a 2 circuiti, nella prima i conduttori sono attraversati rispettivamente dalle seguenti correnti:

a)  $I_{n1} = 350,7 \text{ A}$  e  $S = 45 \text{ mm}$  (conduttori da 240 mm<sup>2</sup>) - Linea 1;

b)  $I_{n2} = 406,3 \text{ A}$  e  $S = 49 \text{ mm}$  (conduttori da 300 mm<sup>2</sup>) - Linea 2;

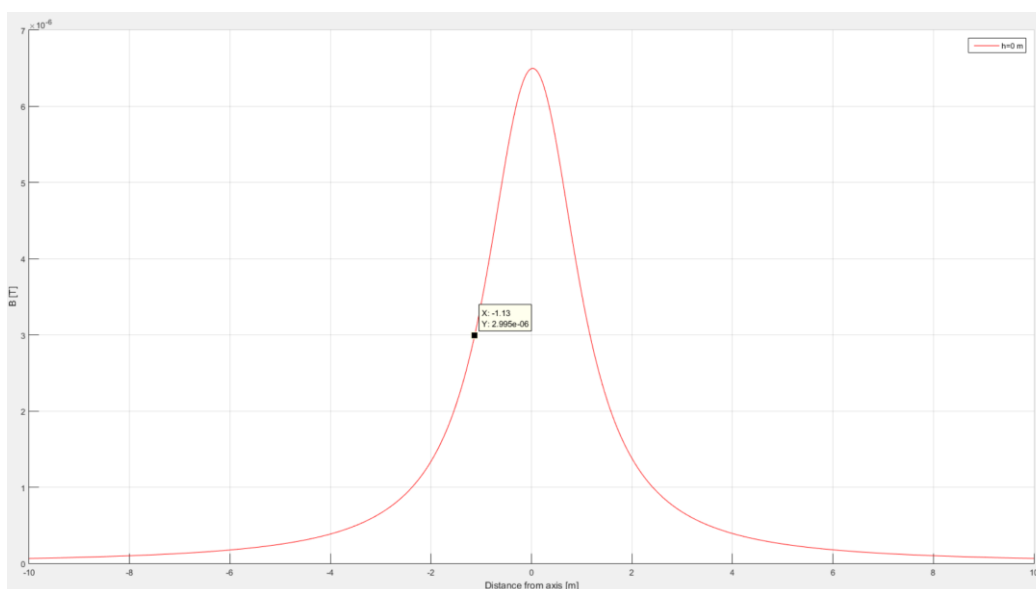
nella seconda i conduttori sono attraversati rispettivamente dalle seguenti correnti:

- a)  $I_{n3a} = 378,5$  A e  $S = 49$  mm (conduttori da  $300$  mm<sup>2</sup>) - Linea 3a;
- b)  $I_{n3b} = 378,5$  A e  $S = 49$  mm (conduttori da  $300$  mm<sup>2</sup>) - Linea 3b;

Per tale calcolo non si possono usare le formule approssimate indicate nelle Norma CEI 106-11, ma si deve fare riferimento esclusivamente al modello di calcolo standardizzato trattato dalla Norma CEI 211-4 e applicando il principio di sovrapposizione degli effetti.

Si calcolano infatti i valori di induzione magnetica di ogni linea geometricamente riferita ad uno stesso sistema di riferimento cartesiano, sommando poi puntualmente i rispettivi valori di induzione magnetica.

Prima tratta costituita da Linea MT-1 e Linea MT-2:

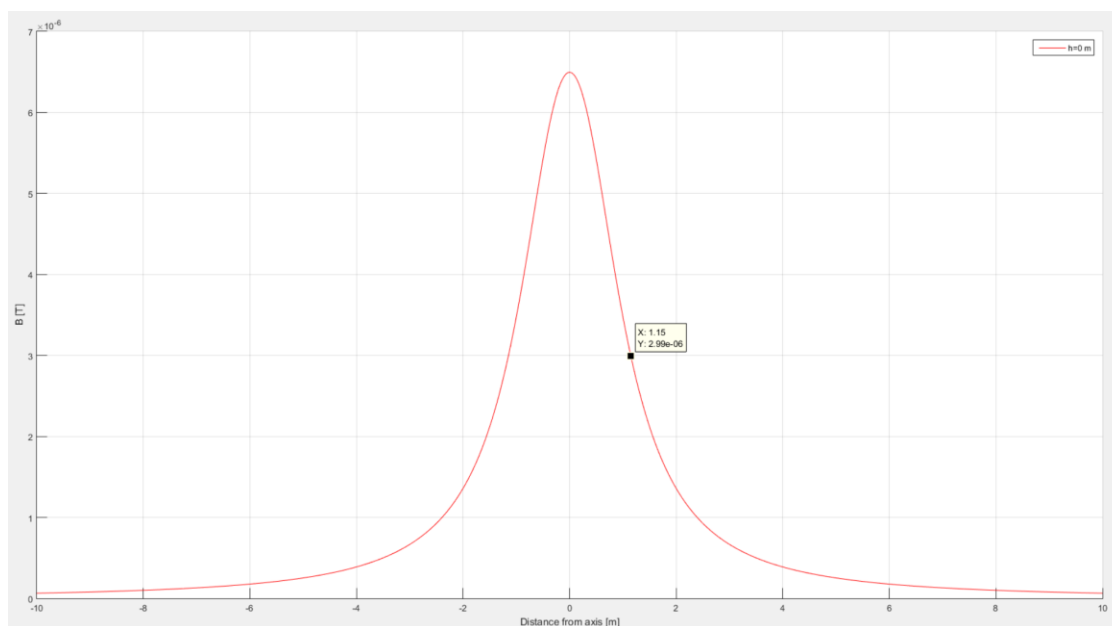


Come mostrato dal grafico si ottiene un valore di DPA pari a 1,13 m.

**In via precauzionale, arrotondando al metro superiore, si ottiene una DPA pari a 2 m, per una fascia totale pari a 4 m.**

Seconda tratta costituita da Linea MT-3a e Linea MT-3b:





Come mostrato dal grafico si ottiene un valore di DPA pari a 1,15 m.

**In via precauzionale, arrotondando al metro superiore, si ottiene una DPA pari a 2 m, per una fascia totale pari a 4 m.**

## 9. Campo elettromagnetico generato da linee interrattate AT

L'intensità del campo elettrico generato da linee interrattate è insignificante già al di sopra delle linee stesse grazie all'effetto schermante del rivestimento del cavo e del terreno. Questo non è vero per l'intensità del campo magnetico, in quanto le guaine dei cavi non costituiscono un'efficace schermatura a tale riguardo. La distribuzione del campo magnetico presenta un picco in corrispondenza dell'asse della linea e si riduce rapidamente allontanandosi dallo stesso.

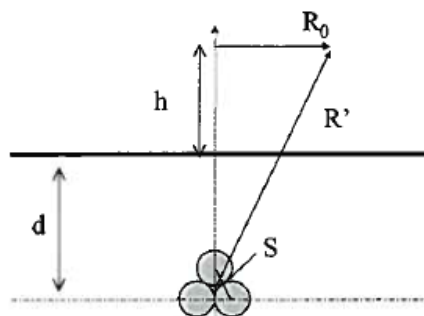
La linea elettrica interrattata AT, relativamente l'impianto utente per la connessione alla RTN, sarà eseguita tramite posa di tipo interrattata a trifoglio con singola terna di conduttori aventi sezione pari a  $1600 \text{ mm}^2$  (diametro esterno 115 mm), ad una profondità di 1,6 m e distanti tra loro 0,20 m, una corrente massima pari a 855,3 A.

La metodologia di calcolo è illustrata nella Norma CEI 106-11, che riportiamo di seguito:

**b) Cavi unipolari posati a trifoglio**

Lo schema di posa in questo caso è illustrato nella Figura 12. Si può quindi ricorrere alle relazioni approssimate viste per le linee aeree con conduttori a triangolo

$$B = 0,1 \cdot \sqrt{6} \cdot \frac{S \cdot I}{R^2} [\mu T] \quad R' = 0,286 \cdot \sqrt{S \cdot I} [m] \quad (20)$$



**Figura 12 – Schema di principio per il calcolo delle distanze da terne di cavi interrati con posa a trifoglio oltre le quali l'induzione magnetica è inferiore all'obiettivo di qualità (d è la profondità del centro del conduttore)**

Otteniamo un valore della DPA pari a:

$$R' = 0,286 \cdot \sqrt{S \cdot I} = 0,286 \cdot \sqrt{(0,115 \cdot 855,3)} = 2,84 \text{ m}$$

In via precauzionale, arrotondando al metro superiore, si ottiene una DPA pari a 3 m, per una fascia totale di rispetto pari a 6 m.

Considerando invece la massima portata ammissibile per il raccordo interrato con conduttore da 1600 mm<sup>2</sup> che è pari a 1045 A, otteniamo un valore di DPA pari a:

$$R' = 0,286 \cdot \sqrt{S \cdot I} = 0,286 \cdot \sqrt{(0,115 \cdot 1045)} = 3,14 \text{ m}$$

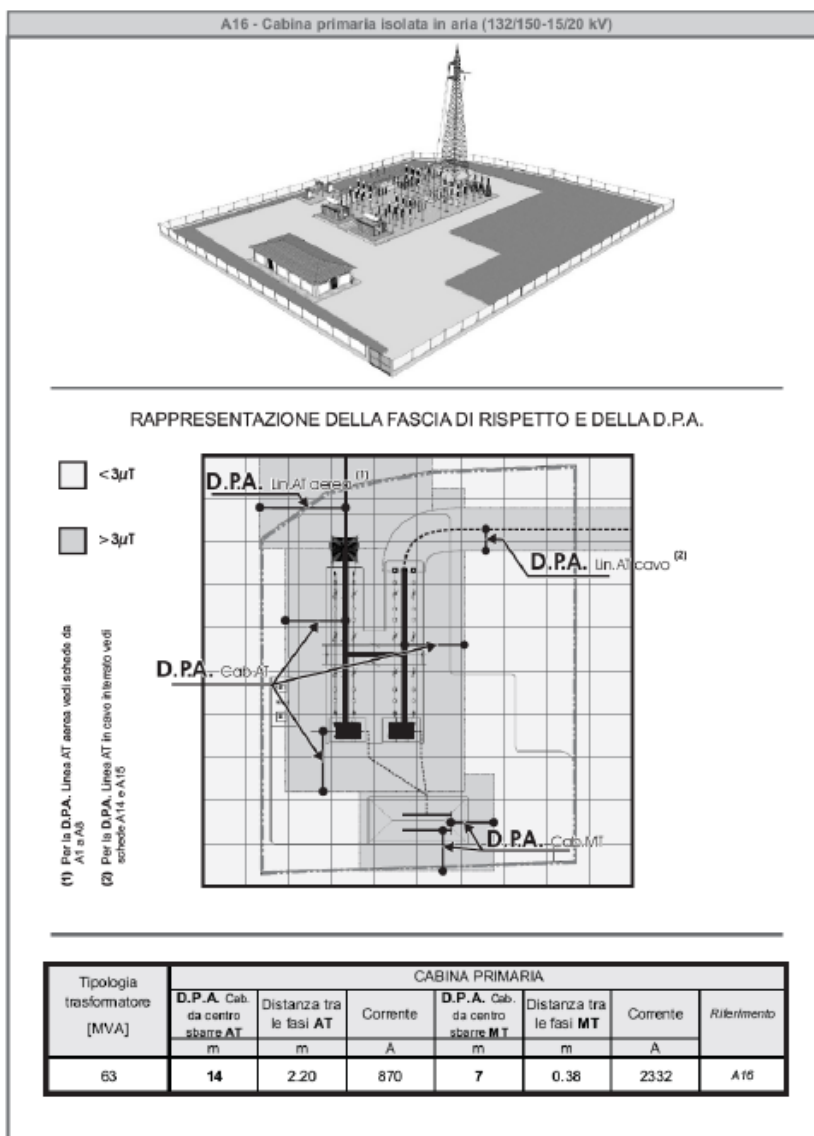
**In via precauzionale, arrotondando al metro superiore, si ottiene una DPA pari a 3,5 m, per una fascia totale di rispetto pari a 7 m.**

**10. Campo elettromagnetico generato da cabine secondarie**

Così come indicato nel documento "Linea Guida per l'applicazione del § 5.1.3 dell'Allegato al DM 29.05.08. Distanza di prima approssimazione (DPA) da linee e cabine elettriche [Enel Distribuzione S.p.A. – Divisione Infrastrutture e Reti – QSA/IUN]", può essere presa in considerazione una DPA per le cabine elettriche pari a: 2m.

**11. Campo elettromagnetico generato da cabine primarie**

Così come indicato nel documento "Linea Guida per l'applicazione del § 5.1.3 dell'Allegato al DM 29.05.08. Distanza di prima approssimazione (DPA) da linee e cabine elettriche [Enel Distribuzione S.p.A. – Divisione Infrastrutture e Reti – QSA/IUN]", può essere presa in considerazione una DPA per le cabine primarie pari a: 14m.

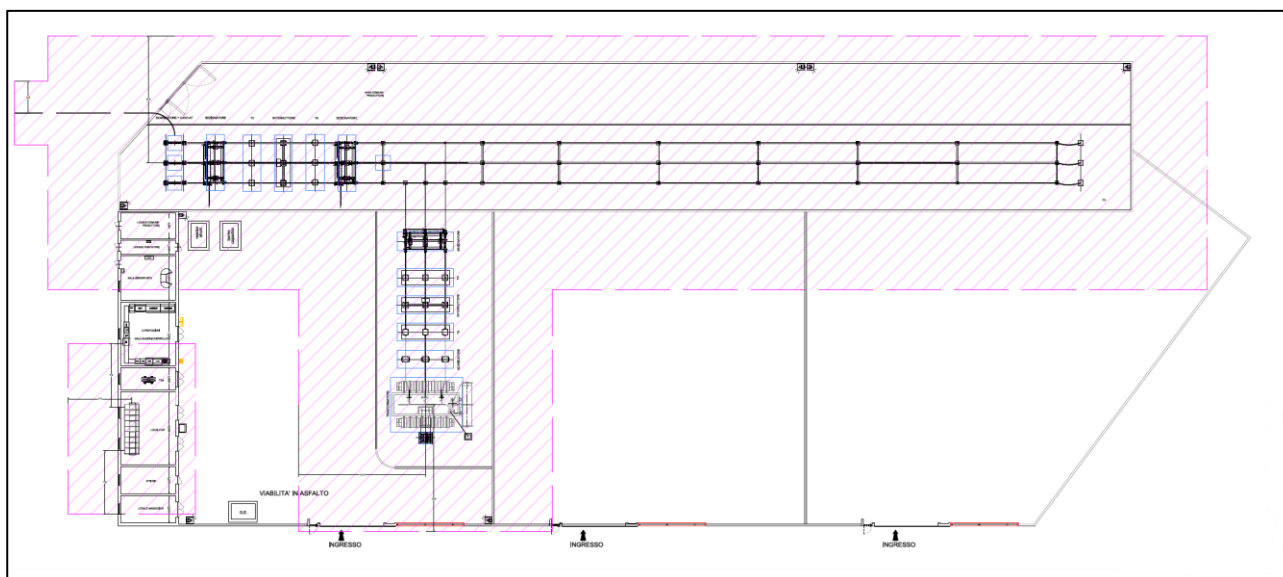


Considerato che la SSE Utente presenta le seguenti caratteristiche:

- un trasformatore di 45 MVA;
- Potenza nominale dell'impianto 35,4 MW;
- le correnti in gioco saranno di circa 151,57 A (lato AT);

si possono adottare i seguenti valori di DPA anche per la SSE Utente:

- DPA da centro sbarre AT = 14 m;
- DPA da centro sbarre MT = 7 m.



## 12. Riferimenti Legislativi

- Linea Guida per l'applicazione del § 5.1.3 dell'Allegato al DM 29.05.08. Distanza di prima approssimazione (DPA) da linee e cabine elettriche. [Enel Distribuzione S.p.A. – Divisione Infrastrutture e Reti – QSA/IUN].
- 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, valori di attenzione ed 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, GU n. 156 del 5 luglio 2008, “Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti”.
- DM 21 marzo 1988, n. 449 “Approvazione delle norme tecniche per la progettazione, l'esecuzione e l'esercizio delle linee aeree esterne” e s.m.i..
- CEI 11-60 “Portata al limite termico delle linee elettriche esterne con tensione maggiore di 100 kV”.
- CEI 11-17 “Impianti di produzione, trasmissione, distribuzione pubblica di energia elettrica - Linee in cavo”.
- CEI 106-11 “Guida per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti secondo le disposizioni del DPCM 8 luglio 2003 (Art. 6). Parte I”.
- CEI 211-4 “Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati dalle linee e da stazioni elettriche”.
- Rapporto CESI-ISMES A8021317 “Valutazione teorica e sperimentale della fascia di rispetto per cabine primarie”.

L'elenco normativo è riportato soltanto a titolo di promemoria informativo; esso non è esaustivo per cui eventuali leggi o norme applicabili, anche se non citate, verranno comunque applicate.