

# IMPIANTO AGRO-FOTOVOLTAICO DA 33,91 MWp (30 MW in immissione) Comune di Castellaneta (TA)

## PROPONENTE: KEA01 S.r.l.

Via Vittor Pisani n.28  
20124, Milano  
P.Iva: 12090160966  
Pec: kea01@legalmail.it

## GRUPPO DI LAVORO:

**Coordinamento sviluppo: Kenergia S.r.l. - Ing. Giovanni Simoni**

### KENERGIA S.r.l.

Sede Legale: Via Eleonora Duse n.53, 00197, Roma  
Sede Operativa: Via Settebagni n.390, 00139; Roma



Tel: 06 83764509  
P.Iva: 09217271007

## Progettazione tecnica: Full Service Company S.r.l.

Via del Commercio n.14/A  
60021, Camerano (AN)  
P.Iva: 02743840429  
Pec: fullservicecompany@legalmail.it  
Responsabile tecnico: Ing. Giovanni Spiezia Albo degli ingegneri di  
Ancona n. A1834



## Aspetti ambientali e paesaggistici:

**Arch. Nicola F. Fuzio:** coordinamento generale e paesaggistico  
**Dott. Biologo Michele Bux:** aspetti naturalistici flora, fauna, habitat ed ecosistemi  
**Dott. Geologo Vito Pellegrini:** geologia e geomorfologia  
**Dott. Geologo Francesco Pezzati:** idrologia e compatibilità idraulica  
**Società CAST:** archeologia  
**Dott. Agronomo Vito N. Mancino:** aspetti agronomici

Rev.	Data	Descrizione	Dis.	Contr.	App.
0	Mar.2022	Progetto definitivo	F.M.	R.M.	G.S.

Nome Progetto: Impianto Agro-Fotovoltaico Castellaneta	Codice Documento: VIA.ET.15
---	--------------------------------

Nome Documento: Relazione di impatto elettromagnetico	Scala: -
--	-------------



***RELAZIONE DI IMPATTO  
ELETTROMAGNETICO***

***PROGETTO DEFINITIVO  
IMPIANTO AGRO-FOTOVOLTAICO  
"CASTELLANETA"  
CASTELLANETA (TA)***

**KENERGIA S.r.l.**

VIA SETTEBAGNI, 390  
00139 - ROMA (RM)  
ITALIA

**FULL SERVICE COMPANY S.r.l.**

VIA DEL COMMERCIO, 14 A  
60021 - CAMERANO (AN)  
ITALIA

## INDICE

1	INTRODUZIONE.....	3
2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	4
3	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	4
4	DESCRIZIONE SOMMARIA DEGLI IMPIANTI.....	6
4.1	GENERALITA'.....	6
4.2	CABINE ELETTRICHE DI TRASFORMAZIONE.....	8
4.3	CABINA DI CONSEGNA.....	9
5	CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI.....	11
5.1	CAMPI ELETTROMAGNETICI IMPIANTO AGRIVOLTAICO.....	11
5.1.1	MODULI FOTOVOLTAICI.....	11
5.1.2	INVERTER.....	11
5.1.3	LINEE ELETTRICHE IN CORRENTE ALTERNATA.....	11
5.1.4	CABINE ELETTRICHE DI TRASFORMAZIONE MT.....	12
5.1.5	CABINE ELETTRICHE DI RACCOLTA CAVI MT – QUADRI DI PARALLELO MT.....	13
5.1.6	ALTRI CAVI.....	13
5.2	CAMPI ELETTROMAGNETICI DELLE OPERE CONNESSE.....	14
5.2.1	ALGORITMO DI CALCOLO.....	14
5.2.2	PRINCIPIO DI CALCOLO DEL CAMPO ELETTRICO.....	14
5.2.3	PRINCIPIO DI CALCOLO DEL CAMPO MAGNETICO.....	15
5.2.4	VALUTAZIONE DEI CAMPI MAGNETICI GENERATI DAI SINGOLI COMPONENTI.....	16
5.2.5	CONCLUSIONI.....	17

## 1 INTRODUZIONE

Scopo del presente documento è quello di descrivere le emissioni elettromagnetiche associate alle infrastrutture elettriche presenti nell'impianto agrivoltaico in oggetto e all'infrastruttura dell'elettrodotto in media tensione per il collegamento alla sottostazione Utente, ai fini della verifica del rispetto dei limiti della legge n.36/2001 e dei relativi Decreti attuativi.

L'impianto in progetto prevede l'installazione a terra, su quattro lotti di terreno di estensione totale di 570.663 m<sup>2</sup> attualmente a destinazione agricola, di pannelli fotovoltaici (moduli) in silicio monocristallino della potenza unitaria di 570 Wp.

I pannelli saranno montati su strutture ad inseguimento (tracker), in configurazione bifilare, asse di rotazione Nord-Sud con inclinazione Est-Ovest compresa tra +/- 50°.

Il progetto prevede complessivamente 59.488 moduli occupanti una superficie massima di 164.611 m<sup>2</sup>, per una potenza complessiva installata di circa 33,91 MWp lato DC, di moduli fotovoltaici, collegati a n.120 inverters DC/AC da 250 kW per avere una potenza nominale di picco complessiva del campo lato AC pari a 30 MWp.

La scelta di sovradimensionare l'impianto agrivoltaico lato DC è motivata dalla volontà di ottimizzare il funzionamento dell'impianto nelle ore di bassa producibilità (ore mattutine ed ore pomeridiane), in modo da avere una producibilità quasi costante in tutto l'arco della giornata. Inoltre, tenendo conto della riduzione dell'efficienza dei moduli fotovoltaici nel tempo, il sovradimensionamento lato DC ci consente di garantire una potenza lato AC costante nel tempo.

L'impianto sarà corredato di 120 inverters DC/AC da 250 kW, n.11 cabine MT/BT 0,8/30 kV con potenza fino a 3.250 kVA, una cabina di consegna, una sottostazione Utente di trasformazione con n.1 trasformatore MT/AT ONAN da 42 MVA – 30/150 kV e 4 cabine di monitoraggio. Dalla cabina di consegna al trasformatore MT/AT si dipartiranno tre terne di cavi interrati che collegheranno in MT l'intero campo agrivoltaico alla sottostazione utente che sarà a sua volta collegata alla stazione elettrica di trasformazione (SE) della RTN 380/150 kV di Castellaneta, di proprietà di Terna, il tutto come riportato nell'elaborato grafico dello Schema elettrico unifilare.

Per l'impianto saranno valutate, in particolare, le emissioni elettromagnetiche dovute alle cabine elettriche, ai cavidotti di collegamento in media tensione. Si individueranno, in base al D.M. del MATTM del 29/05/2008, le DPA per le opere sopra dette.

Nel presente studio è stata presa in considerazione la condizione maggiormente significativa al fine di valutare la rispondenza ai requisiti di legge dei nuovi elettrodotti.

## 2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

1. 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”.
2. DL 9 aprile 2008 n.81 “Testo unico sulla sicurezza sul lavoro”.
3. Norma CEI 0-2 “Guida per la definizione della documentazione di progetto degli impianti elettrici”.
4. Norma CEI 211-4 “Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee elettriche”.
5. Norma 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 1: Linee elettriche aeree e in cavo”.
6. DM del MATTM del 29/05/2008 “Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti”.

## 3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Il panorama normativo italiano in fatto di protezione contro l’esposizione dei campi elettromagnetici si riferisce alla legge 22/02/01 n.36 che è la legge quadro sulla protezione dalle esposizioni ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici completata a regime con l’emanazione del DPCM 8/07/2003.

Nel 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”, vengono fissati i limiti di esposizione e i valori di attenzione, per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) connessi al funzionamento e all’esercizio degli elettrodotti.

In particolare, negli articoli 3 e 4 vengono indicate le seguenti 3 soglie di rispetto per l’induzione magnetica:

1. “Nel caso di esposizione a campi elettrici e magnetici alla frequenza di 50 Hz generati da elettrodotti, non deve essere superato il limite di esposizione di 100  $\mu$ T per l’induzione magnetica a 5 kV/m per il campo elettrico intesi come valori efficaci” [art.3, comma 1];
2. “A titolo di misura di cautela per la protezione da possibili effetti a lungo termine, eventualmente connessi con l’esposizione ai campi magnetici generati alla frequenza di rete (50 Hz), nelle aree gioco per l’infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere, si assume per l’induzione magnetica il valore di attenzione di 10  $\mu$ T, da intendersi come mediana dei valori nell’arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.” [art.3, comma 2];
3. “Nella progettazione di nuovi elettrodotti in corrispondenza di aree gioco per l’infanzia, di ambienti abitativi, di ambienti scolastici e di luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore e nella progettazione dei nuovi insediamenti e delle nuove aree di cui sopra in prossimità di linee ed installazioni elettriche già presenti nel territorio, ai fini della progressiva minimizzazione dell’esposizione ai campi elettrici e magnetici generati dagli elettrodotti operanti alla frequenza di 50 Hz, è fissato l’obiettivo di qualità di 3  $\mu$ T per il valore dell’induzione magnetica, da intendersi come mediana dei valori nell’arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio” [art. 4].

Pertanto, l’obiettivo qualità da perseguire nella realizzazione dell’impianto è quello di avere un valore di intensità di campo magnetico non superiore ai 3  $\mu$ T come mediana dei valori nell’arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.

A tal proposito occorre precisare che nelle valutazioni che seguono è stata considerata normale condizione di esercizio quella in cui l'impianto fotovoltaico trasferisce alla Rete di Trasmissione Nazionale la massima produzione (circa 30 MWp).

Come detto, il 22 febbraio 2001 l'Italia ha promulgato la Legge Quadro n.36 sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici (CEM) a copertura dell'intero intervallo di frequenze da 0 a 300.000 MHz.

Tale legge delinea un quadro dettagliato di controlli amministrativi volti a limitare l'esposizione umana ai CEM e l'art. 4 di tale legge demanda allo Stato le funzioni di stabilire, tramite Decreto del Presidente del Consiglio dei ministri: i livelli di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità, le tecniche di misurazione e rilevamento.

Il 28 agosto 2003 G.U. n.199, è stato pubblicato il Decreto del Presidente del Consiglio dei ministri 8 luglio 2003: "Fissazione dei limiti di esposizione, di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalla esposizione a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici generati a frequenze comprese tra 10 kHz e 300 GHz". L'art. 3 di tale Decreto riporta i limiti di esposizione e i valori di attenzione come riportato nelle Tabelle 1 e 2:

**Tabella 1** – Limiti di esposizione di cui all'art. 3 del DPCM 8 luglio 2003.

Intervallo di FREQUENZA (MHz)	Valore efficace di intensità di CAMPO ELETTRICO (V/m)	Valore efficace di intensità di CAMPO MAGNETICO (A/m)	DENSITA' DI POTENZA dell'onda piana
0.1-3	60	0.2	-
da 3 – 3000	20	0.05	1
da 3000 – 300000	40	0.01	4

**Tabella 2** – Valori di attenzione di cui all'art.3 del DPCM 8 luglio 2003 in presenza di aree all'interno di edifici adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore.

Intervallo di FREQUENZA (MHz)	Valore efficace di intensità di CAMPO ELETTRICO (V/m)	Valore efficace di intensità di CAMPO MAGNETICO (A/m)	DENSITA' DI POTENZA dell'onda piana equivalente (W/m2)
0.1 – 300000	6	0.016	0.10 (3 MHz – 300 GHz)

L'art. 4, invece, riporta i valori di immissione che non devono essere superati in aree intensamente frequentate con riportato in Tabella 3:

**Tabella 3** – Obiettivi di qualità di cui all'art. 4 del DPCM 8 luglio 2003 all'aperto in presenza di aree intensamente frequentate.

Intervallo di FREQUENZA (MHz)	Valore efficace di intensità di CAMPO ELETTRICO (V/m)	Valore efficace di intensità di CAMPO MAGNETICO (A/m)	DENSITA' DI POTENZA dell'onda piana equivalente (W/m2)
0.1 – 300000	6	0.016	0.10 (3 MHz – 300 GHz)

Per quanto riguarda la metodologia di rilievo il D.P.C.M. 8 luglio 2003 fa riferimento alla norma CEI 211-7 del gennaio 2001.

## 4 DESCRIZIONE SOMMARIA DEGLI IMPIANTI

### 4.1 GENERALITA'

L'impianto, denominato "Impianto Agrivoltaico Castellaneta", classificato come "Impianto non integrato" del tipo Agrivoltaico Integrato Ecocompatibile verrà realizzato a terra nel territorio comunale di Castellaneta (TA) in terreni regolarmente censiti al Catasto. L'impianto è di tipo grid-connected e la modalità di connessione è in "Trifase in MEDIA TENSIONE 30 kV".

La potenza dell'impianto sarà pari a 33.908 kWp. La produzione di energia annua stimata è di 59.318 MWh e deriva da 59.488 pannelli (moduli) occupanti una superficie massima di 164.611 m<sup>2</sup>.

I pannelli saranno montati su strutture ad inseguimento (tracker), in configurazione bifilare, asse di rotazione Nord-Sud con inclinazione Est-Ovest compresa tra +/- 50°.

Il parco agrivoltaico, oggetto della presente relazione, sarà costituito da 4 sottocampi di potenza variabile a loro volta suddivisi in sezioni di potenza massima di 3.500 kWp (adeguatamente identificati nel layout generale).

Ad ogni inverter saranno collegate un numero che varia da 18 a 20 stringhe in parallelo da 26 moduli. Tutti i moduli saranno costituiti da pannelli di potenza pari a 570 Wp in monocristallino. Gli inverters di ciascun sottocampo saranno collegati ad un quadro di parallelo posto all'interno di un box nella cabina di trasformazione, in cui sarà presente un trasformatore in resina. Nello specifico si avranno 11 trasformatori di potenza variabile fino a un massimo di 3250 kVA 0.8/30 kV/kV.

Tali sottocampi saranno reciprocamente ed elettricamente collegati per mezzo di un sistema di distribuzione ramificato in MT 30kV in entra ed esci e si andranno ad attestare alla cabina di consegna e poi alla sottostazione Utente mediante un cavidotto interrato.

Per la modalità di scambio di energia fra la rete in AT e l'impianto agrivoltaico, la potenza massima di progetto conferibile in rete pubblica richiesta è pari a 30 MW.

Gli impianti e le opere elettriche da eseguire sono quelli sinteticamente sotto raggruppati:

- Impianto elettrico di ciascun sottocampo per la produzione di energia elettrica;
- Rete di distribuzione MT in cavo per la connessione delle cabine di trasformazione costituenti il parco agrivoltaico;
- Collegamento elettrico MT tra il parco agrivoltaico e la sottostazione utente in Media Tensione 30 kV.

L'impianto agrivoltaico in progetto prevede l'installazione a terra, su terreno di estensione totale di 570.663 m<sup>2</sup> attualmente a destinazione agricola, di pannelli fotovoltaici (moduli) in silicio monocristallino della potenza unitaria di 570 Wp.

I pannelli fotovoltaici hanno dimensioni 2.438 x 1.135 mm, incapsulati in una cornice di alluminio anodizzato dello spessore di 35 mm, per un peso totale di 31 kg ognuno.

I trackers, su cui sono montati i pannelli, sono realizzati in acciaio al carbonio galvanizzato, resistente alla corrosione e sono mossi da un motorino magnetico passo-passo. Le strutture dei trackers sono costituite da pali verticali infissi al suolo e collegati da una trave orizzontale secondo l'asse Nord-Sud (mozzo), inserita all'interno di cuscinetti appositamente progettati per consentirne la rotazione lungo l'arco solare (asse Est-

Ovest). Ogni tracker è dotato di un motorino a vite senza fine, che trasmette il moto rotazionale al mozzo. L'altezza al mozzo delle strutture è di 2,99 m dal suolo; l'angolo di rotazione del mozzo è di +/- 50° rispetto all'orizzontale. La motorizzazione del mozzo è alimentata da un kit integrato comprendente un piccolo modulo fotovoltaico dedicato, una batteria di accumulo e non necessita di alimentazione esterna.

Gli inverter, Sungrow SG250HX, hanno dimensioni approssimative pari a 1.051 x 660 x 363 mm e saranno collocati al di sotto delle bancate dei pannelli.

Le cabine di trasformazione hanno dimensioni approssimative di 12,00 x 2,50 x 3,00 m e sono costituite da un container prefabbricato con scomparti per l'alloggiamento degli arredi di cabina (interruttori, quadri, trasformatori BT/MT, cavedi).

Ai fini dello stoccaggio dei materiali di consumo, ricambi, attrezzi e mezzi d'opera, si è previsto un deposito di 60mq di forma rettangolare in prossimità della cabina di consegna e di due depositi di 30 mq uno nel campo B e uno nel campo D.

L'energia prodotta dall'impianto sarà veicolata in uscita dalla cabina di consegna alla sottostazione utente MT/AT, mediante un cavidotto MT interrato.

Dal punto di vista elettrico, l'impianto nel suo complesso è funzionalmente diviso in n.11 blocchi di varia potenza installata.

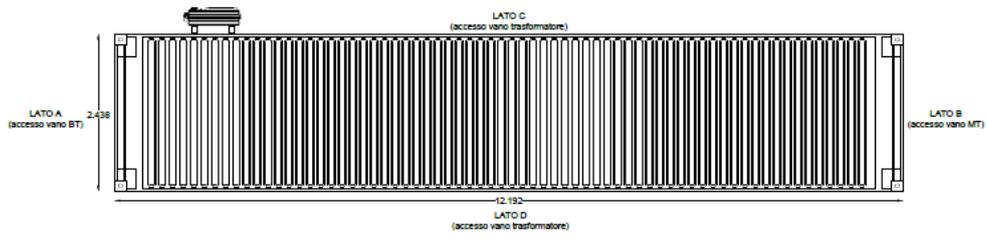
Ogni sottocampo, costituito da diversi moduli costituenti le stringhe, è collegato ad un inverter con la funzione di trasformare la corrente continua prodotta dai moduli fotovoltaici in corrente alternata.

I quadri di parallelo BT all'interno della cabina di trasformazione raccolgono le linee derivanti dai singoli inverter per poi trasformare la corrente alternata da bassa tensione (BT) a media tensione (MT).

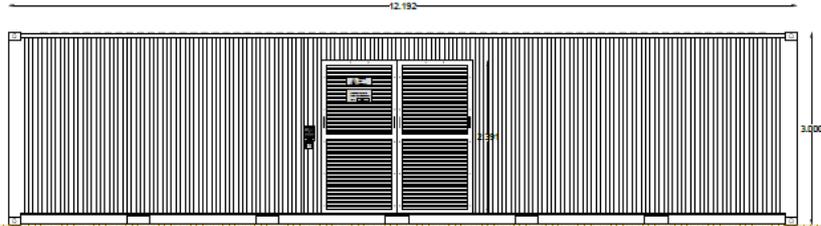
Le cabine di trasformazione all'interno dello stesso campo sono collegate in entra esci fino alla cabina di consegna posizionata nel campo A. Quest'ultima è a sua volta collegata al trasformatore posizionato nella sottostazione utente; trasformatore che riceve la corrente alternata in MT prodotta dall'impianto agrivoltaico e la trasforma in alta tensione (AT) per poi essere veicolata sulla RTN in altissima tensione (AAT).

I cavidotti delle linee BT sono tutti interni all'impianto agrivoltaico, mentre i cavidotti delle linee MT sono parzialmente interni e parzialmente esterni all'impianto. Per le sezioni di scavo dei cavidotti BT e MT si rimanda ai relativi elaborati.

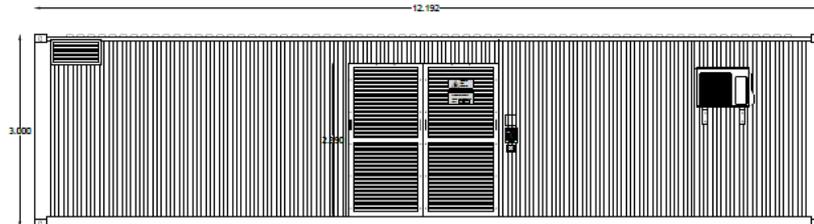
## 4.2 CABINE ELETTRICHE DI TRASFORMAZIONE



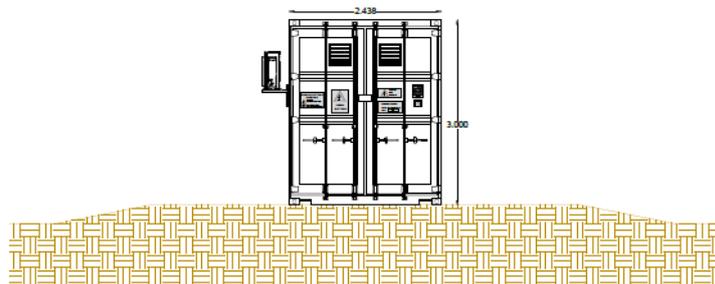
LATO D  
(accesso vano trasformatore)



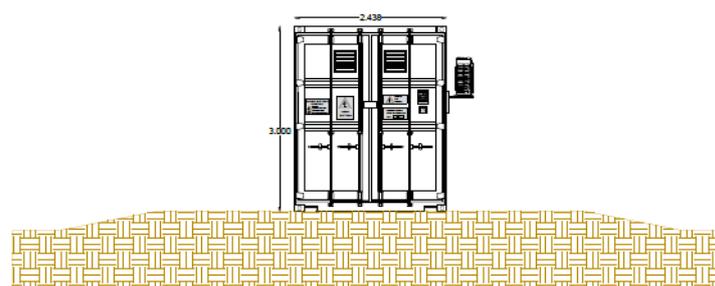
LATO C  
(accesso vano trasformatore)



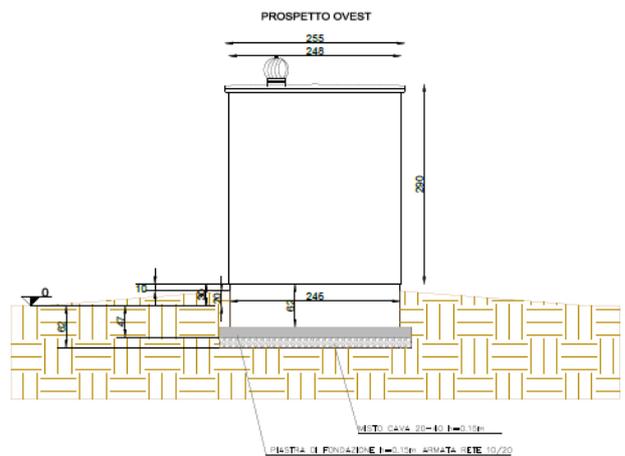
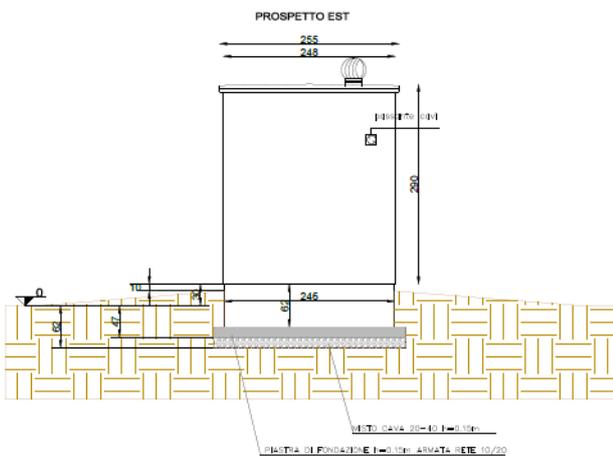
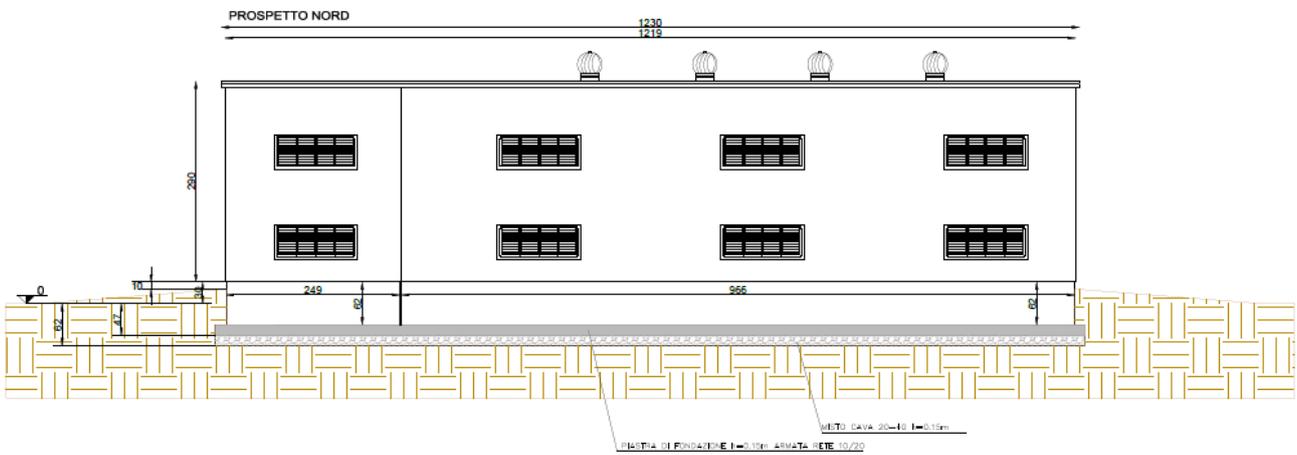
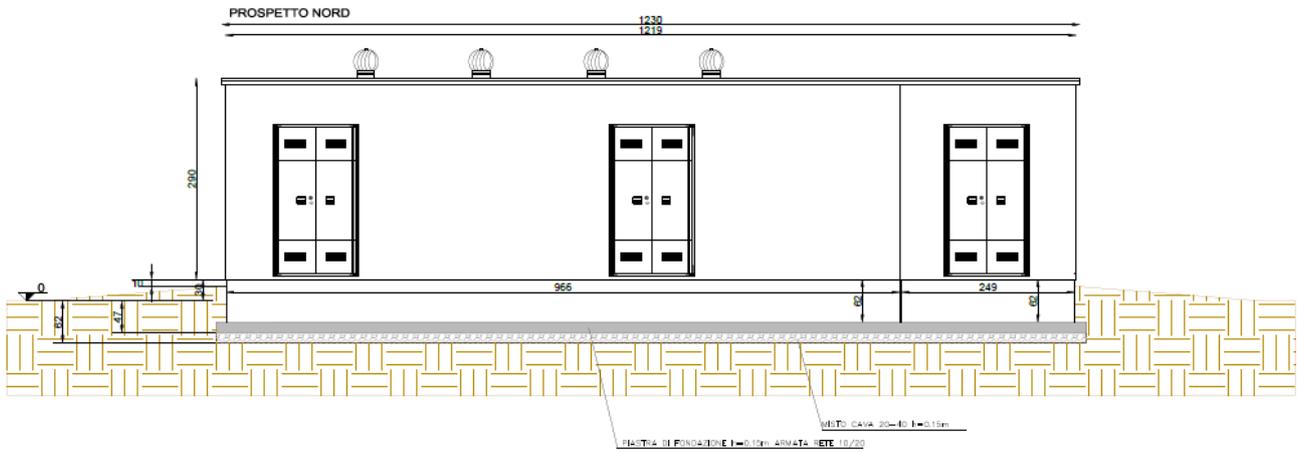
LATO A  
(accesso vano BT)



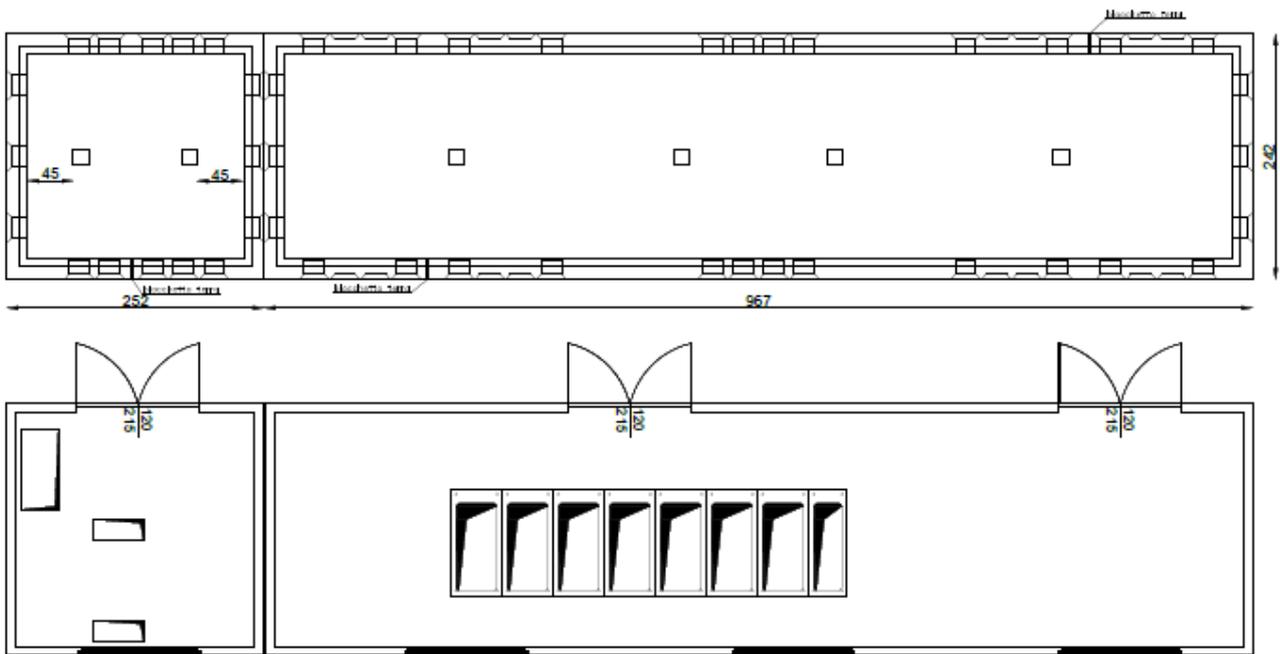
LATO B  
(accesso vano MT)



### 4.3 CABINA DI CONSEGNA



PIANTA BASE A VASCA



## 5 CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI

### 5.1 CAMPI ELETTROMAGNETICI IMPIANTO AGRIVOLTAICO

#### 5.1.1 MODULI FOTOVOLTAICI

I moduli fotovoltaici lavorano in corrente e tensione continue e non in corrente alternata; per tale motivo la generazione di campi variabili è limitata ai soli transitori di corrente, sia durante la ricerca del MPP da parte dell'inverter sia durante l'accensione e lo spegnimento. Tuttavia, è bene specificare che tali transitori sono di brevissima durata.

Nella certificazione dei moduli fotovoltaici, conforme alla norma CEI 82-8 (IEC 61215), non sono menzionate prove di compatibilità elettromagnetica, in quanto assolutamente irrilevanti.

#### 5.1.2 INVERTER

Il legislatore ha previsto che gli inverter, prima di essere introdotti nel mercato, debbano possedere le certificazioni necessarie a garantirne sia l'immunità dai disturbi elettromagnetici esterni sia le ridotte emissioni, al fine di minimizzarne l'interferenza elettromagnetica con altre apparecchiature elettroniche posizionate nelle vicinanze e con la rete elettrica stessa (via cavo).

Dunque, gli inverter scelti possiedono la certificazione di rispondenza alle normative di compatibilità elettromagnetica (EMC) EN 61000-6-2, EN 61000-6-4, EN 61000-3-11, EN 61000-3-12.

Inoltre, le norme sopra citate riguardano:

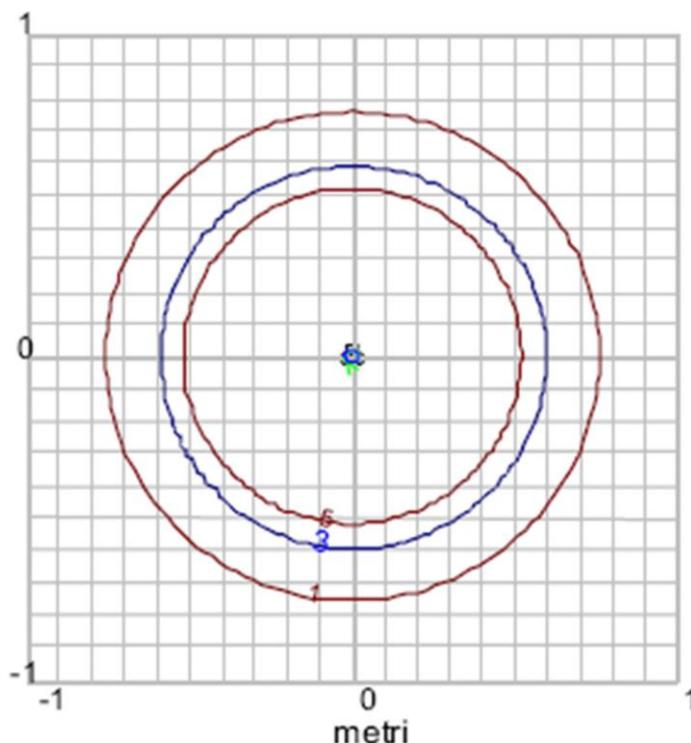
- I livelli armonici: le direttive del gestore di rete prevedono un THD globale (non riferito al massimo della singola armonica) inferiore al 5% (inferiore all'8% citato nella norma CEI 110-10). Gli inverter presentano un THD globale contenuto entro il 3%;
- I disturbi alle trasmissioni di segnale, che vengono eseguite dal gestore di rete in sovrapposizione alla trasmissione di energia sulle sue linee;
- Le variazioni di tensione e di frequenza: la propagazione in rete di queste ultime è limitata dai relè di controllo della protezione di interfaccia asservita al dispositivo di interfaccia. Le fluttuazioni di tensione e di frequenza, però, sono causate generalmente dalla rete stessa. Quindi si rendono necessari dispositivi con finestre di tensione e frequenza abbastanza ampie, allo scopo di evitare una continua inserzione e disinserzione dell'impianto agrivoltaico;
- La componente continua immessa in rete: il trasformatore elevatore contribuisce a bloccare, inoltre il dispositivo di interfaccia, relativo a ciascun inverter, interviene in presenza di componenti continue maggiori dello 0,5% della corrente nominale.

Le questioni di compatibilità elettromagnetica, concernenti i buchi di tensione, la cui durata tipica può essere al massimo pari a 3 s, sono dovute principalmente al coordinamento delle protezioni, effettuato dal gestore di rete locale.

#### 5.1.3 LINEE ELETTRICHE IN CORRENTE ALTERNATA

Per quanto riguarda il rispetto delle distanze da ambienti presidiati ai fini dei valori dei campi elettrici e dei campi magnetici, si è tenuto conto del limite di qualità di questi ultimi, fissato dalla legislazione sopra descritta a  $3 \mu\text{T}$ . Si deve precisare che l'unico locale da considerare presidiato è la Cabina di monitoraggio che si trova ad una distanza di 10m dal percorso del cavidotto più vicino, tale distanza risulta superiore alla fascia di rispetto.

La tipologia di cavidotti presenti nell'impianto prevede, all'interno del campo agrivoltaico, l'utilizzo di soli cavi trecciati e/o schermati, equivalenti dal punto di vista elettromagnetico a cavi elicordati; per questi ultimi vale quanto riportato nelle norme CEI 106-11 e CEI 11-17. In riferimento a quanto illustrato nella norma CEI 106-11, la ridotta distanza tra le fasi e la loro continua trasposizione, dovuta alla cordatura, fa sì che l'obiettivo di qualità di  $3 \mu\text{T}$ , anche in condizioni limite con conduttori di sezione elevata, venga raggiunto già in brevissima distanza (50/80 cm) dall'asse del cavo stesso.



**Figura 1** – Curve di equilivello per il campo magnetico di una linea MT in cavo elicordato interrato (dalla Norma CEI 106-11)

Si fa notare che il decreto del 29/05/2008, sulla determinazione delle fasce di rispetto, ha esentato dalla procedura di calcolo le linee MT in cavo interrato e/o aereo con cavi elicordati. Pertanto, si ritiene valido ciò che viene riportato nella norma precedentemente richiamata. Ne consegue che in tutti i tratti, realizzati mediante l'uso di cavi elicordati e/o interrati, l'ampiezza della semi-fascia di rispetto sia pari a 1 m, a cavallo dell'asse del cavidotto, uguale alla fascia di asservimento della linea.

#### 5.1.4 CABINE ELETTRICHE DI TRASFORMAZIONE MT

Per quanto riguarda i componenti dell'impianti, sono da esaminare le cabine elettriche di trasformazione BT/MT, all'interno delle quali la principale sorgente di emissione è il trasformatore BT/MT. In questo caso si valutano le emissioni dovute ai trasformatori di potenza massima pari a 3.250 kVA collocati nelle stesse cabine di trasformazione.

La presenza del trasformatore BT/MT il più delle volte viene presa in considerazione limitatamente alla generazione di un campo magnetico nei locali vicini a quelli di cabina. Nel parco agrivoltaico di progetto non sono previsti locali frequentati da addetti lavoratori in distanze minori delle DPA sotto calcolate. In base al DM del MATTM del 29/05/2008, cap.5.2.1, l'ampiezza delle DPA si determina come di seguito descritto. Tale determinazione si basa sulla corrente di bassa tensione del trasformatore considerando una distanza dalle fasi pari al diametro dei cavi reali in uscita dal trasformatore.

Per determinare le DPA si applica quanto esposto nel già citato cap.5.2.1:

$$\frac{DPA}{\sqrt{I}} = 0,40942 \cdot x^{0,5242}$$

Dove:

DPA= distanza di prima approssimazione (m)

I = corrente nominale (A)

x = diametro dei cavi (m)

Considerando che I = 2.345 A e che il cavo scelto sul lato BT del trasformatore è 3x(6x240) mm<sup>2</sup>, con diametro esterno di circa 29,2 mm, si ottiene una DPA, arrotondata per eccesso al mezzo metro superiore, pari a 3,5m. Nel caso in questione, la cabina è posizionata all'aperto e normalmente non è presidiata, tranne che per operazioni di manutenzione o per letture contatori di durata limitata nel tempo (operazioni di circa un'ora) e nell'anno (operazioni di frequenza massima mensile).

#### 5.1.5 CABINE ELETTRICHE DI RACCOLTA CAVI MT – QUADRI DI PARALLELO MT

Infine, occorre verificare la cabina elettrica MT di parallelo (cabina di consegna), dove confluiscono i cavidotti MT provenienti dai gruppi delle cabine di trasformazione. Tale cabina è posizionata all'interno del campo A e all'interno di essa la principale sorgente di emissione è costituita dalle correnti dei quadri MT.

La massima corrente MT, dovuta alla massima produzione, è pari a circa 587 A.

Dall'esame della sbarra scelta in uscita dalla cabina di parallelo MT, rettangolare con dimensioni so 30x20 mm, si ottiene una DPA, arrotondata per eccesso al mezzo metro superiore, pari a 1,5m.

D'altra parte, anche nel caso in questione, la cabina normalmente non è presidiata.

#### 5.1.6 ALTRI CAVI

Altri campi elettromagnetici, dovuti al monitoraggio e alla trasmissione dati, si possono trascurare, poiché le linee dati normalmente vengono realizzate in cavo schermato.

## 5.2 CAMPI ELETTROMAGNETICI DELLE OPERE CONNESSE

### 5.2.1 ALGORITMO DI CALCOLO

I campi ELF sono quelli a frequenza inferiore a 300 Hz. La frequenza industriale di 50 Hz è quella tipica della produzione, distribuzione e impiego dell'energia elettrica in Italia e in Europa. In questo caso si tratta più propriamente di campi elettrici e campi magnetici, poiché essi si manifestano come agenti fisici separati.

I campi ELF possono essere stimati attraverso l'utilizzo di programmi di calcolo la cui applicazione richiede la conoscenza di alcuni dati della linea elettrica. In particolare, serve conoscere:

- le caratteristiche geometriche della linea (diametro dei conduttori e loro reciproca posizione nello spazio, altezza da terra);
- le sue caratteristiche elettriche (tensione, intensità di corrente e disposizione delle fasi);
- la posizione (distanza e altezza) del punto dove devono essere valutati i campi rispetto ai conduttori della linea.

Gli algoritmi di calcolo del campo elettrico e del campo magnetico generati da una linea composta da un certo numero di conduttori attivi, si rifanno direttamente alle indicazioni della norma CEI 211-4 "Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee elettriche" pubblicato dal Comitato Elettrotecnico Italiano nel luglio 1996. Il modello consente di calcolare i campi ELF in qualsiasi sezione trasversale della linea, considerando l'altezza reale dei conduttori nella sezione in esame.

### 5.2.2 PRINCIPIO DI CALCOLO DEL CAMPO ELETTRICO

Per il calcolo del campo elettrico si ricorre al principio delle immagini in base al quale il terreno, considerato come piano equipotenziale a potenziale nullo, può essere simulato con una configurazione di cariche immagine. Ovvero per ogni conduttore reale attivo andrà considerato un analogo conduttore immagine la cui posizione è speculare, rispetto al piano di terra, a quella del conduttore reale e la cui carica è opposta rispetto a quella del medesimo conduttore reale.

In particolare, il campo elettrico di un conduttore rettilineo di lunghezza infinita con densità lineare di carica costante può essere espresso come:

$$\vec{E} = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 d} \vec{u}_r$$

dove:

$\lambda$  = densità lineare di carica sul conduttore

$\epsilon_0$  = permittività del vuoto

$d$  = distanza del conduttore rettilineo dal punto di calcolo

$\vec{u}_r$  = vettore unitario con direzione radiale al conduttore

Sviluppando la relazione precedente per un insieme di N conduttori cilindrici, rettilinei, orizzontali e paralleli fra loro, e dette  $(x_i, y_i)$  le coordinate del conduttore i-esimo, le componenti x e y totali del campo elettrico prodotto nel punto dello spazio  $(x, y)$  dall'intera configurazione di conduttori possono essere espresse attraverso le seguenti relazioni:

$$E_x = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \sum_i \lambda_i \left[ \frac{x - x_i}{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} - \frac{x - x_i}{(x - x_i)^2 + (y + y_i)^2} \right]$$

$$E_y = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \sum_i \lambda_i \left[ \frac{y - y_i}{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} - \frac{y + y_i}{(x - x_i)^2 + (y + y_i)^2} \right]$$

### 5.2.3 PRINCIPIO DI CALCOLO DEL CAMPO MAGNETICO

L'algoritmo di calcolo dell'induzione magnetica generata da una linea ha come punto di partenza la legge di Biot-Savart che consente di calcolare in un generico punto dello spazio il valore dell'induzione magnetica B prodotta da un conduttore rettilineo per corso da una corrente I attraverso la:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{2\pi d} \vec{u}_I \times \vec{u},$$

dove:

- d è la distanza tra il conduttore e il punto di calcolo;
- i versori  $u_i$  e  $u_r$  indicano, rispettivamente, il versore della corrente e della relativa normale;
- x indica il prodotto vettoriale.

Sviluppando la relazione precedente per un insieme di N conduttori rettilinei, orizzontali e paralleli fra loro, e come precedenza dette  $(x_i, y_i)$  le coordinate del conduttore i-esimo, le componenti x e y totali dell'induzione magnetica generata nel punto dello spazio  $(x, y)$  dall'intera configurazione di conduttori possono essere espresse attraverso le seguenti relazioni:

$$B_y = \frac{\mu_0}{2\pi} \sum_i I_i \left[ \frac{y_i - y}{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \right]$$

$$B_x = \frac{\mu_0}{2\pi} \sum_i I_i \left[ \frac{x - x_i}{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \right]$$

Ai fini della valutazione dell'esposizione umana ai campi magnetici il parametro da considerare è il valore efficace del campo, che può essere calcolato come la radice quadrata della somma dei quadrati dei valori efficaci delle componenti:

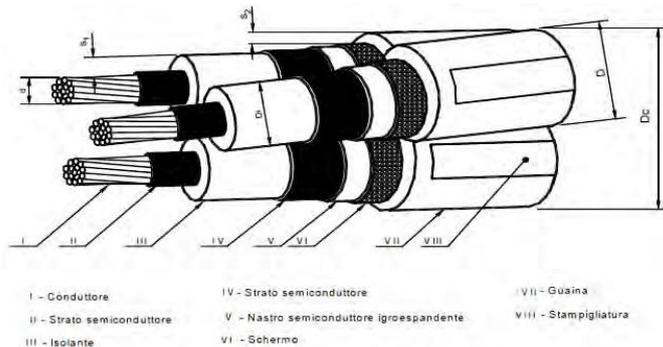
$$B = \sqrt{B_x^2 + B_y^2}$$

Le formule approssimate della CEI 106-11 che verranno utilizzate di seguito derivano dalle formulazioni sopra riportate.

#### 5.2.4 VALUTAZIONE DEI CAMPI MAGNETICI GENERATI DAI SINGOLI COMPONENTI

Per quanto riguarda il rispetto delle distanze da ambienti presidiati ai fini dei campi elettrici e magnetici, esse sono in linea con il dettato dell'art. 4 del DPCM 08/07/2003 di cui alla Legge. n° 36 del 22/02/2001. Il tracciato e la collocazione delle infrastrutture elettriche sono stati eseguiti tenendo conto del limite di qualità dei campi magnetici, fissato dalla suddetta legislazione a  $3 \mu\text{T}$ . La disposizione delle infrastrutture sarà quella indicata nelle tavole allegate al progetto.

Come già anticipato, i cavi previsti sono del tipo Cavi MT tripolari ad elica visibile per posa interrata con conduttori in Al, isolamento a spessore ridotto, schermo in tubo di Al e guaina in PE



**Figura 2: dettaglio cavo**

I campi elettrici prodotti da cavi schermati sono trascurabili grazie allo schermo dei cavi posto a terra ad entrambe le estremità e in corrispondenza dei giunti e, per le tratte interrate, anche grazie all'effetto schermante del terreno stesso.

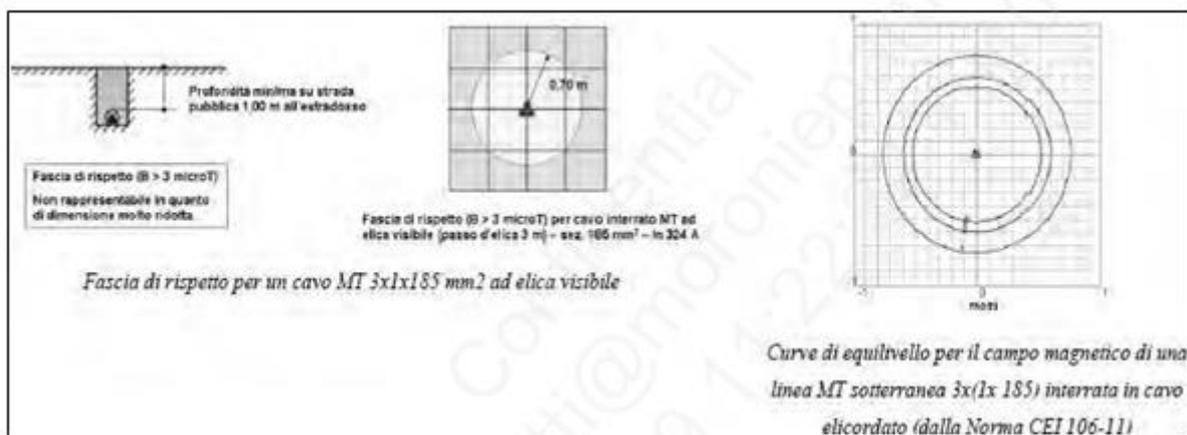
Per quanto riguarda la generazione di campi magnetici, si trova che la disposizione a trifoglio dei cavi unipolari consente di avere campi magnetici assai ridotti, grazie alla possibilità di avvicinare i cavi. Infatti, i campi magnetici, interagendo tra loro, si attenuano a vicenda. Si ricorda che il valore di campo magnetico generato da un sistema elettrico trifase simmetrico ed equilibrato in un punto dello spazio è estremamente dipendente dalla distanza esistente tra gli assi dei conduttori delle tre fasi. Per assurdo, infatti, se i tre conduttori coincidessero nello spazio, il campo magnetico esterno risulterebbe nullo per qualsiasi valore della corrente circolante nei conduttori.

Infatti, come illustrato nella norma CEI 106-11, la ridotta distanza tra le fasi e la loro continua trasposizione, dovuta alla cordatura, fa sì che l'obiettivo di qualità di  $3 \mu\text{T}$ , anche nelle condizioni limite di conduttori di sezione maggiore e relativa "portata nominale", venga raggiunto già a brevissima distanza ( $50 \div 80 \text{ cm}$ ) dall'asse del cavo stesso.

Le linee interrate sono costituite da terne trifase formate da cavi unipolari disposti a trifoglio, sistemate in apposito alloggiamento sotterraneo o direttamente interrate.

I cavi MT interrati hanno conduttore in alluminio di sezione pari a  $240 \text{ mm}^2$ ; essi sono posati nel terreno ad una profondità minima di  $1 \text{ m}$  e disposti a trifoglio spiralato in modo da garantire la trasposizione delle fasi ed annullare gli effetti delle mutue induttanze.

Si cita di seguito quanto riportato al documento ENEL "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", il quale illustra i risultati di calcolo effettuati tramite il software "EMF TOOLS".



**Figura 3: estratto documento ENEL “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”**

Risulta evidente che la fascia di rispetto, pari a circa 70 cm, è inferiore alla profondità di posa del cavo che è pari a 1 m; pertanto, già al livello del terreno risulta rispettato il valore di attenzione pari a  $3 \mu\text{T}$ .

La CEI 106-11 riporta, al paragrafo 7.1.1, la seguente dicitura: *“Le linee in cavo sotterraneo sia di media che di bassa tensione sono posate ad una profondità di circa 80 cm per cui già a livello del suolo sulla verticale del cavo e nelle condizioni limite di portata si determina una induzione magnetica inferiore a  $3 \mu\text{T}$ . Ciò significa che per questa tipologia di impianti non è necessario stabilire una fascia di rispetto in quanto l’obiettivo di qualità è rispettato ovunque”.*

Pertanto, i campi elettrici e magnetici generati dagli elettrodotti a media tensione interrati sono inferiori ai limiti fissati dalle leggi vigenti già a livello del terreno.

### 5.2.5 CONCLUSIONI

La CEI 106-11, al paragrafo 7.1.3 riporta: *“Alla luce di quanto evidenziato e tenendo conto che le considerazioni ed i calcoli sono stati condotti per le correnti ai limiti di portata nominale dei conduttori di sezione maggiore per le diverse tipologie di impianto, per tutti i cavi cordati di media e di bassa tensione, le normali distanze di rispetto prescritte dalla normativa tecnica in vigore (DM 16.01.1991) garantiscono anche il conseguimento dell’obiettivo di qualità prescritto dal DPCM 8.7.2003.”*

Si fa notare in proposito che anche il recente decreto del 29.05.2008, sulla determinazione delle fasce di rispetto, ha esentato dalla procedura di calcolo le linee MT in cavo interrato e/o aereo con cavi elicordati, in quanto le fasce associabili hanno ampiezza ridotta, inferiori alle distanze previste dal Decreto Interministeriale n.449/88 e al decreto del Ministero dei Lavori Pubblici del 16 gennaio 1991; pertanto a tali fini si ritiene valido quanto riportato nelle norme richiamate.