



REGIONE SICILIA
PROVINCIA DI PALERMO
COMUNE DI BOLOGNETTA



PROGETTO DEFINITIVO

Descrizione

Impianto agro-fotovoltaico denominato "*Tumminia 2*" ubicato nel comune di Bolognetta (PA), con potenza in immissione pari a 69,00 MW

Titolo elaborato

Relazione compatibilità elettromagnetica

Codifica interna elaborato

BOL2-SOL-FV-EL-ESS-0001_00

Codice elaborato

n° Tavola

Formato

A4

Scala

Riproduzione o consegna a terzi solo dietro specifica autorizzazione

Proponente



**Solaria Promozione e
Sviluppo Fotovoltaico srl**

Via Sardegna 38
00187 Roma (RM)
solariapromozionesviluppofotovoltaico@legalmail.com

Progettazione

Il Tecnico
Ing. Francesca Gallo
ORDINE INGEGNERI PROVINCIA COSENZA N.A4627
Settore/i A-a CIVILE AMBIENTALE, A-b INDUSTRIALE, A-c DELL'INFORMAZIONE

Data	n° revisione	Motivo della revisione	Redatto	Controllato	Approvato
17/04/2024	00	Prima emissione	JRG	AL	FG

SOMMARIO

1. PREMESSA.....	3
2. SOGGETTO PROPONENTE.....	5
3. OGGETTO E SCOPO	6
4. NORMATIVA TECNICA DI RIFERIMENTO	7
5. INQUADRAMENTO DEL PROGETTO	10
5.1. Sito di installazione	10
6. VALUTAZIONE DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI	12
6.1. Moduli fotovoltaici	12
6.2. Inverter	12
6.3. Cavi interrati	13
6.3.1. Scavo con una sola terna di cavi MT del tipo ARE4H1R	14
6.3.2. Scavo con doppia terna di cavi MT del tipo ARE4H1R.....	16
6.4. Cabine di campo/Power station	21
7. CONCLUSIONI	22

Gruppo di lavoro

Nome e cognome	Ruolo nel gruppo di lavoro
<i>Francesca Gallo</i>	<i>Direzione Tecnica</i>
<i>Orazio Scalia</i>	<i>Architetto</i>
<i>Andrea Anselmo Marziano</i>	<i>Geometra</i>
<i>Gabriele Gatto</i>	<i>Architetto</i>
<i>Gianluca Rospì</i>	<i>Ingegnere</i>
<i>Giuseppe Testa</i>	<i>Ingegnere Elettrico</i>
<i>Antonino Lucifora</i>	<i>Ingegnere Elettrico</i>
<i>Giuseppe Sabia</i>	<i>Ingegnere Civile</i>
<i>Cristina Francesca Lo Trovato</i>	<i>Ingegnere Edile</i>
<i>Alessandro Pellegrini</i>	<i>Ingegnere Civile</i>
<i>Marco Andrea De Laurentis</i>	<i>Ingegnere Ambientale</i>
<i>Juan Ruiz Galustià</i>	<i>Ingegnere Elettrico</i>

1. PREMESSA

La società **Solaria Promozione e Sviluppo Fotovoltaico S.r.l.** propone di realizzare nel territorio comunale di Bolognetta (PA), un impianto agro - fotovoltaico combinato con l'attività di coltivazione agricola, denominato "Tumminia 2", avente potenza installata complessiva di 81,18 MWp e le necessarie opere di connessione alla RTN, ricadenti anch'esse nello stesso comune.

Le opere progettuali da realizzare possono essere sintetizzate nel modo seguente:

1. *Impianto agrovoltaiico*: con strutture fisse, con una potenza installata di 81,18 MWp, ossia 69,00 MWac in immissione come da STMG, ubicato in un terreno agricolo nel comune di Bolognetta (PA);
2. *Dorsali di collegamento interrate*, in media tensione a 30 kV, per la consegna dell'energia elettrica prodotta dall'impianto alla stazione elettrica di utenza;
3. *Stazione elettrica di utenza 150/30 kV*, da realizzarsi nel Comune di Bolognetta (PA), in condivisione con altro impianto di proprietà della scrivente società denominato "Tumminia1";
4. *Cavidotto AT a 150 kV* di collegamento in antenna tra la stazione elettrica di utenza e la stazione elettrica di Smistamento "Villafrati" avente una lunghezza di 4400 m.

Le opere indicate al punto 1. e al punto 2. costituiscono il **Progetto dell'impianto agrovoltaiico** e il presente documento si configura come la **RELAZIONE COMPATIBILITÀ ELETTROMAGNETICA** del medesimo progetto.

Le opere presenti al punto 3. e 4. costituiscono il **Progetto dell'impianto di Utenza** per la connessione.

Il progetto prevede che l'impianto venga realizzato su una superficie complessiva di circa 152,24 ha, compresa la fascia di mitigazione e strada tagliafuoco. Invece la superficie dell'impianto recintata è di circa 100,60 ha.

La società al fine di riqualificare e ottimizzare le aree da un punto di vista agricolo e per esigenze di installazione data la morfologia del sito, ha scelto di adottare una soluzione con strutture fisse, con un pitch tra le strutture di 7,5 m e una distanza inter-fila tra le strutture di supporto dei moduli fotovoltaici di circa 3,16 m, consentendo la coltivazione tra le strutture e il transito dei mezzi agricoli necessari per la lavorazione agricola.

La soluzione impiantistica che si vuole realizzare rispetta a pieno i limiti imposti dalle "Linee Guida in materia di Impianti Agrovoltaiico", difatti:

- la superficie effettivamente occupata dall'impianto (Area utilizzata) è pari a circa 100,60 ha. Di quest'area d'impianto: 33,29 ha sono occupati dai moduli, 8,77 ha sono occupati dalle opere di progetto (strade interne all'impianto, power station, cabina di consegna, etc...);

- lungo il perimetro dell'impianto si è realizzata una fascia di mitigazione di circa 10 metri e un'ulteriore strada tagliafuoco di circa 5,00 m;
- la superficie agricola coltivabile corrispondente ai restanti 117,05 ha (utilizzando parte del terreno al di sotto dei moduli) sarà seminata a foraggiere e potrà essere oggetto di pascolamento oppure di raccolta e successiva fienagione;
- il rapporto tra la superficie dei moduli e quella agricola rispetta il limite imposto del 40% ($LAOR \leq 40\%$).

Le dorsali di collegamento saranno poste, per quanto possibile, lungo le strade pubbliche.

2. SOGGETTO PROPONENTE

La società **Solaria Promozione e Sviluppo Fotovoltaico S.r.l.**, facente parte del **Gruppo Solaria Energia y Medio Ambiente S.A.**, attualmente azienda leader nello sviluppo e nella produzione di energia solare fotovoltaica nel Sud d'Europa; specializzata nell'impiantazione e nello sviluppo della tecnologia solare fotovoltaica basata sull'impiego di contribuire a un futuro migliore e allo sviluppo sostenibile della società. Il modello di business si è evoluto dalla fabbricazione di celle e pannelli fotovoltaici allo sviluppo e alla gestione di impianti di produzione.

Negli ultimi anni la Società è passata dall'essere un gruppo industriale a una società di produzione di energia; quotata in borsa nel mercato spagnolo dal 2007 ed entrata nel selettivo IBEX35 nel 2020.

Attualmente la Società gestisce impianti fotovoltaici in Spagna, Grecia, Italia, Portogallo e Uruguay, con una pipeline di più di 10.000 MW di progetti.

Nel febbraio del 2021, l'azienda ha aumentato i suoi obiettivi di installazione da 6.2 GW entro la fine del 2025 a 18 GW entro la fine del 2030, contemplando un'espansione dell'attività in Europa, soprattutto in Italia, dove prevede di raggiungere 4 GW.

Denominazione	Solaria Promozione e Sviluppo Fotovoltaico S.r.l.
Indirizzo sede legale ed operativa	Via Sardegna, 38_00138, Roma
Codice Fiscale e Partita IVA	15415721008
Rappresentante Legale	Jesus Fernando Rodriguez Madredejos Ortega
Telefono	+39 06 8688 6722
PEC	solariapromozionesviluppofotovoltaicosrl@legalmail.it
Mail	info.italia@solariaenergia.com
Sito Web	www.solariaenergia.com

Tabella 1. Informazioni Società proponente

3. OGGETTO E SCOPO

Il presente documento costituisce la **RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ ELETTROMAGNETICA** dell'impianto agrovoltaico denominato "Tumminia 2" che si intende realizzare nel comune di Bolognetta (PA) con riferimento al DPCM 08.08.2003 riguardante la "Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici generati a frequenze comprese tra 100 kHz e 300 GHz".

Il progetto prevede l'installazione di 133.084 moduli fotovoltaici di potenza per una potenza totale di 81.18 MWp. Dal punto di vista elettrico più moduli fotovoltaici vengono collegati in serie a formare una stringa e più stringhe vengono collegate in parallelo tramite quadri di parallelo DC (denominati "string box"). L'energia prodotta è convogliata attraverso cavi DC dalle string box ad un gruppo di conversione (dette Power Station), in cui viene realizzata l'elevazione di tensione. A questo punto l'energia elettrica sarà raccolta tramite cavi in MT a 30 kV e trasferita alla sottostazione di trasformazione 150/30 kV (di proprietà del proponente) e successivamente consegnata alla RTN a 150 kV.

La valutazione di compatibilità elettromagnetica verranno valutate le emissioni elettromagnetiche dovute alle cabine elettriche e ai cavidotti interni all'impianto.

4. NORMATIVA TECNICA DI RIFERIMENTO

Il presente elaborato è predisposto ai sensi dei seguenti riferimenti per la realizzazione delle connessioni elettriche, in relazione all'insieme dei principi giuridici e delle norme che regolano la costruzione degli impianti.

Riportiamo di seguito, in particolare:

- Legge del 22/02/2001 n°36, *“Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici”*
- DPCM del 8/07/2003, *“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 elettrodi”*, in attenuazione dell'art. 4 comma 2 lettera a) delle Legge 36/2001;
- DM 29 maggio 2008;
- Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti (GU n. del 5/7/2008 – Suppl. Ordinario n°160);
- Approvazione delle procedure di misura e valutazione dell'induzione magnetica (GU N°153 DEL 2/7/2008);
- CEI 0-2, *“Guida per la definizione della documentazione di progetto degli impianti elettrici”*;
- 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”*.

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:

- *“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 μ T per l'induzione magnetica e 5kV/m per il campo elettrico intesi come valori efficaci”* [art. 3, comma 1];

- “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 μ T, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.” [art. 3, comma 2];
- “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 μ 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]

L'obiettivo qualità da perseguire nella realizzazione dell'impianto è pertanto quello di avere un valore di intensità di campo magnetico non superiore ai 3 μ 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 FV trasferisce alla Rete di Trasmissione Nazionale la massima produzione (circa 25.000 kWac).

Il 28 agosto 2003 G.U. n.199, è stato pubblicato il DPCM 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 100 kHz e 300 GHz”*.

L'art. 3 di tale Decreto riporta i limiti di esposizione e i valori di attenzione come riportato nelle Tabelle sotto riportate:

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]
0.1-3	60	0.2	-
>3 – 3000	20	0.05	1
>3000 – 300000	40	0.01	4

Tabella 2. 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 equivalente [W/m²]
0.1 – 300000	6	0.016	0.10 (3 MHz – 300 GHz)

Tabella 3. 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

L'art.4, invece, riporta i valori di immissione che non devono essere superati in aree intensamente frequentate come riportato nella Tabella seguente.

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)

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

Per quanto riguarda la metodologia del rilievo il DPCM 8 luglio 2003 fa riferimento alla norma CEI 011-7 del gennaio 2001.

5. INQUADRAMENTO DEL PROGETTO

L'impianto fotovoltaico oggetto di progettazione è costituito da:

- generatore fotovoltaico composto da 133.084 moduli fotovoltaici di potenza nominale 610 Wp;
- cavi di collegamento BT dalle stringhe (di moduli fotovoltaici) alle cassette di stringa, questi sono cablati all'interno dei profili metallici costituenti la struttura dei moduli ed interrati per un piccolo tratto;
- cavi di collegamento BT tra cassetta di stringa e inverter centralizzato con centro di trasformazione 30/0.6 kV;
- cavi di collegamento MT tra centri di conversione e trasformazione (CT);
- cabine di campo o Power Station complete di trasformatore elevatore e delle relative apparecchiature ausiliarie (quadri, sistemi di controllo e protezione, trasformatore ausiliario);
- cavidotto interrato in MT a 30 kV di collegamento dalle Cabine di trasformazione alla Sottostazione di trasformazione 150/30 kV;
- sottostazione di trasformazione completa di componenti di protezione e trasformatore elevatore;
- cavidotto interrato di collegamento tra Sottostazione di trasformazione 150/30 kV e RTN "Villafrati" a 150 kV;
- cavi di monitoraggio e trasmissione dati.

Il progetto prevede l'utilizzo di pannelli fotovoltaici della più moderna tecnologia e di elevata potenza nominale unitaria, in modo da massimizzare la potenza dell'impianto e l'energia producibile, diminuendo così il numero di pannelli e l'impatto ambientale che ne deriva a parità di potenza installata.

5.1. SITO DI INSTALLAZIONE

L'area in cui si propone di realizzare l'impianto agrovoltaiico è ubicata all'interno del Comune di Bolognetta (provincia di Palermo), raggiungibile dal centro cittadino percorrendo la SS121 e successivamente prendendo la SR18.

Le coordinate sono le seguenti:

- Latitudine: 37°57'57.91"N;
- Longitudine: 13°30'14.03"E;
- Altitudine: 387 m.

L'area interessata dall'impianto fotovoltaico è pari a 100,6 ha di cui circa il 30% è costituito effettivamente dall'area occupata dalle componenti dell'impianto pari a 33,29 ha e un'area agricola coltivabile di almeno il 70% pari a 117,05 ha.

6. VALUTAZIONE DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI

Di seguito verranno riportati i vari componenti elettrici dell'impianto fotovoltaico e se ne riporterà l'impatto elettromagnetico generato nelle vicinanze.

6.1. *MODULI FOTOVOLTAICI*

I moduli fotovoltaici lavorano in corrente e tensione continue e non in corrente alternata, per cui la generazione di campi variabili è limitata ai soli transitori di corrente (durante la ricerca del MPP da parte dell'inverter, e durante l'accensione o lo spegnimento) e sono comunque di brevissima durata. Nella certificazione dei moduli fotovoltaici alla norma CEI 82-8 (IEC 61215) non sono comunque menzionate prove di compatibilità elettromagnetica.

6.2. *INVERTER*

Gli inverter trasformano la corrente continua prodotta dai moduli in corrente alternata: sono costituiti da un trasformatore e da un sistema di rifasamento e filtraggio che garantisce la qualità della potenza in uscita, entrambi sono normalmente inseriti all'interno degli inverter. Essi, pertanto, sono costituiti per loro natura da componenti elettronici operanti ad alte frequenze.

Essendo componenti che generano possibili disturbi elettromagnetici, queste macchine devono possedere le certificazioni che garantiscono l'immunità da disturbi elettromagnetici generati dagli stessi e di minimizzare l'interferenza elettromagnetica con altre apparecchiature elettroniche posizionate nelle vicinanze o con la rete elettrica stessa.

A questo scopo gli inverter prescelti possiedono la certificazione di rispondenza alle normative di compatibilità elettromagnetica (EMC) (CEI EN 50273 (CEI 95-9), CEI EN 61000-6-3 (CEI 210-65), CEI EN 61000-2-2 (CEI 110-10), CEI EN 61000-3-2 (CEI 110-31), CEI EN 61000-3-3 (CEI 110-28), CEI EN 55022 (CEI 110-5), CEI EN 55011 (CEI 110-6))

Tra gli altri aspetti queste norme 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%;
- disturbi alle trasmissioni di segnale operate dal gestore di rete in sovrapposizione alla trasmissione di energia sulle sue linee;
- variazioni di tensione e 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 frequenze

sono però causate per lo più dalla rete stessa. Si rendono quindi necessarie finestre abbastanza ampie, per evitare una continua inserzione e disinserzione dell'impianto fotovoltaico;

- la componente continua immessa in rete: il trasformatore elevatore contribuisce a bloccare tale componente. In ogni modo il dispositivo di interfaccia di ogni inverter interviene in presenza di componenti continue maggiori dello 0,5% della corrente nominale. Le questioni di compatibilità elettromagnetica concernenti i buchi di tensione (fino ai 3s in genere) sono in genere dovute al coordinamento delle protezioni effettuato dal gestore di rete locale.

Gli inverter di progetto avranno emissioni certificate e conformi alla normativa vigente e le emissioni saranno poco significative ai fini della presente valutazione.

6.3. CAVI INTERRATI

Per quanto riguarda il rispetto delle distanze da ambienti presidiati ai fini dei campi elettrici e magnetici, si è tenuto conto del limite di qualità dei campi magnetici, fissato dalla suddetta legislazione a $3 \mu\text{T}$, anche se per la particolarità dell'impianto le aree al suo interno sono da classificare ai sensi della normativa come luoghi di lavoro, e quindi con livelli di riferimento maggiori rispetto a questi ultimi, in quanto frequentate da persone professionalmente esposte. Si precisa peraltro che il tracciato dei cavi BT ed MT si sviluppa completamente all'interno dell'area della centrale fotovoltaica.

Il progetto prevede per tutto l'impianto fotovoltaico l'impiego di cavi MT di tipo elicordato, per i quali vale quanto riportato nella norma CEI 106-11 e nella norma CEI 11-17.

La norma CEI 106-11 definisce le formule per il calcolo dell'induzione magnetica prodotta da un sistema trifase di conduttori rettilinei disposti tra loro parallelamente e percorsi da una terna di correnti equilibrate e simmetriche. Successivamente dimostra che il campo magnetico nell'intorno dei cavi cordati ad elica è inferiore tanto più quanto è piccolo il passo dell'elica.

La norma CEI 211-4 fornisce invece le metodologie per il calcolo dei campi elettromagnetici generati dalle linee elettriche aeree ed interrate, sviluppate limitatamente a geometrie bidimensionali e applicabili a casi di interesse pratico.

Il valore del campo magnetico indotto dipende dal valore di corrente elettrica che attraversa il conduttore e dal numero di terne di conduttori presenti all'interno dello scavo, dal momento che la presenza contemporanea di più terne provoca un incremento del campo magnetico. Occorre quindi tenere in considerazione le diverse modalità di posa dei conduttori:

- scavo con una sola terna di cavi MT del tipo ARE4H1R;

- scavo con doppia terna di cavi MT del tipo ARE4H1R.

Per quanto riguarda i cavi BT i relativi cavidotti si sviluppano totalmente all'interno dell'area di impianto e l'ampiezza delle DPA è tale da non invadere zone esterne all'impianto in oggetto.

Di seguito vengono riportati i risultati delle elaborazioni eseguite per determinare la DPA. Si ricorda che, secondo quanto riportato nella "Linea Guida per l'applicazione del § 5.1.3 dell'allegato al DM 29.5.2008", la DPA ricavata viene approssimata per eccesso al metro successivo.

6.3.1. Scavo con una sola terna di cavi MT del tipo ARE4H1R

Nel caso degli scavi al cui interno è posata una sola terna di cavi, in accordo alla norma CEI 106-11 art. 6.2.3 b), la formula approssimata per il calcolo dell'induzione magnetica prodotta da conduttori unipolari disposti a trifoglio (come da scelta progettuale) è la seguente:

$$B = 0.1 * \sqrt{6} * \frac{S * I}{R'^2} \quad [\mu T]$$

nella quale "S" rappresenta la distanza tra le generatrici delle terne dei conduttori, "I" è la corrente che percorre i cavi, "R' " è la distanza o raggio dal centro geometrico dei conduttori rispetto al quale corrisponde un valore di induzione magnetica "B" pari a 3 μT.

Dalla relazione di cui sopra si ricava dunque il valore di distanza "R' " che permette di definire il luogo geometrico dei punti che non rispettano l'obiettivo di qualità:

$$R' = 0.286 * \sqrt{S * I} \quad [m]$$

Se a "R' " si sottrae la distanza di profondità di posa dei conduttori, che nel caso in oggetto è di circa metri 1,2 si ottiene la distanza di rispetto "h" al di sopra del terreno.

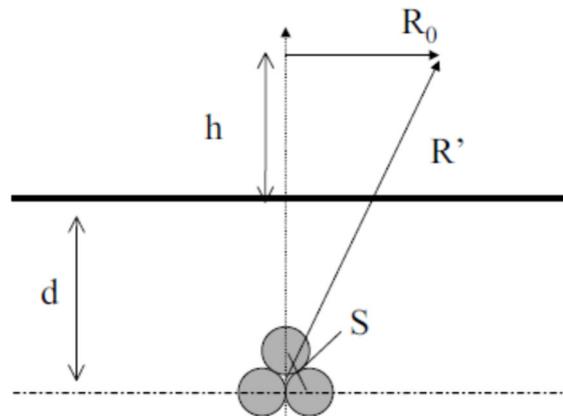


Figura 1. Illustrazione dei parametri geometrici per la definizione della DPA

Inoltre, indicando con “d” la profondità di posa, la formula seguente consente di calcolare la fascia di rispetto a livello del suolo “R0”, ovvero la distanza in orizzontale rispetto al baricentro della terna dopo la quale il valore dell’induzione magnetica a livello del suolo scende sotto i 3 µT:

$$R_0 = \sqrt{0.082 * S * I - d^2} \quad [m]$$

Per la valutazione dell’impatto elettromagnetico dei cavi MT, si è preso in considerazione il caso peggiore della dorsale di collegamento dell’impianto con la Stazione elettrica di utenza con cavo ARE4H1R 3x1x630 mmq. Si riportano i risultati nella tabella che segue:

PORTATA MASSIMA CAVO	I	550	A
DISTANZA TRA LE GENERATRICI DEL CAVO	S	0.0538	m
PROFONDITA' INTERRAMENTO DEI CAVI	d	1.2	m
RAGGIO CON INDUZIONE MAGNETICA FINO A 3 µT	R'	1.56	m
DISTANZA DI RISPETTO AL DI SOPRA DEL TERRENO	h	1.85	m
DISTANZA ORIZZONTALE A LIVELLO DEL SUOLO DOPO CUI DIMINUISCE SOTTO I 3 µT	R0	0.99	m
DPA	DPA	1	m

Tabella 5. Valutazione DPA

Se si considera che la profondità di posa dei cavi sarà non inferiore a 1,2 metri, il vettore R' che parte dal baricentro dei cavi in direzione verticale avrà un'estensione pari a R'=1,56 m, mentre la distanza verticale a partire dalla superficie del terreno all'interno della quale è corretto ritenere che non ci sia presenza di persone risulta pari a h = 1,85 m. Inoltre, a livello del suolo la fascia di rispetto si estende in orizzontale per una distanza R0 = 0,993 m, approssimata per quanto detto sopra ad 1 m.

6.3.2. Scavo con doppia terna di cavi MT del tipo ARE4H1R

Per tener conto di due o più terne nella stessa sezione di scavo si è fatto ricorso ad un modello matematico che prende in considerazione il campo magnetico generato da ogni singola terna.

Il modello, costituito secondo quanto previsto e suggerito dalla norma CEI 211-4 cap 4.2.2.3, tiene conto delle componenti spaziali dell'induzione magnetica, calcolate come somma del contributo delle correnti nei diversi conduttori:

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

È possibile a questo punto effettuare una semplificazione del modello che consideri il contributo non del singolo conduttore ma dell'intera terna.

Riprendendo quanto già detto in precedenza, per i cavi unipolari posati a trifoglio semplice si può ricorrere ad un'espressione approssimata del campo magnetico:

$$B = 0.1 * \sqrt{6} * \frac{S * I}{R^2} \quad [\mu T]$$

Considerata la natura vettoriale del campo magnetico, è possibile sommare i contributi generati dalle singole terne e calcolare, tramite il modello semplificato di cui prima, il valore del campo magnetico nello spazio circostante l'elettrodotto.

Fissando quindi l'asse centrale del sistema di terne come riportato in figura, il campo magnetico generato dalle due terne di elettrodotti è dato dalla seguente formula:

$$B = 0,1 * \sqrt{6} * \frac{S_1 * I_1}{(x - x_1)^2 + (y - d)^2} + 0,1 * \sqrt{6} * \frac{S_2 * I_2}{(x - x_2)^2 + (y - d)^2}$$

dove B [μT] è l'induzione magnetica in un generico punto distante R [m] dal centro del sistema (baricentro delle due terne di cavi), S_i [m] è la distanza fra i conduttori adiacenti della terna i -esima, percorsi da correnti simmetriche ed equilibrate di ampiezza pari a I_i [A] (specificata della terna i -esima).

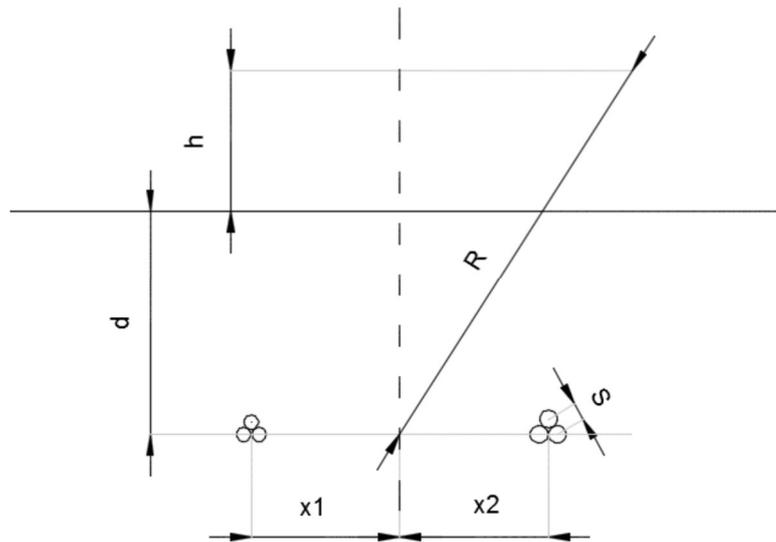


Figura 1. Sistema di riferimento per la valutazione dei campi magnetici nel caso di due terne posate all'interno della medesima trincea

Sono state quindi calcolate, fissando vari valori di h , le distribuzioni dell'intensità del campo magnetico su piani fuori terra paralleli al suolo, considerando la condizione di posa peggiore di due terne di cavi ARE4H1R 3x1x630 mmq.

CORRENTE CAVI	A	281
S	mm	39.8
X1	m	-0.2
X2	m	0.2
PROFONDITA' POSA	m	-1.1

Tabella 6. Parametri geometrici e tecnici in ingresso considerati nella valutazione dei campi elettromagnetici generati da due terne di cavi posti nello stesso cavo

La tabella che segue mostra i valori della distribuzione, con un intervallo di campionamento dei valori in ascissa (ossia della distanza dall'asse centrale) pari a 0,5 m.

INDUZIONE MAGNETICA TOTALE [microT]							
Distanza dall'asse y [m]	Distanza dal suolo [m]						
	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3
-10	0.054	0.053	0.053	0.051	0.050	0.049	0.047
-9.5	0.060	0.059	0.058	0.057	0.055	0.053	0.051
-9	0.067	0.066	0.064	0.063	0.061	0.058	0.056
-8.5	0.075	0.073	0.072	0.069	0.067	0.064	0.062
-8	0.084	0.082	0.080	0.078	0.075	0.071	0.068

-7.5	0.096	0.093	0.090	0.087	0.083	0.079	0.075
-7	0.109	0.106	0.103	0.098	0.094	0.089	0.083
-6.5	0.126	0.123	0.118	0.112	0.106	0.099	0.093
-6	0.148	0.142	0.136	0.128	0.120	0.112	0.104
-5.5	0.175	0.168	0.159	0.148	0.138	0.127	0.117
-5	0.210	0.200	0.187	0.173	0.159	0.145	0.131
-4.5	0.257	0.241	0.223	0.203	0.184	0.165	0.148
-4	0.320	0.297	0.270	0.241	0.214	0.190	0.167
-3.5	0.410	0.372	0.330	0.289	0.251	0.218	0.189
-3	0.542	0.477	0.411	0.349	0.295	0.250	0.212
-2.5	0.744	0.627	0.517	0.422	0.346	0.285	0.238
-2	1.068	0.843	0.654	0.510	0.403	0.323	0.263
-1.5	1.613	1.147	0.824	0.608	0.462	0.360	0.287
-1	2.515	1.541	1.011	0.704	0.515	0.392	0.307
-0.5	3.719	1.932	1.168	0.778	0.554	0.414	0.320
0	4.383	2.107	1.231	0.806	0.568	0.421	0.325
0.5	3.719	1.932	1.168	0.778	0.554	0.414	0.320
1	2.515	1.541	1.011	0.704	0.515	0.392	0.307
1.5	1.613	1.147	0.824	0.608	0.462	0.360	0.287
2	1.068	0.843	0.654	0.510	0.403	0.323	0.263
2.5	0.744	0.627	0.517	0.422	0.346	0.285	0.238
3	0.542	0.477	0.411	0.349	0.295	0.250	0.212
3.5	0.410	0.372	0.330	0.289	0.251	0.218	0.189
4	0.320	0.297	0.270	0.241	0.214	0.190	0.167
4.5	0.257	0.241	0.223	0.203	0.184	0.165	0.148
5	0.210	0.200	0.187	0.173	0.159	0.145	0.131
5.5	0.175	0.168	0.159	0.148	0.138	0.127	0.117
6	0.148	0.142	0.136	0.128	0.120	0.112	0.104
6.5	0.126	0.123	0.118	0.112	0.106	0.099	0.093
7	0.109	0.106	0.103	0.098	0.094	0.089	0.083
7.5	0.096	0.093	0.090	0.087	0.083	0.079	0.075
8	0.084	0.082	0.080	0.078	0.075	0.071	0.068
8.5	0.075	0.073	0.072	0.069	0.067	0.064	0.062
9	0.067	0.066	0.064	0.063	0.061	0.058	0.056
9.5	0.060	0.059	0.058	0.057	0.055	0.053	0.051
10	0.054	0.053	0.053	0.051	0.050	0.049	0.047

Tabella 7. Valori di intensità del campo magnetico

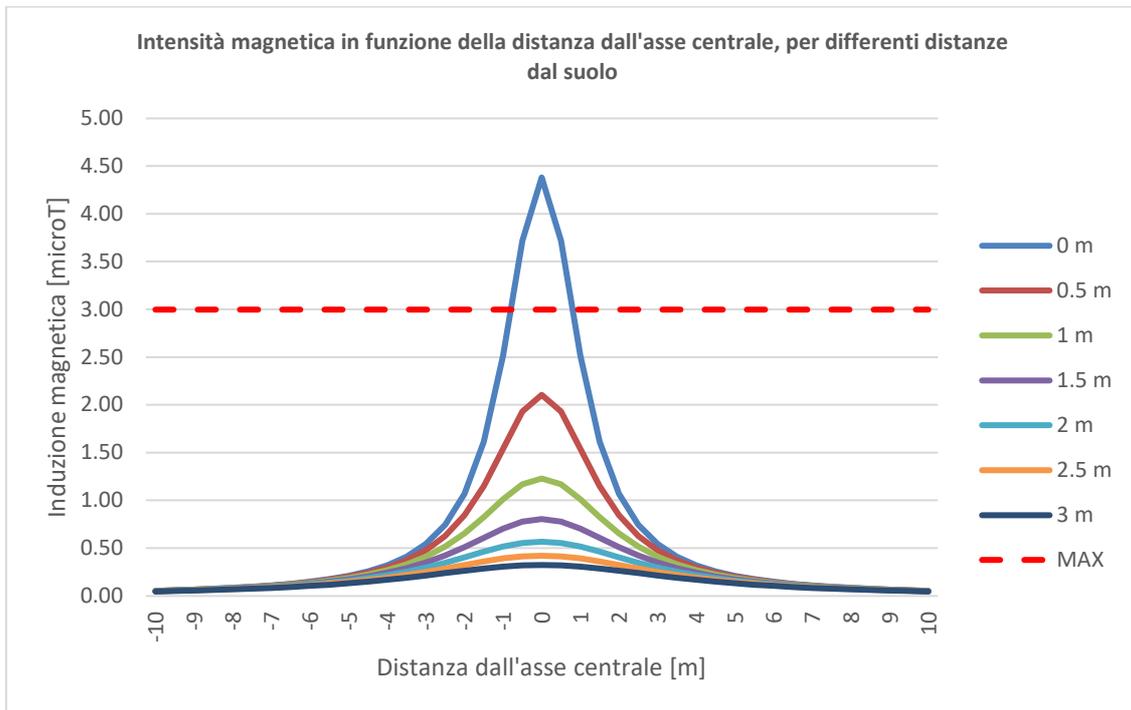


Figura 2. Andamento del campo magnetico

Analizzando i risultati ottenuti si evidenzia:

- distanza in verticale rispetto all'asse centrale baricentrico dei cavidotti con induzione magnetica superiore a $3 \mu\text{T}$: 0,2365 m;
- distanza di Prima Approssimazione: 0.993 m, approssimata a 1 m.

6.4. ELETTRDOTTO 150 kV

Si riportano di seguito i risultati dell'analisi effettuata sull'elettrodotto a 150 kV:

Tensione nominale	150 kV
Frequenza nominale	50 Hz
Potenza trasportata	220 MW
Isolamento	XLPE

Sezione del conduttore	1200 mm ²
Portata in corrente	Circa 950 A (*)

(*) per una potenza di circa 220 MV, $\cos\phi$ 0,90

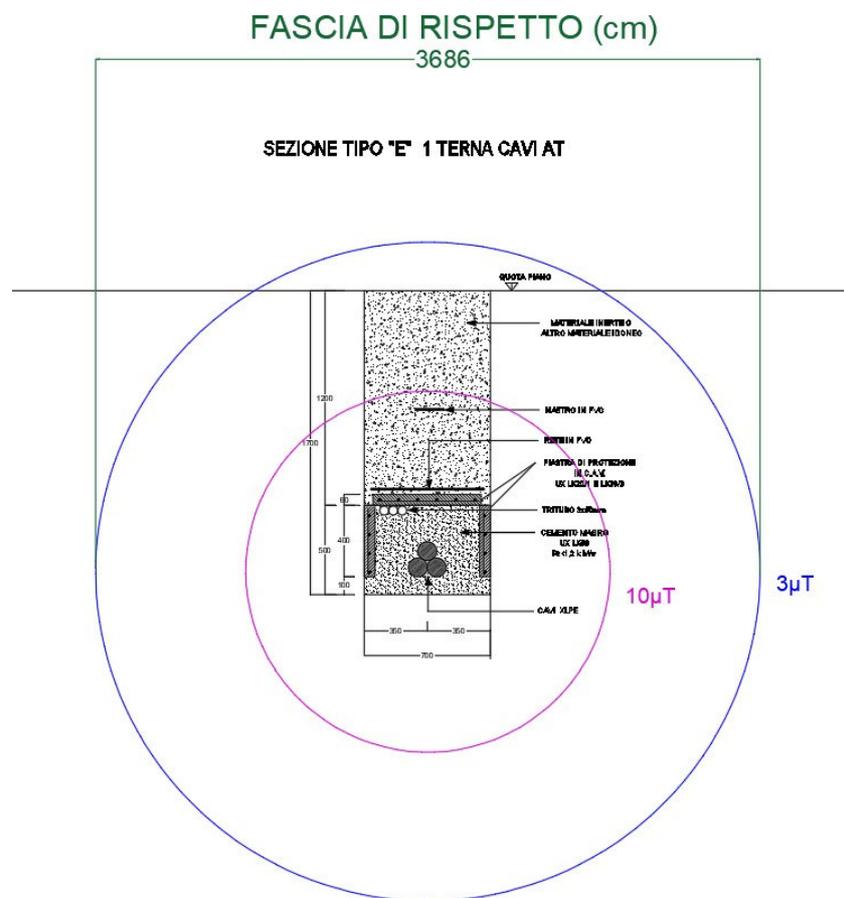


Figura 3. Curve Equi campo –1 Terna cavi AT (su strada sterrata)

Dalla figura precedente, si può verificare che la fascia di rispetto al livello del suolo che si deduce dal calcolo, definita all'intersezione tra la linea del terreno e la linea equicampo a 3 μ T, è pari a 3,69 metri (approssimata a 4,0 m).

In questa fascia di rispetto al livello del suolo vanno applicate tutte le prescrizioni previste dal DPCM 08/07/03.

Il raggio della linea equicampo a 3 μ T risulta essere pari a 1,85 metri dal centro dei conduttori.

6.5. CABINE DI CAMPO/POWER STATION

Per le cabine di campo o Power Station, la principale sorgente di emissione è il trasformatore MT/BT, della potenza di 3.125 kVA (3.437 kVA (35°C)).

In questo caso, in base al DM del MATTM del 29.05.2008, cap.5.2.1, l'ampiezza delle DPA si determina basandosi sulla corrente di bassa tensione (BT) del trasformatore e considerando una distanza dalle fasi pari al diametro dei cavi reali in uscita dal trasformatore. Per determinare le DPA si applica la formula:

$$\frac{DPA}{\sqrt{I}} = 0.40942 * x^{0.5242}$$

dove:

DPA= distanza di prima approssimazione (m)

I= corrente nominale (A)

x= diametro dei cavi (m)

Considerando che I=2257.94 A e tenendo conto del diametro esterno dei cavi in BT di circa 240 mm, si ottiene un valore di circa 2,13 m, che arrotondato per eccesso all'intero superiore dà luogo ad una DPA pari a 3 m.

Le cabine di campo sono posizionate all'aperto, lontane dal confine dell'impianto fotovoltaico, e le DPA ricadono interamente all'interno di quest'ultima senza interessare luoghi con permanenza di persone pubbliche superiori a quattro ore.

7. CONCLUSIONI

Le uniche radiazioni associabili a questo tipo di impianti sono le radiazioni non ionizzanti costituite dai campi elettrici e magnetici a bassa frequenza (50 Hz), prodotti rispettivamente dalla tensione di esercizio degli elettrodotti e dalla corrente che li percorre. I valori di riferimento, per l'esposizione ai campi elettrici e magnetici, sono stabiliti dalla Legge n. 36 del 22/02/2001 e dal successivo 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 di 50 Hz degli elettrodotti”*.

In generale, per quanto riguarda il campo elettrico in MT esso è notevolmente inferiore a 5 kV/m (valore imposto dalla normativa), mentre per quel che riguarda il campo di induzione magnetica il calcolo nelle varie sezioni di impianto ha dimostrato come non ci siano fattori di rischio per la salute umana a causa delle azioni di progetto, poiché è esclusa la presenza di recettori sensibili entro le fasce per le quali i valori di induzione magnetica attesa non sono inferiori agli obiettivi di qualità fissati per legge; mentre il campo elettrico generato è nullo a causa dello schermo dei cavi o assolutamente trascurabile negli altri casi per distanze superiori a qualche cm dalle parti in tensione.

Infatti, per quanto riguarda il campo magnetico, relativamente ai cavidotti MT, in tutti i tratti interni realizzati prevalentemente mediante l'uso di cavi elicordati, si può considerare che l'ampiezza della semi fascia di rispetto sia pari a 1 m, a cavallo dell'asse del cavidotto, pertanto uguale alla fascia di asservimento della linea.

Per ciò che riguarda le cabine di trasformazione l'unica sorgente di emissione è rappresentata dal trasformatore BT/MT, quindi in riferimento al DPCM 8 luglio 2003 e al DM del MATTM del 29/05/2008, l'obiettivo di qualità si raggiunge già a circa 3 m (DPA) dalla cabina stessa. Comunque, considerando che nelle cabine di trasformazione non è prevista la presenza di persone per più di quattro ore al giorno e che l'intera area dell'impianto fotovoltaico sarà racchiusa all'interno di una recinzione metallica che impedisce l'ingresso di personale non autorizzato, si può escludere pericolo per la salute umana.

Per quanto concerne il cavidotto 150 kV vanno applicate tutte le prescrizioni previste dal DPCM 08/07/03 in quelle situazioni in cui ci si trova all'interno del valore limite esplicito.

L'impatto elettromagnetico può pertanto essere considerato non significativo.