

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO IMPIANTO AGRIVOLTAICO
E DELLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RTN
LOCALITA' MASSERIA BARONI
COMUNE DI PRESICCE ACQUARICA (LE)
DENOMINAZIONE IMPIANTO - PVA003 ACQUARICA MASSERIA BARONI
POTENZA NOMINALE 24.0 MW

PROGETTO DEFINITIVO - SIA

PROGETTAZIONE E SIA

HOPE engineering

ing. Fabio PACCAPELO
ing. Andrea ANGELINI
arch. Andrea GIUFFRIDA
arch. Gaetano FORNARELLI
dott.ssa Anastasia AGNOLI

Studio ALAMI

Arch. Fabiano SPANO
Arch. Valentina RUBRICHI
Arch. Susanna TUNDO

PROGETTAZIONE DEGLI IMPIANTI ELETTRICI

ing. Roberto DI MONTE

AGRONOMIA E STUDI COLTURALI

dott. Donato RATANO

STUDI SPECIALISTICI E AMBIENTALI

MICROCLIMATICA
dott.ssa Elisa GATTO

ARCHEOLOGIA
dott. Cristian NAPOLITANO

GEOLOGIA
Apogeo Srl

ACUSTICA
dott.ssa Sabrina SCARAMUZZI

COLLABORAZIONE SCIENTIFICA

UNIVERSITÀ CATTOLICA DEL SACRO CUORE
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLE PRODUZIONI VEGETALI SOSTENIBILI
prof. Stefano AMADUCCI

R.2 RELAZIONI SPECIALISTICHE

R.2.13 Relazione sui campi elettromagnetici

REV.	DATA	DESCRIZIONE
	10-23	prima emissione



INDICE

1	PREMESSA	2
2	LE EMISSIONI ELETTROMAGNETICHE	4
3	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	5
3.1	NORME TECNICHE	5
3.2	LEGISLAZIONE ITALIANA	5
3.3	DEFINIZIONI E ABBREVIAZIONI	5
3.4	ATTUAZIONE NORMATIVA VIGENTE	6
4	DESCRIZIONE DELL'OPERA	9
4.1	INQUADRAMENTO DELL'OPERA	9
4.2	IMPIANTO AGRIVOLTAICO	9
4.3	ELETTRODOTTI MT	10
4.4	SOTTOSTAZIONE AT/MT	10
4.5	ELETTRODOTTO AT DI CONNESSIONE	10
4.6	CARATTERISTICHE DELLA RETE ELETTRICA	11
5	VALUTAZIONE PREVENTIVA CAMPI ELETTRICI E MAGNETICI	12
5.1	APPLICAZIONE DELLA NORMATIVA SULLA TUTELA DELLA POPOLAZIONE	12
5.2	CRITERI DI VALUTAZIONE	12
5.3	POWER SKID	13
5.3.1	<i>SBARRE INVERTER BT</i>	13
5.3.2	<i>POWER SKIDS E CABINA DIRACCOLTA</i>	14
5.4	ELETTRODOTTI INTERRATI	16
5.4.1	<i>CASO CON N. 2 TERNE DI CAVI MT INTERRATI DI SEZIONE 500 MM²</i>	17
5.4.2	<i>CASO CAVIDOTTO AT INTERRATO DI SEZIONE 630 MM²</i>	22
5.5	SOTTOSTAZIONE DI TRASFORMAZIONE AT/MT	24
5.6	RISULTATI OTTENUTI	26
6	CONCLUSIONI	27



1 PREMESSA

Oggetto della seguente relazione è la valutazione preventiva dei campi elettromagnetici generati dagli impianti elettrici dell'impianto agrivoltaico della potenza nominale pari a circa **24.555,56 kWp**, in un sito a destinazione agricola ricadente sul territorio comunale di Presicce - Acquarica nella Provincia di Lecce (LE) in località Masseria Baroni.

La relazione ha lo scopo di descrivere le emissioni di campi magnetici, elettrici ed elettromagnetici generati durante l'esercizio dell'impianto e definire la compatibilità dell'impianto con i limiti normativi di esposizione e tutela della popolazione nonché permettere la verifica di compatibilità ed interferenza dell'impianto con eventuali impianti elettrici ed elettronici presenti in zona.

Sono state individuate le potenziali sorgenti di emissione e si è proceduto alla valutazione dei potenziali rischi legati all'esposizione delle persone. Nello specifico gli apparati elettrici oggetto del presente studio sono:

- Impianto fotovoltaico;
- Cabine di campo di trasformazione MT/BT e cabina di raccolta;
- Cavidotti MT a 30 kV per la connessione dei sottocampi individuati con la Cabina di raccolta e di quest'ultima con la sezione 30 kV della Sottostazione di trasformazione 30/150 kV;
- Sottostazione di trasformazione AT/MT (150/30 kV) per la conversione in Alta tensione dell'energia elettrica prodotta dall'impianto agrivoltaico;
- Elettrodotto AT (150 kV) di collegamento della sottostazione per il collegamento di tale impianto su stallo linea AT 150 kV alla Cabina Primaria denominata "CASTRIGNANO DEL CAPO".

Lo studio dell'impatto elettromagnetico si traduce nella determinazione di una fascia di rispetto eseguendo un calcolo dell'induzione magnetica basato sulle caratteristiche geometriche, meccaniche ed elettriche della linea presa in esame. Esso deve essere eseguito secondo modelli tridimensionali o bidimensionali con l'applicazione delle condizioni espresse al paragrafo 6.1 della norma CEI 106-11.

Al fine di semplificare la gestione territoriale e il calcolo delle fasce di rispetto, in prima approssimazione è possibile:

- Calcolare la fascia di rispetto combinando la configurazione dei conduttori, geometrica e di fase, e la portata in corrente in servizio normale che forniscono il risultato più cautelativo sull'intero elettrodotto;
- Proiettare al suolo verticalmente tale fascia;
- Individuare l'estensione rispetto alla proiezione del centro linea (D.p.a.).

Nel § 2. si riportano alcune generalità sulle emissioni elettromagnetiche degli impianti elettrici, nel § 3. si illustrano i riferimenti legislativi e normativi in materia di emissioni elettromagnetiche e nel § 4. si riporta l'inquadramento dell'opera e la descrizione dell'opera da realizzarsi così come risultante dagli elaborati progettuali allegati al progetto definitivo.

Il § 5. contiene la valutazione preventiva dei campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici per le aree limitrofe all'opera e la relativa verifica di conformità della stessa alla legislazione vigente in materia di esposizione della popolazione.



Il § 6. contiene le conclusioni finali sulla base delle risultanze espresse nei paragrafi precedenti.



2 LE EMISSIONI ELETTROMAGNETICHE

I campi elettromagnetici consistono in onde elettriche (E) e magnetiche (H) che viaggiano insieme generati in una linea elettrica durante il suo normale funzionamento. Esse si propagano alla velocità della luce, e sono caratterizzate da una frequenza ed una lunghezza d'onda. I campi elettrici sono proporzionali alla tensione della linea stessa, mentre i campi magnetici sono proporzionali alla corrente che vi circola. Entrambi decrescono molto rapidamente con la distanza dalla sorgente.

I campi elettrici sono prodotti dalle cariche elettriche. Essi governano il moto di altre cariche elettriche che vi siano immerse. La loro intensità viene misurata in volt al metro (V/m) o in chilovolt al metro (kV/m). Quando delle cariche si accumulano su di un oggetto, fanno sì che cariche di segno uguale od opposto vengano, rispettivamente, respinte o attratte. L'intensità di questo effetto viene caratterizzata attraverso la tensione, misurata in volt (V).

A ogni dispositivo collegato ad una presa elettrica, anche se non acceso, è associato un campo elettrico che è proporzionale alla tensione della sorgente cui è collegato. L'intensità dei campi elettrici è massima vicino al dispositivo e diminuisce con la distanza. Molti materiali comuni, come il legno ed il metallo, costituiscono uno schermo per questi campi.

I campi magnetici sono prodotti dal moto delle cariche elettriche, cioè dalla corrente. Essi governano il moto delle cariche elettriche. La loro intensità si misura in ampere al metro (A/m), ma è spesso espressa in termini di una grandezza corrispondente, l'induzione magnetica, che si misura in tesla (T), millitesla (mT) o microtesla (μ T). Ad ogni dispositivo collegato ad una presa elettrica, se il dispositivo è acceso e vi è una corrente circolante, è associato un campo magnetico proporzionale alla corrente fornita dalla sorgente cui il dispositivo è collegato. I campi magnetici sono massimi vicino alla sorgente e diminuiscono con la distanza. Essi non vengono schermati dalla maggior parte dei materiali di uso comune, e li attraversano facilmente.

I campi elettromagnetici, in base alla loro frequenza, possono essere suddivisi in:

- onde ionizzanti (IR): onde ad alta frequenza così chiamate in quanto capaci di modificare la struttura molecolare rompendone i legami atomici (l'esempio più ricorrente è quello dei raggi X) e perciò cancerogene;
- onde non ionizzanti (NIR): su cui sono tuttora in corso numerosi studi tesi a verificare gli effetti sull'uomo. Questo tipo di onde comprende, tra le varie frequenze, le microonde, le radiofrequenze ed i campi a frequenza estremamente bassa (ELF - Extremely Low Frequency da 0 a 10 kHz). Fra questi campi a bassa frequenza (ELF) è compresa anche l'energia elettrica che è trasmessa a frequenza di 50 Hz.

Ai fini dell'esposizione umana alle radiazioni non ionizzanti, considerando le caratteristiche fisiche delle grandezze elettriche in gioco (tensioni fino a 150.000 V, correnti continue o alternate a frequenza di 50 Hz) i campi elettrici e magnetici sono da valutarsi separatamente perché disaccoppiati.

Come avviene ormai sempre più di frequente, le linee di Media Tensione non vengono più costruite mediante linea aerea, ma interrate consentendo di ridurre drasticamente l'effetto dovuto ai campi elettromagnetici attenuati dal terreno che agisce da "schermatura naturale", abbassando l'intensità di tali emissioni a valori addirittura inferiori ai più comuni elettrodomestici di uso quotidiano. Il calcolo è stato effettuato in aderenza alla Normative indicate.



3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

3.1 NORME TECNICHE

- CEI 211-6 "Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettrici e magnetici nell'intervallo di frequenza 0 Hz – 10 kHz, con riferimento all'esposizione umana";
- CEI R014-001 "Guida per la valutazione dei campi elettromagnetici attorno ai trasformatori di potenza";
- CEI 11-60 "Portata al limite termico delle linee elettriche aeree esterne con tensione maggiore di 100 kV";
- CEI 211-4 "Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati dalle linee e da stazioni elettriche";
- 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".

3.2 LEGISLAZIONE ITALIANA

- 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".

3.3 DEFINIZIONI E ABBREVIAZIONI

- Fascia di rispetto: è lo spazio circostante un elettrodotto, che comprende tutti i punti, al di sopra e al di sotto del livello del suolo, caratterizzati da un'induzione magnetica di intensità maggiore o uguale all'obiettivo di qualità (3 μ T). Come prescritto dall'articolo 4, c. 1 lettera h) della Legge Quadro n. 36 del 22 febbraio 2001, all'interno delle fasce di rispetto non è consentita alcuna destinazione di edifici ad uso residenziale, scolastico, sanitario e ad uso che comporti una permanenza non inferiore a quattro ore;
- Distanza di prima approssimazione (D.p.a.): è la distanza in pianta dalla proiezione del centro linea che garantisce che ogni punto, la cui proiezione al suolo disti dalla proiezione del centro linea più della D.p.a., si trovi all'esterno della fascia di rispetto. Per le cabine è la distanza da tutte le facce del parallelepipedo della cabina stessa che garantisce i requisiti di cui sopra.
- Esposizione della popolazione: è ogni tipo di esposizione ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici, ad eccezione dell'esposizione di cui alla lettera f) dell'art. 3 Legge 36/2001 e di quella intenzionale per scopi diagnostici o terapeutici;
- Elettrodotto: è l'insieme delle linee elettriche, delle sottostazioni e delle cabine di trasformazione, nel nostro caso i Power Skid;



3.4 ATTUAZIONE NORMATIVA VIGENTE

Secondo quanto previsto dalla legge del 22 febbraio 2001, n. 36, in particolare all'art. 4, comma 2, lettera a), il DPCM 8 luglio 2003 ha fissato i limiti di esposizione, i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dall'esposizione a campi elettrici e magnetici alla frequenza di 50 Hz connessi al funzionamento e all'esercizio degli elettrodotti:

<p>LIMITE DI ESPOSIZIONE</p> <p>Valore efficace che non deve essere superato in caso di esposizione a campi elettrici e magnetici alla frequenza di 50 Hz generati da elettrodotti</p>	<p>100 μT</p> <p>5 kV/m</p>
<p>VALORE DI ATTENZIONE</p> <p>Mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio da considerare 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</p>	<p>10 μT</p>
<p>OBIETTIVO DI QUALITA'</p> <p>Mediana dei valori nell'arco delle ventiquattro ore nelle normali condizioni di esercizio da considerare ai fini della progressiva minimizzazione dell'esposizione ai campi elettrici e magnetici generati dagli elettrodotti operanti alla frequenza di 50 Hz 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 di nuovi insediamenti e delle nuove aree di cui sopra in prossimità di linee elettriche già presenti nel territorio</p>	<p>3 μT</p>

In base all'art. 5 le tecniche di misurazione da adottare sono quelle indicate dalla norma CEI 211-6 prima edizione e successivi aggiornamenti. Inoltre, il sistema agenziale APAT-ARPA dovrà determinare le procedure di misura e valutazione, con l'approvazione del Ministero dell'Ambiente, per la determinazione del valore di induzione magnetica utile ai fini della verifica del non superamento del valore di attenzione e dell'obiettivo di qualità. Per la verifica delle disposizioni di cui agli articoli 3 e 4, oltre alle misurazioni e determinazioni di cui sopra, il sistema agenziale APAT-ARPA può avvalersi di metodologie di calcolo basate su dati tecnici e storici dell'elettrodotto.



Dal campo di applicazione del DPCM è espressamente esclusa, invece, l'applicazione dei limiti, valori di attenzione e obiettivi di qualità di cui sopra ai lavoratori esposti ai campi per ragioni professionali (art. 1 comma 2).

Inoltre, in base all'art. 1 comma 3 per tutte le sezioni di impianto non incluse nella definizione di "elettrodotto" o che sono esercite con frequenze diverse dai 50 Hz, fino a 100 kHz, si applicano i limiti della raccomandazione del Consiglio dell'Unione Europea del 12 luglio 1999, pubblicata nella G.U.C.E. n. 199 del 30 luglio 1999. In particolare, andrà rispettato, se applicabile nei confronti della popolazione, per la sezione in corrente continua il limite di riferimento per induzione magnetica di 40.000 μ T.

L'art. 6 del DPCM 8/7/03 recita:

1. "Per la determinazione delle fasce di rispetto si dovrà fare riferimento all'obiettivo di qualità di cui all'art. 4 [...]"

2. "L'APAT, sentite le ARPA, definirà la metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto ai fini delle verifiche delle autorità competenti".

Per quanto riguarda la determinazione delle fasce di rispetto riferite agli elettrodotti sia aerei che interrati, il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio ha comunicato con lettera prot. DSA/2004/25291 del 15 novembre 2004, che "la metodica da usarsi per la determinazione provvisoria delle fasce di rispetto pertinenti ad una o più linee elettriche aeree o interrate che insistono sulla medesima porzione di territorio può compiersi come segue:

[...]

3. Le linee possono essere schematizzate così come prevede la norma CEI 211-4 "Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee e da stazioni elettriche", cap. 4.1. Il calcolo può essere eseguito secondo l'algoritmo definito al cap. 4.3.

4. Si calcolano le regioni di spazio definite dal luogo delle superfici di isocampo di induzione magnetica pari a 3 μ T in termini di valore efficace.

5. Le proiezioni verticali a livello del suolo di dette superfici determinano le fasce di rispetto. Le relative dimensioni, espresse in metri, possono essere arrotondate all'intero più vicino".

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);

La costruzione e l'esercizio degli impianti di rete, così come riportato negli elaborati tecnici di progetto, saranno eseguite secondo le norme di legge e le norme tecniche del CEI nonché, per la parte di connessione alla rete, secondo le disposizioni normative di Terna S.p.A.



La valutazione dei campi elettrici e magnetici a frequenza industriale è invece argomento della Norma CEI 211-4 "Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee e stazioni elettriche", dalla quale sono state tratte tutte le ipotesi di calcolo. In particolare:

- tutti i conduttori costituenti la linea (sia i conduttori attivi sia i conduttori di guardia) sono considerati rettilinei, orizzontali, di lunghezza infinita e paralleli tra di loro; in base a queste ipotesi, si trascura la componente longitudinale dell'induzione magnetica; nella realtà, i conduttori suddetti si dispongono secondo una catenaria, ma la componente longitudinale non supera in genere il 10% delle altre componenti del campo, per cui l'errore che si commette, nel calcolo della risultante, è certamente inferiore, in percentuale, a questo valore;
- i conduttori sono considerati di forma cilindrica, con diametro costante disposti a fascio di 3 per fase; si suppone che la distanza tra i singoli conduttori a uguale potenziale sia piccola rispetto alla distanza tra i conduttori a diverso potenziale; si suppone inoltre che i conduttori appartenenti ad un fascio siano uguali tra di loro e che, in una sezione normale del fascio, i loro centri giacciono su una circonferenza (circonferenza circoscritta al fascio); in base a queste ipotesi, si sostituisce al fascio di sub-conduttori un conduttore unico di opportuno diametro equivalente;
- il suolo è considerato piano, privo di irregolarità, perfettamente conduttore dal punto di vista elettrico, perfettamente trasparente dal punto di vista magnetico;
- si trascura l'influenza sulla distribuzione del campo dei tralicci stessi, di piloni di sostegno, degli edifici, della vegetazione e di qualunque altro oggetto che si trovi nell'area interessata, ovvero si calcola il campo imperturbato.

Le ipotesi suddette permettono di ridurre il calcolo del campo ad un problema piano, essendo, in questo caso, la distribuzione stessa uguale su qualunque sezione normale all'asse longitudinale della linea. A parità di altri fattori, l'accuratezza dei dati forniti è ovviamente tanto maggiore quanto più le condizioni reali sono aderenti a quelle sopra elencate.

La guida 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" costituisce l'applicazione delle formule fornite dalla guida CEI 211-4 ai diversi tipi di elettrodotti, quindi anche interrati. A sufficiente distanza dalla terna di conduttori, la superficie su cui l'induzione assume lo stesso valore (superficie isolivello) ha con buona approssimazione la forma di un cilindro avente come asse la catenaria ideale passante per il baricentro dei conduttori. La sezione trasversale di tale cilindro è una circonferenza. Prendendo in considerazione il valore di $3 \mu\text{T}$, si può calcolare il raggio della corrispondente circonferenza, che costituisce la fascia di rispetto.



4 DESCRIZIONE DELL'OPERA

4.1 INQUADRAMENTO DELL'OPERA

La società Santa Lucia Energia S.r.l., facente parte del Gruppo Hope, con sede in Milano, Via Lanzone,31 intende realizzare un impianto agrivoltaico della potenza nominale pari a circa **24.555,56 kWp**, in un sito a destinazione agricola ricadente sul territorio comunale di Presicce – Acquarica nella Provincia di Lecce (LE). Il progetto definitivo comprende le opere necessarie alla connessione alla Rete di Trasmissione Nazionale, progettate in base alla STMG avente codice di rintracciabilità **369200082** rilasciata dalla società di gestione E-distribuzione S.p.A. a conclusione della procedura di coordinamento con Terna S.p.A. e regolarmente accettata dal Proponente.

Con il termine “agrivoltaico” si intende un sistema che coniuga la produzione agricola con la produzione di energia elettrica mediante impianto fotovoltaico, ospitando le due componenti nel medesimo terreno; pertanto, si tratta della convivenza, sul medesimo sito della conduzione delle colture agricole unitamente alla produzione di energia elettrica mediante l'installazione di pannelli fotovoltaici su apposite strutture di supporto, le caratteristiche di tali strutture dovranno essere compatibili con il regolare svolgimento dell'attività agricola e il transito dei mezzi agricoli necessari alla stessa.

L'impianto è denominato “PVA003 – Acquarica Masseria Baroni” riprendendo il nominativo della località su cui esso sarà installato.

Dal punto di vista elettrico si prevede la realizzazione di:

1. Impianto agrivoltaico;
2. Elettrodotti MT (30 kV) di collegamento tra gli Skid dei sei sottocampi e la cabina di raccolta e smistamento;
3. Elettrodotto MT (30 kV) di vettoriamento per la connessione dell'impianto di produzione dalla cabina di raccolta alla stazione di trasformazione AT/MT;
4. Sottostazione di trasformazione AT/MT (150/30 kV) per la conversione in Alta tensione dell'energia elettrica prodotta dall'impianto agrivoltaico;
5. Elettrodotto AT (150 kV) di collegamento della sottostazione per il collegamento di tale impianto su stallo linea AT 150 kV alla Cabina Primaria denominata "CASTRIGNANO DEL CAPO".

Nel seguito della presente relazione si descrivono nel dettaglio i profili e le caratteristiche più significative delle opere da realizzare.

L'impianto agrivoltaico e gli elettrodotti MT di collegamento a 30 kV saranno ubicati su terreni a destinazione agricola non caratterizzati dalla permanenza media di popolazione superiore alle 4 ore giornaliere, o non considerate come zone sensibili di cui all'art. 4 comma 1 del DPCM 8 luglio 2003 e in ogni caso è situato a distanze dai fabbricati tali da non richiedere una valutazione puntuale dei campi elettromagnetici.

Il tracciato degli elettrodotti interrati ricade per la maggior parte all'interno dell'area degli impianti e MT per un breve tratto ricade su viabilità pubblica.

4.2 IMPIANTO AGRIVOLTAICO

L'impianto agrivoltaico per la produzione di energia elettrica in oggetto è suddiviso in sei campi separati da una recinzione propria. Ogni campo raccoglierà la potenza del generatore in corrente continua e la convoglierà tramite cavidotti in CC verso i punti di raccolta, conversioni e trasformazione in MT dell'energia prodotta. Tali



punti di raccolta, non saranno né cabine prefabbricate e cabine posate in opera ma saranno dei Power Skid poggiati su platea di fondazione composta dall'insieme dell'inverter centralizzati outdoor, il trasformatore elevatore MT/BT e i quadri BT e MT tutti Outdoor come meglio specificato nei paragrafi successivi.

L'impianto ha una potenza totale di 24.555,96 kWp.

4.3 ELETTRODOTTI MT

La raccolta e il vettoriamento dell'energia elettrica prodotta avviene mediante cavi interrati MT che collegano l'impianto agrivoltaico direttamente alla stazione di trasformazione 30/150 kV per il collegamento dell'impianto alla Cabina Primaria di Castrignano del Capo (LE).

I cavidotti all'interno dell'impianto agrivoltaico saranno posati in appositi scavi a sezione obbligata nella viabilità di servizio interna all'impianto stesso.

La rete di vettoriamento esterna che collega i sei sottocampi dell'impianto agrivoltaico tramite la cabina di raccolta alla stazione di trasformazione AT/MT si sviluppa per una lunghezza di circa 15,7 km, è composta da 2 linee elettriche di sezione pari a 500 mm², interrate parallelamente nello stesso scavo (caso peggiore), ed è ubicata sempre su sede stradale. Nello stesso scavo saranno anche posate la corda di terra e i cavi in fibra ottica per le telecomunicazioni.

Il tracciato è stato definito in modo da minimizzare le interferenze e da utilizzare sempre la viabilità esistente.

4.4 SOTTOSTAZIONE AT/MT

L'area individuata per la realizzazione della Stazione di trasformazione AT/MT sorge in agro di Castrignano del Capo, nelle immediate vicinanze della CP di E-distribuzione "Castrignano del Capo".

Attualmente l'area è incolta, non è interessata dalla presenza di corsi d'acqua ed è caratterizzata da una morfologia pianeggiante, con differenze di quota che su tutta l'area non superano i 50/100 cm.

Si tratta di una Sottostazione di Trasformazione 150/30 kV atta a ricevere l'energia prodotta dall'impianto agrivoltaico da costruire nel territorio di Acquarica (LE).

All'interno della Sottostazione di Trasformazione la tensione viene innalzata da 30 kV (tensione nominale del sistema di rete di raccolta tra le torri e dell'elettrodotto di vettoriamento) a 150 kV e da qui con collegamento in cavo interrato si collega al vicino impianto di consegna su stallo AT in aria in CP a 150 kV.

La Sottostazione sarà composta da:

- terminali cavi linea AT,
- uno stallo TR AT;
- fabbricato quadri, con i locali MT, il locale telecontrollo e BT, locale gruppo elettrogeno;
- locali per controllo dell'impianto agrivoltaico e misure;
- elettrodotto AT di connessione alla CP di E-distribuzione.

4.5 ELETTRDOTTO AT DI CONNESSIONE

Il collegamento della sottostazione alla vicina Cabina Primaria "Castrignano del Capo" di E-distribuzione, avverrà tramite elettrodotto in cavo interrato AT 150 kV con sezione pari a 630 mm² in configurazione a trifoglio, verrà posato in scavo alla profondità di 1,3 m.



4.6 CARATTERISTICHE DELLA RETE ELETTRICA

La rete elettrica da realizzare, per l'impianto agrivoltaico è divisa in due sezioni in base alla tensione di esercizio:

- a. *Bassa tensione* (inferiore a 1500 kV) tra i moduli FV e l'inverter e tra questo e il trasformatore BT/MT;
- b. *Media Tensione* (30 kV) tra i vari Power Skid dell'impianto agrivoltaico e la cabina di raccolta e per la connessione dell'intero impianto da quest'ultima alla stazione di trasformazione AT/MT del produttore; tali condutture saranno tutte realizzate in esecuzione interrata secondo la norma CEI 11-17. Particolari realizzativi di questa sezione di rete sono:
 - utilizzo di cavi unipolari o multipolari, a seconda della sezione di cavo scelta, a campo elettrico radiale singolarmente schermati con gli schermi atterrati ad entrambe le estremità, disposti ad elica visibile, posati direttamente nello scavo;
 - disposizione nello scavo di corda nuda in rame, parallelamente all'elettrodotto, per la creazione di un impianto di terra globale.
- c. *Alta tensione* (150 kV):
 - Sottostazione AT/MT per la conversione in Alta Tensione dell'energia elettrica prodotta, formata essenzialmente dal trasformatore elevatore MT/AT e dalle sbarre in tubi di alluminio e apparecchiature di sezionamento, interruzione e misura AT;
 - collegamento della sottostazione AT/MT allo stallo AT della Cabina Primaria "Castrignano del Capo" di E-distribuzione, effettuato in esecuzione interrata con cavi unipolari a campo elettrico radiale singolarmente schermati, disposti ad elica visibile, posati direttamente nello scavo;



5 VALUTAZIONE PREVENTIVA CAMPI ELETTRICI E MAGNETICI

5.1 APPLICAZIONE DELLA NORMATIVA SULLA TUTELA DELLA POPOLAZIONE

Per tutto ciò che attiene la valutazione dei campi magnetici ed elettrici all'interno dell'impianto agrivoltaico, essendo l'accesso all'impianto ammesso esclusivamente a personale lavoratore autorizzato, non trova applicazione il DPCM 8 luglio 2003.

Essendo le zone direttamente accessibili con l'impianto di rete non adibite né ad una permanenza giornaliera non inferiore alle 4 ore né a zone gioco per l'infanzia/abitazioni e scuole, vanno verificati esclusivamente i limiti di esposizione. Non trovano applicazione per le stesse motivazioni gli obiettivi di qualità del DPCM 8 luglio 2003.

Rimane comunque inteso che i limiti esposti dal DPCM si applicano esclusivamente alla parte esterna dell'impianto e relativamente ai campi magnetici prodotti da correnti di frequenza 50 Hz. Per la valutazione dei *campi magnetici statici* prodotti dalla sezione in corrente continua, se necessario, si farà riferimento alla raccomandazione del Consiglio dell'Unione Europea del 12 luglio 1999.

5.2 CRITERI DI VALUTAZIONE

Al contrario delle linee elettriche, per le quali è ormai consolidato un metodo di calcolo preventivo dei campi magnetici ed elettrici, per le cabine elettriche (nostro caso Power Skid) e per tutti i sistemi non assimilabili alle linee elettriche, a causa delle geometrie complesse, non è agevole determinare gli andamenti dei campi elettrici e magnetici con modelli matematici, ma a valle di considerazioni preventive di massima. In caso di dubbio si deve procedere direttamente alle misure in campo.

Considerando che la grossa parte dell'impianto è a bassa tensione, che la massima tensione elettrica all'interno ed all'esterno è di 30.000 V (senza considerare la connessione AT) e che i campi elettrici sono schermati dal suolo, dalle recinzioni, dagli alberi, dalle strutture metalliche portamoduli, dalle guaine metalliche dei cavi a media tensione, ecc., si può trascurare completamente la valutazione dei campi elettrici che, si ricorda, sono generati dalla tensione elettrica.

In particolare, è stato più volte dimostrato da misure sperimentali condotte in tutta Italia dal sistema agenziale ARPA sulle cabine MT/BT della Distribuzione, che i campi elettrici all'esterno delle cabine a media tensione risultano essere abbondantemente inferiori ai limiti di legge.

Per quanto concerne invece i campi magnetici è necessario identificare nell'impianto fotovoltaico le possibili sorgenti emissive e le loro caratteristiche.

Una prima sorgente emissiva è rappresentata dal generatore fotovoltaico e dai relativi cavidotti di collegamento con l'inverter posizionato sullo Skid dove avviene anche la trasformazione.

Considerando che:

- tale sezione di impianto è tutta esercita in corrente continua (0 Hz) in bassa tensione;
- buona esecuzione vuole che i cavi di diversa polarizzazione (+ e -) viaggino sempre a contatto, annullando reciprocamente quasi del tutto i campi magnetici statici prodotti in un punto esterno (tale precauzione viene in genere presa soprattutto al fine della protezione dalle sovratensioni limitando al massimo l'area della spira che si viene a creare tra il cavo positivo e il cavo negativo);
- i cavi di dorsale dai quadri di parallelo stringhe agli inverter, che sono quelli che trasportano correnti in valore significativo, sono tutti eseguiti in posa interrata e distanti diversi metri dalle recinzioni di confine;



- per la frequenza 0-1 Hz il limite di riferimento per induzione magnetica che non deve essere superato è di **40.000 μ T**, valore 400 volte più alto dell'equivalente per la corrente a 50 Hz;

si può certamente escludere il superamento dei limiti di riferimento dei valori di campo magnetico statico dovuti alla sezione in corrente continua.

Per quanto concerne la sezione in **corrente alternata** le principali sorgenti emmissive sono gli inverter, le sbarre di bassa tensione dei quadri generali BT contenuti sempre nell'inverter, il o i trasformatori elevatori e gli elettrodotti in media e bassa tensione.

Non si considerano importanti per la verifica dei limiti di esposizione, considerando che tali sistemi non prevedono la presenza di lavoratori se non per il tempo strettamente necessario alle operazioni di manutenzione, i seguenti componenti:

- i cavi a media tensione, considerando che i cavi e le sbarre dei quadri di media tensione porteranno alla potenza nominale dell'impianto MT/BT correnti non superiori a 200 A;
- i cavi di bassa tensione tra il trasformatore e gli inverter considerando che le diverse fasi saranno in posa ravvicinata in cunicolo interrato al di sotto dello Skid o comunque all'interno dell'impianto.

Si ricorda a tal proposito 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.

Per questo motivo il problema dei campi magnetici è poco sentito nelle reti di bassa e media tensione in cavo dove gli spessori degli isolanti sono molto contenuti permettendo alle tre fasi di essere estremamente ravvicinate tra loro se non addirittura inserite nello stesso cavo multipolare (bassa tensione).

Diverso è invece il caso delle sbarre in rame dei quadri elettrici BT o degli inverter, dove la disposizione delle tre fasi in piano e le elevate correnti determinano campi magnetici elevati soprattutto nelle immediate vicinanze. Discorso analogo vale per il trasformatore elevatore.

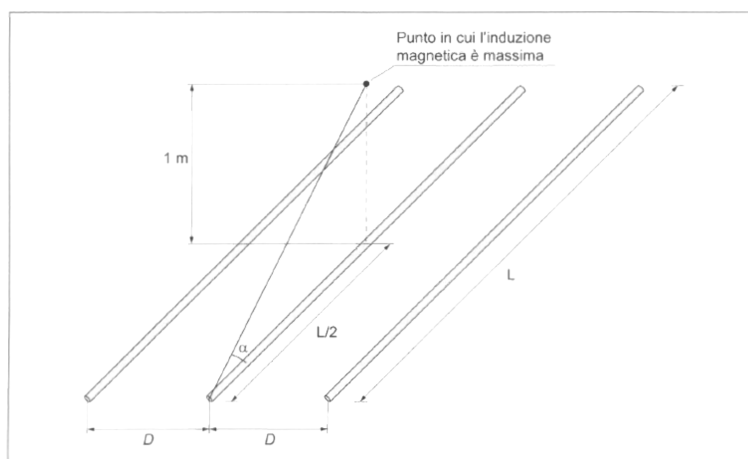
5.3 POWER SKID

5.3.1 SBARRE INVERTER BT

Per la valutazione dei campi generati dalle sbarre di bassa tensione dell'inverter, si è ipotizzato che esse siano parallele e distino l'una dall'altra **D** (espressa in metri), siano lunghe **L** metri ed attraversate da una corrente **I**. Ad un metro di distanza dalle sbarre l'induzione magnetica assume il suo massimo valore¹:

¹ Si veda Appendice E del testo "La protezione dai campi elettromagnetici" - Prof. Paolo Vecchia - Ed. TNE 2003.





$$B_{MAX} = \frac{0,346 \cdot I \cdot D \cdot \sin(\arctan(L/2))}{1+D^2}$$

Nella Tabella seguente sono riportati i valori massimi di induzione magnetica B_{MAX} espressi in μT per alcuni valori di L, e I con tipica distanza sbarre **D** di 10 cm

L (m)	D (cm)	I				
		100 A	200 A	500 A	1000 A	3000 A
1	10	1,5	3,1	7,7	15,3	45,96
2	10	2,4	4,9	12,1	24,3	72,9
5	10	3,2	6,4	15,9	31,8	95,4
10	10	3,4	6,7	16,8	33,6	100,8

Dalla tabella risulta che l'induzione aumenta con la lunghezza L, ma oltre i 5 m l'aumento diventa trascurabile. Tali valori sono compatibili, nelle vicinanze del quadro, con la legislazione vigente. Riguardo all'inverter essi saranno certificati CE e in particolare rispetteranno tutte le norme nazionali ed europee in materia di compatibilità elettromagnetica.

5.3.2 POWER SKIDS E CABINA DI RACCOLTA

All'interno del Campo Fotovoltaico sono presenti n.6 cabine elettriche (nel nostro caso Power Skids SMA) suddivise in sei sottocampi.

Ognuna è comprensiva di n. 1 Quadro MT (QMT), di n°1 Trasformatore potenza pari a 4000 kVA con rapporto di Trasformazione 30/0,6 kV, n.1 QBT il tutto montato e cablato su apposito Skid predisposto.

La fascia di rispetto della cabina di trasformazione dell'impianto è calcolata sulla base della metodologia di calcolo semplificato descritta nel DM 29/05/08 pubblicata sulla gazzetta ufficiale n.156 del 5 luglio 2008 S.O. n. 160) mediante l'individuazione della distanza di prima approssimazione D.p.a., ottenuta applicando la seguente formula:

$$D.p.a. = 0,40942 \cdot \sqrt{I} \cdot x^{0,5241}$$



Dove:

I = corrente nominale (secondaria del trasformatore) [A];

x = diametro dei cavi in uscita dal trasformatore [m];

Di fatto i Power Station, sono assimilabili a cabine secondarie di trasformazione.

In ottemperanza al DM 29/05/08 precedentemente citato, è stata prevista una fascia di rispetto espressa a titolo cautelativo mediante l'individuazione della distanza di prima approssimazione. In particolare, la D.p.a. è intesa come la distanza da ciascuna delle pareti del power skid, calcolata simulando una linea trifase, con cavi paralleli, percorsa dalla corrente nominale BT in uscita dal trasformatore (I) e con distanza tra le fasi pari al diametro esterno del cavo (x), ossia conduttore più isolante.

Per il calcolo si è considerato il valore di potenza apparente del trasformatore pari a 4000 kVA, il cui valore della corrente massima lato BT alla tensione di 600 V è calcolato come segue:

$$I = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \varphi} = \frac{4000 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 600} = 3849,01 \text{ A}$$

Supponendo che i cavi in uscita al trasformatore abbiano una sezione pari a 500 mm², con più conduttori in parallelo e diametro esterno pari a circa 51 mm, si ottiene una D.P.A. pari a:

$$D.p.a. = 0,40942 \cdot \sqrt{3849,01} \cdot (0,051)^{0,5241} = 5,33 \text{ m}$$

arrotondata per eccesso a D.p.a. = 6 m.

Saranno pertanto previste attorno ai Power Skids delle fasce di terreno di 6 m mantenuta libera da qualsiasi struttura. All'esterno di quest'area il campo di induzione magnetica è inferiore all'obiettivo di qualità di 3 μ T riferendoci alla corrente in bassa tensione del trasformatore del tipico power skid previsto a progetto. Il tracciato di posa dei cavi è tale per cui intorno ad esso non vi sono ricettori sensibili (zone in cui si prevede una permanenza di persone per più di 4 ore nella giornata) per distanze molto più elevate di quelle calcolate.

Come previsto nel progetto, non sussistono attività permanenti all'interno D.p.a. indicato e quindi non vi sono pericoli di esposizione ai campi elettrici e magnetici.

La zona adiacente sarà di transito e non di permanenza di persone; potrà essere occasionalmente occupata da personale Tecnico nei momenti di controllo, manutenzione ed attività eseguite nel rispetto dei programmi di sicurezza, valutata nella globalità dei rischi professionali aziendali. Analogo procedimento per la sicurezza dovrà essere adottato dal responsabile della sicurezza dell'impianto produttore, in modo da escludere, dalla suddetta zona di rispetto, le attività con elevato tempo di permanenza del personale.

Relativamente alla cabina di raccolta e di smistamento generale e partenza d'impianto, si fa notare come tale cabina secondaria consista in una cabina di smistamento e non di trasformazione.

Pertanto, secondo quanto indicato dalle linee guida dell'ente gestore citate in precedenza, la D.p.a. (distanza di prima approssimazione) è da considerarsi come quella della linea MT entrante/uscente.



5.4 ELETTRODOTTI INTERRATI

A seguito di sopralluoghi effettuati in tutta l'area interessata dell'impianto agrivoltaico e dalle relative opere infrastrutturali, si sono tratte le opportune considerazioni relativamente all'impatto di tipo elettromagnetico sulla eventuale presenza umana.

Il percorso degli elettrodotti di vettoriamento, partendo dalla cabina di raccolta presente all'interno dell'impianto, interesserà parte di strade vicinali e comunali nei Comuni di Acquarica del Capo, Presicce, Salve, Morciano di Leuca e Castrignano del Capo (LE). Il cavidotto di vettoriamento MT a 30 kV interesserà parte della SP324 nel comune di Acquarica del Capo, Presicce e Salve e prosegue per un tratto di strada comunale nei territori di Salve, Morciano di Leuca e Castrignano del Capo per poi arrivare fino alla Cabina Primaria "Castrignano del Capo".

Dai sopralluoghi effettuati, i fabbricati presenti lungo il percorso risultano essere depositi agricoli o residenze rurali. Sarà verificato se tutte le abitazioni rurali si trovano al di fuori delle fasce di rispetto che si calcoleranno.

Le linee interrate sono costituite da collegamenti tra i power skids e la cabina di raccolta con al max 4 terne interrate. Nel tratto di vettoriamento le terne saranno 2, con cavi disposti ad elica visibile isolati in XLPE, sigla commerciale ARE4H5ER 30 kV, di sezione massima pari a 500 mm².

La valutazione è effettuata sui i cavi di vettoriamento MT. Per i cavi MT si considererà il caso di posa più gravoso, ma senza portare in conto la presenza di eventuali linee elettriche interrate o aeree già esistenti.

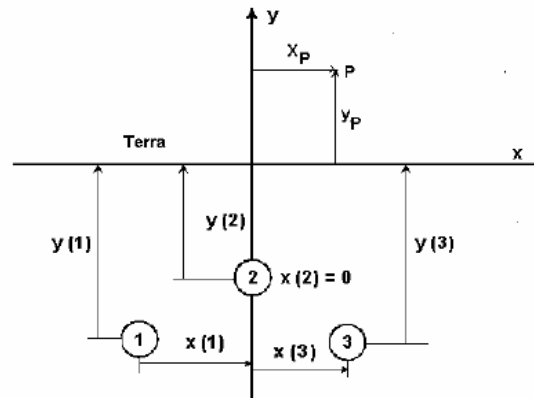
I campi elettrici prodotti sono trascurabili grazie allo schermo dei cavi atterrato ad entrambe le estremità e all'effetto schermante del terreno stesso.

Per quanto riguarda la generazione di campi magnetici, si trova che la disposizione a trifoglio dei cavi unipolari consente di avere valori di induzione assai ridotti, grazie alla possibilità di avvicinare i cavi. Infatti, i campi magnetici, interagendo tra loro, si attenuano a vicenda. Si ricorda infatti 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.

I campi elettrici prodotti sono trascurabili grazie allo schermo dei cavi atterrato ad entrambe le estremità e all'effetto schermante del terreno stesso.

Ai sensi della norma CEI 211-4 "Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee e da stazioni elettriche", assumendo le ipotesi semplificative già esposte nei paragrafi precedenti, è possibile calcolare l'induzione magnetica, in termini di valore efficace, ricorrendo alla legge di Biot-Savart ridotta al caso bidimensionale, per un generico punto del piano, mediante le seguenti formule per le componenti spaziali (fasoriali) dell'induzione magnetica, quale contributo delle correnti nei diversi conduttori:





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

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

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

È possibile a questo punto effettuare una semplificazione del modello che consideri il contributo non del singolo conduttore ma dell'intera terna della quale sono note le caratteristiche geometriche. Si terrà conto per il modello, un sistema di cavi unipolari posati a trifoglio e non elicoidali, in questo modo viene introdotto un grado di protezione maggiore nel sistema.

Come infatti suggerito dalla norma CEI 106-11, per i cavi unipolari posati a trifoglio è possibile ricorrere ad una espressione approssimata del campo magnetico, ossia:

$$B = 0,1 \cdot \sqrt{6} \cdot \frac{S \cdot I}{R^2}$$

dove B [μ T] è l'induzione magnetica in un generico punto distante R [m] dal conduttore centrale, S [m] è la distanza fra i conduttori adiacenti percorsi da correnti simmetriche ed equilibrate di ampiezza pari ad I [A].

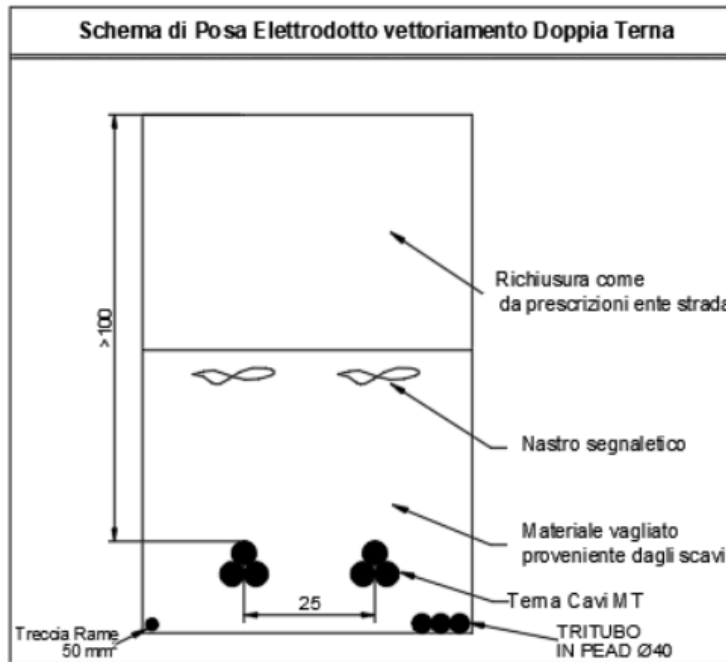
Considerata la natura vettoriale del campo magnetico è possibile sommare i contributi dovuti alle singole terne e calcolare, attraverso il modello semplificato, il valore del campo magnetico nello spazio circostante l'elettrodotto.

I dati geometrici di calcolo si deducono dalla sezione di scavo nei casi analizzati di seguito. Si sottolinea che, ai sensi della comunicazione del Ministero dell'Ambiente già citata, la profondità di posa dei cavi non è influente ai fini del calcolo della fascia di rispetto, mentre è importante il numero e la disposizione dei conduttori nello scavo.

5.4.1 CASO CON N. 2 TERNE DI CAVI MT INTERRATI DI SEZIONE 500 MM²

Questo rappresenta il caso peggiore che si possa trovare lungo i tracciati MT. Come si vede dai tracciati riportati in planimetria e dallo schema unifilare, le 2 terne sono formate da cavi da 500 mm². Nei calcoli si è considerata la corrente massima erogata dai sei sottocampi che interessa le 2 terne di vettoriamento.

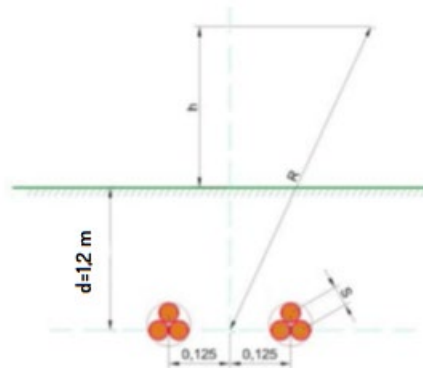




Considerata quindi la disposizione spaziale delle due terne e fissando l'asse centrale come riportato in figura, si può calcolare il campo magnetico generato dall'elettrodotta attraverso la seguente formula:

$$B = 0,1 \cdot \sqrt{6} \cdot \frac{S_1 \cdot I_1}{(x_p - x_1)^2 + (y_p - y_1)^2} + 0,1 \cdot \sqrt{6} \cdot \frac{S_2 \cdot I_2}{(x_p - x_2)^2 + (y_p - y_2)^2}$$

dove B [μ T] è l'induzione magnetica in un generico punto distante R [m] dal centro del sistema (baricentro delle due terne di cavi), Si [m] è la distanza fra i conduttori adiacenti della terna i-esima percorsi da correnti simmetriche ed equilibrate di ampiezza pari a li [A] specifica della terna i-esima.



Facendo riferimento alla portata in corrente in regime permanente, così come definito dalla norma CEI 11-17, sono state calcolate le distribuzioni dell'intensità del campo magnetico su piani fuori terra paralleli al suolo e al suolo stesso, fissando vari valori di altezza h.

Per i dati elettrici si sono usati i seguenti valori:

Terna con cavi di sezione del singolo conduttore pari a 500 mm²;

Potenza nominale dell'impianto agrivoltaico 24,6 MW;

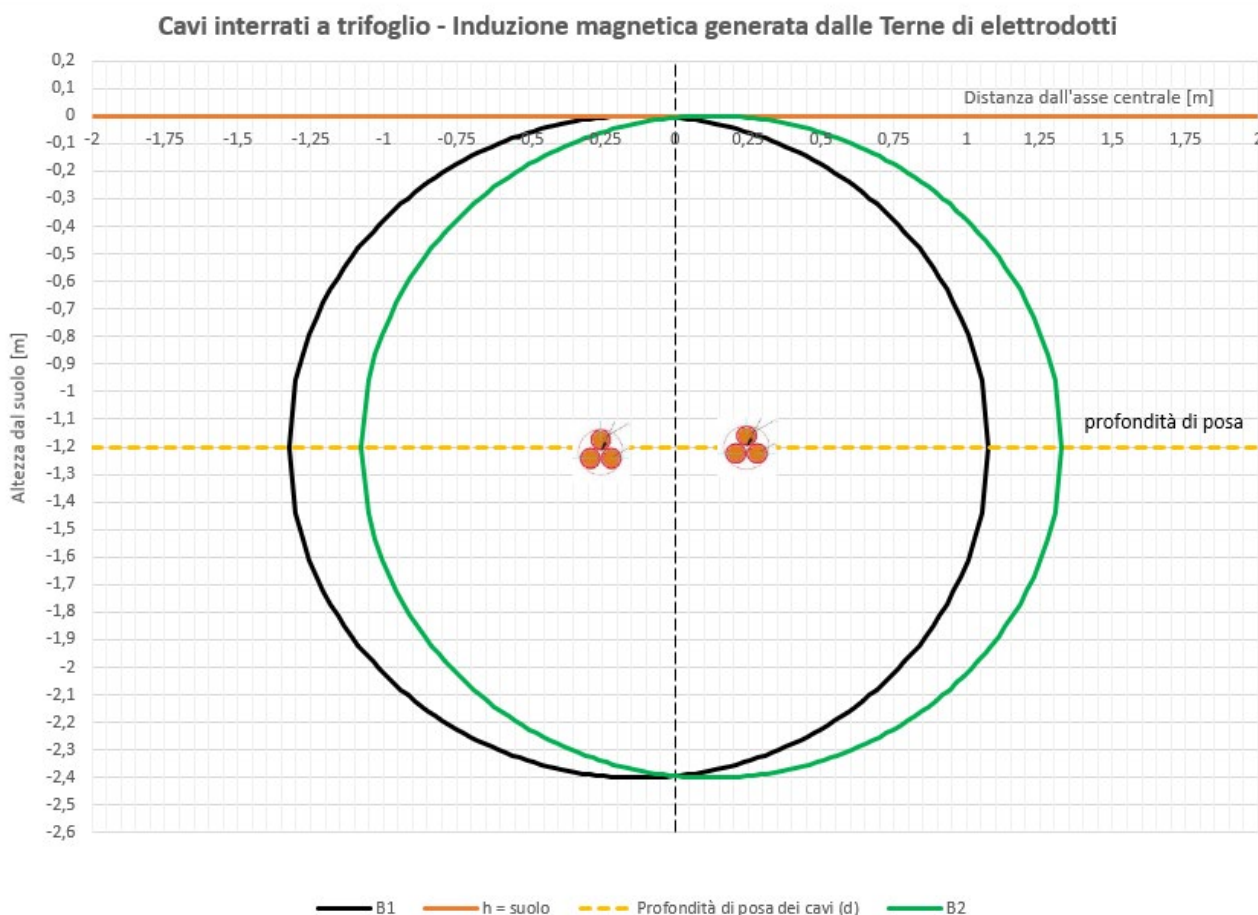
Tensione nominale di esercizio dei cavidotti 30 kV.



Il calcolo della Corrente nominale (al lordo delle perdite), in base alle condizioni di posa e la scelta del numero di terne è avvenuta nel seguente modo:

$$I_{1/2} = \frac{P_1}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \varphi} = \frac{24,6 \text{ MW}}{\sqrt{3} \cdot 30000 \text{ V} \cdot 1} = 473,43 \text{ A} < 2 \cdot 429,14 \text{ A} = 858,28 \text{ A}$$

Il valore di 429,14 A non si riferisce alla portata in condizioni STC del conduttore, bensì ad una portata già corretta dei fattori di riduzione legati al numero di terne affiancate in orizzontale, temperatura di esercizio, profondità di posa e resistività termica del terreno. Mentre, per la scelta adottata, il valore di corrente di impiego delle due terne di cavidotti, in condizioni di massima operatività dell'impianto eolico, risulta essere di 236,71 A (a lordo delle perdite). Il margine di sicurezza sul carico percentuale risulta di circa 44,8 %. La scelta di sovradimensionamento è giustificata dal fatto di voler ridurre le cadute di tensione a fine linea, causate dalla notevole lunghezza della doppia terna di cavidotti MT, portandole ad un valore inferiore al 2 %.



La figura mostra graficamente l'intensità del campo magnetico generato dalle due terne di cavidotti interrati a trifoglio, singolarmente. Il campo magnetico è un fenomeno che gode del principio di sovrapposizione, ossia se in un suo punto è generato da più correnti, allora sarà uguale alla somma vettoriale dei campi generati dalle singole correnti, parallelamente a ciò che accade con le cariche elettriche per il campo elettrico.

Considerata la natura vettoriale del campo magnetico è possibile sommare i contributi dovuti alle singole terne e calcolare, attraverso il modello semplificato, il valore del campo magnetico nello spazio circostante l'elettrodotta.



La tabella che segue mostra i valori della distribuzione del campo magnetico totale nello spazio circostante dell'elettrodotto, generato sommando i contributi delle singole terne con un intervallo di campionamento dei valori in ascissa (distanza dall'asse centrale) pari a 0,5 m:

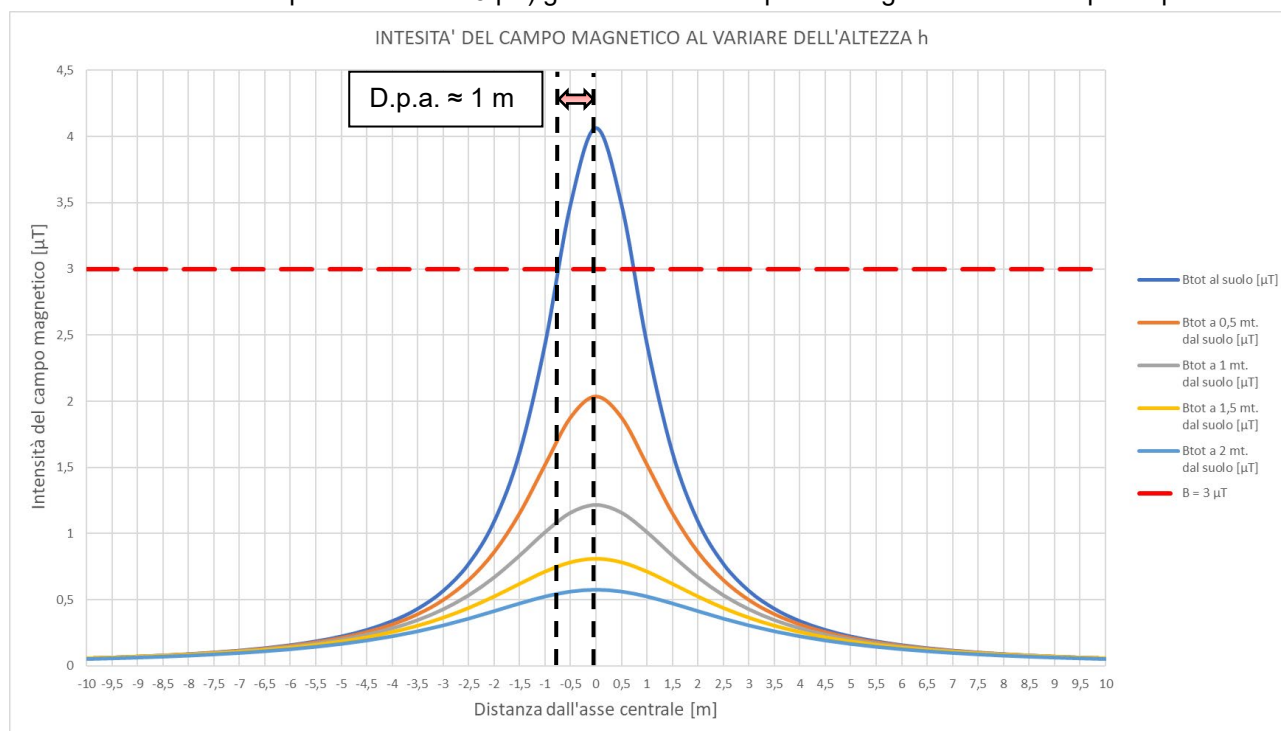
DISTANZA DALL'ASSE CENTRALE [m]	B _{tot} al suolo [μT]	B _{tot} a 0,5 mt. dal suolo [μT]	B _{tot} a 1 mt. dal suolo [μT]	B _{tot} a 1,5 mt. dal suolo [μT]	B _{tot} a 2 mt. dal suolo [μT]
-10	0,058329288	0,057506417	0,056435742	0,055145786	0,053668767
-9,5	0,064534869	0,063529044	0,062224833	0,060660249	0,058877754
-9	0,071779799	0,070537548	0,068933233	0,067018191	0,064849029
-8,5	0,080308135	0,078756222	0,076761411	0,074394033	0,071730467
-8	0,090439407	0,08847583	0,08596589	0,083007442	0,079704866
-7,5	0,102598174	0,100078205	0,096878395	0,093137202	0,088999176
-7	0,117357864	0,114071866	0,109932666	0,105139757	0,099896069
-6,5	0,135507232	0,131144464	0,125702348	0,119473973	0,112748138
-6	0,15815359	0,152241368	0,144954925	0,136733861	0,127994533
-5,5	0,186887511	0,178685525	0,168728745	0,157690881	0,146178811
-5	0,224053447	0,212363344	0,19844256	0,183346054	0,167964265
-4,5	0,273208975	0,25601703	0,236048327	0,214987519	0,194137821
-4	0,339931406	0,313707399	0,284233618	0,254236904	0,225583391
-3,5	0,433285264	0,391539162	0,346655381	0,303038405	0,263187295
-3	0,56857719	0,498739449	0,428102007	0,363480714	0,307610223
-2,5	0,77260536	0,648992329	0,534236673	0,437223688	0,358831203
-2	1,093245649	0,860951704	0,669987188	0,524148958	0,415381693
-1,5	1,612530993	1,153244671	0,834656984	0,619882383	0,473352106
-1	2,433670589	1,520518048	1,011854609	0,712722326	0,525706947
-0,5	3,486216416	1,877135499	1,159072256	0,782974315	0,563039184
0	4,063025242	2,035445427	1,218018508	0,809546222	0,576682661
0,5	3,486216416	1,877135499	1,159072256	0,782974315	0,563039184
1	2,433670589	1,520518048	1,011854609	0,712722326	0,525706947
1,5	1,612530993	1,153244671	0,834656984	0,619882383	0,473352106
2	1,093245649	0,860951704	0,669987188	0,524148958	0,415381693
2,5	0,77260536	0,648992329	0,534236673	0,437223688	0,358831203
3	0,56857719	0,498739449	0,428102007	0,363480714	0,307610223
3,5	0,433285264	0,391539162	0,346655381	0,303038405	0,263187295
4	0,339931406	0,313707399	0,284233618	0,254236904	0,225583391
4,5	0,273208975	0,25601703	0,236048327	0,214987519	0,194137821
5	0,224053447	0,212363344	0,19844256	0,183346054	0,167964265
5,5	0,186887511	0,178685525	0,168728745	0,157690881	0,146178811
6	0,15815359	0,152241368	0,144954925	0,136733861	0,127994533
6,5	0,135507232	0,131144464	0,125702348	0,119473973	0,112748138
7	0,117357864	0,114071866	0,109932666	0,105139757	0,099896069
7,5	0,102598174	0,100078205	0,096878395	0,093137202	0,088999176
8	0,090439407	0,08847583	0,08596589	0,083007442	0,079704866
8,5	0,080308135	0,078756222	0,076761411	0,074394033	0,071730467
9	0,071779799	0,070537548	0,068933233	0,067018191	0,064849029
9,5	0,064534869	0,063529044	0,062224833	0,060660249	0,058877754
10	0,058329288	0,057506417	0,056435742	0,055145786	0,053668767

Valori di intensità del campo magnetico B calcolati al variare dell'altezza h



Dalla tabella si rileva che l'elettrodotto oggetto di studio produce un campo magnetico massimo in corrispondenza dell'asse centrale ad altezza suolo e quindi sul piano di calpestio, pari a $4,063 \mu\text{T}$, superiore all'obiettivo di qualità fissato dalla norma ma nettamente inferiore rispetto al limite di esposizione di $100 \mu\text{T}$.

Il grafico che segue mostra la distribuzione di tali valori in funzione della distanza dall'asse centrale. I vari profili di induzione magnetica mostrano il valore dell'intensità del campo al variare del parametro h (da 0 m a 2 m da terra), ossia la distribuzione del campo su piani fuori terra paralleli al suolo e al suolo stesso. L'altezza di riferimento per il calcolo della D.p.a. è quella che calcola l'intensità del campo magnetico direttamente al livello del suolo ($h=0$), quindi ci si sta riferendo alle condizioni peggiori (in media una persona è alta più di 1,5 m e come si nota graficamente, il campo magnetico B in corrispondenza di data altezza risulta essere già inferiore all'obiettivo di qualità fissata a $3 \mu\text{T}$) garantendo un cospicuo margine di sicurezza per le persone.



Ricordando che l'obiettivo da rispettare è l'obiettivo qualità pari a $3 \mu\text{T}$, fissato dal DPCM del 08/07/2003.

Il calcolo della D.p.a. per i cavidotti di collegamento in MT simulati si traduce graficamente nell'individuazione di una distanza che ha origine dal punto di proiezione dall'asse del cavidotto al suolo e ha termine in un punto individuato sul suolo il cui valore del campo magnetico risulta essere uguale o inferiore all'obiettivo qualità di $3 \mu\text{T}$.

Utilizzando i dati forniti dal grafico allegato, si evince che per l'elettrodotto MT costituito da due terne di sezione 500 mm^2 viene individuata una fascia di rispetto complessiva di 2 m ($2 \times 1 \text{ m}$), centrata sull'asse del cavidotto al di fuori della quale è garantito il rispetto dell'obiettivo di qualità. Il valore di D.p.a. calcolato è giustificato dal fatto che nonostante le terne di cavidotti MT abbiano una sezione di 500 mm^2 , le correnti circolanti all'interno dell'impianto non sono elevate rispetto alla portata dello stesso (ved. equazioni precedenti), pertanto ne consegue che i campi magnetici siano ridotti.

All'interno della fascia di rispetto appena definita non esistono recettori sensibili (strutture abitate da persone per un tempo superiore alle 4 ore) e in tal e area sarà consentita la sola presenza di personale che effettuerà le sporadiche ed eventuali operazioni di manutenzione svolte in un tempo modesto. Si può affermare che non sussistono pericoli per la salute umana.

Si vuole ricordare però che sia l'obiettivo qualità di $3 \mu\text{T}$ che il limite di attenzione di $10 \mu\text{T}$ fanno riferimento al valore della mediana nelle 24 ore di esercizio. Tutti i dimensionamenti, invece, sono stati eseguiti tenendo

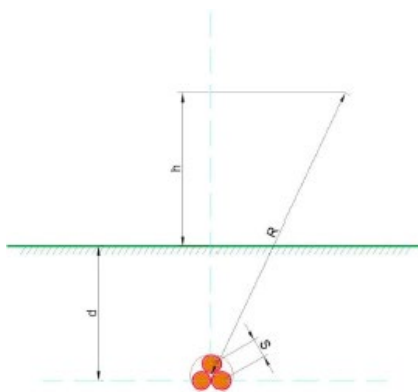


conto delle potenze nominali del parco fotovoltaico ipotizzando il funzionamento a piena potenza. In tal senso, occorre tenere conto delle effettive ore di produzione giornaliere e delle ore serali/notturne in cui l'elettrodotto non risulta trasportare energia, e conseguentemente generare campi elettromagnetici.

Inoltre, data la natura non programmabile della fonte rinnovabile, i valori reali saranno certamente inferiori a quelli utilizzati nei calcoli con una significativa diminuzione del valore dei campi elettromagnetici generati, ben al di sotto dei valori normativi precedentemente illustrati.

5.4.2 CASO CAVIDOTTO AT INTERRATO DI SEZIONE 630 MM²

Rappresenta il caso relativo al cavidotto interrato AT di connessione della sottostazione AT/MT allo stallo AT della Cabina Primaria "Castrignano del Capo".



I dati geometrici di calcolo si deducono dalla sezione di scavo riportata precedentemente:

- ✓ Profondità di posa (piano d'appoggio dei cavi): 1,3 m;
- ✓ diametro esterno max dei cavi unipolari: 103 mm.

Si sottolinea che, ai sensi della comunicazione del Ministero dell'Ambiente, la profondità di posa dei cavi non è influente ai fini del calcolo della fascia di rispetto, mentre è importante il numero e la disposizione dei conduttori nello scavo.

Per i dati elettrici si sono usati i seguenti valori, assumendo una disposizione delle fasi generica:

- ✓ Corrente nominale di connessione $I=94,69$ A;
- ✓ Sezione cavi: 630 mm²;
- ✓ Tensione di esercizio: 150 kV.

Si precisa che il valore di corrente inserito nel calcolo è quello ricavato dalla potenza di immissione al punto di consegna proveniente dall'impianto agrivoltaico, pari a circa 94,7 A (per una potenza totale in immissione di 24,6 MVA). Inoltre, la scelta di sezioni dei cavi (e quindi portate elevate) ha anche lo scopo di ridurre le cadute di tensione sulle linee, a fronte di correnti di esercizio che corrispondono a basse percentuali della portata del cavo stesso.

La tabella che segue mostra i valori della distribuzione del campo magnetico totale nello spazio circostante dell'elettrodotto, generato sommando i contributi delle singole terne con un intervallo di campionamento dei valori in ascissa (distanza dall'asse centrale) pari a 0,5 m:

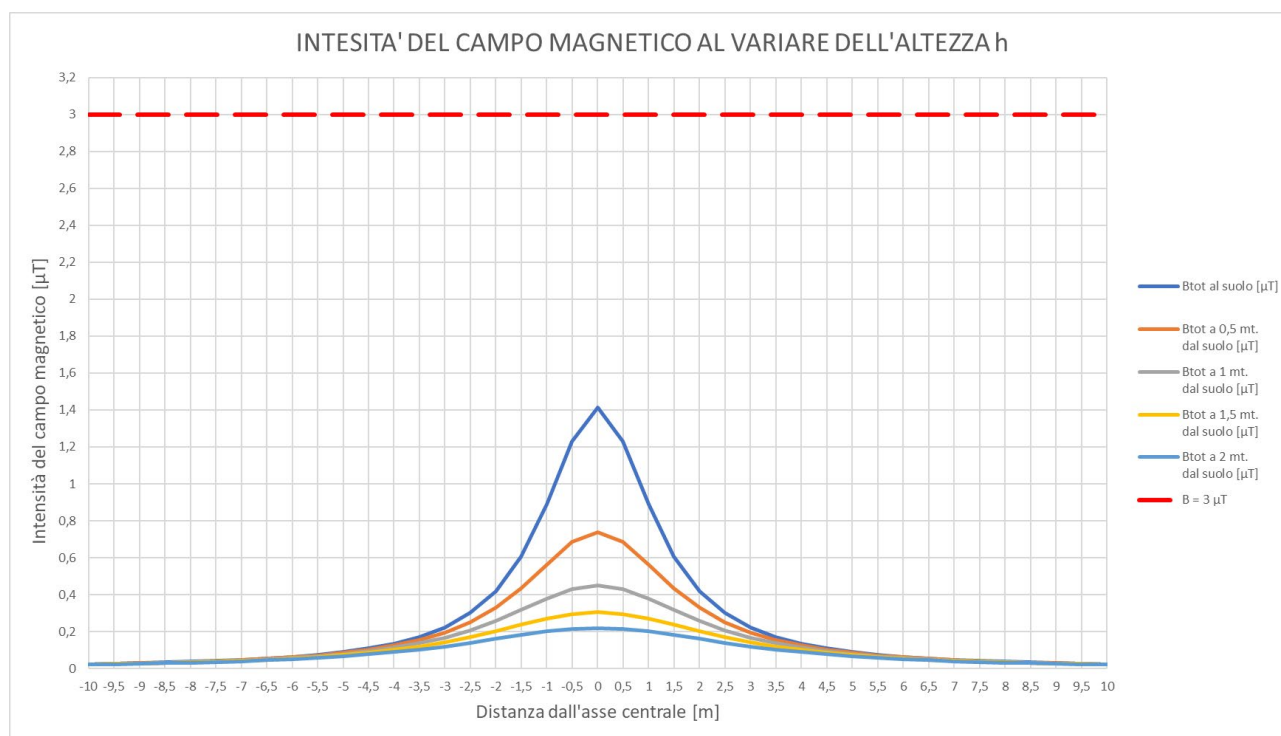


DISTANZA DALL'ASSE CENTRALE [m]	B _{tot} al suolo [μT]	B _{tot} a 0,5 mt. dal suolo [μT]	B _{tot} a 1 mt. dal suolo [μT]	B _{tot} a 1,5 mt. dal suolo [μT]	B _{tot} a 2 mt. dal suolo [μT]
-10	0,023491883	0,023139186	0,022688665	0,022152166	0,021542876
-9,5	0,025983136	0,025552354	0,025004077	0,024354058	0,023619632
-9	0,028889703	0,028358138	0,027684431	0,026889797	0,025997274
-8,5	0,032308487	0,031645113	0,03080848	0,029827563	0,028733336
-8	0,036366107	0,035527804	0,034476686	0,033252917	0,031898645
-7,5	0,041230403	0,040156153	0,038818485	0,037273983	0,03558072
-7	0,047127432	0,045729126	0,044002386	0,042028317	0,039887954
-6,5	0,054367081	0,052514609	0,050250096	0,047691945	0,04495464
-6	0,063382583	0,060878939	0,057856371	0,054491094	0,050946674
-5,5	0,074793035	0,071331429	0,067216926	0,062716974	0,05806732
-5	0,089505041	0,084592406	0,078867268	0,072743287	0,066561425
-4,5	0,108882842	0,10169815	0,093535221	0,085044128	0,076714501
-4	0,135041806	0,124162659	0,112207118	0,100205099	0,088839329
-3,5	0,171369408	0,154221404	0,136196668	0,118909385	0,103236368
-3	0,223469556	0,195170715	0,167172117	0,141858049	0,120105055
-2,5	0,300867701	0,251727034	0,207009493	0,169545035	0,13937512
-2	0,419839991	0,32995712	0,257146345	0,20176432	0,160435833
-1,5	0,606317145	0,435134708	0,316828853	0,236758132	0,181802858
-1	0,88806303	0,563417347	0,379791661	0,270236374	0,200915858
-0,5	1,231386366	0,684495573	0,4312075	0,29528919	0,214442509
0	1,413544112	0,737311589	0,451585926	0,3047053	0,219365432
0,5	1,231386366	0,684495573	0,4312075	0,29528919	0,214442509
1	0,88806303	0,563417347	0,379791661	0,270236374	0,200915858
1,5	0,606317145	0,435134708	0,316828853	0,236758132	0,181802858
2	0,419839991	0,32995712	0,257146345	0,20176432	0,160435833
2,5	0,300867701	0,251727034	0,207009493	0,169545035	0,13937512
3	0,223469556	0,195170715	0,167172117	0,141858049	0,120105055
3,5	0,171369408	0,154221404	0,136196668	0,118909385	0,103236368
4	0,135041806	0,124162659	0,112207118	0,100205099	0,088839329
4,5	0,108882842	0,10169815	0,093535221	0,085044128	0,076714501
5	0,089505041	0,084592406	0,078867268	0,072743287	0,066561425
5,5	0,074793035	0,071331429	0,067216926	0,062716974	0,05806732
6	0,063382583	0,060878939	0,057856371	0,054491094	0,050946674
6,5	0,054367081	0,052514609	0,050250096	0,047691945	0,04495464
7	0,047127432	0,045729126	0,044002386	0,042028317	0,039887954
7,5	0,041230403	0,040156153	0,038818485	0,037273983	0,03558072
8	0,036366107	0,035527804	0,034476686	0,033252917	0,031898645
8,5	0,032308487	0,031645113	0,03080848	0,029827563	0,028733336
9	0,028889703	0,028358138	0,027684431	0,026889797	0,025997274
9,5	0,025983136	0,025552354	0,025004077	0,024354058	0,023619632
10	0,023491883	0,023139186	0,022688665	0,022152166	0,021542876



Dalla tabella si rileva che l'elettrodotto oggetto di studio produce un campo magnetico massimo in corrispondenza dell'asse centrale ad altezza suolo e quindi sul piano di calpestio, **pari a 1,413 μT , inferiore all'obiettivo di qualità fissato dalla norma, di 3 μT** . Questo vuol dire che i campi magnetici prodotti dall'elettrodotto AT sono circoscritti e impegnano una piccola area limitrofa, e poiché questo risulta interrato ad una profondità di circa 1,3 m, le linee di campo non riusciranno a raggiungere il suolo soprastante, motivo per il quale **non sarà adottata alcuna D.p.a.**

Il grafico che segue mostra in maniera più chiara la distribuzione di tali valori in funzione della distanza dall'asse centrale. I vari profili di induzione magnetica mostrano il valore dell'intensità del campo al variare del parametro h (da 0 m a 2 m da terra), ossia la distribuzione del campo su piani fuori terra paralleli al suolo e al suolo stesso.



Nell'analisi del grafico in figura, si evince ancora una volta che, per il cavidotto da 630 mm² da 150 kV interessato da una corrente nominale di impiego pari a 94,69 A e disposto ad una profondità di posa di circa 1,3 m, i campi magnetici risultanti non raggiungono in alcun caso l'intensità di 3 μT fissata come obiettivo di qualità.

5.5 SOTTOSTAZIONE DI TRASFORMAZIONE AT/MT

Le stazioni ad alta tensione sono caratterizzate da valori di campo elettrico ed induzione magnetica che dipendono – oltre che dall'intensità di corrente di esercizio – dagli specifici componenti (sezionatori di sbarra, interruttori, trasformatori, etc.) presenti nella stazione stessa.

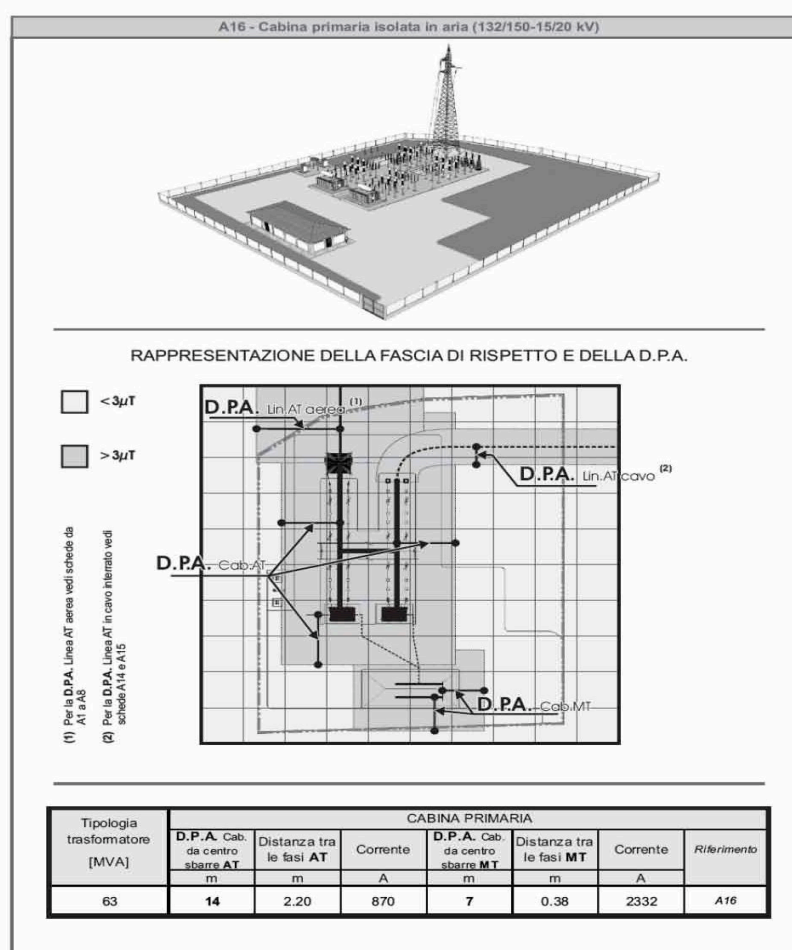
I valori più elevati del campo elettrico sono attribuibili al funzionamento dei sezionatori di sbarra (1.2-5.0 kV/m), mentre il valore più elevato di induzione magnetica è registrabile in corrispondenza dei trasformatori (6.0-15.0



$\mu T)^2$, valori che scendono in genere al disotto persino degli obiettivi di qualità in corrispondenza della recinzione della stazione.

Risultati estremamente confortanti sono stati ottenuti dall'ARPA Emilia Sezione di Bologna che ha monitorato una Cabina Primaria Enel nel centro urbano di Bologna³: i valori di induzione magnetica all'esterno della cabina lungo le recinzioni sono risultati essere inferiori a $3 \mu T$, quelli di campo elettrico inferiore a $1 V/m$.

Sempre per una completezza di informazioni di seguito si riporta uno studio effettuato da Enel Distribuzione Spa in cui vengono individuate le DPA simulate ed elaborate con il software EMF Tools v.3.0 del CESI, la cui modellizzazione delle sorgenti è bidimensionale e fa riferimento alla normativa tecnica CEI 211-4.



La stazione ad alta tensione, quindi, è caratterizzata da valori di induzione magnetica e di campo elettrico inferiori ai limiti normativi vigenti.

² Inquinamento elettromagnetico; aspetti tecnici, sanitari e normativi”, Paolo Bevitori, Maggioli Editore, 1998

³ Misure di induzione magnetica e campo elettrico a bassa frequenza in prossimità della Cabina Primaria Giardini Margherita in Bologna – Report ottobre 2002



5.6 RISULTATI OTTENUTI

Come mostrato nelle tabelle e figure dei paragrafi precedenti le azioni di progetto fanno sì che sia possibile riscontrare intensità del campo di induzione magnetica superiore al valore obiettivo di $3 \mu\text{T}$, sia in corrispondenza delle cabine di trasformazione che in corrispondenza dei cavidotti MT esterni e del cavidotto MT; è stato dimostrato come la fascia entro cui tale limite viene superato è circoscritta intorno alle opere suddette e, in particolare, ha una semi- ampiezza complessiva massima di circa 1 m dalla mezzera del cavidotto MT. D'altra parte, trattandosi di cavidotti che si sviluppano sulla viabilità stradale esistente o in territori scarsissimamente antropizzati, si può certamente escludere la presenza di recettori sensibili entro le predette fasce, venendo quindi soddisfatto l'obiettivo di qualità da conseguire nella realizzazione di nuovi elettrodotti fissato dal DPCM 8 Luglio 2003. La stessa considerazione può ritenersi certamente valida per una fascia di circa 6 m attorno alle cabine power skids e cabina di raccolta MT.

Per quanto riguarda la sottostazione AT/MT e il cavidotto AT di collegamento della stessa allo stallo in CP "Castrignano del Capo" appartenente ad E-distribuzione, è stato dimostrato come i calcoli effettuati sullo studio dei campi magnetici restituiscono valori di induzione magnetica e di campo elettrico inferiori ai limiti normativi vigenti.



6 CONCLUSIONI

A seguito delle valutazioni preventive eseguite per ogni sezione della rete elettrica e riportate nei paragrafi precedenti si è 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.

Dai calcoli effettuati, si possono detrarre le seguenti considerazioni:

- Rispetto alla posizione dei Power Skids interni all'impianto agrivoltaico, in nessun caso gli edifici rurali si trovano all'interno della fascia di rispetto calcolata nel paragrafo 5.3.2 (6 m);
- lungo il percorso dell'elettrodotto di vettoriamento MT a 30 kV, in nessun caso gli edifici rurali si trovano all'interno della fascia di rispetto calcolata nel paragrafo 5.4.1 (2 m);
- la sottostazione AT/MT e il cavidotto AT di collegamento della stessa allo stallo in CP "Castrignano del Capo" di E-distribuzione, producono valori di induzione magnetica e di campo elettrico inferiori ai limiti normativi vigenti, per cui non è stata individuata alcuna fascia di rispetto e gli edifici rurali eventualmente presenti possono considerarsi in sicurezza.

Alla luce di quanto esposto si ritiene che la progettazione delle opere di connessione, sia per l'ubicazione territoriale, sia per le sue caratteristiche costruttive, rispetteranno i limiti imposti dalla L. 36/2001 e del DPCM 8 luglio 2003 in tema di protezione della popolazione dagli effetti dei campi elettromagnetici, magnetici ed elettrici garantendo la salvaguardia della salute umana.

.....

