

REGIONE LAZIO
Provincia di LATINA

PROGETTO:

REALIZZAZIONE DELL' IMPIANTO AGROVOLTAICO "CACCIANOVA" DA
21.010,86 kWp E DELLE RELATIVE OPERE ED INFRASTRUTTURE
CONNESSE NEL TERRITORIO DEL COMUNE DI CISTERNA DI LATINA (LT)

Potenza Nominale Impianto: 21.010,86 kWp

Potenza Immissione: 19.000 kW

PROGETTO DEFINITIVO

TITOLO:

**RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA:
VALUTAZIONE PREVENTIVA DEI CAMPI MAGNETICI ED
ELETTROMAGNETICI GENERATI**

COMMITTENTE

 **sonnedix**
SONNEDIX SAN GABRIELE S.R.L.
Corso Buenos Aires, n. 54
20124 - Milano (MI)
P. IVA 12044350960
P.e.c. sxsangabriele.pec@maildoc.it

PROGETTISTA

Ing. Roberto DI MONTE



Gruppo di Lavoro: Ing. R. Di Monte, Arch. V. Lauriero, Dott. Geol. N. Pellecchia, Ing. S. Scaramuzzi, Prof. Dott. Agr. T. Vameralli

02					
01					
00	Emissione	21/02/22	Ing. Di Monte	Arch. Lauriero	Ing. Di Monte
Rev	Descrizione	Data	Eseguito	Verificato	Approvato
	Formato A4	SPAZIO RISERVATO AGLI ENTI			
	N. Pagine 24+copertina				
	DI MONTE Studio Tecnico Via Vittorio Veneto, 38 70128 - Bari Palese info@dimonte.eu				
	Commessa L2120	Documento Rel 09 VALUTAZIONE PREVENTIVA DEI CAMPI MAGNETICI ED ELETTROMAGNETICI GENERATI	N. Doc. Rel 09		

INDICE

1	PREMESSA	2
2	LE EMISSIONI ELETTROMAGNETICHE	3
3	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
3.1	Norme tecniche	4
3.2	Legislazione italiana	4
3.3	Definizioni e Abbreviazioni	4
3.4	Attuazione Normativa vigente	5
4	DESCRIZIONE DELL'OPERA	8
4.1	Inquadramento dell'opera	8
4.2	Caratteristiche generali dell'impianto agrovoltaiico.....	8
4.3	Connessione alla rete di distribuzione pubblica.....	9
4.3.1	Impianto di rete per la connessione	9
4.3.2	Impianto di rete utente per la connessione.....	9
4.4	Descrizione dell'impianto elettrico.....	10
4.5	Caratteristiche della rete elettrica	10
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	Valutazioni e Calcoli per le Cabine elettriche di Conversione e Trasformazione	13
5.3.1	Sbarre Quadri BT	13
5.3.2	Trasformatore MT/BT	14
5.4	Valutazioni e calcoli per gli Elettrodotti a MT interrati	15
5.5	Valutazione analitica dei campi magnetici generati dagli elettrodotti a MT interrati	16
5.5.1	Caso con n. 2 terne di cavi MT interrati di sezione 185 mm ²	17
5.6	Individuazione possibili ricettori	19
6	CONCLUSIONI	24

1 PREMESSA

Oggetto della seguente relazione è la valutazione preventiva dei campi elettromagnetici generati dagli impianti elettrici connessi alla realizzazione dell'impianto agrovoltaiico "Caccianova" di conversione dell'energia solare in energia elettrica tramite tecnologia fotovoltaica e le relative opere ed infrastrutture connesse da realizzarsi nel territorio del Comune di Cisterna di Latina (LT).

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.

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 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.

La progettazione è stata studiata utilizzando le tecnologie ad oggi presenti e disponibili sul mercato; considerando che la tecnologia fotovoltaica è in rapido sviluppo, dal momento della progettazione definitiva alla realizzazione dell'impianto le caratteristiche delle componenti principali (moduli fotovoltaici, inverter, strutture di supporto) potranno non essere più disponibili sul mercato e quindi potranno essere impiegate nella realizzazione tecnologie disponibili e più all'avanguardia, lasciando invariate le caratteristiche complessive e principali dell'intero impianto in termini di occupazione del suolo.

2 LE EMISSIONI ELETTROMAGNETICHE

I campi elettromagnetici consistono in onde elettriche (E) e magnetiche (H) che viaggiano insieme. Esse si propagano alla velocità della luce, e sono caratterizzate da una frequenza ed una lunghezza d'onda.

I campi ELF (Extremely Low Frequency) sono definiti come quelli di frequenza fino a 300 Hz. A frequenze così basse corrispondono lunghezze d'onda in aria molto grandi e, in situazioni pratiche, il campo elettrico e quello magnetico agiscono in modo indipendente l'uno dall'altro e vengono misurati e valutati separatamente.

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.

Ai fini dell'esposizione umana alle radiazioni non ionizzanti, considerando le caratteristiche fisiche delle grandezze elettriche in gioco in un impianto fotovoltaico (tensioni fino a 20.000 V, correnti continue o alternate a frequenza di 50 Hz) i campi elettrici e magnetici sono da valutarsi separatamente perché disaccoppiati.

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

- Impianto fotovoltaico: il termine "impianto fotovoltaico" o "impianto" verrà di seguito utilizzato per identificare l'insieme dei pannelli fotovoltaici, della cabina di raccolta, della cabina di trasformazione, della rete elettrica per il collegamento dei pannelli all'inverter di stringa (rete BT in CC), rete elettrica per il collegamento degli inverter al Quadro di BT AC della cabina di raccolta (rete BT in AC), della rete elettrica per il collegamento della cabina di trasformazione con l'adiacente cabina di consegna (rete MT), dell'impianto di videosorveglianza, dell'impianto di telecontrollo, degli impianti per servizi ausiliari, delle opere civili (recinzione viabilità ecc.) realizzate sull'area di impianto indicata negli elaborati grafici.
- Impianto per la connessione: l'"impianto per la connessione" è l'insieme degli impianti realizzati a partire dal punto di inserimento sulla rete esistente, necessari per la connessione alla rete di un impianto di produzione.
- Impianto di rete per la connessione: l'"impianto di rete per la connessione" è la porzione di impianto per la connessione di competenza del Gestore di Rete, compresa tra il punto di inserimento sulla rete esistente e il punto di connessione.

- 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;
- 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;

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 μT .

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 μT 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 dell'impianto fotovoltaico, così come riportato negli elaborati tecnici di progetto, saranno eseguiti secondo le norme di legge e le norme tecniche del CEI nonché, per la parte di connessione alla rete, secondo le disposizioni normative di Enel Distribuzione 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 corrispondenza del 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

L'impianto agrovoltaico sarà formato da due lotti adiacenti con potenza nominale complessiva di 21.010,86 kWp realizzato su suolo privato in Zona Agricola nel territorio del comune di Cisterna di Latina (LT) NCT Foglio 32 P.lle 22, 83, 86. I due lotti saranno collegati alla rete pubblica di distribuzione con linea in cavo interrato MT a 20 kV (circa 6500 m di cavidotto utente MT e 70 m di cavidotto MT e-distribuzione) nel comune di Cisterna di Latina (LT), con inserimento delle cabine di consegna MT/MT collegate in antenna sulla Cabina Primaria AT/MT "Cisterna".

Il tracciato dell'elettrodotto interrato segue il percorso come illustrato nelle tavole allegate.

4.2 Caratteristiche generali dell'impianto agrovoltaico

caratteristiche generali:

- potenza nominale dei moduli fotovoltaici installati pari a 21.010,86 kWp
- sottostruttura formata da tracker mono assiali (rotazione Est-Ovest)
- n° 34164 pannelli fotovoltaici, di cui 17056 del lotto 1 e 17108 del lotto 2, con dimensioni 2465x1134x35 mm
- N. 6 inverter con potenza da 4000 kVA, di cui 3 per il lotto 1 e 3 per il lotto 2
- N. 6 Trasformatore MT/BT da 5000 kVA, di cui 3 per il lotto 1 e 3 per il lotto 2
- n° 6 Cabine Container di Conversione e Trasformazione BT/MT (Tipo MV Power Station 4000 della SMA) posizionate all'interno del campo contenente l'inverter, il trasformatore BT/MT, i quadri MT e i quadri BT di comando/Ausiliari
- N. 2 Cabine di Ricezione MT prefabbricate posizionate, per ogni lotto, sull'area di impianto nei pressi del relativo accesso utile al sezionamento dell'impianto dall'elettrodotto di vettoriamento
- N. 2 locali prefabbricati adibiti a Sala Controllo per l'alloggio delle apparecchiature di controllo e monitoraggio dei relativi lotti di impianto
- N. 2 Locali prefabbricati adibiti a Magazzino per l'alloggio delle componenti di ricambio necessari alla manutenzione ordinaria dell'impianto
- rete MT interna al campo di collegamento delle Cabine di Trasformazione (Power Station) con la Cabina di Ricezione
- elettrodotto di vettoriamento in cavidotto interrato in doppia terna MT che collegherà l'impianto fotovoltaico, tramite la cabina di ricezione, al punto di connessione della cabina di consegna posizionata nei pressi della Cabina Primaria "Cisterna";
- rete elettrica a bassa tensione in corrente continua interna all'area di impianto per il collegamento delle stringhe ai quadri di parallelo stringhe
- rete elettrica a bassa tensione in corrente continua interna all'area di impianto per il collegamento dei quadri di parallelo stringhe agli inverter;
- rete telematica interna di monitoraggio in fibra ottica per il controllo dell'impianto agrovoltaico

mediante trasmissione dati via modem o satellitare;

- rete elettrica interna a bassa tensione per l'alimentazione dei servizi ausiliari di impianto (controllo, illuminazione, forza motrice, ecc.).
- Coltivazione di foraggio tra le file (come meglio riportato nella relazione specialistica agronomica)

4.3 Connessione alla rete di distribuzione pubblica

L'impianto agrovoltaiico, formato da due lotti, sarà connesso alla rete di distribuzione tramite la costruzione dell'impianto per la connessione, consistente in impianto di rete per la connessione del distributore e impianto di utenza per la connessione del produttore.

4.3.1 Impianto di rete per la connessione

L'impianto di rete per la connessione, permetterà di connettere i due lotti di impianto agrovoltaiico ai due punti di inserimento in antenna su stalli MT della Cabina Primaria "Cisterna". E come comunicato da e-distribuzione, con preventivo avente codice di rintracciabilità T0738927, sarà costituito da:

- n° 2 cabine di consegna MT con accesso libero da strada, come prescritto dalle norme e-distribuzione ognuna equipaggiata con quadro MT DY 900 di tipo L3, e n. 1 scomparto utente
- Linea in cavo sotterraneo in doppia terna da 240 mm²: 70 m
- Posa fibra ottica stesso scavo elettrodotta: 70 m

Si rimanda al progetto definitivo (PTO e-distribuzione) dell'impianto di rete allegato per meglio vedere i dettagli dei tracciati, particolari costruttivi e i particolari di posa degli elettrodotti.

I lavori previsti per la realizzazione della connessione sono i seguenti:

- posa delle cabine di consegna;
- posa nuovo elettrodotta interrato previa preparazione scavo;
- posa fibra ottica nello stesso scavo;
- montaggi elettromeccanici nelle cabine;
- montaggio dispositivi protezione (RG_DAT);
- montaggio dispositivo UP E MODULO GSM.

L'impianto di rete per la connessione costituirà parte integrante della rete elettrica di distribuzione, non sarà oggetto di dismissione a fine vita dell'impianto, sarà realizzato dalla società proponente ma gestito, esercito e mantenuto da e-distribuzione. Per questo è stato redatto il progetto definitivo (PTO e-distribuzione) da sottoporre a validazione del distributore.

4.3.2 Impianto di rete utente per la connessione

L'impianto di utenza per la connessione permetterà di vettoriare l'energia prodotta dall'impianto agrovoltaiico verso il punto di connessione coincidente con la cabina di consegna. Sarà costituito da:

- N. 2 Cabine di Ricezione poste sull'area di impianto che permetteranno di raccogliere l'energia prodotta dai singoli lotti e vettorarla, tramite cavidotto di vettoriamento MT, alla relativa cabina utente, nonché punto di connessione
- Elettrodotta di vettoriamento MT di lunghezza pari a 6500 m, formato da due terne di cavo interrato utile a vettoriare l'energia prodotta dall'impianto agrovoltaico verso il punto di connessione
- N. 2 Cabine Utente poste in adiacenza delle relative cabine di consegna per l'alloggio del dispositivo generale (DG) di impianto.

4.4 Descrizione dell'impianto elettrico

L'area dell'impianto fotovoltaico sarà interamente recintata.

Internamente al campo, lungo la viabilità, saranno ubicate le cabine elettriche dell'impianto realizzate in prefabbricati in cav e da container ad un solo piano fuori terra di dimensioni strettamente necessarie ad ospitare le apparecchiature elettriche (quadri elettrici ecc.). Come sempre accade per le cabine elettriche sarà regola realizzativa il collegamento dell'armatura metallica delle strutture all'impianto di terra.

La restante parte dell'area di impianto è a cielo aperto ed ospiterà l'impianto agrovoltaico e le strade di collegamento.

Tutti i principali cablaggi dell'impianto, in particolare i cavi MT sono in esecuzione interrata. In particolare, saranno in esecuzione interrata le dorsali di impianto e tutti i collegamenti elettrici di distribuzione all'interno della cabina elettrica.

Gli elettrodotti interni saranno in bassa tensione, corrente continua e corrente alternata, e in media tensione in corrente alternata.

I cablaggi tra i moduli fotovoltaici e tutti i cablaggi dell'impianto di produzione fino all'inverter, sono eserciti in **corrente continua**. Infatti, i moduli fotovoltaici trasformano l'energia del sole in energia elettrica in corrente continua. La tensione massima della sezione in corrente continua è da progetto fino a 1500 V (tensione in ingresso all'inverter).

Sugli inverter avviene la conversione dell'energia elettrica prodotta da corrente continua a bassa tensione a corrente alternata trifase a bassa tensione (600 V) che poi viene trasformata in tensione a 20.000 V nell'adiacente scomparto di trasformazione.

Generalmente la massima producibilità del sistema fotovoltaico sul lato BT in corrente alternata ha un'efficienza al max dell'86% rispetto all'energia producibile nominale del sistema ai morsetti dei moduli in condizioni standard di funzionamento.

A vantaggio di sicurezza per il calcolo del limite di esposizione si utilizzeranno le potenze nominali degli apparati elettrici principali, ovvero la potenza nominale del trasformatore elevatore MT/BT.

4.5 Caratteristiche della rete elettrica

La rete elettrica da realizzare è divisa in sezioni in base alla tensione di esercizio:

- a. *Bassa tensione* in corrente continua (inferiore a 1,5 kV) tra i moduli FV e l'inverter;
- b. *Bassa tensione* in corrente alternata (600 V AC inferiore a 1 kV) tra gli inverter e il trasformatore;
- c. *Media Tensione* (20 kV) tra le cabine di trasformazione e quelle di consegna e tra le cabine di consegna e il punto di inserimento; tali condutture sono tutte realizzate in esecuzione interrata secondo la norma CEI 11-17. Particolari realizzativi di questa sezione di rete sono:
 - utilizzo di cavi unipolari a campo elettrico radiale singolarmente schermati con gli schermi aterrati ad entrambe le estremità, cordati (intrecciati) 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 fotovoltaico, essendo l'accesso all'impianto ammesso esclusivamente a personale lavoratore autorizzato, non trova applicazione il DPCM 8 luglio 2003.

Invece per le aree esterne a ridosso dell'impianto e nelle vicinanze delle opere di rete per la connessione vanno verificati i limiti di esposizione, secondo 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 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 20.000 V e che i campi elettrici sono schermati dal suolo, dalle recinzioni, dalle pareti delle cabine elettriche, 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 le possibili sorgenti emmissive e le loro caratteristiche.

Una prima sorgente emmissiva è rappresentata dal generatore fotovoltaico e dai relativi cavidotti di collegamento con la cabina elettrica dove avviene la conversione e 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 stringa fino agli inverter saranno posati lungo le file dei moduli 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 μT** , valore 400 volte più alto dell'equivalente per la corrente a 50 Hz;

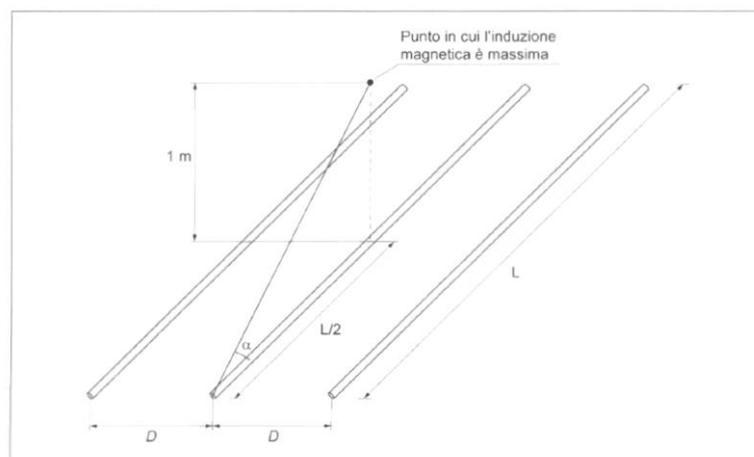
si può certamente escludere il superamento dei limiti di riferimento dei valori di campo magnetico statico dovuti alla sezione in corrente continua.

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

5.3 Valutazioni e Calcoli per le Cabine elettriche di Conversione e Trasformazione

5.3.1 Sbarre Quadri BT

Per la valutazione dei campi generati dalle sbarre di bassa tensione, contenute nel quadro BT, 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:



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

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

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

L (m)	D (cm)	I				
		100 A	200 A	500 A	1000 A	4000 A
1	10	1,5	3,1	7,7	15,3	61,3
2	10	2,4	4,9	12,1	24,3	1226
5	10	3,2	6,4	15,9	31,8	306
10	10	3,4	6,7	16,8	33,6	612

Dalla tabella risulta che l'induzione aumenta con la lunghezza L, ma oltre i 5 m l'aumento diventa trascurabile. Tali valori sono compatibile, 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.

Nel nostro caso specifico il quadro BT potrebbe essere costruito avendo le sbarre lunghe 1 m e tipica distanza tra esse di 10 cm, l'induzione magnetica non supererebbe i 61,3 uT per quadri con corrente nominale da 4000 A (la corrente nominale del singolo inverter in bassa tensione non supera i 3850 A a Pmax=4000 kVA e 600 V), compatibile con la legislazione vigente.

5.3.2 Trasformatore MT/BT

Il valore dell'induzione magnetica (B) decresce rapidamente al crescere della distanza dal trasformatore.

Per distanze comprese tra 1 m e 10 m da un trasformatore si può calcolare il valore di dell'induzione magnetica B (μT) con la formula:

$$B = 5 \cdot \frac{U_{cc}}{6} \cdot \sqrt[2]{\frac{S_r}{630}} \cdot \left(\frac{3}{a}\right)^{2,8}$$

U_{cc} = Tensione percentuale di cortocircuito

S_r = Potenza nominale del trasformatore (kVA)

a = distanza dal trasformatore (m)

Si riporta in tabella l'induzione magnetica prodotta dai trasformatori MT/BT in resina della potenza di 5000 kVA e tensione di corto circuito 6%.

Potenza trasformatore	Distanza dal trasformatore					
	1 m	2 m	3 m	5 m	6 m	10 m
5000 kVA	342,7 μT	49,2 μT	15,8 μT	3,78 μT	2,3 μT	0,54 μT

Come si vede dai valori ottenuti già ad una distanza di 6 m si è al disotto dei 3 μ T.

I valori ottenuti sono compatibili con la legislazione sia all'interno che all'esterno dell'impianto. In un buffer di 6 m sulle cabine container che contengono il trasformatore MT/BT di potenza, non sono presenti luoghi adibiti a permanenza non inferiore a 4 ore giornaliere, come abitazioni, asili ecc.

5.4 Valutazioni e calcoli per gli Elettrodotti a MT interrati

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

Il percorso degli elettrodotti interrati interesserà l'area di impianto, e viabilità esistente e i fabbricati esistenti si trovano a distanze trascurabili rispetto al tracciato degli scavi.

Studi recenti hanno dimostrato che la fascia di rispetto per un cavo interrato MT ad elica visibile – sez. 185 mm² – In 324 A si calcola essere di 0,70 m, fascia di rispetto di gran lunga inferiore alla distanza che separa l'elettrodotto da fabbricati vicini.

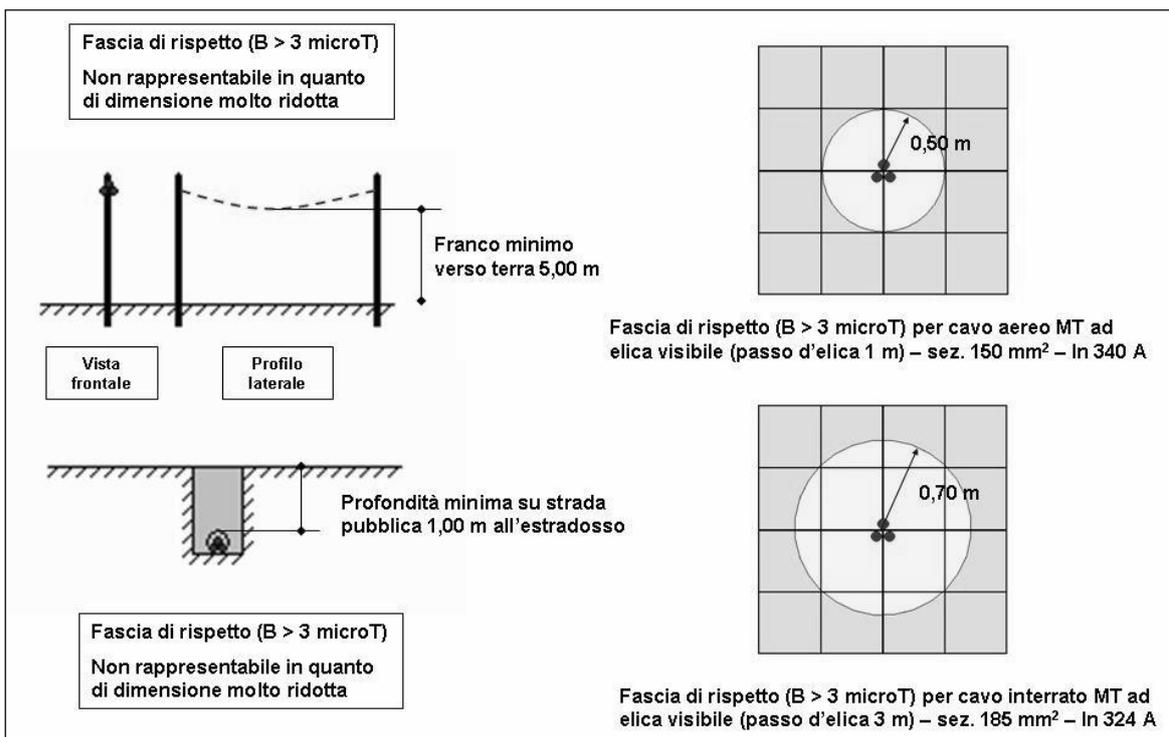


Figura 1 - Curve di livello dell'induzione magnetica generata da cavi cordati ad elica - calcoli effettuati con il modello tridimensionale "Elico" della piattaforma "EMF Tools", che tiene conto del passo d'elica.

Nelle tavole allegate sono riportati il percorso dell'elettrodotto interrato e la posizione delle cabine di consegna.

La linea interrata è costituita: internamente all'impianto da massimo una terna di cavi disposti ad elica visibile isolati in XLPE, sigla commerciale ARE4H1RX 12/20 kV, di sezione 185 mm²; esternamente, invece, da max due terne di cavi del tipo ARE4H5EX di sezione 185 mm², indicate nello schema unifilare allegato.

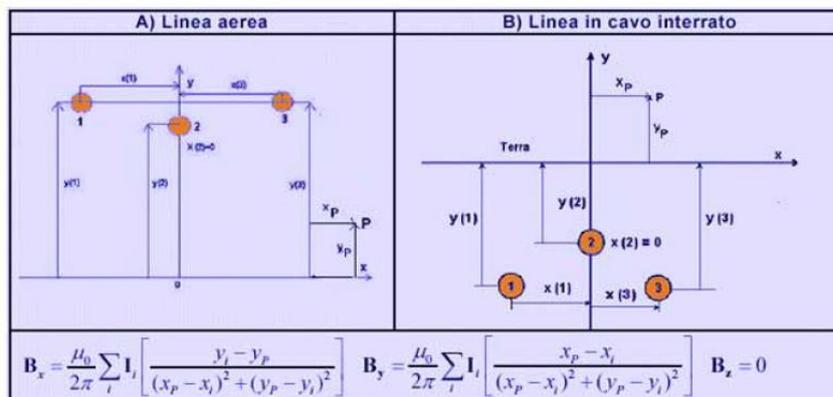
5.5 Valutazione analitica dei campi magnetici generati dagli elettrodotti a MT interrati

La valutazione è effettuata nei riguardi dell'elettrodotto interrato oggetto del presente progetto, considerando 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.

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:



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

Estendendo il calcolo ad una serie di punti su una retta orizzontale ad una quota fissata rispetto al suolo, si ricava il profilo dell'induzione magnetica in funzione della distanza dall'asse della linea interrata.

In corrispondenza del punto centrale si rileva il valore massimo del campo magnetico, pertanto avendo fissato come valore di riferimento per la fascia di rispetto quello di $3 \mu T$, e ricercando la distanza dal suolo alla quale si ottiene nel punto di massimo proprio tale valore, è possibile calcolare la fascia di rispetto da applicare all'elettrodotto.

Nel calcolo in oggetto si è tenuto conto anche dell'effetto di "polarizzazione ellittica" del campo magnetico (descritto nell'appendice della norma CEI 211-4), dovuto alla presenza delle tre sorgenti costituite dai tre cavi della linea trifase. Si è quindi valutata l'induzione magnetica corrispondente al semiasse maggiore dell'ellisse di polarizzazione.

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.

Si precisa che il valore di corrente inserito nei calcoli è quello della portata nominale dei cavi, di gran lunga superiore a quello realmente erogabile dall'impianto fotovoltaico.

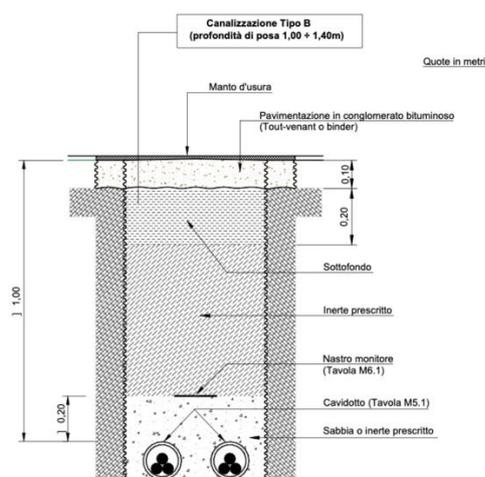
Inoltre si deve osservare che i cavi cordati ad elica di media tensione sono costituiti da cavi unipolari avvolti reciprocamente a spirale, quindi la ridotta distanza tra le fasi e la loro continua trasposizione, dovuta alla cordatura, fa sì che l'obiettivo di qualità di $3 \mu T$, anche nelle condizioni di "portata nominale", venga raggiunto già a brevissima distanza ($50 \div 80$ cm) dall'asse del cavo stesso.

I calcoli sono comunque stati effettuati considerando la semplice posa a trifoglio, ipotesi a favore della sicurezza.

5.5.1 Caso con n. 2 terne di cavi MT interrati di sezione 185 mm^2

Il caso peggiore da valutare è quello dell'elettrodotto utente MT a 20 kV formato da due terne interrate di cavi con sezioni da 185 mm^2 .

Come si vede dalle tavole allegate il percorso seguirà, per 6500m, solo viabilità pubblica.



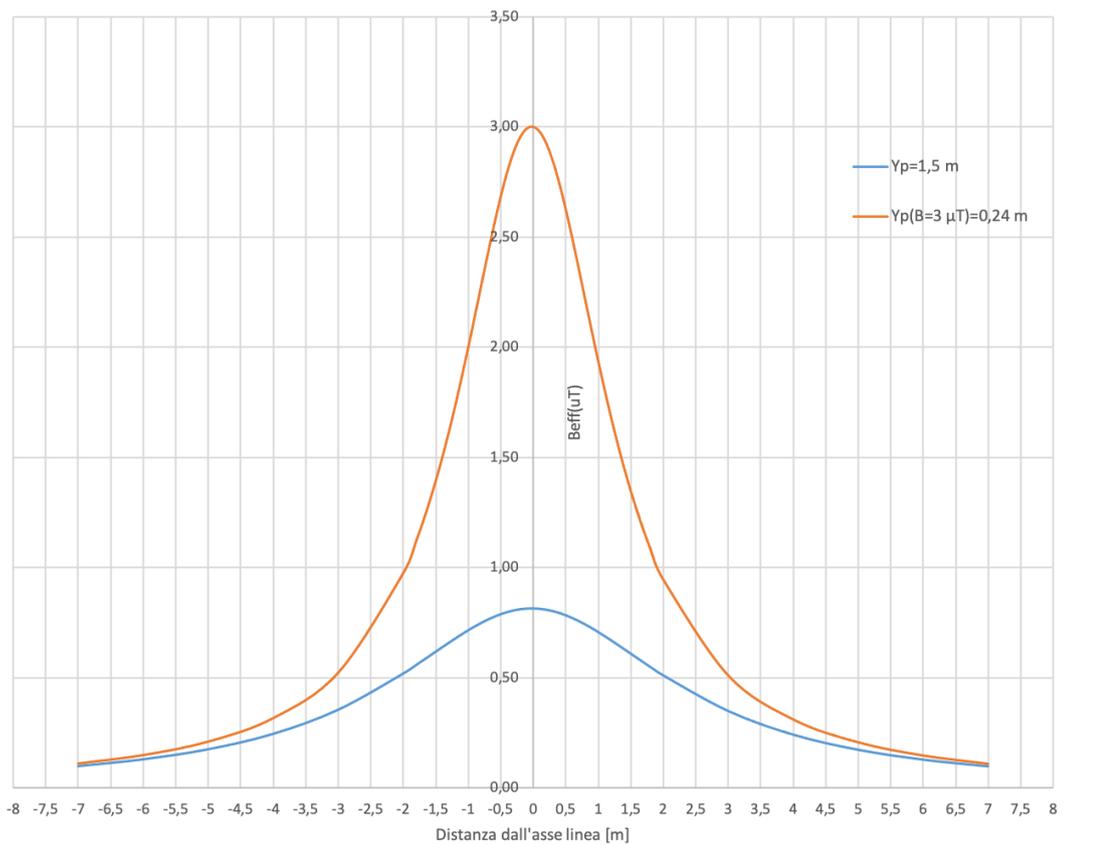
Sezione Scavo tipo

Per i dati elettrici si sono usati i seguenti valori:

- Portata massima del cavo, come da specifiche e-distribuzione: 324 A
- Sezione cavo: 185 mm²
- Profondità di posa 1,1 m
- Diametro conduttore 35 mm
- Interasse delle due terne 25 cm

Applicando le formule su descritte e con i dati in nostro possesso, si è calcolata la distanza di rispetto entro cui il valore di induzione magnetica supera i 3 μT dettati dalla normativa oggi in vigore.

Qui di seguito viene riportato il profilo di induzione magnetica di due terne di sezione 185 mm² calcolata ad una altezza dal livello del suolo di 1,5 m, altezza inferiore a quella media di un essere umano e un secondo profilo ad un'altezza di 24 cm dal piano campagna. Dal profilo in blu si evince che in corrispondenza dell'asse dei cavi non si raggiungeranno mai i 3 μT ad un'altezza di 1,5 m.



Profilo dell'induzione magnetica calcolata a $Y_p=1,5$ m di altezza dal suolo e a 24 cm sopra il piano campagna.

Sezione cavo 185 mm², corrente nominale 324 A. Si nota come le ipotesi assunte per il calcolo siano addirittura conservative.

L'altro profilo è quello che ci fa ricavare il raggio massimo della DPA in corrispondenza dei $3 \mu\text{T}$.

Di seguito si riporta un grafico con la determinazione della DPA.

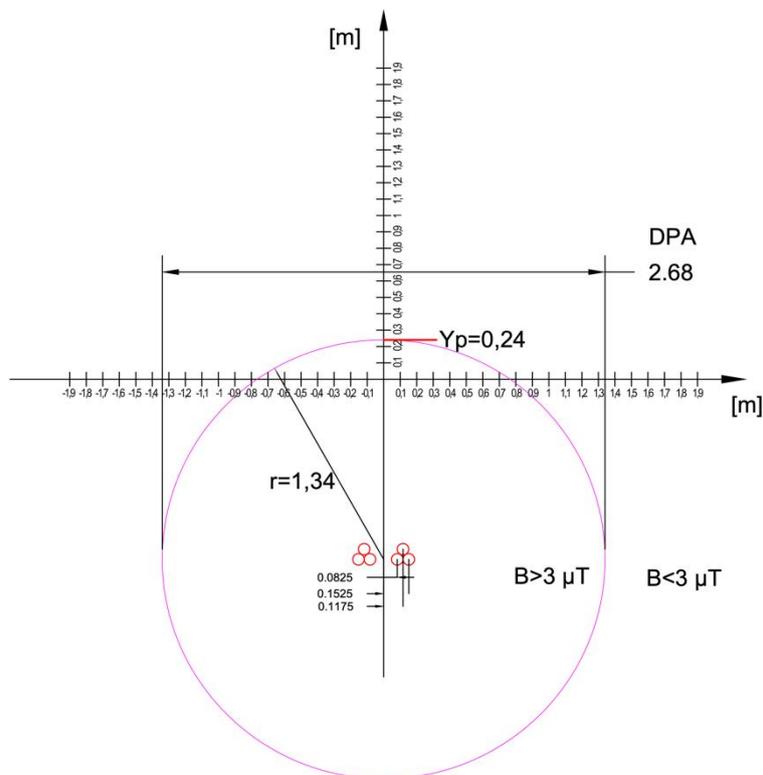


Grafico Calcolo DPA

Alla luce di quanto esposto, e a vantaggio di sicurezza si ritiene comunque di adottare una fascia di rispetto pari alla **DPA=2,7 m**. Per tutto il tracciato dell'elettrodotta, in tale fascia, non sono presenti luoghi adibiti a permanenza non inferiore a 4 ore giornaliere, Come abitazioni, asili ecc.

5.6 Individuazione possibili ricettori

Nell'intorno dell'area di impianto e lungo il tracciato del cavidotto di connessione si sono rilevati possibili ricettori. I ricettori sensibili, su cui si è concentrato lo studio degli effetti dei campi magnetici, sono gli edifici o unità abitative regolarmente censite e stabilmente abitate, così come verificato nel corso dei sopralluoghi.

Di seguito si riporta un'indicazione su ortofoto dei ricettori sensibili con un identificativo numerico della zona approfondita e della fascia di rispetto dagli elettrodotti e dalle cabine elettriche.



Planimetria con fasce DPA e individuazione recettori

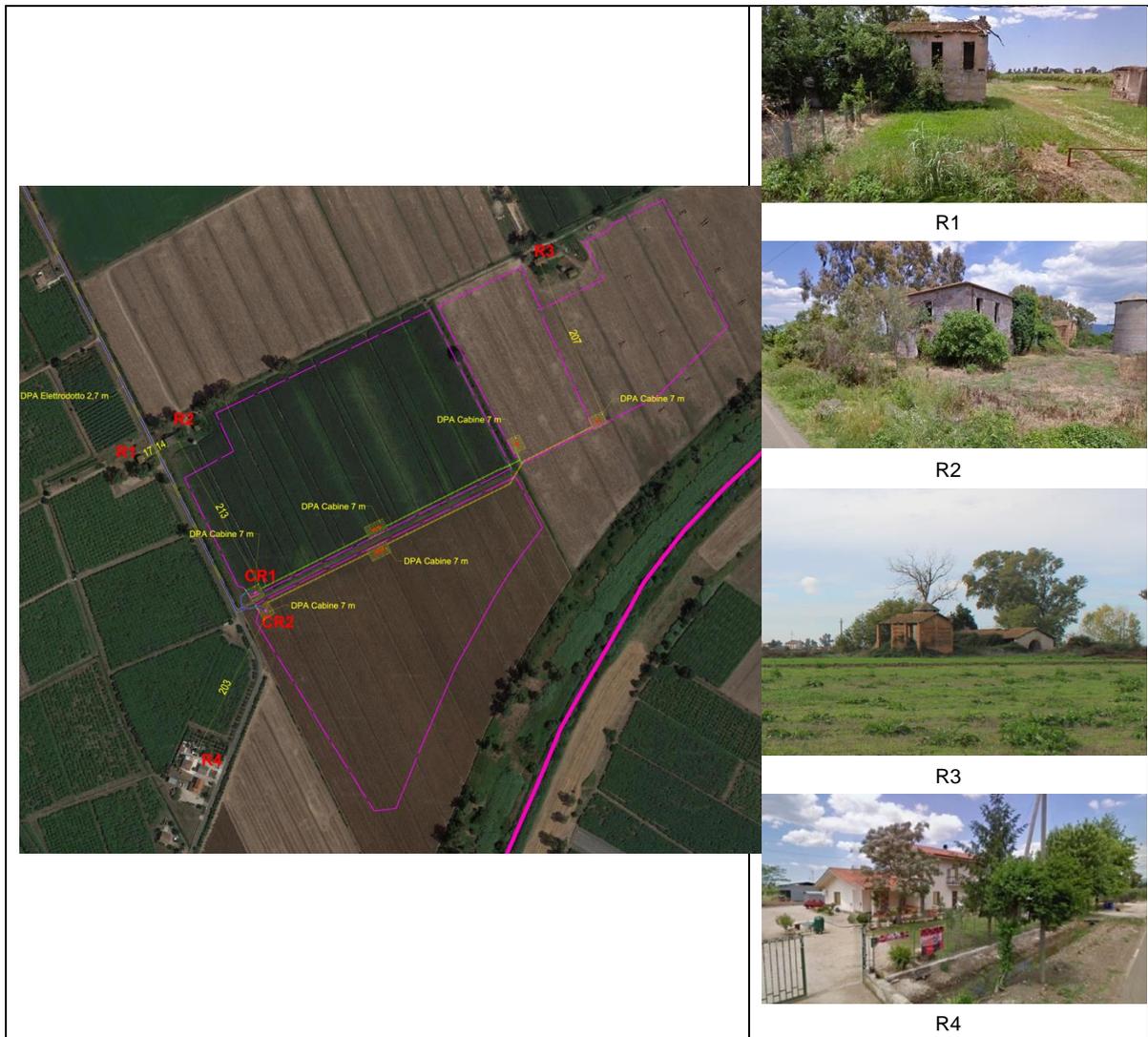


Tabella – Foto Individuazione dei ricettori sensibili scelti in prossimità dell’impianto



Tabella – Foto Individuazione dei ricettori zona R5



Tabella – Foto Individuazione dei ricettori zona R6



Tabella – Foto Individuazione dei ricettori zona R7/8

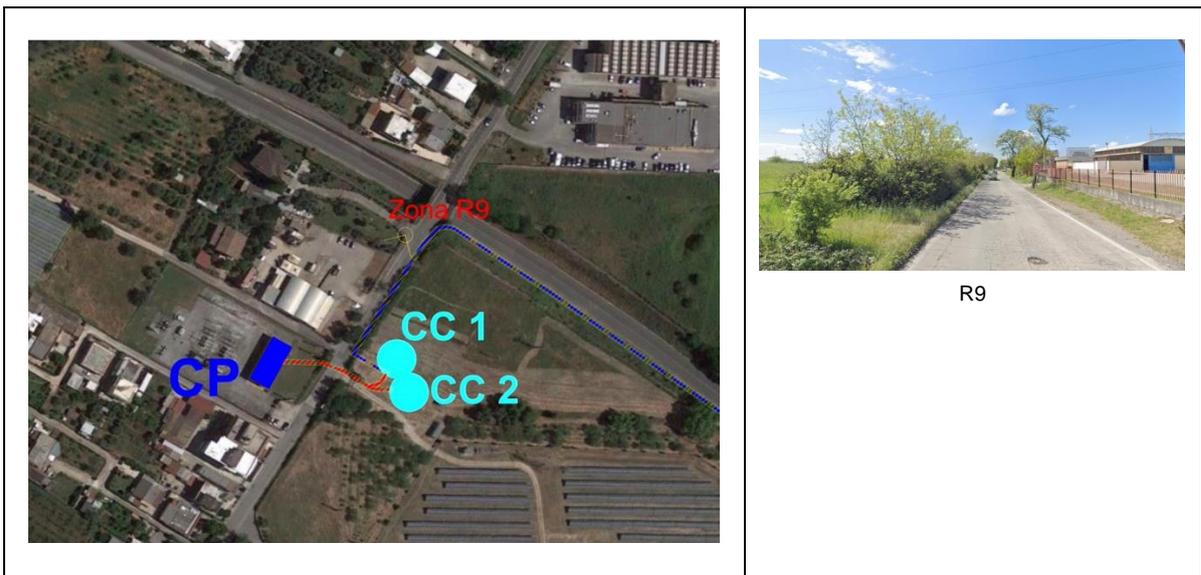


Tabella – Foto Individuazione dei ricettori zona R9

6 CONCLUSIONI

A seguito delle valutazioni preventive eseguite per ogni sezione della rete elettrica e riportate nei paragrafi precedenti, si possono trarre le seguenti considerazioni:

- la disposizione dell'impianto, nonché il posizionamento dei relativi dispositivi elettrici di comando a bassa e media tensione (cabine elettriche) risultano posizionati a debita distanza da immobili sensibili, quali possibili abitazioni, come si vede dai recettori individuati; la valutazione riportata al paragrafo 5.3 conferma che l'induzione dovuta al trasformatore di trasformazione e al quadro di bassa tensione, posti all'interno delle cabine dell'impianto, è al di sotto dei $3 \mu T$ già a 7 m di distanza. Come da rilievi riportati precedentemente nessuna abitazione si trova in tale fascia.
- lungo il percorso del nuovo cavidotto MT interrato in nessun caso, come da rilievi riportati precedentemente, gli immobili si trovano all'interno delle fasce di rispetto calcolate (1,35 m asse dal tracciato).

Alla luce di quanto esposto si ritiene che il progetto dell'impianto fotovoltaico con le relative opere di connessione, sia per l'ubicazione territoriale, sia per le sue caratteristiche costruttive, rispetterà 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.
