

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO IMPIANTO AGRIVOLTAICO
E DELLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RTN
LOCALITA' LAMA PAGLIARA
COMUNE DI RUVO DI PUGLIA (BA)
DENOMINAZIONE IMPIANTO - PVA004 RUVO LAMA PAGLIARA
POTENZA NOMINALE 12.7 MW

PROGETTO DEFINITIVO - SIA

PROGETTAZIONE E SIA

HOPE engineering

ing. Fabio PACCAPELO

ing. Andrea ANGELINI

arch. Gaetano FORNARELLI

dott.ssa Anastasia AGNOLI

Studio ALAMI

Arch.Fabiano SPANO

Arch. Valentina Marta RUBRICHI

Arch. Susanna TUNDO

AGRONOMIA E STUDI COLTURALI

dott.ssa Lucia PESOLA

STUDI SPECIALISTICI E AMBIENTALI

MICROCLIMATICA

dott.ssa Elisa GATTO

ARCHEOLOGIA

dott.ssa Domenica CARRASSO

GEOLOGIA

Apogeo Srl

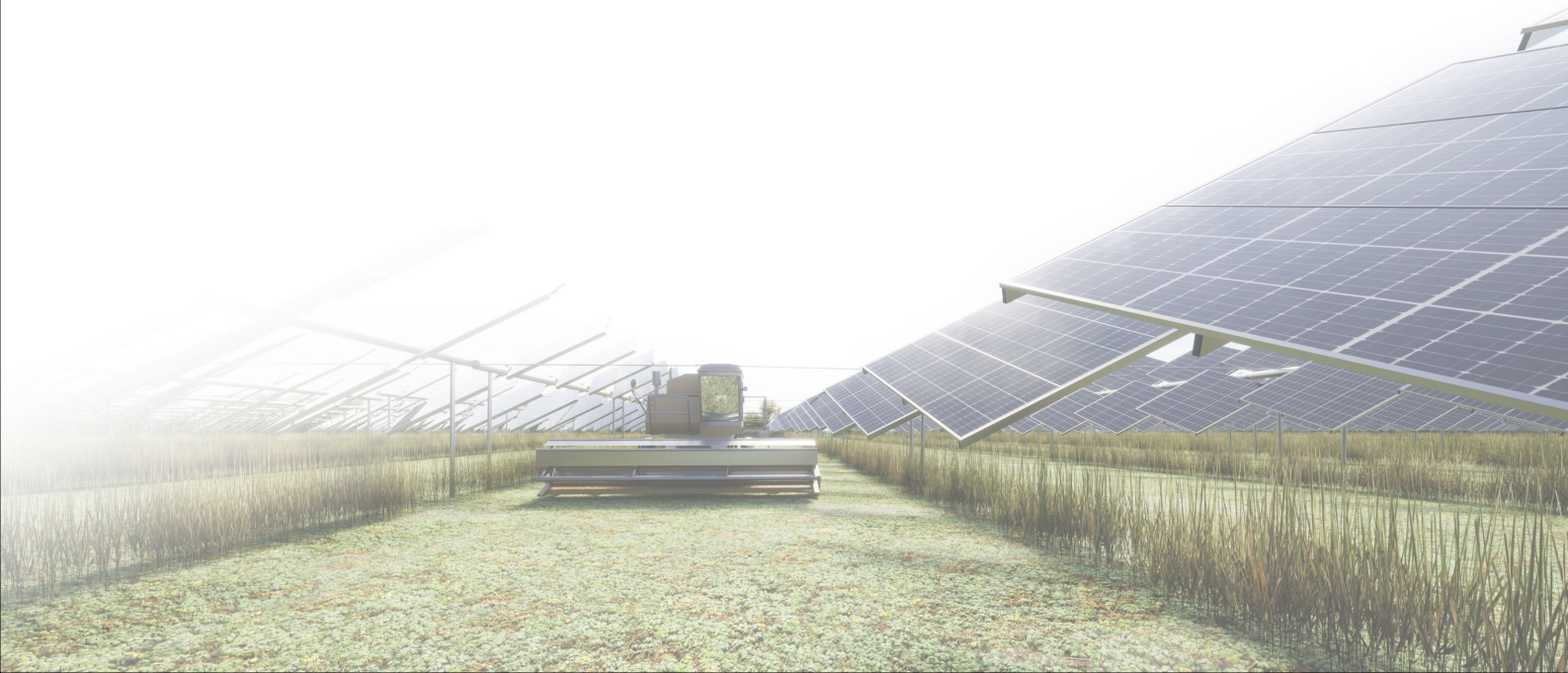
ACUSTICA

dott.ssa Sabrina SCARAMUZZI

R.2 RELAZIONI SPECIALISTICHE

R.2.13 Relazione sui campi elettromagnetici

REV.	DATA	DESCRIZIONE
	12-23	prima emissione



INDICE

1	PREMESSA	1
2	LE EMISSIONI ELETTROMAGNETICHE	2
3	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	3
3.1	NORME TECNICHE	3
3.2	LEGISLAZIONE ITALIANA	3
3.3	DEFINIZIONI E ABBREVIAZIONI	3
3.4	ATTUAZIONE NORMATIVA VIGENTE	4
4	DESCRIZIONE DELL'OPERA	7
4.1	INQUADRAMENTO DELL'OPERA	7
4.2	IMPIANTO DI GENERAZIONE	7
4.3	ELETTRODOTTI MT	9
4.4	CARATTERISTICHE DELLA RETE ELETTRICA	9
5	VALUTAZIONE PREVENTIVA CAMPI ELETTRICI E MAGNETICI	10
5.1	APPLICAZIONE DELLA NORMATIVA SULLA TUTELA DELLA POPOLAZIONE	10
5.2	CRITERI DI VALUTAZIONE	10
5.3	POWER STATION	11
1.	5.3.1 SBARRE INVERTER BT	11
2.	5.3.2 POWER STATION E CABINA DI RACCOLTA	12
5.4	ELETTRODOTTI INTERRATI	14
5.4.1	CASO CON N. 3 TERNE DI CAVI MT INTERRATI DI SEZIONE 50 MM ²	15
5.4.2	CASO CON UNA TERNA IN MT INTERRATA DI SEZIONE 400 MM ²	20
6	CONCLUSIONI	27



1 PREMESSA

Oggetto della seguente relazione è la valutazione preventiva dei campi elettromagnetici generati dagli impianti elettrici dell'impianto fotovoltaico su cava della potenza nominale pari a circa **12.712,08 kWp**, ricadente sul territorio comunale di Ruvo di Puglia nella Provincia di Bari (BA).

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 Power Station MT/BT e cabina di raccolta;
- Cavidotti di vettoriamento MT a 36 kV per la connessione dei sottocampi individuati con la Cabina di raccolta e di quest'ultima con la nuova Stazione Elettrica a 150/36 kV della RTN.

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 Barbara Energia S.r.l.**, facente parte del Gruppo Hope, con sede in Milano, Via Lanzone,31 intende realizzare un impianto fotovoltaico su cava dismessa avente codice pratica **202300492**, avente potenza nominale dei moduli fotovoltaici pari a **12.712,08** kWp, ricadente sul territorio comunale di Ruvo di Puglia nella Provincia di Bari (BA).

Il progetto definitivo comprende le opere necessarie alla connessione alla Rete di Trasmissione Nazionale, progettate in base alla **STMG** rilasciata dalla società di gestione Terna S.p.A. e regolarmente accettata dal Proponente.

La conversione fotovoltaica consiste nella trasformazione diretta dell'energia solare in energia elettrica mediante dispositivi a stato solido, prodotti con metodi affini a quelli impiegati nell'industria elettronica. Essa mostra la più elevata efficienza di conversione dell'energia solare primaria in elettricità rispetto alle altre tecnologie rinnovabili.

La tecnologia fotovoltaica appare, nel lungo periodo, quella che consente lo sfruttamento più promettente e su grande scala delle fonti rinnovabili, soprattutto in Paesi come l'Italia, con alti livelli di insolazione e un potenziale energetico fotovoltaico pari a 47.000 miliardi di kWh/anno¹.

L'impianto è denominato "PVA004 – Ruvo Lama Pagliara" riprendendo il nominativo della località su cui esso sarà installato.

Dal punto di vista elettrico si prevede la realizzazione di:

1. Impianto agrovoltaiico;
2. Elettrodotti MT (36 kV) di collegamento tra le Power Station raggruppati in tre linee di vettoriamento e la cabina di raccolta e smistamento;
3. Elettrodotto MT (36 kV) di vettoriamento per la connessione dell'impianto di produzione dalla cabina di raccolta alla nuova Stazione Elettrica (SE) della RTN a 150/36 kV.

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

Il tracciato degli elettrodotti interrati ricade per la maggior parte all'interno della viabilità pubblica, attraversando suolo privato per brevi tratti.

4.2 IMPIANTO DI GENERAZIONE

L'impianto fotovoltaico per la produzione di energia elettrica in oggetto è suddiviso essenzialmente in tre aree, all'interno del quale sono disposti i tracker e le cabine Power Station, denominate a seconda dell'area di appartenenza:

¹ Bilancio Energetico 2018



Layout aree di impianto

Il campo fotovoltaico sarà composto da 17664 moduli di potenza unitaria pari a 720 W e riuniti in stringhe.

Le stringhe sono costituite da moduli connessi in serie in modo da non superare una tensione a vuoto di 1500 Vdc anche in condizioni di basse temperature (il calcolo è stato fatto per una temperatura minima di -5°C).

In ciascun sottocampo le stringhe saranno realizzate collegando in serie 24 moduli e collegate al quadro di parallelo stringhe prima di essere collegate all'inverter centralizzato della relativa Power Station.

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 delle Power Station poggiate 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. Una esigenza tecnica è rappresentata dalla ricerca del miglior accoppiamento possibile tra i livelli di tensione del generatore fotovoltaico con quelli del convertitore cc/ca, per il quale si registra un aumento dell'efficienza al diminuire del rapporto tra tensione di ingresso e uscita. Si osserva, innanzitutto, che quanto più alta è la tensione di lavoro,

tanto minori risultano essere, a parità di potenza, le correnti in gioco nel circuito, determinando minori perdite elettriche.

4.3 ELETTRODOTTI MT

La raccolta e il vettoriamento dell'energia elettrica prodotta avviene mediante cavi interrati MT che collegano le Power Station alla cabina di raccolta attraverso tre linee di vettoriamento, come si può verificare da schema unifilare. Inoltre, si è predisposto un cavidotto MT di vettoriamento tra la cabina di raccolta e la nuova Stazione Elettrica della RTN a 150/36 kV per il trasporto dell'energia elettrica prodotta dal campo fotovoltaico alla suddetta stazione e per l'immissione in Rete. Si riassumono le caratteristiche dei sopra citati cavidotti:

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

La rete di vettoriamento esterna che collega l'impianto fotovoltaico tramite la cabina di raccolta alla nuova Stazione Elettrica (SE) della RTN a 150/36 kV, si sviluppa per una lunghezza di circa 14,5 km, è composta da 2 linee elettriche di sezione pari a 400 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 CARATTERISTICHE DELLA RETE ELETTRICA

La rete elettrica da realizzare, per l'impianto fotovoltaico 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* (36 kV) tra le varie Power Station dell'impianto fotovoltaico e la cabina di raccolta e per la connessione dell'intero impianto da quest'ultima alla Stazione Elettrica 150/36 kV; 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 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.

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.

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 36.000 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 sulla Power Station 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 delle Power Station 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).

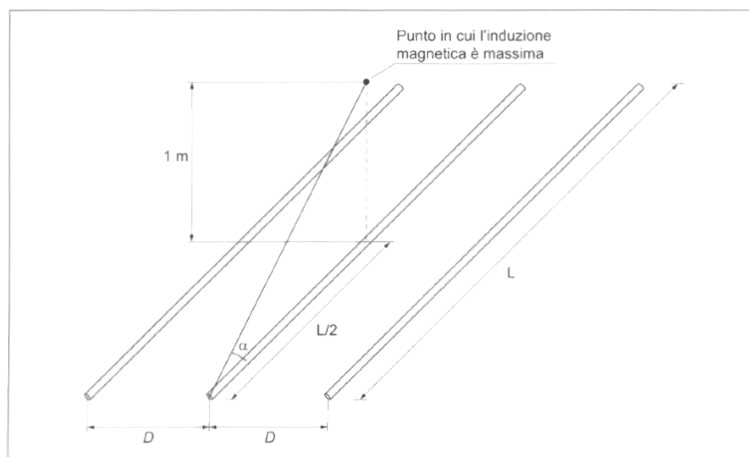
Diverso è invece il caso delle sbarre in rame dei quadri elettrici BT o degli inverter, dove la disposizione delle tre fasi in piano e le elevate correnti determinano campi magnetici elevati soprattutto nelle immediate vicinanze. Discorso analogo vale per il trasformatore elevatore.

5.3 POWER STATION

1. 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 valore²:

² 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.

2. 5.3.2 POWER STATION E CABINA DI RACCOLTA

All'interno del Campo Fotovoltaico sono presenti n.3 cabine elettriche (nel nostro caso Power Station SMA) suddivise nelle tre aree di impianto localizzate.

Ognuna è comprensiva di n. 1 Quadro MT (QMT), di n°1 Trasformatore di potenza con rapporto di Trasformazione 36/0,63 kV, n.1 QBT il tutto montato e cablato su apposita Power Station predisposta.

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 della power station, 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 (caso peggiore), il cui valore della corrente massima lato BT alla tensione di 630 V è calcolato come segue:

$$I = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \varphi} = \frac{4000 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 630} = 3.665,72 \text{ A}$$

Supponendo che i cavi in uscita al trasformatore abbiano una sezione pari a 400 mm², con più conduttori in parallelo e diametro esterno pari a circa 51 mm, si ottiene una D.P.A. pari a:

$$D.p.a. = 0,40942 \cdot \sqrt{3665,72} \cdot (0,051)^{0,5241} = 5,21 \text{ m}$$

arrotondata per eccesso a D.p.a. = 5,5 m.

Saranno pertanto previste attorno alle Power Station delle fasce di terreno di 5,5 m mantenuta libera da qualsiasi struttura. All'esterno di quest'area il campo di induzione magnetica è inferiore all'obiettivo di qualità di 3 µT riferendoci alla corrente in bassa tensione del trasformatore della tipica power station prevista 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 quattro 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 fotovoltaico e dalle relative opere infrastrutturali, si sono tratte le opportune considerazioni relativamente all'impatto di tipo elettromagnetico sulla eventuale presenza umana.

Il percorso dell'elettrodotto di vettoriamento, partendo dalla cabina di raccolta presente all'interno dell'impianto, interesserà parte di strade vicinali e comunali nei Comuni di Ruvo di Puglia (BA). Il cavidotto di vettoriamento MT a 36 kV interrato in banchina interesserà diversi tratti asfaltati. In particolare, partirà percorrendo una parte della Strada Vicinale Alfieri per proseguire verso Regio Tratturello Canosa Ruvo. Interesserà parte della Strada Vicinale Spinazzola Bitonto per finire nel tratto della SP89 permettendo il raggiungimento della Stazione Elettrica 150/36 kV della RTN.

Nel tratto di vettoriamento sarà presente una sola terna, con cavo disposto ad elica visibile isolato in XLPE, sigla commerciale ARE4H5ER 36 kV, di sezione massima pari a 400 mm².

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.

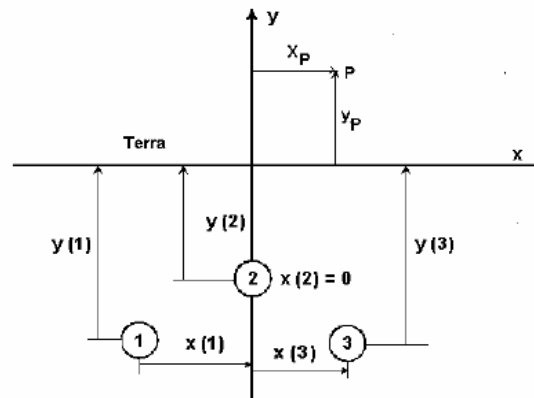
All'interno del parco agrovoltaco le linee interrate sono costituite da collegamenti tra le Power Station e la cabina di raccolta con al massimo tre terne affiancate all'interno del medesimo scavo, con cavo tripolare disposto ad elica visibile isolato in XLPE, sigla commerciale ARE4H5ER 36 kV, di sezione massima pari a 50 mm².

La valutazione è effettuata sia sul cavo di vettoriamento che sui cavi di collegamento tra le Power Station e la cabina di raccolta. 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.

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].

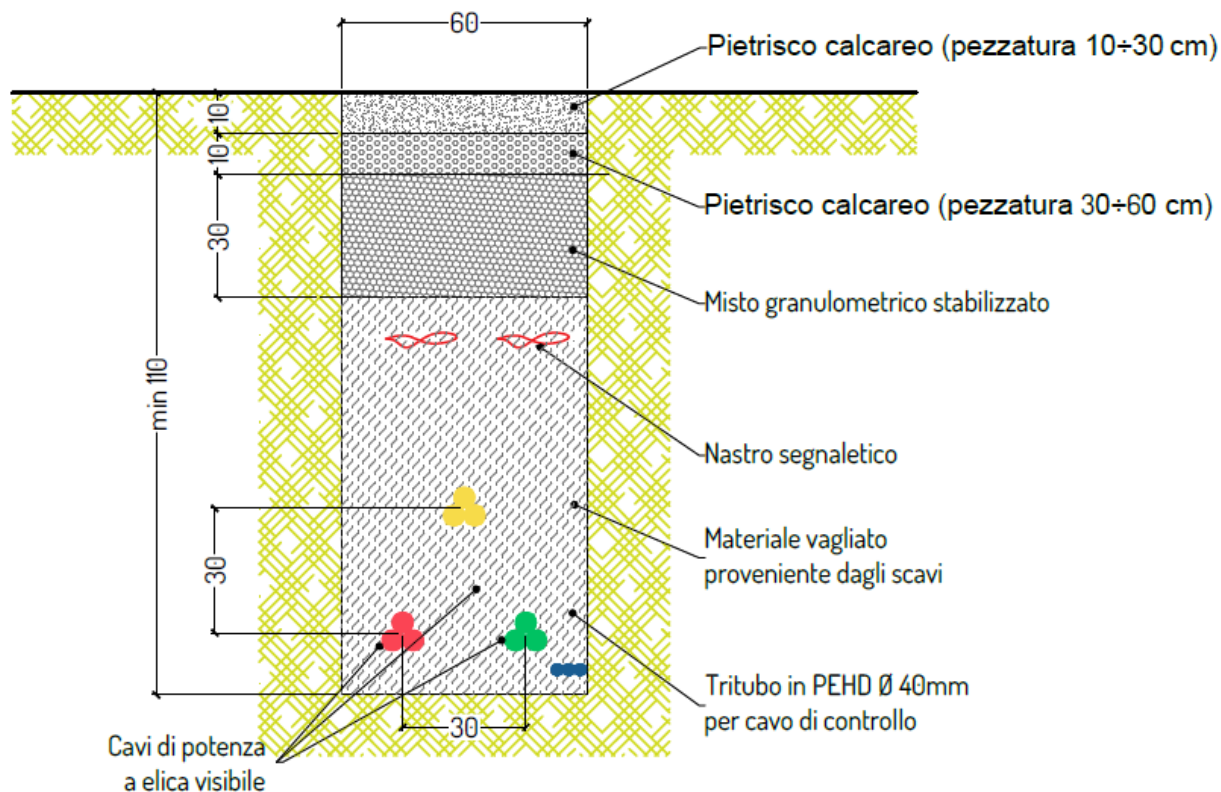
Considerata la natura vettoriale del campo magnetico è possibile sommare i contributi dovuti alle singole terne e calcolare, attraverso il modello semplificato, il valore del campo magnetico nello spazio circostante l'elettrodotto.

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. 3 TERNE DI CAVI MT INTERRATI DI SEZIONE 50 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 tre terne sono formate da cavi tripolari da 50 mm². Nei calcoli

si è considerata la corrente massima erogata dai sottocampi di impianto che interessano terne di vettoriamento dell'energia prodotta dalle Power Station alla cabina di raccolta.

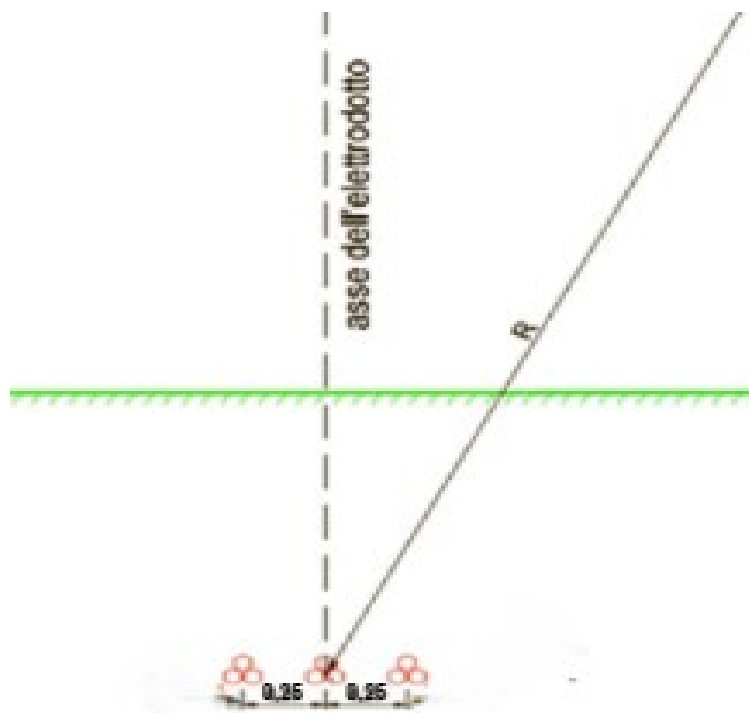


Tipologia di posa per cavidotto di vettoriamento MT su strada bianca

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

$$B = 0,1 \cdot \sqrt{6} \cdot \frac{S_1 \cdot I_1}{(x_p - x_1)^2 + (y_p - y_1)^2} + 0,1 \cdot \sqrt{6} \cdot \frac{S_2 \cdot I_2}{(x_p - x_2)^2 + (y_p - y_2)^2} + 0,1 \cdot \sqrt{6} \cdot \frac{S_3 \cdot I_3}{(x_p - x_3)^2 + (y_p - y_3)^2}$$

dove B [μ T] è l'induzione magnetica in un generico punto distante R [m] dal centro del sistema (baricentro delle tre 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.



Geometria e disposizione spaziale delle terne di vettoriamento

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.

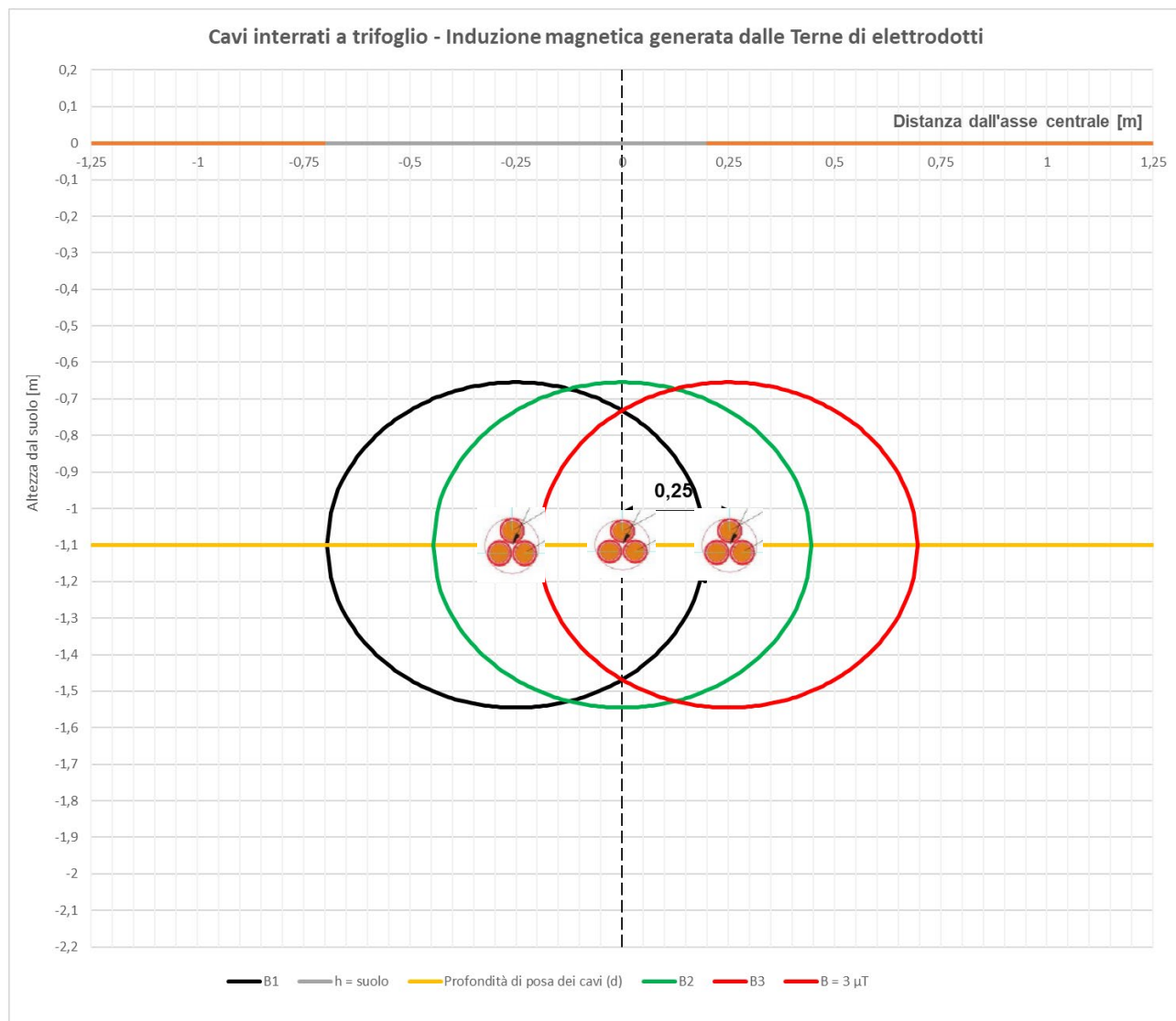
Per i dati elettrici si sono usati i seguenti valori:

- Terna con cavi di sezione del singolo conduttore pari a 50 mm²;
- Potenza nominale del singolo inverter 4 MW;
- Tensione nominale di esercizio dei cavidotti 36 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:

$$I_{1\backslash 2\backslash 3} = \frac{P_1}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \varphi} = \frac{4 \text{ MW}}{\sqrt{3} \cdot 36000 \text{ V} \cdot 0.9} = 71,28 \text{ A} < 125,8 \text{ A}$$

Il valore di 125,8 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 impegnata rispettivamente dalle due terne di cavidotti, in condizioni di massima operatività dell'impianto fotovoltaico, risulta essere di 71,28 A (a lordo delle perdite). Il margine di sicurezza sul carico percentuale risulta di circa 43%.



La figura mostra graficamente l'intensità del campo magnetico generato dalle tre 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'elettrodotto.

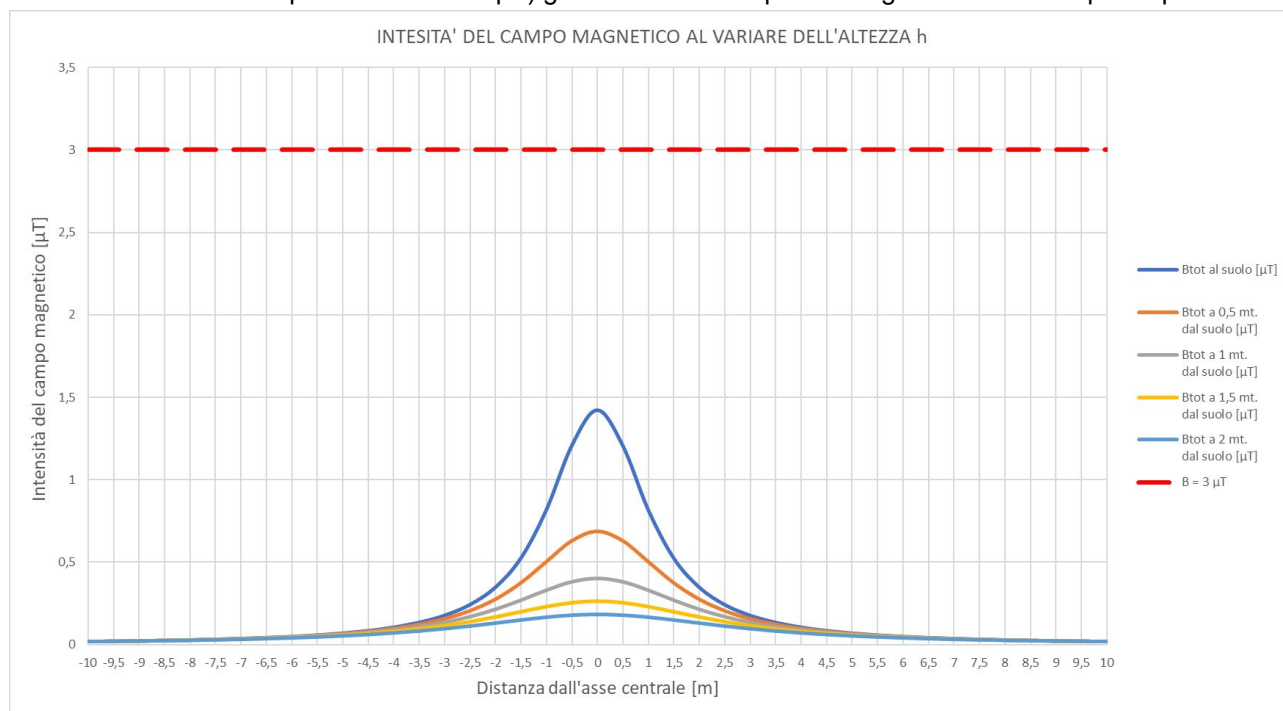
La tabella che segue mostra i valori della distribuzione del campo magnetico totale nello spazio circostante dell'elettrodotto, generato sommando i contributi delle singole terne con un intervallo di campionamento dei valori in ascissa (distanza dall'asse centrale) pari a 0,5 m:

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	0,017617114	0,017384573	0,017075714	0,016698877	0,016263628
-9,5	0,019497651	0,019213169	0,018836565	0,01837898	0,017853056
-9	0,021694677	0,021342983	0,020879183	0,020318365	0,019677437
-8,5	0,024283002	0,023843136	0,023265663	0,022571321	0,02178301
-8	0,02736077	0,02680347	0,026075714	0,025206469	0,024227164
-7,5	0,031058707	0,030342333	0,029412795	0,028311262	0,027081484
-7	0,035553892	0,034617925	0,033412773	0,031998075	0,030435629
-6,5	0,041090761	0,039845123	0,038256281	0,03641243	0,034402171
-6	0,048013955	0,046320934	0,044186519	0,041744056	0,039122438
-5,5	0,056821187	0,054463752	0,051535056	0,048241498	0,044773061
-5	0,068251041	0,064875124	0,060759266	0,056230736	0,051572228
-4,5	0,083434038	0,0784387	0,072495982	0,066136958	0,059782942
-4	0,104162781	0,09648082	0,08763557	0,078504968	0,069707263
-3,5	0,133395489	0,121031124	0,107414234	0,094004113	0,08165915
-3	0,176233764	0,155231767	0,133496391	0,113381741	0,095893236
-2,5	0,241880716	0,203901377	0,167936504	0,137285809	0,112454907
-2	0,347517109	0,273947793	0,212693538	0,165815041	0,130917734
-1,5	0,524616662	0,372988558	0,267965191	0,197646583	0,150027814
-1	0,817622544	0,500853256	0,328499521	0,228892685	0,167436862
-0,5	1,207994593	0,627720224	0,379493847	0,252759201	0,179932323
0	1,423594294	0,684596458	0,400061378	0,261832155	0,184515091
0,5	1,207994593	0,627720224	0,379493847	0,252759201	0,179932323
1	0,817622544	0,500853256	0,328499521	0,228892685	0,167436862
1,5	0,524616662	0,372988558	0,267965191	0,197646583	0,150027814
2	0,347517109	0,273947793	0,212693538	0,165815041	0,130917734
2,5	0,241880716	0,203901377	0,167936504	0,137285809	0,112454907
3	0,176233764	0,155231767	0,133496391	0,113381741	0,095893236
3,5	0,133395489	0,121031124	0,107414234	0,094004113	0,08165915
4	0,104162781	0,09648082	0,08763557	0,078504968	0,069707263
4,5	0,083434038	0,0784387	0,072495982	0,066136958	0,059782942
5	0,068251041	0,064875124	0,060759266	0,056230736	0,051572228
5,5	0,056821187	0,054463752	0,051535056	0,048241498	0,044773061
6	0,048013955	0,046320934	0,044186519	0,041744056	0,039122438
6,5	0,041090761	0,039845123	0,038256281	0,03641243	0,034402171
7	0,035553892	0,034617925	0,033412773	0,031998075	0,030435629
7,5	0,031058707	0,030342333	0,029412795	0,028311262	0,027081484
8	0,02736077	0,02680347	0,026075714	0,025206469	0,024227164
8,5	0,024283002	0,023843136	0,023265663	0,022571321	0,02178301
9	0,021694677	0,021342983	0,020879183	0,020318365	0,019677437
9,5	0,019497651	0,019213169	0,018836565	0,01837898	0,017853056
10	0,017617114	0,017384573	0,017075714	0,016698877	0,016263628

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 1,424 μT , largamente inferiore all'obiettivo di qualità fissato dalla norma.

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 μT) garantendo un cospicuo margine di sicurezza per le persone.



Ricordando che l'obiettivo da rispettare è l'obiettivo qualità pari a 3 μT , 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 μT .

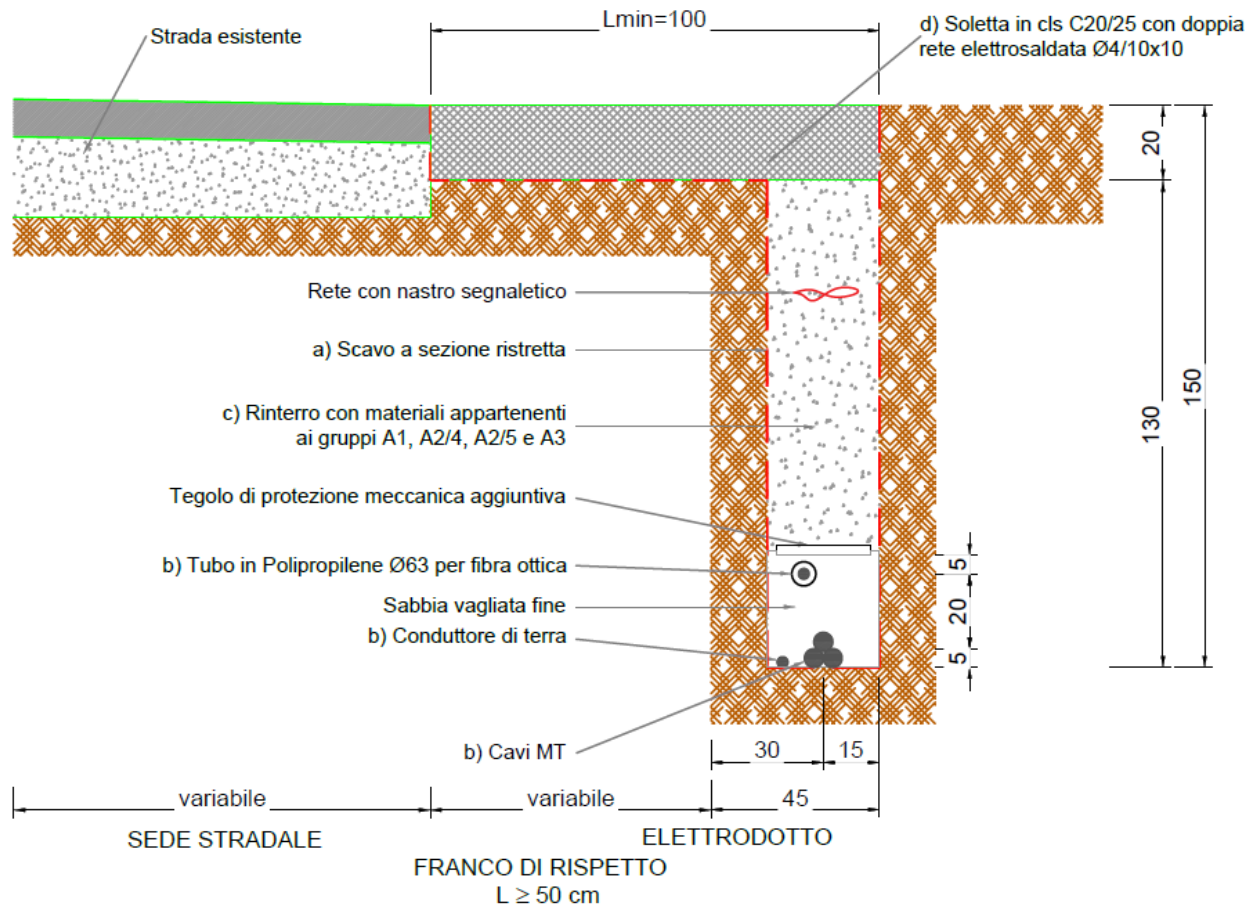
Utilizzando i dati forniti dal grafico allegato, si evince che per l'elettrodotto MT costituito da tre terne di sezione 50 mm² non esiste una fascia, centrata sull'asse del cavidotto, all'interno della quale non è garantito il rispetto dell'obiettivo di qualità.

In assenza di una fascia di rispetto, atteso che il limite di qualità risulta sempre verificato al livello del suolo, non esistono pertanto recettori sensibili (strutture abitate da persone per un tempo superiore alle 4 ore) e pertanto si può affermare che non sussistono pericoli per la salute umana.

5.4.2 CASO CON UNA TERNA IN MT INTERRATA DI SEZIONE 400 MM²

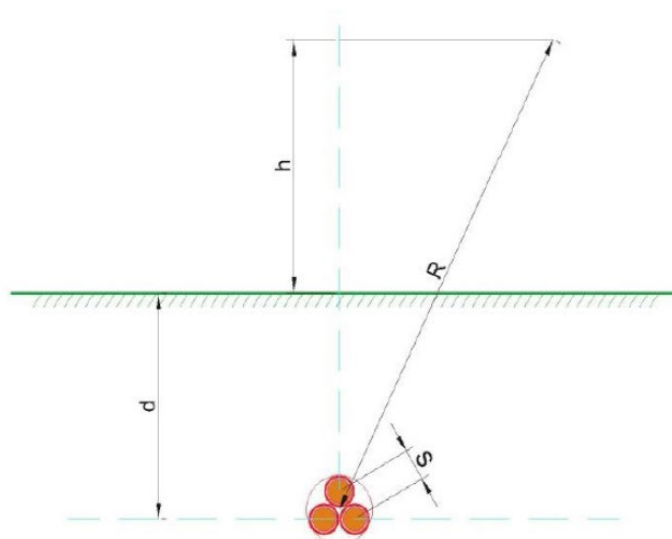
Questo rappresenta un ulteriore caso presente lungo i tracciati MT. Come si vede dai tracciati riportati in planimetria e dallo schema unifilare, la terna è formata da un cavo tripolare da 400 mm². Nei calcoli si è

considerata la corrente massima erogata dai sottocampi di impianto che interessano la terna di vettoriamento dell'energia prodotta dalla cabina di raccolta alla nuova stazione elettrica a 150/36 kV della RTN.



Tipologia di posa per cavidotto di vettoriamento MT in banchina di
 strada esistente in conglomerato bituminoso

Considerata quindi la disposizione spaziale delle tre terne e fissando l'asse centrale come riportato in figura, si può calcolare il campo magnetico generato dall'elettrodotta.



Geometria e disposizione spaziale della terna di vettoriamento

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.

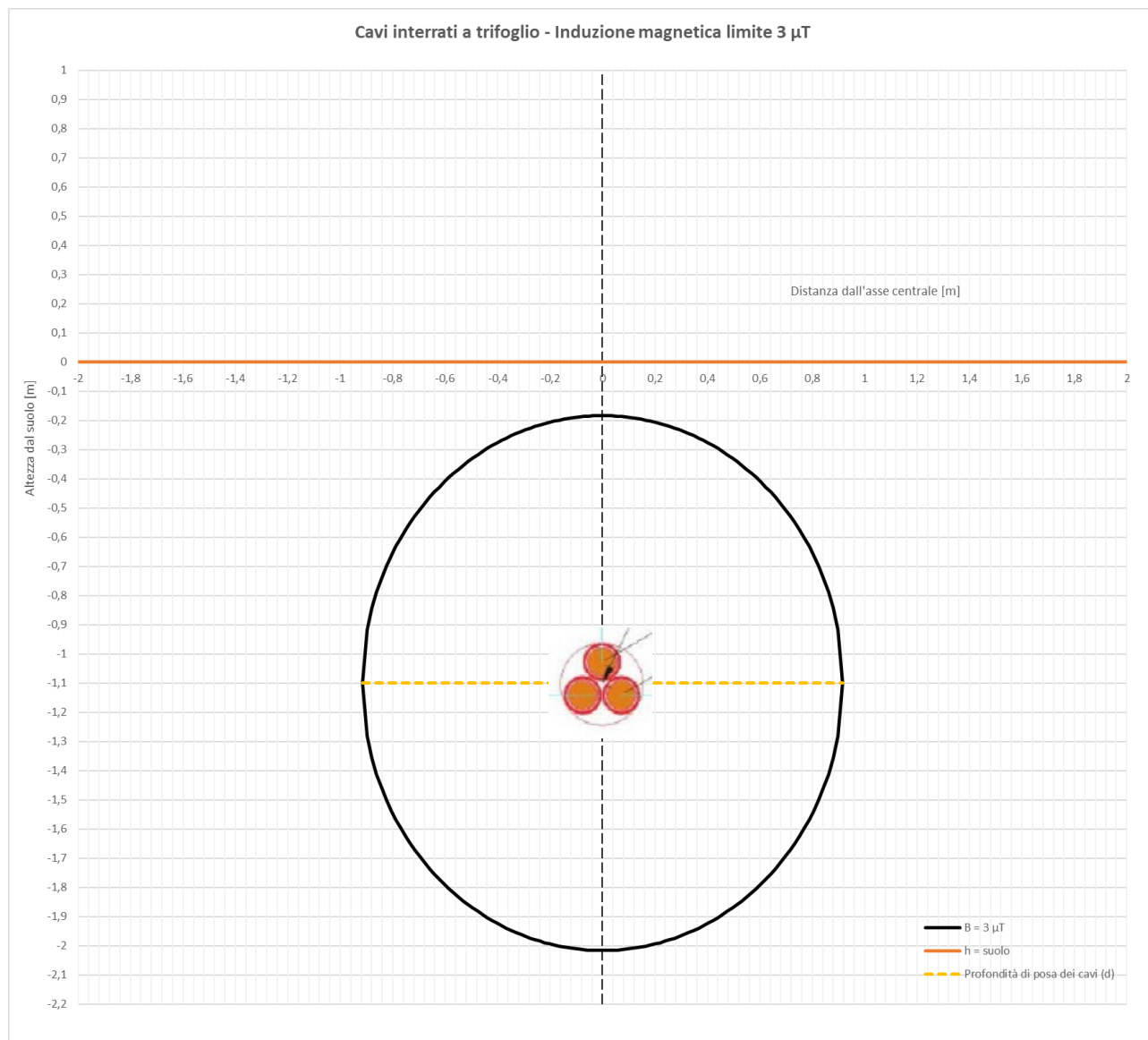
Per i dati elettrici si sono usati i seguenti valori:

- Terna con cavi di sezione del singolo conduttore pari a 400 mm²;
- Potenza nominale dell'impianto fotovoltaico 12 MW;
- Tensione nominale di esercizio dei cavidotti 36 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:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \varphi} = \frac{12 \text{ MW}}{\sqrt{3} \cdot 36000 \text{ V} \cdot 0.9} = \mathbf{213,83 \text{ A} < 505,96 \text{ A}}$$

Il valore di 505,96 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 impegnata rispettivamente dalle due terne di cavidotti, in condizioni di massima operatività dell'impianto fotovoltaico, risulta essere di 213,83 A (a lordo delle perdite). Il margine di sicurezza sul carico percentuale risulta di circa 58%.



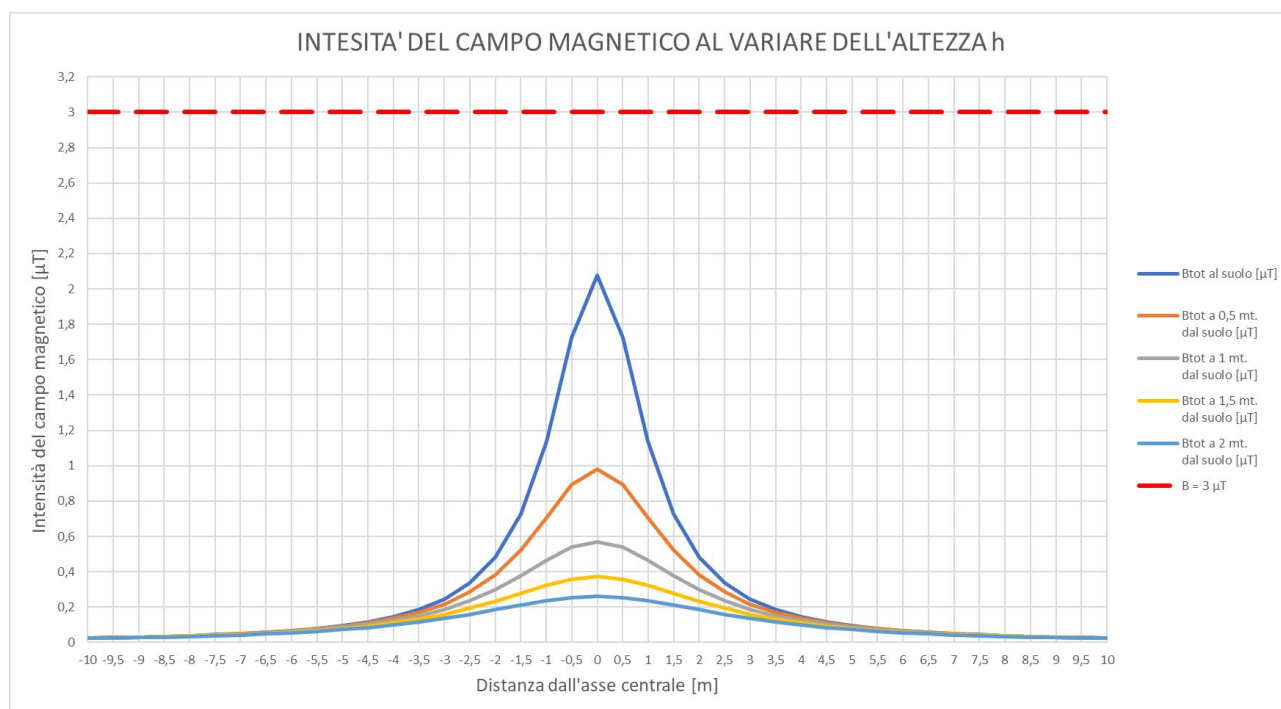
La tabella che segue mostra i valori della distribuzione del campo magnetico totale nello spazio circostante dell'elettrodotto, generato con un intervallo di campionamento dei valori in ascissa (distanza dall'asse centrale) pari a 0,5 m:

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	0,024840998	0,024514016	0,024079661	0,02354962	0,0229373
-9,5	0,027489148	0,027089295	0,026559872	0,025916477	0,025176822
-9	0,030582137	0,03008805	0,029436336	0,028648102	0,02774702
-8,5	0,034224849	0,033607238	0,03279621	0,03182075	0,030712893
-8	0,038554784	0,037772798	0,036751315	0,035530772	0,034155107
-7,5	0,043754915	0,042750509	0,04144671	0,039900928	0,03817427
-7	0,050072843	0,048761781	0,047072785	0,045088907	0,04289639
-6,5	0,057849918	0,056107062	0,0538825	0,051298866	0,048479704
-6	0,067566714	0,065201179	0,06221622	0,058796947	0,055122943
-5,5	0,079916003	0,076627779	0,072537722	0,067931841	0,063074698
-5	0,095923596	0,091224871	0,085486482	0,079161129	0,072642515
-4,5	0,117155519	0,11022172	0,101952857	0,093082467	0,084198173
-4	0,14608701	0,135461069	0,123182628	0,11046386	0,098170927
-3,5	0,186787329	0,1697608	0,150909811	0,132254468	0,115011777
-3	0,246244608	0,217487668	0,187483777	0,159527757	0,135097122
-2,5	0,337018424	0,285375419	0,235849666	0,193248074	0,158521907
-2	0,482563809	0,383255708	0,298948566	0,233657755	0,184728688
-1,5	0,726635099	0,522693855	0,377501118	0,279040782	0,211986294
-1	1,137627803	0,706224001	0,464724112	0,323989361	0,236961116
-0,5	1,722025647	0,894717952	0,539518765	0,358652988	0,254985542
0	2,07781607	0,982092752	0,570103729	0,371916782	0,261618881
0,5	1,722025647	0,894717952	0,539518765	0,358652988	0,254985542
1	1,137627803	0,706224001	0,464724112	0,323989361	0,236961116
1,5	0,726635099	0,522693855	0,377501118	0,279040782	0,211986294
2	0,482563809	0,383255708	0,298948566	0,233657755	0,184728688
2,5	0,337018424	0,285375419	0,235849666	0,193248074	0,158521907
3	0,246244608	0,217487668	0,187483777	0,159527757	0,135097122
3,5	0,186787329	0,1697608	0,150909811	0,132254468	0,115011777
4	0,14608701	0,135461069	0,123182628	0,11046386	0,098170927
4,5	0,117155519	0,11022172	0,101952857	0,093082467	0,084198173
5	0,095923596	0,091224871	0,085486482	0,079161129	0,072642515
5,5	0,079916003	0,076627779	0,072537722	0,067931841	0,063074698
6	0,067566714	0,065201179	0,06221622	0,058796947	0,055122943
6,5	0,057849918	0,056107062	0,0538825	0,051298866	0,048479704
7	0,050072843	0,048761781	0,047072785	0,045088907	0,04289639
7,5	0,043754915	0,042750509	0,04144671	0,039900928	0,03817427
8	0,038554784	0,037772798	0,036751315	0,035530772	0,034155107
8,5	0,034224849	0,033607238	0,03279621	0,03182075	0,030712893
9	0,030582137	0,03008805	0,029436336	0,028648102	0,02774702
9,5	0,027489148	0,027089295	0,026559872	0,025916477	0,025176822
10	0,024840998	0,024514016	0,024079661	0,02354962	0,0229373

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 2,078 μT , largamente inferiore all'obiettivo di qualità fissato dalla norma.

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 μT) garantendo un cospicuo margine di sicurezza per le persone.



Ricordando che l'obiettivo da rispettare è l'obiettivo qualità pari a 3 μT , 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 μT .

Utilizzando i dati forniti dal grafico allegato, si evince che per l'elettrodotto MT costituito da una terna di sezione 400 mm² non esiste una fascia, centrata sull'asse del cavidotto, all'interno della quale non è garantito il rispetto dell'obiettivo di qualità.

Si vuole ricordare però che sia l'obiettivo qualità di 3 μT che il limite di attenzione di 10 μT 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.

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 valori di induzione magnetica superiori 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 delle Power Station interne all'impianto fotovoltaico, in nessun caso gli edifici rurali si trovano all'interno della fascia di rispetto calcolata nel paragrafo 5.3.2 (5,5 m);
- lungo il percorso dell'elettrodotto di vettoriamento MT a 36 kV, in nessun caso gli edifici rurali si trovano all'interno della fascia di rispetto calcolata nel paragrafo 5.4.1;

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.

.....