
PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA
MEDIANTE LO SFRUTTAMENTO DEL VENTO NEI TERRITORI COMUNALI
DI CANINO E MONTALTO DI CASTRO (VT) LOC. SUGARELLA
POTENZA NOMINALE 93,6 MW

PROGETTO DEFINITIVO - SIA

PROGETTAZIONE E SIA

ing. Fabio PACCAPELO

ing. Andrea ANGELINI

ing. Antonella Laura GIORDANO

ing. Francesca SACCAROLA

COLLABORATORI

dr.ssa Anastasia AGNOLI

ing. Giulia MONTRONE

STUDI SPECIALISTICI

IMPIANTI ELETTRICI

ing. Roberto DI MONTE

GEOLOGIA

geol. Matteo DI CARLO

ACUSTICA

ing. Antonio FALCONE

NATURA E BIODIVERSITÀ

BIOPHILIA - dr. Gianni PALUMBO dr. Michele BUX

STUDIO PEDO-AGRONOMICO

dr. Gianfranco GIUFFRIDA

ARCHEOLOGIA

ARSARCHEO - dr. archeol. Andrea RICCHIONI dr. archeol. Gabriele MONASTERO

INTERVENTI DI COMPENSAZIONE E VALORIZZAZIONE

arch. Gaetano FORNARELLI

arch. Andrea GIUFFRIDA

SIA.ES. STUDI SPECIALISTICI

ES.4 Relazione tecnica campi elettrici e magnetici

REV.	DATA	DESCRIZIONE
------	------	-------------



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	ELETTRODOTTO MT	7
4.3	AEROGENERATORE	7
4.4	CARATTERISTICHE DELLA RETE ELETTRICA	8
5	VALUTAZIONE PREVENTIVA CAMPI ELETTRICI E MAGNETICI	9
5.1	CABINA ELETTRICA AEROGENERATORE	9
5.2	CABINA DI RACCOLTA	11
5.3	ELETTRODOTTI INTERRATI	11
5.3.1	<i>Caso con n. 5 terne di cavi MT interrati di sezione 630 mm²</i>	13
6	CONCLUSIONI	19



1 PREMESSA

Oggetto della seguente relazione è la valutazione preventiva dei campi elettromagnetici generati dagli impianti elettrici connessi alla realizzazione dell'impianto eolico, dal sistema di accumulo e delle relative opere connesse da realizzarsi nei comuni di Canino e Montalto di Castro (VT).

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:

- Aerogeneratori;
- Cabina di raccolta;
- Cavidotti MT a 36 kV per la connessione dei sottocampi individuati con la Cabina di raccolta e di quest'ultima con la sezione 36 kV della nuova Stazione Elettrica (SE) della RTN 150/36 kV RTN da inserire in entra – esce alla linea RTN a 380 kV "Montalto – Suvereto" per il collegamento dell'impianto eolico alla RTN.

Lo studio dell'impatto elettromagnetico si traduce nella determinazione di una fascia di rispetto eseguendo un calcolo dell'induzione magnetica basata 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 e 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 in un impianto eolico (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;
- 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;



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 dell'impianto eolico, 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 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

Le opere in oggetto riguardano la realizzazione di un impianto per la produzione di energia mediante lo sfruttamento del vento nel territorio comunale di Canino e Montalto di Castro (VT), costituite da 13 aerogeneratori con potenza nominale pari a 7,2 MW.

La potenza complessiva dell'impianto è pari a 93,6 MW, e dal punto di vista elettrico si prevede la realizzazione di:

1. **Elettrodotto di raccolta** a 36 kV tra i 5 sottocampi della centrale eolica e il sistema di accumulo con la cabina di raccolta MT a 36 kV;
2. **Elettrodotto di connessione** a 36 kV tra la cabina di raccolta e la Stazione RTN Terna a 36 kV;
3. n°13 **aerogeneratori**, di potenza unitaria nominale pari a 7,2 MW.

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

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

Il tracciato degli elettrodotti interrati ricade per la maggior parte su viabilità pubblica e la restante parte all'interno dell'area di impianto e segue la viabilità di servizio dell'impianto eolico.

4.2 ELETTRDOTTO MT

La raccolta e il vettoriamento dell'energia elettrica prodotta avviene mediante cavi interrati MT che collegano gli aerogeneratori direttamente ad uno stallo a 36 kV della futura Stazione RTN.

I cavidotti all'interno del parco eolico saranno realizzati a margine delle carreggiate. In corrispondenza degli attraversamenti della viabilità a servizio del parco si procederà a ripristinare puntualmente le massicciate e le pavimentazioni. Per quanto riguarda gli attraversamenti dei corsi d'acqua presenti nell'area del parco, al fine di non realizzare opere di scavo che possano modificare la morfologia dei luoghi, si ricorrerà all'utilizzo della tecnica con "sonda pilota".

La rete di vettoriamento che collega i 5 sottocampi dell'impianto eolico e il sistema di accumulo tramite la cabina di raccolta alla Stazione RTN si sviluppa per una lunghezza di circa 17,5 Km, è composta da 5 linee elettriche, 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.

4.3 AEROGENERATORE

Trattasi di aerogeneratori trifase con potenza nominale di 7,2 MW e muniti di trasformatore BT/MT all'interno della torre.



Le pale della macchina, sono realizzate in resina epossidica rinforzata con fibra di vetro, sono fissate su un mozzo e nell'insieme costituiscono il rotore; il mozzo è direttamente collegato all'albero e al rotore del generatore elettrico (sincrono trifase), a formare un unico corpo.

L'intera navicella viene posta su di una torre avente forma conica tubolare.

Oltre ai componenti prima detti, vi è un sistema di controllo che esegue diverse funzioni:

- ✓ il controllo della potenza, che viene eseguito ruotando le pale intorno all'asse principale in maniera da aumentare o ridurre la superficie esposta al vento, in rapporto al profilo delle pale scelto;
- ✓ il controllo della navicella, detto controllo dell'imbardata, che serve ad inseguire la direzione del vento, ma che può essere anche utilizzato per il controllo della potenza;
- ✓ l'avviamento della macchina, allorché è presente un vento di velocità sufficiente, e la fermata della macchina, quando vi è un vento di velocità superiore a quella massima per la quale la macchina è stata progettata.

La velocità del vento di avviamento è la minima velocità del vento che dà la potenza meccanica corrispondente al massimo rendimento aerodinamico del rotore. Quando la velocità del vento supera il valore corrispondente alla velocità di avviamento la potenza cresce al crescere della velocità del vento.

La potenza cresce fino alla velocità nominale e poi si mantiene costante fino alla Cut-out wind speed (velocità di fuori servizio).

Per ragioni di sicurezza, a partire dalla velocità nominale, la turbina si regola automaticamente e l'aerogeneratore fornirà la potenza nominale servendosi dei suoi meccanismi di controllo. L'aerogeneratore si avvicinerà al valore della potenza nominale a seconda delle caratteristiche costruttive della turbina montata: passo fisso, passo variabile, velocità variabile, etc.

4.4 CARATTERISTICHE DELLA RETE ELETTRICA

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

- a. Bassa tensione (inferiore a 1 kV): collegamenti tra la navicella ed il trasformatore elevatore BT/MT.
- b. Media Tensione (36 kV): collegamenti tra le trasformazioni delle torri e la Stazione di Consegna a 36 kV; 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 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 CABINA ELETTRICA AEROGENERATORE

Ogni aerogeneratore è dotato di una cabina elettrica interna con due possibili dislocazioni degli apparati elettrici di media tensione:

- il trasformatore BT/MT, il quadro generale di bassa tensione e i quadri MT di protezione e sezionamento, sono ubicati insieme all'interno della base della torre tubolare;
- il trasformatore BT/MT è ubicato sotto i quadri a MT di protezione e sezionamento alla base della torre tubolare.

In entrambi i casi, è ormai certo sia in letteratura¹ che nelle prove sperimentali condotte da diverse ARPA in Italia, che nelle cabine di trasformazione MT/BT l'emissione di campi elettrici e soprattutto magnetici è da attribuire al trasformatore e alle sbarre del quadro di bassa tensione.

La valutazione dei campi generati dal trasformatore¹ parte da dati sperimentali su una taglia e tipo standard di trasformatore MT/BT per poi essere estesa con le dovute approssimazioni alla varia gamma di tipologie e potenze.

Per il calcolo del campo elettromagnetico prodotto dai trasformatori, si utilizzerà la formula seguente, la quale permette di calcolare l'induzione in microtesla prodotta da un trasformatore MT/BT in funzione della distanza dal trasformatore.

$$B = 0.72 \cdot V_{cc\%} \cdot \sqrt{S_r} \cdot \frac{1}{d^{2,8}}$$

Dove:

V_{cc}% è la tensione di cortocircuito percentuale del trasformatore;

S_r è la potenza apparente nominale;

d è la distanza in metri;

Si riporta in tabella l'induzione magnetica prodotta da un trasformatore MT/BT della potenza di 9000 kVA e tensione di corto circuito 6%.

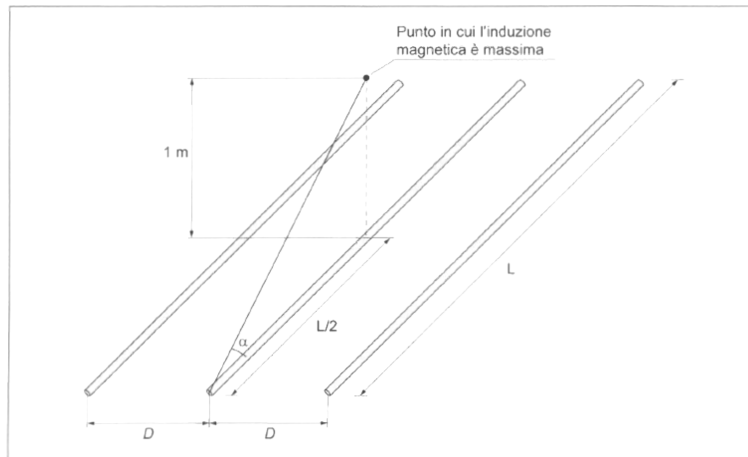
Potenza trasformatore	Distanza dal trasformatore			
	2 m	3 m	5 m	10 m
9000 kVA	58,8 µT	18,9 µT	4,5 µT	0,65 µT

Per quanto riguarda i campi elettrici questi sono nulli all'esterno considerando l'effetto schermante della carcassa dei trasformatori (trasformatori in olio), la schermatura del sistema LPS dell'aerogeneratore e della torre tubolare in acciaio.

¹ Si veda pag. 29 del testo "La protezione dai campi elettromagnetici" - Prof. Paolo Vecchia - Ed. TNE 2003 e Appendice C del testo "Cabine Elettriche" - Ed. TNE 2005.



Per la valutazione dei campi magnetici generati dalle sbarre di bassa tensione si ipotizza che tali sbarre, contenute nel quadro BT e disposte in piano, distino l'una dall'altra $D=12,5$ cm e siano lunghe $L=2$ metri.



Ad un metro di distanza dalle sbarre (quindi ancora all'interno della torre) l'induzione magnetica assume il suo massimo valore¹:

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

Distanza (m)	L (m)	D (cm)	I
			4000 A
1	2	15	67 μ T
2	2	15	45 μ T
5	2	15	18 μ T
10	2	15	7,9 μ T

Il valore di campo magnetico diminuisce esponenzialmente all'aumentare della distanza e si riduce a pochi μ T già a 10 m dalle sbarre.

I risultati ottenuti trovano conferma in tantissimi studi e misure effettuate dalle diverse ARPA in Italia. A titolo di esempio uno studio di modellistica revisionale e di misure sul campo condotto dall'ARPA Emilia-Romagna² ha verificato che già a 50 cm dalle pareti di una cabina MT/BT tipica della Distribuzione i campi magnetici sono inferiori ai 3 μ T per scendere al di sotto di 0,2 μ T a meno di 5 m dalle pareti. Risultati analogamente nei limiti di legge sono stati attenuti dalla Sezione ARPA di Ravenna³ con valori di campo magnetico subito all'esterno delle cabine che in media si attestano a 0,8 μ T con picchi di 3,7 μ T.

Per i calcoli effettuati e le prove sperimentali citate si può confermare il rispetto dei limiti di legge sia per il caso a) che per il caso b).

² "Modellistica previsionale applicata allo studio dei campi magnetici in prossimità di cabine di trasformazione elettrica (MT/BT)" - Bruni M., Frascetta M., Notari B., Sesti D., Violanti S., Casoli P., D'Angelo L., Martelli A. - 2006

³ Report delle attività di monitoraggio e controllo ambientale della Sezione Arpa di Ravenna - Anno 1997.



5.2 CABINA DI RACCOLTA

La cabina di raccolta MT a 36 kV può essere considerata a tutti gli effetti come continuazione dei cavidotti MT, questo vuol dire che basta studiare l'impatto dovuto ai cavi in entrata e a quelli in uscita, coincidente con il caso peggiore delle cinque terne affiancate studiato di seguito.

5.3 ELETTRODOTTI INTERRATI

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

Il percorso degli elettrodotti, partendo dall'area di installazione degli aerogeneratori interesserà parte di strada di nuova realizzazione sul lotto di terreno privato, parte strade vicinali e comunali nel Comune di Canino e Montalto di Castro (VT) e nel Comune di Manciano (GR) per poi arrivare fino alla Stazione RTN sita nel territorio comunale di Manciano (GR).

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.

La linea interrata è costituita da collegamenti tra le torri con al max 4 terne interrate. Nel tratto di vettoriamento le terne saranno 5, con cavi disposti ad elica visibile isolati in XLPE, sigla commerciale ARE4H5ER 36 kV, di sezione massima pari a 630 mm².

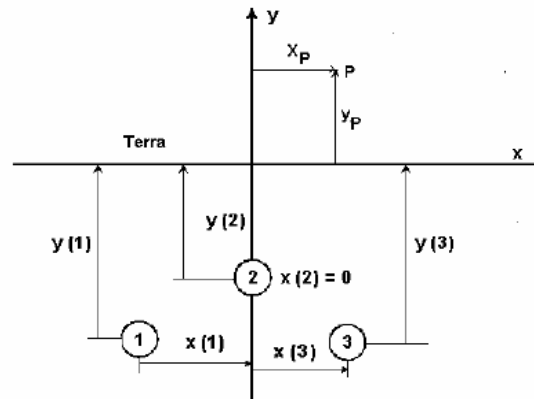
La valutazione è effettuata sui i cavi di vettoriamento MT. Per i cavi MT si considererà il caso di posa più gravoso, ma senza portare in conto la presenza di eventuali linee elettriche interrate o aeree già esistenti.

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

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

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:





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

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

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

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 $3 \mu\text{T}$, 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.

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

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.

Inoltre, si deve osservare che i cavi cordati ad elica 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

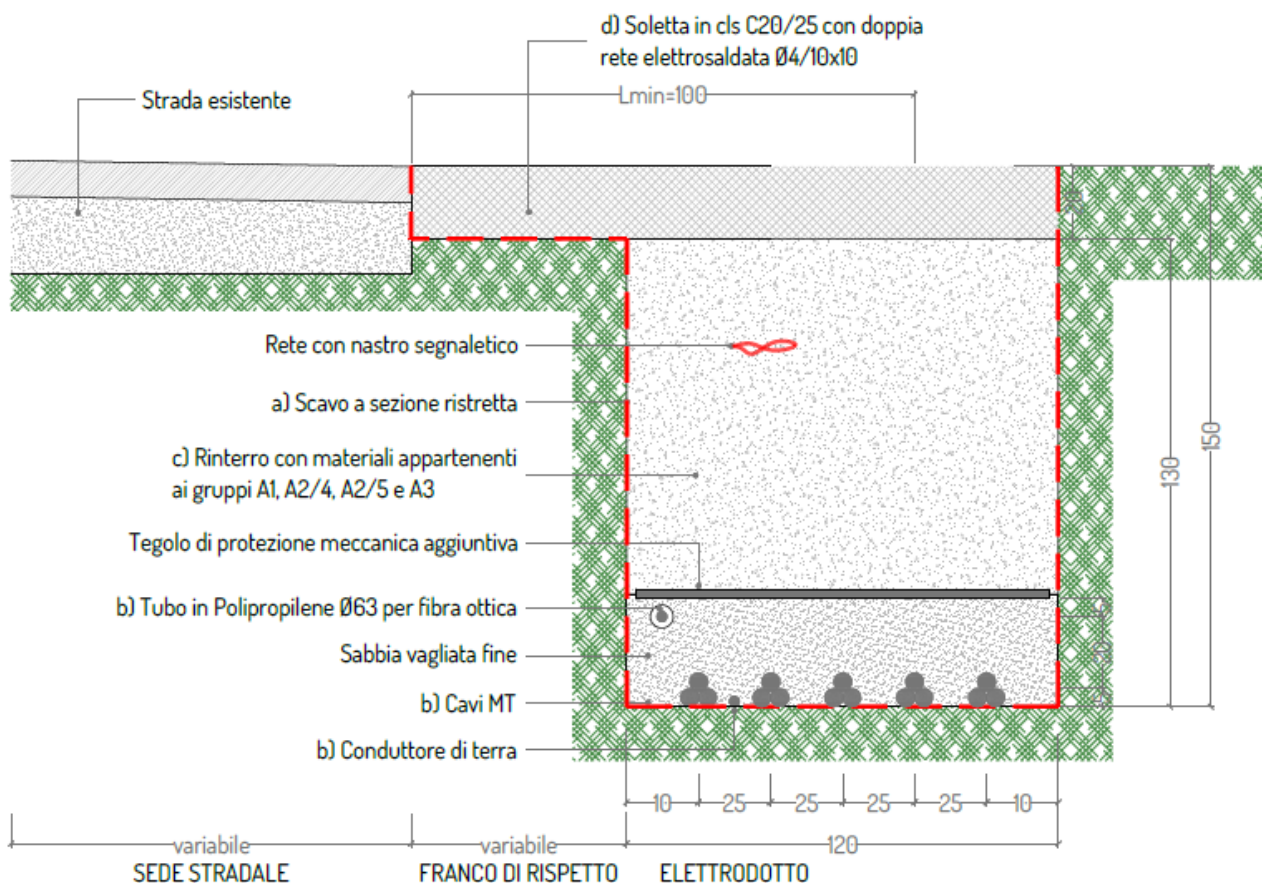


l'obiettivo di qualità di 3 μT , anche nelle condizioni di "portata nominale", venga raggiunto già a brevissima distanza dall'asse del cavo stesso.

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

5.3.1 Caso con n. 5 terne di cavi MT interrati di sezione 630 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 5 terne sono formate da cavi da 630 mm². Nei calcoli si è considerata la corrente massima erogata dai 5 sottocampi che alimentano le 5 terne di vettoriamento.

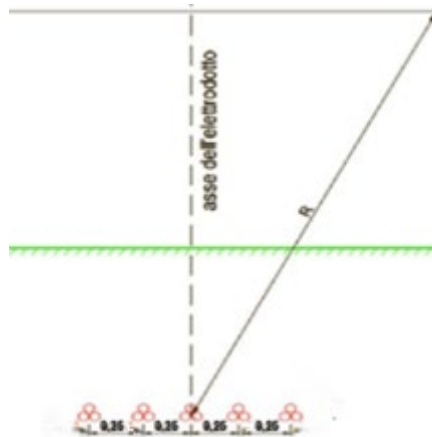


Considerata quindi la disposizione spaziale delle cinque terne e fissando l'asse centrale come riportato in figura, si può calcolare il campo magnetico generato dall'elettrodotto attraverso la seguente formula semplificata:

$$B = 0,1 \cdot \sqrt{6} \cdot \frac{S_1 \cdot I_1}{(x_p - x_1)^2 + (y_p - y_1)^2} + 0,1 \cdot \sqrt{6} \cdot \frac{S_2 \cdot I_2}{(x_p - x_2)^2 + (y_p - y_2)^2} + 0,1 \cdot \sqrt{6} \cdot \frac{S_3 \cdot I_3}{(x_p - x_3)^2 + (y_p - y_3)^2} \\ + 0,1 \cdot \sqrt{6} \cdot \frac{S_4 \cdot I_4}{(x_p - x_4)^2 + (y_p - y_4)^2} + 0,1 \cdot \sqrt{6} \cdot \frac{S_5 \cdot I_5}{(x_p - x_5)^2 + (y_p - y_5)^2}$$

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





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

Per i dati elettrici si sono usati i seguenti valori:

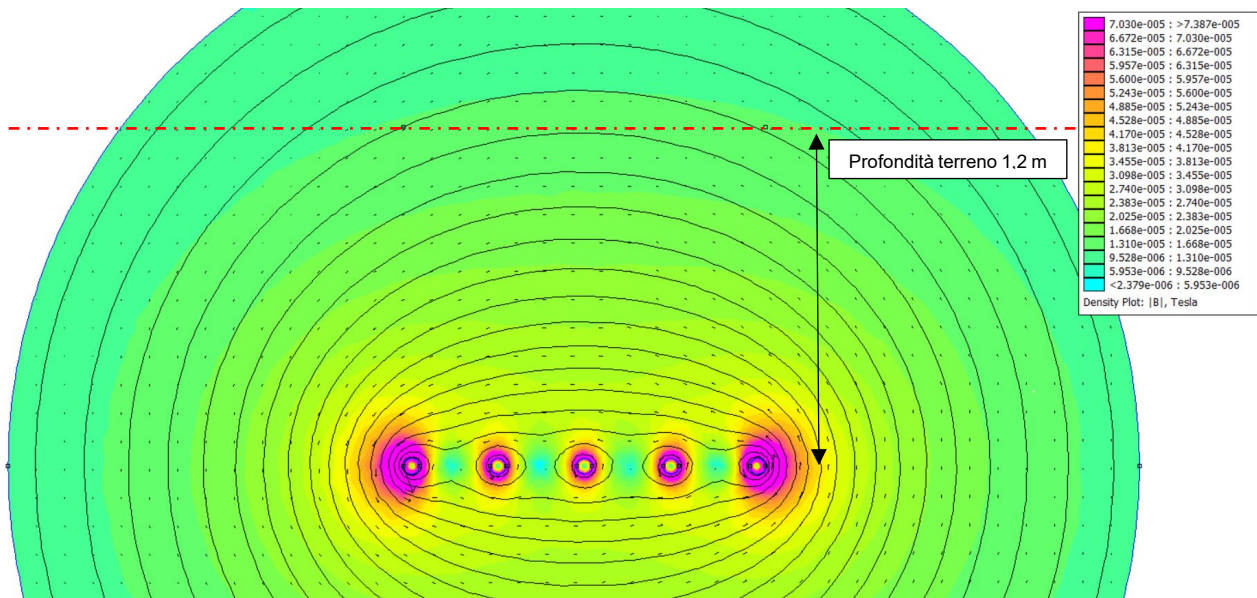
- Terna con cavi di sezione del singolo conduttore pari a 630 mmq;
- Potenza nominale dell'impianto eolico 93,6 MW;
- Tensione nominale di esercizio dei cavidotti 36 kV.

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:

$$I_1 = \frac{P_1}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \varphi} = \frac{93,6 \text{ MW}}{\sqrt{3} \cdot 36000 \text{ V} \cdot 1} = 1501,11 \text{ A} < 5 \cdot 405,39 \text{ A} = 2026,93 \text{ A}$$

Il valore di 405,39 A non si riferisce alla portata in condizioni STC del conduttore, bensì ad una portata già corretta dei fattori di riduzione legati al numero di terne affiancate in orizzontale, temperatura di esercizio, profondità di posa e resistività termica del terreno. Mentre, per la scelta adottata, il valore di corrente di impiego delle cinque terne di cavidotti, in condizioni di massima operatività dell'impianto eolico, risulta essere di 300,2 A (a lordo delle perdite).





La figura mostra graficamente l'intensità del campo magnetico generato dalle cinque 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 in modo dettagliato 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:



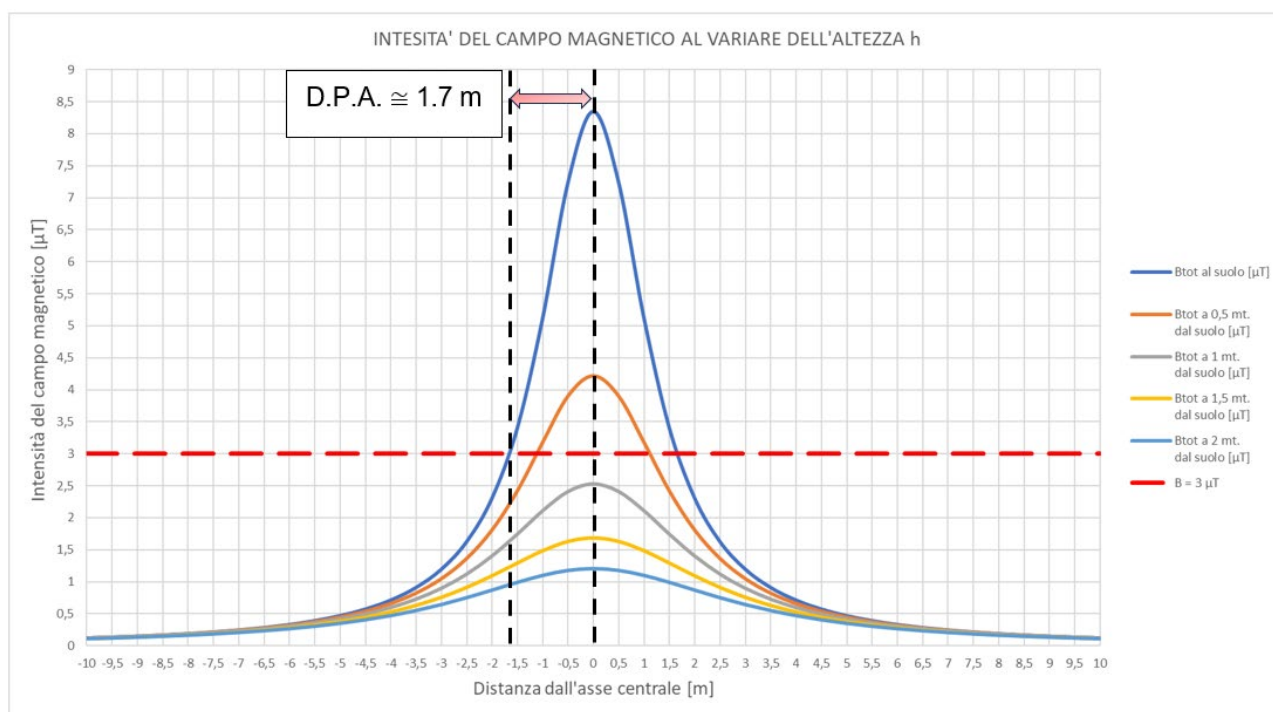
DISTANZA DALL'ASSE CENTRALE [m]	B _{tot} al suolo [μT]	B _{tot} a 0,5 mt. dal suolo [μT]	B _{tot} a 1 mt. dal suolo [μT]	B _{tot} a 1,5 mt. dal suolo [μT]	B _{tot} a 2 mt. dal suolo [μT]
-10	0,121939277	0,120216061	0,117974106	0,115273278	0,112181169
-9,5	0,134922868	0,132815983	0,130084367	0,126807841	0,123075526
-9	0,150083553	0,147480663	0,144119583	0,140108164	0,135565259
-8,5	0,167933343	0,164680497	0,160500014	0,155539722	0,149960061
-8	0,189142889	0,185025522	0,179763584	0,17356289	0,166642789
-7,5	0,214603774	0,20931719	0,202606139	0,194762034	0,186088786
-7	0,245520965	0,238623398	0,229937819	0,21988443	0,208890089
-6,5	0,28355315	0,274389032	0,262962745	0,24989217	0,235785064
-6	0,331030987	0,318601744	0,303292448	0,28603071	0,267693049
-5,5	0,391305828	0,374044971	0,3531078	0,329917297	0,305751253
-5	0,469323728	0,444690558	0,415389053	0,383649412	0,351345853
-4,5	0,572601358	0,536316337	0,494235882	0,449923342	0,406118128
-4	0,712943719	0,657483075	0,595288696	0,53212634	0,471904837
-3,5	0,909575211	0,821060706	0,726207088	0,634302386	0,550533551
-3	1,195023229	1,046476556	0,896973741	0,760755898	0,643335732
-2,5	1,626299019	1,362407185	1,119261544	0,914811608	0,750183881
-2	2,304989464	1,807395882	1,402857291	1,095950225	0,867897639
-1,5	3,40227277	2,41796264	1,745185699	1,294673525	0,988224331
-1	5,11589401	3,176390828	2,11066027	1,486409906	1,096537852
-0,5	7,234214821	3,899153844	2,411367825	1,63072962	1,173535322
0	8,341637645	4,214608258	2,530902353	1,685124314	1,201621462
0,5	7,234214821	3,899153844	2,411367825	1,63072962	1,173535322
1	5,11589401	3,176390828	2,11066027	1,486409906	1,096537852
1,5	3,40227277	2,41796264	1,745185699	1,294673525	0,988224331
2	2,304989464	1,807395882	1,402857291	1,095950225	0,867897639
2,5	1,626299019	1,362407185	1,119261544	0,914811608	0,750183881
3	1,195023229	1,046476556	0,896973741	0,760755898	0,643335732
3,5	0,909575211	0,821060706	0,726207088	0,634302386	0,550533551
4	0,712943719	0,657483075	0,595288696	0,53212634	0,471904837
4,5	0,572601358	0,536316337	0,494235882	0,449923342	0,406118128
5	0,469323728	0,444690558	0,415389053	0,383649412	0,351345853
5,5	0,391305828	0,374044971	0,3531078	0,329917297	0,305751253
6	0,331030987	0,318601744	0,303292448	0,28603071	0,267693049
6,5	0,28355315	0,274389032	0,262962745	0,24989217	0,235785064
7	0,245520965	0,238623398	0,229937819	0,21988443	0,208890089
7,5	0,214603774	0,20931719	0,202606139	0,194762034	0,186088786
8	0,189142889	0,185025522	0,179763584	0,17356289	0,166642789
8,5	0,167933343	0,164680497	0,160500014	0,155539722	0,149960061
9	0,150083553	0,147480663	0,144119583	0,140108164	0,135565259
9,5	0,134922868	0,132815983	0,130084367	0,126807841	0,123075526
10	0,121939277	0,120216061	0,117974106	0,115273278	0,112181169

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 8,342 μT , superiore all'obiettivo di qualità fissato dalla norma ma nettamente inferiore rispetto al limite di esposizione di 100 μT .

Il grafico che segue mostra la distribuzione di tali valori in funzione della distanza dall'asse centrale. I 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.



Profilo del Campo di induzione magnetica sulla sezione dei cavi di vettoriamento MT

Si ricorda 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 di vettoriamento a 36 kV costituito da cinque terne composte da cavidotti di sezione 630 mmq, viene individuata una fascia di rispetto complessiva di 3,4 m (1,7 x 2 m), centrata sull'asse dei cavidotti al di fuori della quale è garantito il rispetto dell'obiettivo di qualità.

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

Si vuole ricordare però che sia l'obiettivo qualità di 3 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

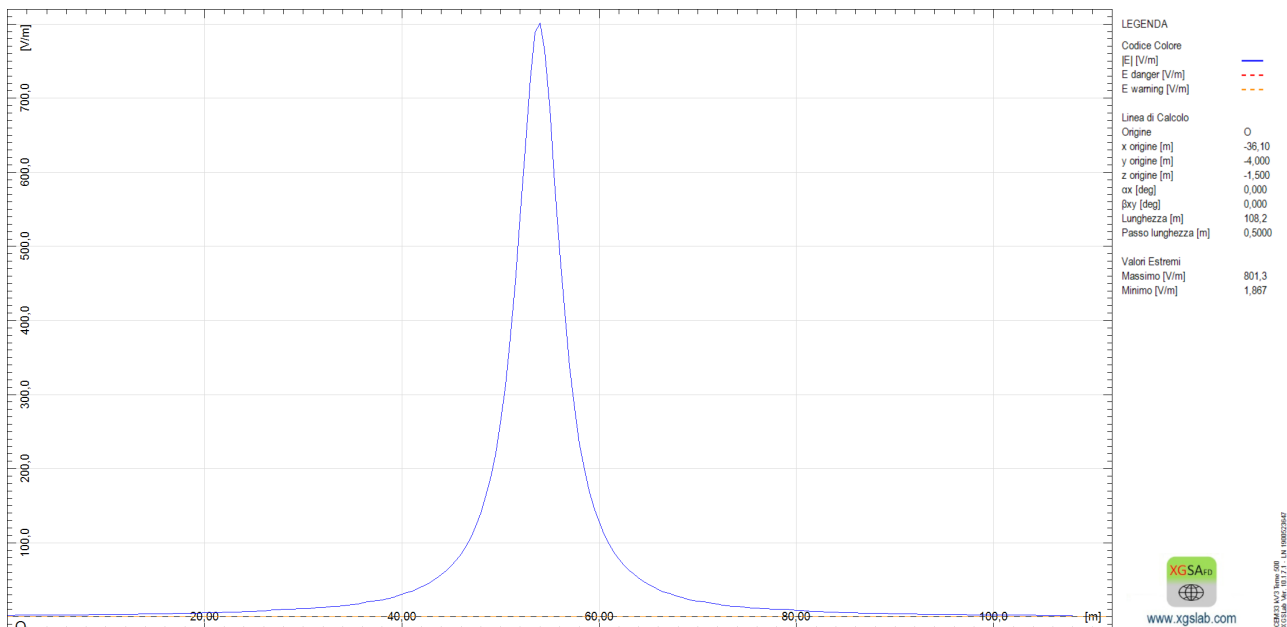


conto delle potenze nominali del parco eolico ipotizzando il funzionamento a piena potenza. In tal senso, occorre tenere conto delle effettive ore di produzione giornaliere e delle ore serali/notturne in cui l'elettrodotto non risulta trasportare energia, e conseguentemente generare campi elettromagnetici.

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.

Campo Elettrico

Di seguito si riportano i risultati di calcolo ottenuti per il campo elettrico a 1,5 m da terra (altezza cuore di un individuo di media altezza) per una sezione trasversale. Come ci si aspettava, si vede che il valore del campo elettrico è inferiore a 5 kV/m.



Profilo del Campo Elettrico sulla sezione dei cavi di vettoriamento MT a 1,5 m dal suolo



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 delle torri e del sistema di accumulo, nonché il posizionamento dei relativi dispositivi elettrici di comando a bassa e media tensione (Trasformatore e Quadri MT e BT) risultano posizionati a debita distanza da immobili sensibili, quali possibili abitazioni rurali; la valutazione riportata al paragrafo 5.1 conferma che l'induzione dovuta al trasformatore di torre (di maggiore potenza rispetto al BESS) e al quadro di bassa tensione è al di sotto dei $3 \mu T$ già a distanze di poco superiori ai 5 m.
- lungo il percorso dell'elettrodotto di vettoriamento MT, in nessun caso, gli edifici rurali si trovano all'interno delle fasce di rispetto calcolate nel paragrafo 5.2 (2 m per asse);

Alla luce di quanto esposto si ritiene che il progetto dell'impianto eolico con le relative opere di connessione e potenza massima installata di 93,6 MW, 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.

