

REGIONE MOLISE

Comune di Sant'Elia a Pianisi (CB)

PROGETTO DEFINITIVO

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO DELLA POTENZA DI 41.4 MW sito nel comune di Sant'Elia a Pianisi (CB) e delle relative opere di connessione da realizzarsi nei comuni di Monacilioni, Ripabottoni e Morrone del Sannio (CB)

TITOLO

Relazione di impatto elettromagnetico

PROGETTAZIONE	PROPONENTE	
 SR International S.r.l. C.so Vittorio Emanuele II, 282-284 - 00186 Roma Tel. 06 8079555 - Fax 06 80693106 C.F e P.IVA 13457211004 	 Sorgenia Renewables Srl Codice Fiscale e Partita Iva: 10300050969 Indirizzo PEC: sorgenia.renewables@legalmail.it Sede legale: Via Alessandro Algardi 4, 20148 Milano	

Revisione	Data	Elaborato	Verificato	Approvato	Descrizione
00	15/11/2022	F.Lauretti	Imperato	Sorgenia Renewables	Relazione di impatto elettromagnetico

N° DOCUMENTO	SRG-SLP-RIE	SCALA	--	FORMATO	A4
--------------	-------------	-------	----	---------	----

INDICE

1	INTRODUZIONE	4
2	LOCALIZZAZIONE DEL PROGETTO	5
3	DESCRIZIONE SINTETICA DEL PROGETTO.....	7
4	GENERALITÀ SUI CAMPI ELETTROMAGNETICI	8
4.1	I CAMPI ELETTRICI E MAGNETICI	9
4.2	EFFETTI BIOLOGICI E LIMITI DI ESPOSIZIONE	9
5	RIFERIMENTI LEGISLATIVI NAZIONALI	11
6	EMISSIONI DERIVANTI DALL'IMPIANTO	15
6.1	AEROGENERATORE	15
6.2	CAVIDOTTI IN MEDIA TENSIONE	16
6.2.1	<i>Tipologia cavi</i>	18
6.2.2	<i>Collegamenti elettrici</i>	20
6.2.3	<i>Posa cavidotto MT</i>	22
6.3	STAZIONE ELETTRICA UTENTE MT-AT	23
7	ESPOSIZIONE POST-OPERAM A CAMPI ELETTROMAGNETICI	24
7.1	CAMPO B GENERATO DAI CAVIDOTTI INTERNI.....	24
7.2	CAMPO B GENERATO DAL CAVIDOTTO ESTERNO	28
7.3	CAMPO B GENERATO DALLA STAZIONE ELETTRICA UTENTE MT-AT	30
7.4	ANALISI DEGLI EFFETTI SUI RICETTORI	31
8	CONCLUSIONI	33

INDICE DELLE FIGURE

<i>Figura 1: Inserimento dell'area di impianto e del punto di connessione su carta IGM 1:250000</i>	5
<i>Figura 2: Inquadramento del layout di Sant'Elia su cartografia IGM 1:25000</i>	6
<i>Figura 3: Andamento dell'induzione magnetica B generata da un tratto rettilineo di terna trifase, per diverse configurazioni geometriche della terna stessa.</i>	17
<i>Figura 4: Andamento del campo B generato da una terna piana trifase percorsa da corrente di 300 A (blu), 600 A (ciano) e 900 A (arancio) e indicazione delle distanze dalla linea necessarie per rientrare nei limiti di legge e nella SAE.</i>	18
<i>Figura 5: Sezione tipo del cavo in MT - 30kV - ARE4H5(AR)EX</i>	19
<i>Figura 6: Sezione tipo del cavo in MT - 30 kV - ARE4H5(AR)E</i>	20
<i>Figura 7: Percorsi dei cavidotti interni (fino al punto B)</i>	21
<i>Figura 8: Sezione tipo di scavo per i cavidotti interrati in MT interni all'area d'impianto</i>	22
<i>Figura 9: Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto in MT interno all' area d'impianto in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità</i>	25
<i>Figura 10: Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto in MT interno all' area d'impianto in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità</i>	26
<i>Figura 11: Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto in MT interno all' area d'impianto in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità</i>	27
<i>Figura 12: Percorso del cavidotto esterno al parco eolico</i>	28
<i>Figura 13: Campo di induzione magnetica B (μT) generato dai cavidotti MT nel tratto esterno al progetto eolico in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità</i>	29
<i>Figura 14: Ortofoto del ricettore R1</i>	31
<i>Figura 15: Ortofoto del ricettore R2</i>	32

INDICE DELLE TABELLE

<i>Tabella 1: Riferimento catastale e geografico della posizione degli aerogeneratori</i>	<i>6</i>
<i>Tabella 2: Caratteristiche tecniche dell'aerogeneratore di progetto.....</i>	<i>7</i>
<i>Tabella 3: Limiti della normativa italiana sull'esposizione a campi elettromagnetici a 50 Hz, indicati nel DPCM dell'8 Luglio 2003.....</i>	<i>12</i>
<i>Tabella 4: Induzione magnetica B generata da comuni elettrodomestici a 50 Hz.</i>	<i>13</i>
<i>Tabella 5: valori di induzione magnetica prodotta dal trasformatore MT/BT</i>	<i>16</i>
<i>Tabella 6: Sezioni e lunghezze dei cavi scelti in MT interni al parco</i>	<i>21</i>
<i>Tabella 7: Caratteristiche degli scavi in MT</i>	<i>23</i>
<i>Tabella 8: Tratti di cavidotto interno con cavi da 630 mmq</i>	<i>24</i>
<i>Tabella 9: Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo sull'asse stradale, per i ricettori interni all'impianto</i>	<i>25</i>
<i>Tabella 10: Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo sull'asse stradale, per i ricettori interni all'impianto</i>	<i>26</i>
<i>Tabella 11: Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo sull'asse stradale, per i ricettori interni all'impianto</i>	<i>27</i>
<i>Tabella 12: Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo sull'asse stradale, per i ricettori esterni all'impianto</i>	<i>29</i>
<i>Tabella 13: Distanza di prima approssimazione dalle opere di progetto.....</i>	<i>33</i>

1 INTRODUZIONE

Studio Rinnovabili, in qualità di consulente tecnico e tramite la società SR International S.r.l., è stata incaricata dalla società proponente **Sorgenia Renewables S.r.l.** di redigere il progetto definitivo per lo sviluppo di un impianto eolico e delle relative opere di connessione. Studio Rinnovabili, attraverso la società SR International Srl, è una azienda di consulenza che dal 2005 fornisce servizi nel campo delle energie rinnovabili, e tra questi l'analisi di dati vento, studi di produzione energetica, asseverazioni tecniche e progettazione di impianti eolici. Sorgenia Renewables è una società di sviluppo e gestione di impianti per la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile, facente capo a Sorgenia S.p.A.

Il progetto eolico qui descritto ha una potenza nominale complessiva di 41.4 MW ottenuta per mezzo di 9 aerogeneratori tripala da 4.6 MW, collocati nel territorio di Sant'Elia a Pianisi in Regione Molise.

Il presente documento costituisce la relazione di impatto elettromagnetico concernente la realizzazione dell'impianto di produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile eolica denominato "Sant'Elia" di potenza 41.4 MW (di seguito il "Progetto" o "l'Impianto"), nel comune di Sant'Elia (CB), e le relative opere di connessione, nei Comuni di Monacilioni, Ripabottoni e Morrone del Sannio (CB) che intende realizzare la società Sorgenia Renewables (di seguito la "Società").

2 LOCALIZZAZIONE DEL PROGETTO

Gli aerogeneratori che compongono il progetto eolico Sant'Elia sono interamente ubicati nel comune di Sant'Elia a Pianisi (CB), in Molise, ad un'altitudine compresa tra i 400 ed i 600 m s.l.m. L'area, di carattere collinare, è adibita prevalentemente ad uso agricolo. Sono presenti macchie boschive sparse, specie nella parte centrale dell'area di interesse.

L'area del parco eolico è situata a circa 3.5 km a nord dal centro abitato di Sant'Elia a Pianisi (CB), a circa 7.5 km a sud-est dal centro abitato di Ripabottoni (CB) e a circa 7.5 km a nord-ovest da Bonefro (CB). Occupa una superficie totale di 7.5 km². L'elettricità prodotta viene condotta per mezzo di un cavo MT interrato dall'area di parco fino ad una sottostazione di nuova realizzazione inserita sul ramo "Morrone – Larino". Nel suo percorso, tale cavo interrato passa sui territori comunali di Sant'Elia a Pianisi, Monacilioni, Ripabottoni e Morrone del Sannio, in provincia di Campobasso. Figura 1 riporta la posizione dell'area progetto su IGM 1:250000, nonché della Stazione Utente 30/36 kV e della Stazione RTN.

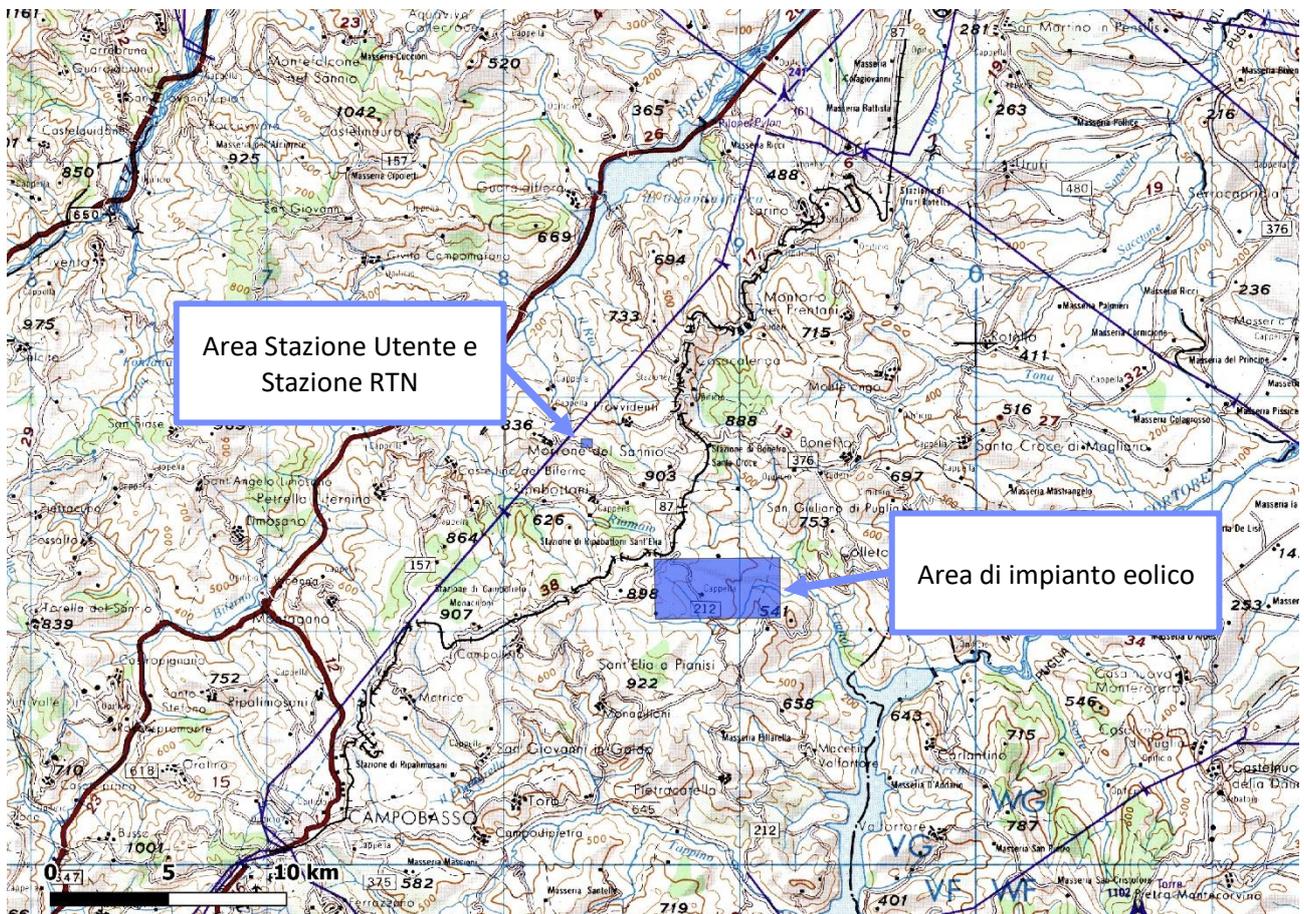


Figura 1: Inserimento dell'area di impianto e del punto di connessione su carta IGM 1:250000

Si riporta, inoltre, il layout di impianto su carta IGM 1:25000 (Figura 2). Seguono gli identificativi, i dati catastali e le coordinate assolute nel sistema di riferimento UTM WGS84 F33 Nord (Tabella 1).

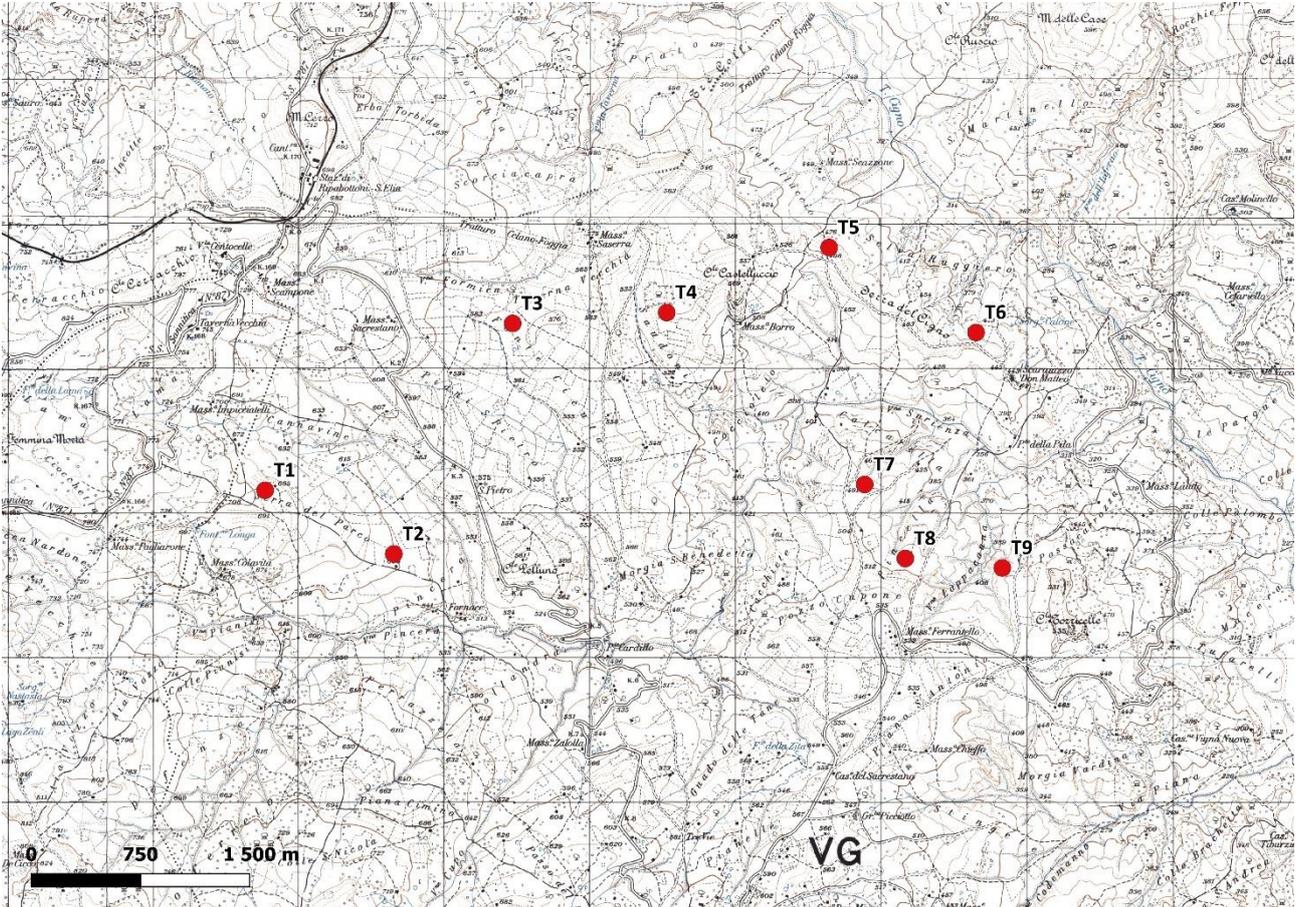


Figura 2: Inquadramento del layout di Sant'Elia su cartografia IGM 1:25000

Id	Comune	Riferimento catastale		UTM WGS 84 F33 Nord	
		Foglio	Particella	Est [m]	Nord [m]
T01	Sant'Elia a Pianisi	13	14	486695	4610963
T02	Sant'Elia a Pianisi	13	33	487578	4610523
T03	Sant'Elia a Pianisi	6	92	488375	4612085
T04	Sant'Elia a Pianisi	15	320	489453	4612193
T05	Sant'Elia a Pianisi	17	56	490644	4612604
T06	Sant'Elia a Pianisi	18	98	491577	4612054
T07	Sant'Elia a Pianisi	30	76	490807	4611995
T08	Sant'Elia a Pianisi	30	169	491091	4610492
T09	Sant'Elia a Pianisi	32	24	491753	4610427

Tabella 1: Riferimento catastale e geografico della posizione degli aerogeneratori

3 DESCRIZIONE SINTETICA DEL PROGETTO

Il progetto per la realizzazione dell'impianto eolico da 41.4 MW nel comune di Sant'Elia (CB) prevede di installare 9 aerogeneratori di potenza nominale pari a 4.6 MW. L'energia elettrica prodotta dagli aerogeneratori verrà trasmessa a mezzo di un cavidotto interrato in media tensione (MT) a 30kV, il cui tracciato corre nei Comuni di Monacilioni (CB) e Ripabottoni (CB), fino ad una cabina di trasformazione 30/36 kV nel Comune di Morrone del Sannio (CB). Conformemente a quanto indicato nella Soluzione tecnica minima generale di connessione - cod. pratica 202101880 - comunicata dalla società TERNA S.p.a. in data 11/11/2021, lo schema di connessione alla RTN prevede che l'impianto venga collegato in antenna a 36 kV con la sezione 36 kV di una nuova stazione elettrica di trasformazione (SE) 150/36 kV della RTN, da inserire in entra – esce sul costruendo elettrodotto RTN a 150 kV della RTN "Morrone - Larino", previa:

- realizzazione di un nuovo collegamento a 150 kV tra la suddetta SE e la cabina primaria di Pietracatella;
- potenziamento/rifacimento della linea RTN 150 kV "Morrone – Larino".

Pertanto la cabina di trasformazione 30/36 kV verrà collocata nel Comune di Morrone del Sannio (CB) in posizione limitrofa alla costruenda stazione elettrica di trasformazione (SE) 150/36 kV della RTN cui verrà collegata in antenna mediante cavidotto interrato a 36 kV.

Il modello di aerogeneratore sarà selezionato sulla base delle più innovative tecnologie disponibili sul mercato. Il tipo e la taglia esatta dell'aerogeneratore saranno comunque individuati in seguito della fase di acquisto della macchina e verranno descritti in dettaglio in fase di progettazione esecutiva. Si riportano in Tabella 2 le principali caratteristiche tecniche di un aerogeneratore con potenza nominale pari a 4,6 MW.

Potenza nominale	4,6 MW
Diametro del rotore	170 m
Lunghezza della pala	83 m
Corda massima della pala	4,5 m
Area spazzata	22.698 m
Altezza al mozzo	125 m
Classe di vento IEC	IIIA
Velocità cut-in	3 m/s
V nominale	10 m/s
V cut-out	25 m/s

Tabella 2: Caratteristiche tecniche dell'aerogeneratore di progetto

Nei pressi di ogni aerogeneratore sarà realizzata una piazzola opportunamente dimensionata, collegata alla viabilità pubblica per mezzo di strade carrabili con ampiezza di 5 m. Sono previsti inoltre adeguamenti stradali laddove le condizioni della viabilità esistente non permettano il trasporto di grandi componenti fino all'area di parco.

Il progetto oggetto di questo studio è frutto di scelte e considerazioni tecniche effettuate nel rispetto dei vincoli territoriali e del contesto insediativo circostante. L'impianto produrrà energia da fonte rinnovabile con lo scopo di aumentare la sicurezza dell'approvvigionamento di energia e di diminuire la dipendenza da fonti fossili, contribuendo al raggiungimento degli obiettivi strategici nazionali verso la transizione energetica.

4 GENERALITÀ SUI CAMPI ELETTROMAGNETICI

Lo sviluppo economico di un paese è strettamente collegato ai consumi e alla disponibilità di energia, la cui fonte primaria oggi è il petrolio.

I combustibili fossili però, oltre al fatto che vengono consumati con una velocità milioni di volte superiore a quella con la quale si sono accumulati naturalmente, essendo quindi destinati ad una progressiva rarefazione, sono anche i principali responsabili del degrado dell'ambiente, con gravi conseguenze sulla salute dell'uomo, sulla flora, sulla fauna e sul patrimonio artistico.

Con il protocollo di Kyoto (Dicembre 1997) le maggiori potenze mondiali, tra le quali l'Italia, si sono impegnate a diminuire le emissioni dei gas-serra per prevenire i cambiamenti climatici, e a Johannesburg (Dicembre 2001) i Paesi sottoscrittori, esclusi gli USA ma con l'aggiunta di Russia e Cina, hanno riconfermato la loro adesione a tale accordo. Nel settembre 2004 poi la Russia ha deciso di ratificare il Protocollo, rendendolo così operativo. Il 12 Dicembre 2008 è stato approvato dagli Stati Membri della UE il "Pacchetto cambiamenti climatici ed energia", già definito 20-20-20, che prevede il raggiungimento di una quota del 20% di energie rinnovabili nel totale dei consumi energetici entro il 2020. La strada da percorrere nell'ottica di uno sviluppo sostenibile è dunque quella dello sfruttamento delle fonti di energia non soggette ad un esaurimento nel tempo e non impattanti sull'ambiente.

Alla produzione e al trasporto di energia elettrica, siano essi basati su fonti tradizionali fossili sia su fonti rinnovabili, si associano delle emissioni elettromagnetiche, dovute in massima parte alla corrente elettrica che scorre nei cavidotti aerei e/o interrati. Nella progettazione di nuovi impianti di produzione di energia elettrica risulta dunque necessario assicurarsi che da tali opere non scaturiscano situazioni possibilmente dannose per la popolazione legate all'esposizione di tali campi elettromagnetici. L'interazione tra campi elettromagnetici e sistemi biologici è governata in generale dalle equazioni di Maxwell, che descrivono la propagazione, riflessione e assorbimento dei campi elettromagnetici in tutti i mezzi, tra cui anche i tessuti biologici. In particolare, lo studio di possibili effetti legati all'esposizione a campi elettromagnetici è affrontato da una disciplina scientifica che prende il nome di bio-elettromagnetismo, che in sintesi è basata sull'analisi di due aspetti:

- **Dosimetria:** valutazione quantitativa del campo elettromagnetico a cui è esposto un soggetto in presenza di una data sorgente elettromagnetica.
- **Effetti biologici:** valutazione di possibili effetti biologici legati all'esposizione a una certa dose di campo.

Quest'ultimi possono essere sia dannosi che positivi (nel caso di applicazioni biomedicali) e sono strettamente legati alle caratteristiche dei campi elettromagnetici cui si è esposti ovvero frequenza, intensità, polarizzazione e forma d'onda.

Il parametro di maggior interesse è la frequenza, poiché campi a bassa frequenza agiscono sui sistemi biologici secondo meccanismi sostanzialmente diversi da quelli ad alta frequenza. Nel caso della bassa frequenza, come quello di elettrodotti a 50 Hz quali quello in esame, è possibile dimostrare che campi elettrici e magnetici sono sostanzialmente indipendenti (o disaccoppiati), per cui possono essere trattati separatamente.

4.1 I CAMPI ELETTRICI E MAGNETICI

Il campo elettrico è legato in maniera direttamente proporzionale alla tensione della sorgente; esso si attenua, allontanandosi da un elettrodotto, come l'inverso della distanza dai conduttori. Dal momento che i valori efficaci delle tensioni di linea variano debolmente con le correnti che le attraversano, l'intensità del campo elettrico può considerarsi, in prima approssimazione, costante. La presenza di alberi, oggetti conduttori o edifici in prossimità delle linee riduce l'intensità del campo elettrico, e in particolare all'interno degli edifici, si possono misurare intensità di campo fino a 10 (anche 100) volte inferiori a quelle rilevabili all'esterno.

L'intensità maggiore del campo elettrico in elettrodotti aerei si misura generalmente al centro della campata, ossia nel punto in cui i cavi si trovano alla minore distanza dal suolo. L'andamento e il valore massimo delle intensità dei campi dipenderanno anche dalla disposizione e dalle distanze tra i conduttori della linea. Nel caso di elettrodotti interrati, il campo elettrico è ridotto dai rivestimenti dei cavi e soprattutto dall'interramento, tanto che già a brevissima distanza dal cavo il campo è sostanzialmente trascurabile. Si pensi infatti che date le caratteristiche dielettriche del terreno, il piano di terra costituisce un riferimento elettrico equipotenziale, a potenziale nullo. Per tale motivo, il campo elettrico non è generalmente di interesse per la valutazione di effetti biologici legati alla presenza di elettrodotti in bassa frequenza, e le normative che fissano i limiti di esposizione a bassa frequenza sono incentrate sul campo magnetico.

Il campo magnetico generato dalla corrente che scorre in un elettrodotto è invece la grandezza di maggiore interesse per la valutazione di possibili effetti biologici. Infatti, si presenta come un'onda di bassa impedenza, quindi in grado di penetrare facilmente all'interno della quasi totalità dei materiali (solo quelli ferromagnetici possono ostacolarla). L'interazione con i tessuti organici si esplica prevalentemente con la generazione di correnti indotte dalle variazioni del campo magnetico nel tessuto stesso. Quando tali correnti sono superiori a determinate soglie, possono indurre degli effetti acuti dannosi.

Le grandezze che determinano l'intensità del campo magnetico indotto da un elettrodotto sono principalmente le seguenti:

- 1) *Intensità delle sorgenti (correnti di linea);*
- 2) *Distanza dalle sorgenti (conduttori);*
- 3) *Disposizione e distanza tra sorgenti (distanza mutua tra i conduttori di fase);*
- 4) *Presenza di sorgenti compensatrici;*
- 5) *Suddivisione delle sorgenti (terne multiple).*

I metodi di controllo del campo magnetico si basano principalmente sulla riduzione della distanza tra le fasi, sull'installazione di circuiti addizionali (spire) nei quali circolano correnti di schermo, sull'utilizzazione di circuiti in doppia terna a fasi incrociate e sull'utilizzazione di linee interrate. Campi a bassa frequenza sono emessi anche da alcuni strumenti elettromedicali e dalle apparecchiature domestiche o industriali alimentate da energia elettrica.

4.2 EFFETTI BIOLOGICI E LIMITI DI ESPOSIZIONE

Si è precedentemente anticipato che gli effetti biologici indotti dall'esposizione a campi elettromagnetici sono legati a meccanismi di accoppiamento sostanzialmente diversi a seconda che i campi siano ad alta o bassa frequenza.

Ad alta frequenza (telefonia cellulare, emissioni radiotelevisive ecc.), il meccanismo di interazione di base è quello dell'orientamento dei dipoli che costituiscono un tessuto secondo le polarità del campo, che oscillano ad alta frequenza: ciò induce una dissipazione di energia che viene assorbita dal tessuto, riscaldandolo. Tale riscaldamento, oltre una certa soglia, comporta degli effetti dannosi sul tessuto stesso fino anche alla morte

cellulare per esposizioni acute. La grandezza di interesse con cui caratterizzare l'esposizione ad alta frequenza è la Specific Absorbtion Rate (SAR) [W/Kg], che rappresenta l'energia per unità di tempo e di massa assorbita dal tessuto. Numerosi studi sperimentali condotti nell'ultimo ventennio hanno permesso l'individuazione dei livelli di SAR responsabili di effetti dannosi. Sulla base di tali livelli si sono quindi definiti dei limiti di esposizione, cui fanno riferimento le normative nazionali ed internazionali. Non si approfondiranno ulteriormente tali aspetti, concentrando l'attenzione sulla bassa frequenza, che include il caso degli elettrodotti.

A bassa frequenza, l'interazione con i tessuti organici si esplica prevalentemente con la generazione di correnti indotte dalle variazioni nel tempo del campo magnetico.

Tali correnti sono la principale conseguenza dell'esposizione e la loro intensità J è definita mediante la seguente espressione:

$$J \approx \pi \frac{L}{2} \sigma f B$$

in cui L e σ sono rispettivamente la dimensione caratteristica e la conducibilità del tessuto, f e B sono la frequenza e l'intensità dell'induzione magnetica indotta dall'esposizione nel tessuto biologico. Studi sperimentali hanno messo in evidenza l'esistenza di livelli di correnti indotte alle quali si manifestano effetti biologici dannosi. Questi ultimi partono dalla stimolazione nervosa e la contrazione neuro-muscolare, fino alla fibrillazione ventricolare e la folgorazione per esposizioni acute.

Malgrado l'abbondanza di letteratura scientifica sul tema, gli stessi studi non concordano nell'individuare una soglia limite di campo magnetico oltre al quale esso diventi nocivo. Dunque, questo studio si atterrà alla sola normativa nazionale per una valutazione oggettiva degli effetti sulla salute causati dai campi magnetici.

5 RIFERIMENTI LEGISLATIVI NAZIONALI

L'Italia ha provveduto a emanare norme cautelative in materia di protezione dai campi elettromagnetici, anche in assenza di studi sperimentali che suggeriscano tale precauzione. Attualmente, l'esposizione ai campi elettromagnetici è regolamentata dalla Legge quadro 22/02/2001, n. 36, "Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici", pubblicata sulla G.U. 7 marzo 2001, n.55, che stabilisce il quadro normativo per gli impianti esistenti e per quelli futuri. Tale quadro ha fissato i criteri e il contesto di riferimento per l'esposizione ai campi elettromagnetici ed è stata seguita nel 2003 da decreti attuativi che indicano i valori limite da rispettare. Dall'articolo 3 della Legge suddetta si riportano le definizioni delle grandezze di interesse per la caratterizzazione dell'esposizione a campi elettromagnetici:

- a) **esposizione:** è la condizione di una persona soggetta a campi elettrici, magnetici, elettromagnetici, o a correnti di contatto, di origine artificiale;
- b) **limite di esposizione:** è il valore di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, considerato come valore di immissione, definito ai fini della tutela della salute da effetti acuti, che non deve essere superato in alcuna condizione di esposizione della popolazione e dei lavoratori per le finalità di cui all'articolo 1, comma 1, lettera a);
- c) **valore di attenzione:** è il valore di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, considerato come valore di immissione, che non deve essere superato negli ambienti abitativi, scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze prolungate per le finalità di cui all'articolo 1, comma 1, lettere b) e c). Esso costituisce misura di cautela ai fini della protezione da possibili effetti a lungo termine e deve essere raggiunto nei tempi e nei modi previsti dalla legge;
- d) **obiettivi di qualità** sono:
 - 1) i criteri localizzativi, gli standard urbanistici, le prescrizioni e le incentivazioni per l'utilizzo delle migliori tecnologie disponibili, indicati dalle leggi regionali secondo le competenze definite dall'articolo 8;
 - 2) i valori di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, definiti dallo Stato secondo le previsioni di cui all'articolo 4, comma 1, lettera a), ai fini della progressiva mitigazione dell'esposizione ai campi medesimi;
- e) **elettrodotti:** è l'insieme delle linee elettriche, delle sottostazioni e delle cabine di trasformazione;
- f) **esposizione dei lavoratori e delle lavoratrici:** è ogni tipo di esposizione dei lavoratori e delle lavoratrici che, per la loro specifica attività lavorativa, sono esposti a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici;
- g) **esposizione della popolazione:** è ogni tipo di esposizione ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici, ad eccezione dell'esposizione di cui alla lettera f) e di quella intenzionale per scopi diagnostici o terapeutici.

Successivamente due D.P.C.M. dell'8 luglio 2003 hanno fissato i limiti di esposizione, i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione. I due decreti disciplinano separatamente le basse (elettrodotti) e le alte frequenze (impianti radiotelevisivi, stazioni radio base, ponti radio). In particolare, si riportano di seguito gli articoli 3 e 4, in cui sono presenti i valori limite per elettrodotti esistenti (art. 3) e per la progettazione di nuovi elettrodotti (art. 4).

Articolo 3

Limiti di esposizione e valori di attenzione

- 1) Nel caso di esposizione a campi elettrici e magnetici alla frequenza di 50 Hz generati da elettrodotti, non deve essere superato il limite di esposizione di **100 μT** per l'induzione magnetica e quello di 5 kV/m per il campo elettrico, intesi come valori efficaci.
- 2) A titolo di misura cautelativa per la protezione da possibili effetti a lungo termine, eventualmente connessi con l'esposizione ai campi magnetici generati alla frequenza di rete (50 Hz), nelle aree gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere, si assume per l'induzione magnetica il valore di attenzione di **10 μT** , da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.

Articolo 4

Obiettivi di qualità

Nella progettazione di nuovi elettrodotti in corrispondenza di aree gioco per l'infanzia, di ambienti abitativi, di ambienti scolastici e di luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore e nella progettazione dei nuovi insediamenti e delle nuove aree di cui sopra in prossimità di linee ed installazioni elettriche già presenti nel territorio, ai fini della progressiva minimizzazione dell'esposizione ai campi elettrici e magnetici generati dagli elettrodotti operanti alla frequenza di 50 Hz, è fissato l'obiettivo di qualità di **3 μT** per il valore dell'induzione magnetica, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio. Riassumendo dunque i limiti di legge in vigore in Italia relativi all'esposizione a campi elettromagnetici alla frequenza di 50 Hz sono quelli riportati in Tabella 3.

Campi a 50 Hz

	Campo Elettrico [kV/m]	Campo Magnetico [μT]
Lim. di esp.	5	100
Valori di att.	-	10
Ob. di qual.	-	3

Tabella 3: Limiti della normativa italiana sull'esposizione a campi elettromagnetici a 50 Hz, indicati nel DPCM dell'8 Luglio 2003.

A titolo esemplificativo si riportano in Tabella 4 i livelli di induzione magnetica generati da comuni elettrodomestici alimentati dalla rete elettrica a 50 Hz. Si noti che in prossimità degli stessi si raggiungono valori ben superiori ai limiti di legge, anche se l'uso di tali strumenti non comporta tipicamente esposizione di tipo prolungato.

Fonte	Induzione magnetica μT	
	vicino	30 cm
Apriscatole	2000	16
Asciugacapelli	2500	7
Aspirapolvere	800	20
Coperta elettrica	30	-
Ferro da stiro	30	0.4
Forno elettrico	1000	20
Frullatore	700	10
HiFi	5	5
Lampada 325 W	2500	-
Lampada alogena	12	12
Lampada a incandescenza	400	4
Caffettiera elettrica	2.5	0.15
Monitor computer	0.25	0.25
Radiosveglia	5	5
Rasoio elettrico	1500	9
Saldatore	800	20
Sega elettrica	1000	25
Trapano	800	16
TV color	500	4
Ventilatore	180	40

Tabella 4: Induzione magnetica B generata da comuni elettrodomestici a 50 Hz.

Successivamente, in esecuzione della Legge 36/2001 e del suddetto il D.P.C.M. 08/07/2003, è stato emanato il D.M. ATTM del 29/05/2008, che ha definito i criteri e la metodologia per la determinazione delle fasce di rispetto, introducendo inoltre il criterio della “distanza di prima approssimazione (DPA)” e delle connesse “aree o corridoi di prima approssimazione”.

In particolare, si ricorda che con esso sono state date le seguenti definizioni:

- portata in corrente in servizio normale: è la corrente che può essere sopportata da un conduttore per il 100% del tempo con limiti accettabili del rischio di scarica sugli oggetti mobili e sulle opere attraversate e dell'invecchiamento;
- portata di corrente in regime permanente: massimo valore della corrente che, in regime permanente e in condizioni specificate, il conduttore può trasmettere senza che la sua temperatura superi un valore specificato (secondo CEI 11-17 par. 1.2.05);
- 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;
- distanza di prima approssimazione (DPA): per le linee è la distanza, in pianta sul livello del suolo; dalla proiezione del centro linea che garantisce che ogni punto la cui proiezione al suolo disti dalla proiezione del centro linea più di DPA si trovi all'esterno delle fasce di rispetto. Inoltre, è stato definito il valore di corrente da utilizzare nel calcolo come la portata in corrente in servizio normale relativa al periodo stagionale in cui essa è più elevata ed in dettaglio:
 - per linee aeree con tensione superiore a 100 kV la portata di corrente in servizio normale viene calcolata ai sensi della norma CEI 11-60;
 - per le linee in cavo la corrente da utilizzare nel calcolo è la portata in regime permanente così come definita nella norma CEI 11-17.

In base al D.M. Ambiente 29.05.2008, restano escluse dall'applicazione della metodologia le linee esercite a frequenze diverse da quella di rete (50 Hz), le linee definite di classe zero e di prima classe secondo il D.I. 21.03.1988 n.449, nonché le linee in MT in cavo cordato ad elica (interrate o aeree) in quanto, in tutti questi casi, le fasce associabili hanno ampiezza ridotta, inferiori alle distanze previste dal D.I. n.449/88 e dal D.M.LL.PP. del 16.01.1991.

6 EMISSIONI DERIVANTI DALL'IMPIANTO

Un impianto eolico è costituito dei seguenti componenti principali che potrebbero causare emissioni di campi magnetici:

- aerogeneratore;
- cavidotti in MT interni ed esterni al parco eolico;
- sottostazione utente di trasformazione 30/36 kV

Infatti, tali componenti o sistemi elettrici, percorsi da corrente, generano campi elettromagnetici di diversa intensità dei quali, ci occuperemo in maniera dettagliata nel proseguo dello studio.

6.1 AEROGENERATORE

Il componente elettromeccanico fondamentale di un parco eolico è l'aerogeneratore, composto da:

- fondazione;
- torre di sostegno;
- navicella con organi di trasmissione, trasformazione e generazione;
- rotore con pale per lo sfruttamento del vento.

Tutti gli aerogeneratori del parco saranno collegati attraverso un anello di cavo in fibra ottica costituita da un minimo di 24 fibre ottiche ed avrà un rinforzo centrale in fibra di vetro, gel anti umidità e una doppia spirale di protezione. Il cavo sarà posato in un tubo che correrà a fianco ai cavi di potenza nel cavidotto in MT.

Il generatore elettrico in navicella può indurre campi elettromagnetici. Dato il basso valore della tensione in uscita dal generatore (600-800 V) il valore del campo elettrico è trascurabile mentre il campo magnetico può assumere valori di interesse esclusivamente nelle immediate vicinanze del generatore all'interno della navicella che è situata a circa 125 metri di altezza dal suolo.

Attorno alla navicella non sono presenti significativi campi elettromagnetici poiché nei moderni aerogeneratori i componenti meccanici e l'involucro esterno della navicella non sono più realizzati con materiali metallici, come accadeva nei primi aerogeneratori.

Per quanto riguarda invece i collegamenti radio-televisivi, è necessario che gli aerogeneratori siano collocati fuori dal cono di trasmissione, soprattutto per comunicazioni con forte direzionalità; in particolare le interferenze degli aerogeneratori possono essere imputabili alla generazione di un locale campo magnetico dovuto al moto delle pale metalliche che interagisce con il campo magnetico delle onde radio-televisive. Tali interferenze sono state minimizzate con l'utilizzo di pale in materiale non metallico (p.e. vetroresina).

Per quanto concerne le cabine elettriche interne alla macchina, il trasformatore MT/BT è ubicato nella navicella mentre i quadri a MT di protezione e sezionamento sono ubicati nella base della torre. Si può dire che, nelle prove sperimentali condotte da diverse ARPA in Italia, nelle cabine di trasformazione MT/BT l'emissione di campi magnetici è da attribuire al trasformatore e alle sbarre del quadro in BT.

La valutazione del campo B generato dal trasformatore 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. Si riporta di seguito, la tabella dei valori di induzione magnetica prodotta dal trasformatore MT/BT in olio, della potenza di 6.500 kVA e tensione di corto circuito 6%, installato all'interno dell'aerogeneratore in progetto, al variare della distanza:

Potenza trasformatore in olio	Distanza dal trasformatore				
	1 m	2 m	3 m	5 m	10 m
6500 kVA	208,856 μ T	29,989 μ T	9,636 μ T	2,305 μ T	0,331 μ T

Tabella 5: valori di induzione magnetica prodotta dal trasformatore MT/BT

Si evince in questo caso che il campo B assumerà valori molto bassi ad una distanza al suolo che è pari a circa 125 m.

Per la valutazione dei campi generati dalle sbarre di bassa tensione all'interno del quadro BT, si ipotizza che siano disposte in piano distinte l'una dall'altra, con $d=15$ cm, lunghe circa 2 metri e percorse da un valore di corrente corrispondente alla potenza di 4.6 MW della turbina. Dalla formula successiva si può ricavare il valore del campo B massimo:

$$B_{max} = 0,346 \cdot I \cdot d \cdot \sin(\arctg(\frac{l}{2}))/ (1 + d^2)$$

Dal calcolo si evince che, ad un metro di distanza dalle sbarre, l'induzione magnetica assume il suo massimo valore di circa 3.9 μ T. Il valore del campo B diminuisce esponenzialmente (come per i trasformatori) e si riduce a pochi μ T già a pochi metri dalle sbarre. Ovviamente bisogna tenere presente che le torri non sono accessibili al personale non autorizzato e quindi l'eventuale esposizione è limitata alle manovre di manutenzione nei riguardi degli addetti ai lavori, qualificati ed attrezzati per tali interventi.

6.2 CAVIDOTTI IN MEDIA TENSIONE

Di maggiore interesse, come già accennato, è invece l'esposizione legata al passaggio di corrente sia nei cavidotti interni al parco eolico che di collegamento alla SU, in quanto esiste la possibilità che il percorso di tali cavidotti sia prossimo ad unità abitative (o ricettori). Sarà dunque necessario verificare che l'esposizione associata sia conforme ai limiti di legge.

La progettazione per la costruzione dell'elettrodotto di media tensione, viene redatta nel rispetto del D.M. del 21 Marzo 1988 n.28 (Norme tecniche per la progettazione, l'esecuzione e l'esercizio delle linee elettriche aeree esterne di classe zero, prima e seconda) e la sua realizzazione avverrà in conformità agli articoli 3, 4 e 6 del DPCM 80.07.93 "Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alle frequenze di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti". Si precisa che, secondo quanto previsto dal Decreto 29 Maggio 2008 (G.U. n.156 del 5 luglio 2006) la tutela in merito alle fasce di rispetto di cui all'art.6 del DPCM 08 Luglio 2003 non si applica per le linee di media tensione in cavo cordato ad elica (interrato od aereo), in quanto le relative fasce di rispetto hanno un'ampiezza ridotta, inferiore alle distanze previste dal D.M. del 21 Marzo 1988 n.28 sopra citato e s.m.i.

Tipicamente, i cavidotti per il trasporto dell'energia prodotta da impianti eolici sono costituiti da sistemi trifase, per ragioni di efficienza elettrica. Dal punto di vista elettromagnetico, ciò costituisce un vantaggio poiché mentre il campo magnetico generato da un sistema unifilare decade linearmente con la distanza, quello relativo a sistemi trifase decade con il quadrato della distanza, per via dello sfasamento tra le correnti della terna. Più in particolare, come già precedentemente specificato, le grandezze che determinano l'intensità del campo magnetico indotto da un elettrodotto sono principalmente le seguenti:

- 1) Intensità delle sorgenti (correnti di linea);
- 2) Distanza dalle sorgenti (conduttori);
- 3) Disposizione e distanza tra sorgenti (distanza mutua tra i conduttori di fase);
- 4) Presenza di sorgenti compensatrici;
- 5) Suddivisione delle sorgenti (terne multiple).

Con riferimento ad un tratto rettilineo di linea di un cavidotto trifase, si riportano in Figura 4 le equazioni che descrivono l'andamento dell'induzione magnetica B con la distanza dal cavidotto, nel caso di tre possibili configurazioni geometriche della terna.

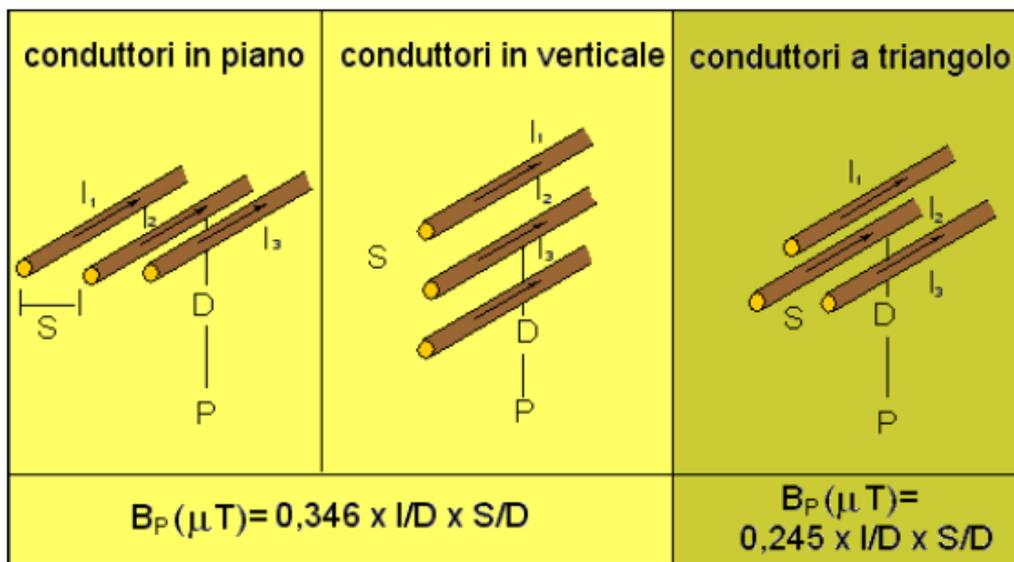


Figura 3: Andamento dell'induzione magnetica B generata da un tratto rettilineo di terna trifase, per diverse configurazioni geometriche della terna stessa.

Si osserva dalle relazioni in Figura 4 che il campo B aumenta linearmente con la corrente di linea I e decade con il quadrato della distanza D dalla linea. Inoltre, il campo B aumenta linearmente con la distanza tra i conduttori S. Ciò rappresenta il motivo per cui cavidotti aerei, che presentano conduttori generalmente più distanti tra loro, generano campi che decadono più lentamente con la distanza rispetto a cavidotti interrati, a parità di corrente. Infine, si noti che la configurazione a triangolo è quella cui si associa minore generazione di campo B, per via dell'opposizione tra le fasi.

Da un punto di vista quantitativo, per avere un'idea del campo generato dai cavidotti interni ad un generico impianto, si considerino tre tipologie di cablaggi con portate in corrente di tre classi: 300 A, 600 A e 900 A. Nell'ipotesi di terna piana, si riporta in Figura 5 l'andamento del campo B generato al livello del suolo dal passaggio di corrente di 300, 600 e 900 A, supponendo una distanza tra i conduttori pari a 5 cm (tipica di un cavidotto MT) ed un interrimento di 1 m. Si osservi dalla stessa figura come il campo magnetico assuma il valore massimo in corrispondenza della minima distanza dei conduttori dal suolo, ossia in corrispondenza (sopra) l'asse della linea, e decada molto rapidamente con la distanza laterale. Nella stessa figura sono indicati i valori di riferimento indicati dalla normativa: limite di esposizione (100 μT) e Obiettivo di Qualità per la progettazione di nuovi elettrodotti (3 μT). Con riferimento a tali valori, si sono indicate le distanze oltre le quali il campo B è al di sotto di tali limiti. In particolare, il limite di esposizione di 100 μT non viene mai

raggiunto. L'obiettivo di qualità di $3 \mu\text{T}$, che è il principale riferimento normativo per i cavidotti del presente progetto, è superato solo nelle immediate vicinanze del cavidotto, ma già entro 1 m di distanza il campo B è inferiore a $3 \mu\text{T}$.

In generale, si può osservare come tali distanze siano molto ridotte, per via della bassa distanza tra i conduttori e delle correnti non molto elevate. Già in questa fase appare quindi evidente come l'esposizione legata ai cavidotti di impianto non comporti situazioni critiche dal punto di vista elettromagnetico, salvo casi particolari.

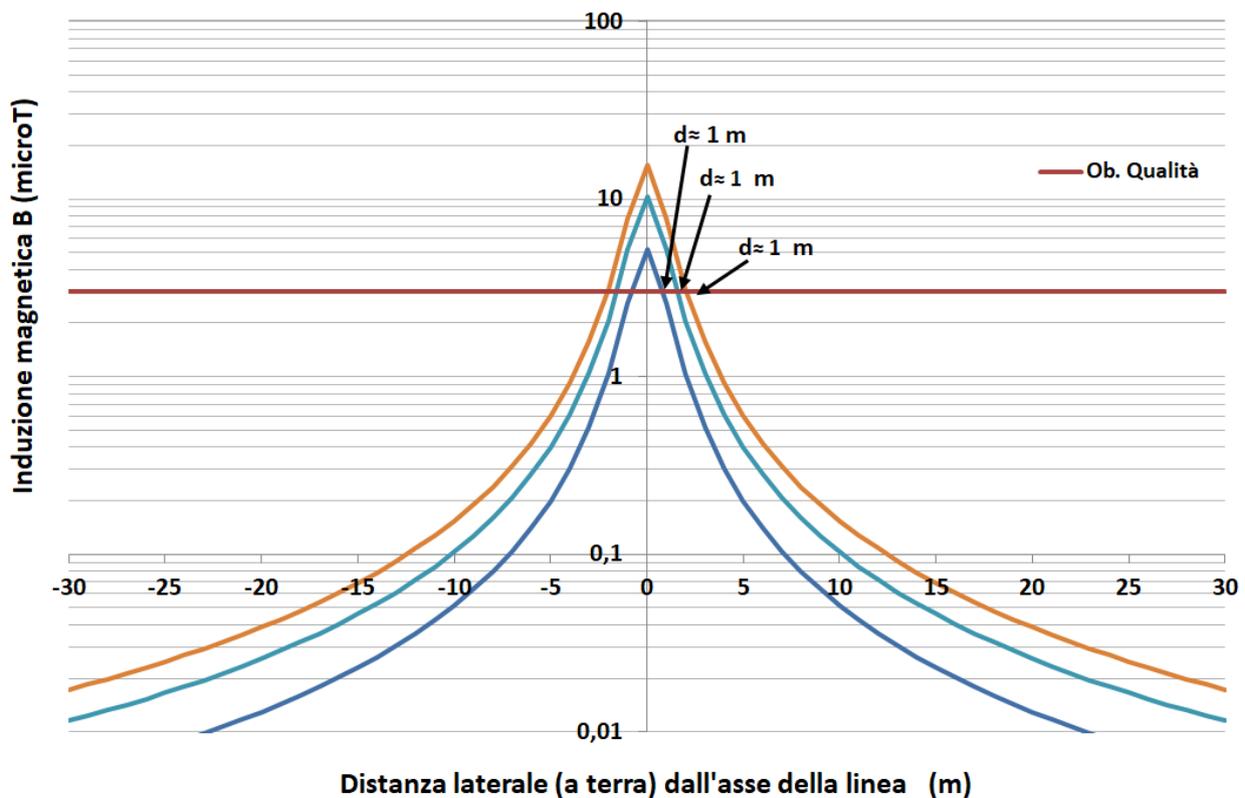


Figura 4: Andamento del campo B generato da una terna piana trifase percorsa da corrente di 300 A (blu), 600 A (ciano) e 900 A (arancio) e indicazione delle distanze dalla linea necessarie per rientrare nei limiti di legge e nella SAE.

Infine, si sottolinea che la soluzione progettuale di riferimento per i cavi con sezione pari od inferiore ai 300 mmq segue una particolare configurazione geometrica della terna, in cui si prevede una struttura elicoidale (cordata) dei conduttori. In tale configurazione la ridotta distanza tra i conduttori e la continua trasposizione delle fasi fornita dalla cordatura (ricordiamo che linee con le fasi trasposte, cioè ottimizzate, abbattano il campo magnetico), fa sì che l'obiettivo di qualità di $3 \mu\text{T}$ venga raggiunto a distanze brevissime (0.5 – 0.8 m) dall'asse del cavo. Pertanto, per cavidotti con tale configurazione, l'impatto elettromagnetico è da considerarsi sempre trascurabile.

6.2.1 Tipologia cavi

Gli aerogeneratori del parco eolico saranno suddivisi in n.4 gruppi in ciascuno dei quali le macchine verranno collegate tra di loro mediante cavidotti in MT interrati a 30 kV. I cavi in MT utilizzati con posa interrata, si possono suddividere in tre categorie: unipolari, tripolari a elica visibile (a campo radiale), tripolari cinturati (a campo non radiale).

I cavi in MT cui si prevede l'utilizzo nell'impianto in oggetto sono del tipo:

- ARP1H5(AR)EX, cordati tripolari ad elica visibile per sezioni calcolate pari a 185 mmq, 240 mmq e 300 mmq, direttamente interrati nello scavo con protezione meccanica in materiale polimerico (air bag);
- ARP1H5(AR)E unipolari e disposti a trifoglio, aventi sezioni nominali pari a 630 mmq, del tipo air bag.

Di seguito le caratteristiche costruttive e tecniche delle due tipologie di cavo adottate nella progettazione

Cavo ARP1H5(AR)EX:

MEDIA TENSIONE - APPLICAZIONI TERRESTRI E/O EOLICHE / MEDIUM VOLTAGE - GROUND AND/OR WIND FARM APPLICATION

ARP1H5(AR)EX *P-Laser* **AIR BAG™**
CABLE SYSTEM



Elica visibile 12/20 kV e 18/30 kV
Triplex 12/20 kV and 18/30 kV

Norma di riferimento HD 620/IEC 60502-2	Standard HD 620/IEC 60502-2
Descrizione del cavo	Cable design
Anima Conduttore a corda rotonda compatta di alluminio	Core Compact stranded aluminium conductor
Semiconduttivo interno Mescola estrusa	Inner semi-conducting layer Extruded compound
Isolante Mescola in elastomero termoplastico (qualità HPTE)	Insulation Thermoplastic elastomer compound (type HPTE)
Semiconduttivo esterno Mescola estrusa	Outer semi-conducting layer Extruded compound
Rivestimento protettivo Nastro semiconduttore igroespandente	Protective layer Semiconductive watertight tape
Schermatura Nastro di alluminio avvolto a cilindro longitudinale (Rmax 3Ω/Km)	Screen Aluminium tape longitudinally applied (Rmax 3Ω/Km)
Protezione meccanica Materiale Polimerico (Air Bag)	Mechanical protection Polymeric material (Air Bag)
Guaina Polietilene: colore rosso (qualità DMP 2)	Sheath Polyethylene: red colour (DMP 2 type)

sezione nominale	diametro conduttore	diametro sull'isolante	diametro esterno nominale	peso del cavo	raggio minimo di curvatura	sezione nominale	posa in aria	posa interrata
conductor cross-section	conductor diameter	diameter over insulation	nominal outer diameter	weight	minimum bending radius	conductor cross-section	open air installation	underground installation
(mm²)	(mm)	(mm)	(mm)	(kg/km)	(mm)	(mm²)	ρ=1 °C m/W	ρ=2 °C m/W
50	8,2	24,8	38	3180	800	50	194	173
70	9,7	25,1	38	3340	800	70	240	212
95	11,4	26,0	39	3610	820	95	293	254
120	12,9	26,9	40	3900	840	120	338	290
150	14,0	27,6	41	4180	870	150	382	325
185	15,8	29,0	42	4620	890	185	439	369
240	18,2	31,4	45	5380	950	240	519	429
300	20,8	34,6	49	6500	1030	300	599	486

Figura 5: Sezione tipo del cavo in MT - 30kV - ARE4H5(AR)EX

Cavo ARP1H5(AR)E:

MEDIA TENSIONE - APPLICAZIONI TERRESTRI E/O EOLICHE / MEDIUM VOLTAGE - GROUND AND/OR WIND FARM APPLICATION

ARP1H5(AR)E *P-Laser* **AIR BAG™**
CABLE SYSTEM



Unipolare 12/20 kV e 18/30 kV
Single core 12/20 kV and 18/30 kV

Norma di riferimento HD 620/IEC 60502-2	Standard HD 620/IEC 60502-2
Descrizione del cavo Anima Conduttore a corda rotonda compatta di alluminio Semiconduttivo interno Mescola estrusa Isolante Mescola in elastomero termoplastico (qualità HPTE) Semiconduttivo esterno Mescola estrusa Rivestimento protettivo Nastro semiconduttore igroespandente Schermatura Nastro di alluminio avvolto a cilindro longitudinale (Rmax 3Ω/Km) Protezione meccanica Materiale Polimerico (Air Bag) Guaina Polietilene: colore rosso (qualità DMP 2)	Cable design Core Compact stranded aluminium conductor Inner semi-conducting layer Extruded compound Insulation Thermoplastic elastomer compound (type HPTE) Outer semi-conducting layer Extruded compound Protective layer Semiconductive watertight tape Screen Aluminium tape longitudinally applied (Rmax 3Ω/Km) Mechanical protection Polymeric material (Air Bag) Sheath Polyethylene: red colour (DMP 2 type)

sezione nominale	diámetro conduttore	diámetro sull'isolante	diámetro esterno nominale	peso del cavo	raggio minimo di curvatura	sezione nominale	posa in aria a trifoglio	posa interrata a trifoglio p=1 °C m/W	posa interrata a trifoglio p=2 °C m/W
conductor cross-section	conductor diameter	diameter over insulation	nominal outer diameter	weight	minimum bending radius	conductor cross-section	open air installation trefoil	underground installation trefoil p=1 °C m/W	underground installation trefoil p=2 °C m/W
(mm²)	(mm)	(mm)	(mm)	(kg/km)	(mm)	(mm²)	(A)	(A)	(A)
50	8,2	24,8	38	1060	540	50	195	173	129
70	9,7	25,1	38	1110	550	70	242	212	158
95	11,4	26,0	39	1200	560	95	293	254	190
120	12,9	26,9	40	1300	580	120	339	290	217
150	14,0	27,6	41	1390	580	150	382	324	242
185	15,8	29,0	42	1540	610	185	439	368	275
240	18,2	31,4	45	1790	630	240	519	428	320
300	20,8	34,6	49	2160	690	300	599	486	363
400	23,8	37,8	53	2570	750	400	700	557	416
500	26,7	40,9	56	3020	790	500	812	636	475
630	30,5	45,5	61	3640	860	630	943	725	541

Figura 6: Sezione tipo del cavo in MT - 30 kV - ARE4H5(AR)E

6.2.2 Collegamenti elettrici

Generalmente, la scelta della sezione del conduttore dei cavi dipende dalla corrente d'impiego e dalla portata effettiva del cavo in relazione al suo regime di funzionamento (regime permanente, ciclico o transitorio) ed alle sue condizioni di installazione (temperatura ambientale, modalità di posa, numero di cavi e loro raggruppamento, etc.) (CEI 11-17). I collegamenti in MT saranno realizzati in conformità allo schema elettrico unifilare mediante cavi in alluminio con tensione d'isolamento 18/30 KV. I cavidotti interni in MT saranno interrati ad una profondità di circa 1,2 m dal livello del suolo.

Di seguito in Figura 8 sono visibili i collegamenti elettrici tra gli aerogeneratori, suddivisi in n.4 gruppi, (distinti per colore) e tra ciascun gruppo fino al punto "B", dal quale i quattro cavidotti in MT con sezione di 630 mmq procedono parallelamente lungo lo stesso scavo fino alla stazione elettrica utente di trasformazione 30/36 kV.

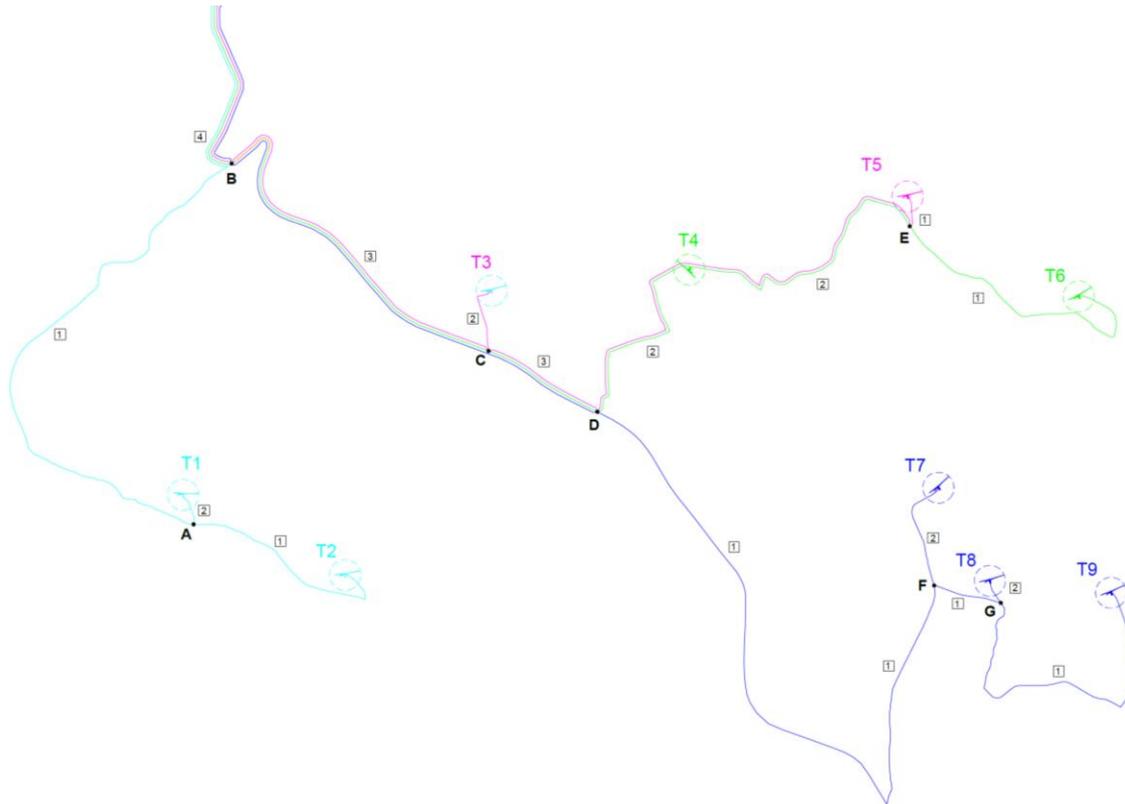


Figura 7: Percorsi dei cavidotti interni (fino al punto B)

Nella tabella successiva sono mostrati i valori delle sezioni calcolate per ciascun tratto di collegamento e le lunghezze dei cavi:

Collegamento	Tipologia di cavo MT - 30 kV	Lunghezza cavi [m]
Turbina T2 - Turbina T1	3x185	2520
Turbina T5 - Turbina T3	3x185	4100
Turbina T6 - Turbina T4	3x185	3320
Turbina T9 - Turbina T8	3x240	2150
Turbina T8- Turbina T7	3x300	1160
Turbina T1 - SU	3x(1x630)	11930
Turbina T3 - SU	3x(1x630)	11020
Turbina T4 - SU	3x(1x630)	12520
Turbina T7 - SU	3x(1x630)	16070

Tabella 6: Sezioni e lunghezze dei cavi scelti in MT interni al parco

Nelle tratte dove la sezione dei cavi risulta uguale o inferiore ai 300 mmq, si è scelto l'impiego del cavo cordato ad elica visibile, il quale, secondo il DM 29.05.2008, presenta campo magnetico praticamente nullo e, pertanto, esente dalla determinazione della DPA. Quindi, ai sensi della normativa, non sarà eseguito il calcolo del campo magnetico né la determinazione della Distanza di prima approssimazione (DPA) nei tratti percorsi da tale tipologia di cavi.

6.2.3 Posa cavidotto MT

Per le connessioni elettriche in MT precedentemente descritte, queste avvengono in cavidotti interrati - posati in trincea a sezione rettangolare secondo quanto descritto dalle modalità previste dalle norme CEI 11-17, le quali indicano che la protezione meccanica può essere intrinseca al cavo stesso oppure supplementare, a seconda del tipo di cavo e della profondità di posa. Nel caso specifico di posa dei cavi in trincea a cielo aperto, non è previsto l'inserimento di una protezione meccanica in quanto il cavo utilizzato può essere installato direttamente nello scavo. Tutti i cavi saranno interrati alla profondità di circa 1,20 m dal piano di campagna, all'interno di uno strato di materiale sabbioso, la cui resistività termica, se necessario, verrà corretta con una miscela di sabbia vagliata o con cemento 'mortar', con disposizione delle fasi a trifoglio. Nello stesso scavo della trincea, a distanza minima di 20 cm dai cavi di energia, si prevede la posa di un cavo a fibre ottiche per trasmissione dati. Le larghezze minime delle sezioni di scavo riferite al seguente progetto avranno le dimensioni riportate nel seguito:

- 50 cm nel caso di posa di n.1 e n.2 terne;
- 70 cm nel caso di posa di n.3 terne;
- 90 cm nel caso di posa di n.4 terne.

Qualora si volessero disporre i cavi su più strati sarà necessario realizzare uno scavo di profondità minima pari a 1,50 m, riducendone la larghezza a parità di cavi disposti orizzontalmente. La posa dovrà essere eseguita a regola d'arte nel rispetto delle normative vigenti. Nella Figura 9 successiva è rappresentata una tipica sezione di scavo su strada asfaltata contenente ad esempio n.3 terne di cavi in MT, mentre in Tabella 7 sono riportate in forma tabellare, le varie lunghezze dei tratti di collegamento dell'impianto ed il numero dei cavi posati negli scavi.

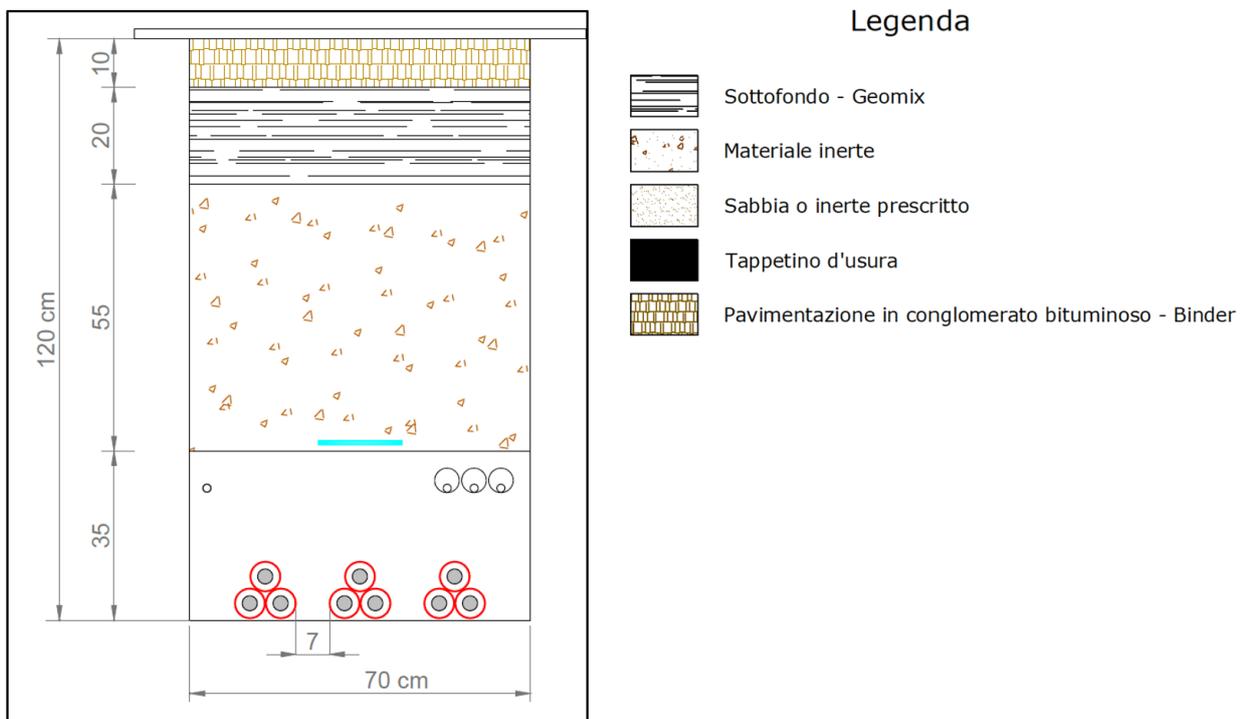


Figura 8: Sezione tipo di scavo per i cavidotti interrati in MT interni all'area d'impianto

Le lunghezze dei tratti di collegamento in MT sono riportate nella tabella successiva, in cui viene anche mostrato la dimensione dello scavo ed il numero di cavi alloggiati in esso per tutte le tratte:

Collegamento	Lunghezza [m]	Larghezza [m]	Profondità [m]	Volume [mc]	N° cavi per scavo
T1-A	190	0,5	1,2	114	2
A-T2	2310	0,5	1,2	1386	1
A-B	3220	0,5	1,2	1932	1
B-SU	8500	0,9	1,2	9180	4
B-C	2100	0,7	1,2	1764	3
C-T3	400	0,5	1,2	240	2
C-D	680	0,7	1,2	571,2	3
D-T4	1220	0,5	1,2	732	2
T4-E	1600	0,5	1,2	960	2
E-T5	180	0,5	1,2	108	1
E-T6	1700	0,5	1,2	1020	1
T7-F	630	0,5	1,2	378	2
F-G	380	0,5	1,2	228	1
T8-G	130	0,5	1,2	78	2
G-T9	2000	0,5	1,2	1200	1
F-D	4140	0,5	1,2	2484	1
TOTALE SCAVI:	29380			22375,2	

Tabella 7: Caratteristiche degli scavi in MT

6.3 STAZIONE ELETTRICA UTENTE MT-AT

Verrà realizzata una nuova stazione utente di trasformazione MT/AT 30/36 kV, delle dimensioni di circa 30x30 mq, su un terreno adiacente alla nuova Stazione di trasformazione della RTN, alla quale saranno collegati i cavi in MT provenienti dal parco eolico e che verrà collegata in antenna alla nuova stazione SE della RTN. Il campo B all'interno della stazione utente di trasformazione è essenzialmente prodotto:

- dal trasformatore MT/AT-30/36 kV;
- dai cavi di connessione al trasformatore in MT e AT.

L'impatto elettromagnetico generato dai cavi afferenti al trasformatore, sono di gran lunga quelli più significativi e pertanto si propone di seguito il calcolo del campo da essi prodotto.

La connessione in ingresso al trasformatore a 30 kV, avverrà mediante n.2 terne di cavi aventi una sezione di 500 mmq ciascuno, mentre, la connessione tra il trasformatore ed il quadro in AT a 36 kV dedicato all'interno della SE di Terna SpA, avverrà attraverso n.2 cavi interrati con sezione minima pari a 400 mmq ciascuno e distanti circa 25 cm l'uno dall'altro.

I collegamenti in ingresso al trasformatore avverranno con percorso dapprima interrato, per poi risalire in aria e collegarsi ai morsetti in MT sul trasformatore. Al contrario, le connessioni in uscita dal trasformatore, saranno in aria per poi interrarsi fino alla SE.

7 ESPOSIZIONE POST-OPERAM A CAMPI ELETTROMAGNETICI

Date le suddette premesse metodologiche, si descrivono di seguito i risultati dello studio del campo elettromagnetico generato sia dai cavidotti interni ed esterni all'impianto eolico, entrambi in MT a 30 kV.

7.1 CAMPO B GENERATO DAI CAVIDOTTI INTERNI

Il calcolo del campo magnetico B, sarà effettuato solamente nei tratti di scavo in cui verranno alloggiati i cavi da 630 mmq, del tipo non cordati, i quali collegano l'ultimo aerogeneratore di ogni gruppo alla SU. Riferendoci sia alla Figura 7 che alla Tabella 4, il numero di cavi considerati per i tratti di scavo interni all'area d'impianto, sono riportati nella Tabella 9 seguente:

Tratti di scavo	Numeri di cavi da 630 [mmq]
T1-A	1
A-B	1
T3-C	1
C-B	3
T4-D	1
D-C	3
T7-F	1
F-D	1
B-SU	4

Tabella 8: Tratti di cavidotto interno con cavi da 630 mmq

Il cavidotto in MT, genera un valore d'induzione B direttamente proporzionale alla portata del cavo. Il calcolo del campo elettromagnetico generato dal cavidotto è stato effettuato utilizzando la seguente formula analitica nell'ipotesi di terna di cavi a geometria triangolare:

$$B = 0.245 \cdot \frac{I \cdot S}{D^2}$$

essendo I la corrente di linea, S la distanza tra conduttori e D la distanza radiale dalla linea. Ricordiamo che tale ipotesi dà luogo a una soluzione più conservativa rispetto al caso reale (geometria elicoidale) in cui l'ulteriore sovrapposizione delle fasi determina una maggiore attenuazione del campo. È possibile ed utile ricavare l'espressione della distanza dall'asse della linea a livello del suolo (distanza laterale), oltre la quale l'induzione magnetica scende al di sotto dell'obiettivo di qualità di 3 μ T (d è la profondità di posa):

$$R_0 = \sqrt{0.082 \cdot I \cdot S - d^2}$$

Quanto all'intensità di corrente utilizzata nel calcolo, ai sensi del capitolo 5.1.1 "Corrente di calcolo" dell'allegato al DMATT 29 maggio 2008 (G.U. n. 156 del 5 luglio 2008): "Per le linee in cavo la corrente da utilizzare nel calcolo è la portata in regime permanente così come definita nella norma CEI 11-17". Quest'ultima definisce la portata in regime permanente come il massimo valore della corrente che, in regime permanente e in condizioni specificate, il conduttore può trasmettere senza che la sua temperatura superi un valore specificato. Per il cavo considerato nella progettazione, del tipo "air-bag" ARP1H5(AR)E la portata di corrente ha un valore di 725 A (resistività del terreno pari ad 1°Cm/W, Temperatura 20°C).

Il calcolo del campo B dipende dal numero di cavi in posa parallelamente. Si riporta il calcolo con un cavo, due cavi e tre cavi:

SCAVO CON 1 CAVO

Il campo di induzione magnetica B generato dai conduttori in alluminio del cavo percorso dal valore della portata, assume un andamento con la distanza laterale dall'asse della linea, secondo la curva mostrata in Figura 10, al variare del raggio di una circonferenza centrata nel baricentro del cavidotto. In quest'ultima sono in aggiunta indicati sia il limite di esposizione che l'obiettivo di qualità fissati dalla normativa.

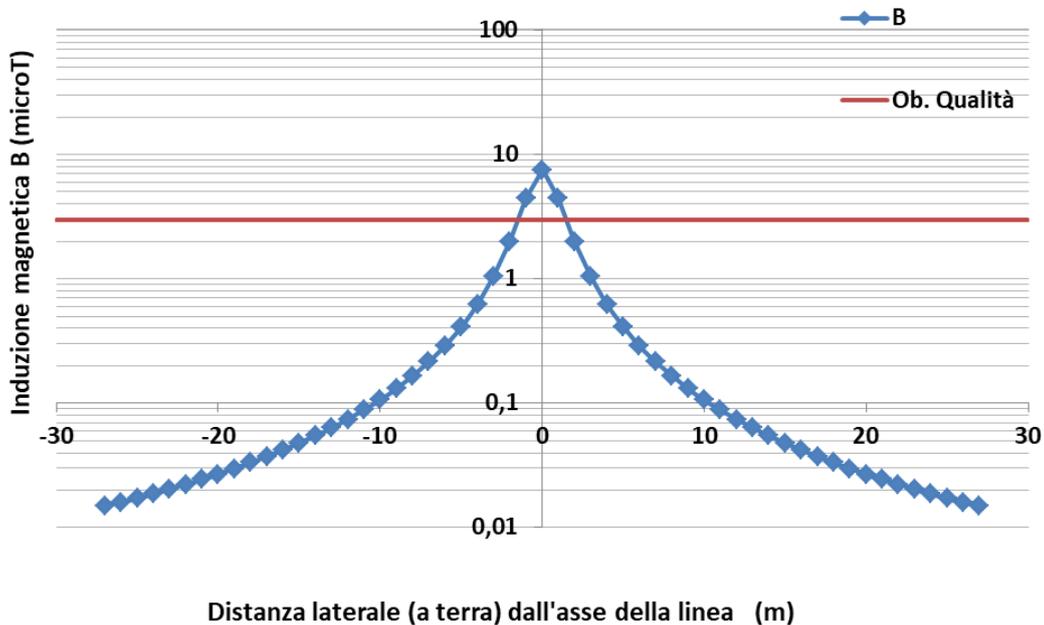


Figura 9: Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto in MT interno all' area d'impianto in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità

Nella Tabella 9 seguente sono riportati i valori puntuali del campo B di Figura 10, al variare del raggio di una circonferenza centrata nel baricentro del cavidotto. Da essa si evince che il valore del campo B assume un valore pari all' obiettivo di qualità (3μT), ad una distanza di circa 1,7 m dal cavo interrato.

Distanza laterale a livello del suolo [m]	B (μT)
0	8,63
1	5,10
2	2,29
3	1,19
4	0,71
5	0,47
6	0,33
7	0,25
8	0,19
9	0,15
10	0,12
11	0,10
12	0,09
13	0,07
14	0,06
15	0,05
16	0,05
17	0,04
18	0,04
19	0,03
20	0,03

Tabella 9: Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo sull'asse stradale, per i ricettori interni all'impianto

SCAVO CON N.2 CAVI

Il campo di induzione magnetica B prodotta dal cavidotto composto da n.2 cavi da 630 mmq, assume l'andamento secondo la curva mostrata in Figura 11.

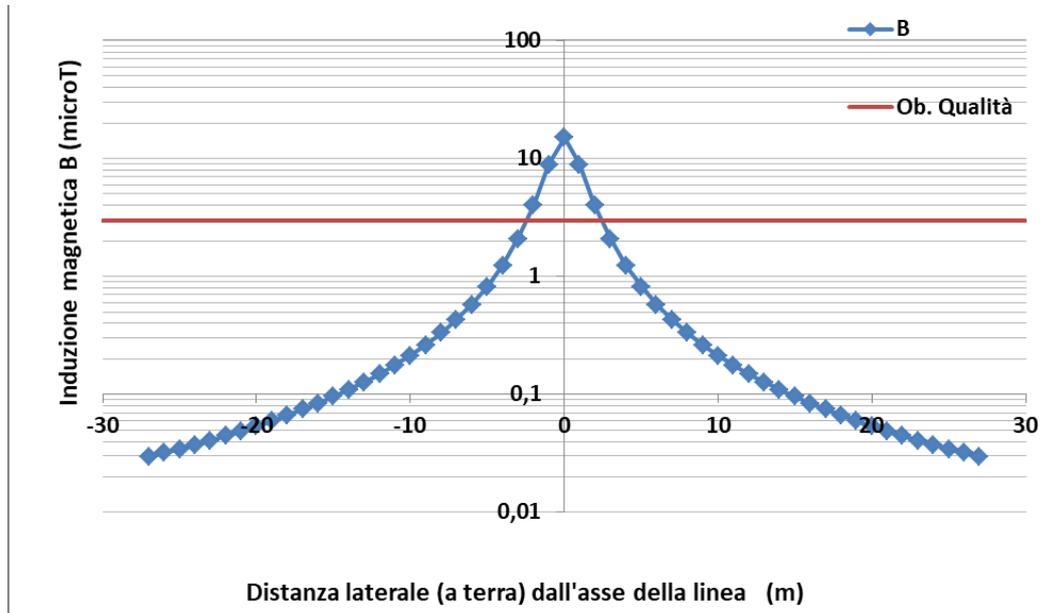


Figura 10: Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto in MT interno all' area d'impianto in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità

Nella tabella seguente sono riportati i valori puntuali del campo B di Figura 11, al variare del raggio di una circonferenza centrata nel baricentro del cavidotto. Da essa troviamo che il valore del campo B assume un valore pari all' obiettivo di qualità ($3 \mu T$), ad una distanza di circa 2,5 m dal cavo interrato.

Distanza laterale a livello del suolo [m]	B (μT)
0	15,0
1	8,9
2	4,0
3	2,1
4	1,2
5	0,8
6	0,6
7	0,4
8	0,3
9	0,26
10	0,21
11	0,18
12	0,15
13	0,13
14	0,11
15	0,10
16	0,08
17	0,07
18	0,07
19	0,06
20	0,05

Tabella 10: Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo sull'asse stradale, per i ricettori interni all'impianto

SCAVO CON N.3 CAVI

Il campo di induzione magnetica B prodotta dal cavidotto composto da n.3 cavi da 630 mmq, assume l'andamento secondo la curva mostrata in Figura 12.

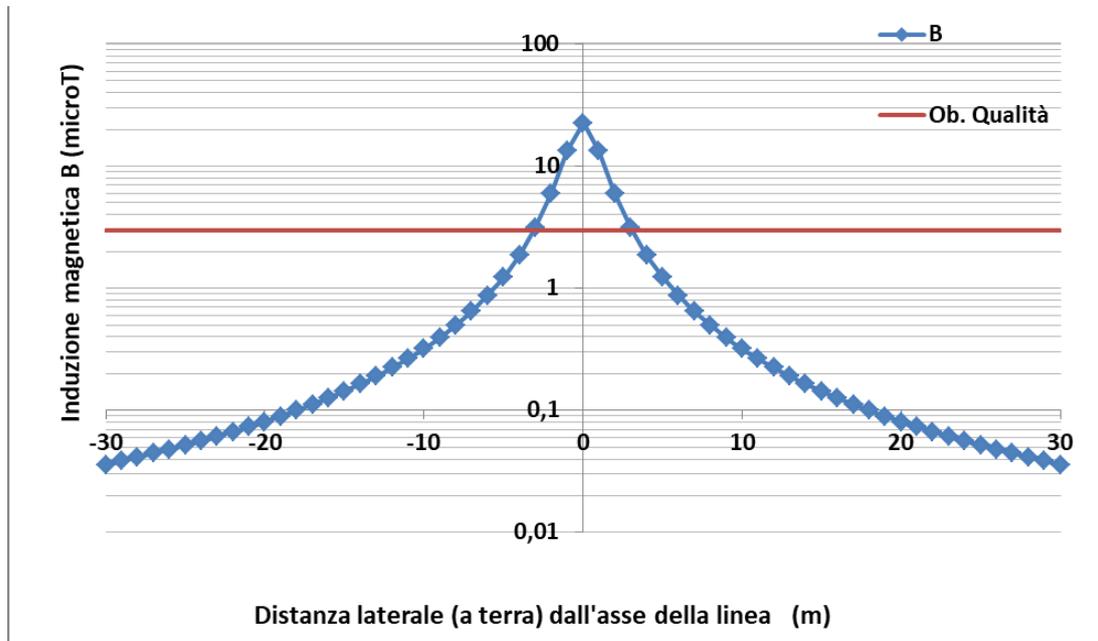


Figura 11: Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto in MT interno all' area d'impianto in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità

Nella tabella seguente sono riportati i valori puntuali del campo B di figura 12, al variare del raggio di una circonferenza centrata nel baricentro del cavidotto. Dalla tabella 11 troviamo che il valore del campo B assume un valore pari all' obiettivo di qualità ($3\mu T$), ad una distanza di circa 2,8 m dal cavo interrato.

Distanza laterale a livello del suolo [m]	B (μT)
0	22,2
1	13,4
2	6,0
3	3,1
4	1,9
5	1,2
6	0,9
7	0,6
8	0,5
9	0,39
10	0,32
11	0,27
12	0,22
13	0,19
14	0,16
15	0,14
16	0,13
17	0,11
18	0,10
19	0,09
20	0,08

Tabella 11: Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo sull'asse stradale, per i ricettori interni all'impianto

7.2 CAMPO B GENERATO DAL CAVIDOTTO ESTERNO

Il collegamento in MT dei quattro gruppi di aerogeneratori e la SU, verrà realizzato mediante n.4 cavi trifase aventi ciascuno una sezione nominale di 630 mmq, con conduttore in alluminio e tensione d'isolamento 18/30 KV. Il cavo che verrà utilizzato sarà del tipo ARP1H5(AR)E, con cavi unipolari disposti a trifoglio e protezione meccanica del tipo air bag. Di seguito uno stralcio di ortofoto in cui è visibile il percorso dei cavidotti partendo dal punto "B", proseguendo in direzione Nord fino all'ingresso della SU in un'area evidenziata in azzurro:

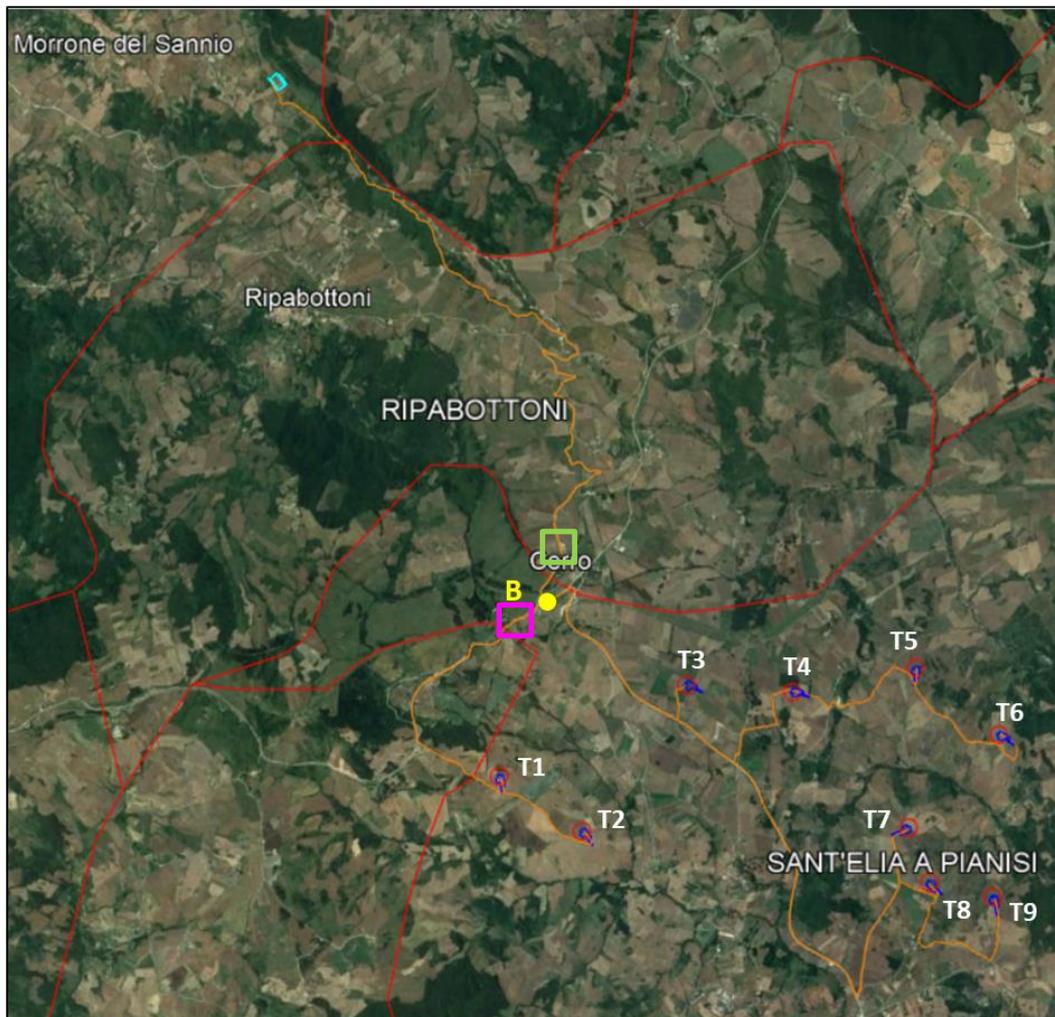


Figura 12: Percorso del cavidotto esterno al parco eolico

Il tratto di cavidotto esterno al parco, dunque tra il punto "B" e la stazione di trasformazione utente, è composto da n.4 terne di cavi unipolari della sezione di 630 mmq, ciascuno. Genera un valore d'induzione B direttamente proporzionale alla portata del cavo con andamento variabile con la distanza laterale dall'asse della linea, secondo la curva mostrata in Figura 13, nella quale sono riportati anche il limite di esposizione e l'obiettivo di qualità fissati dalla normativa.

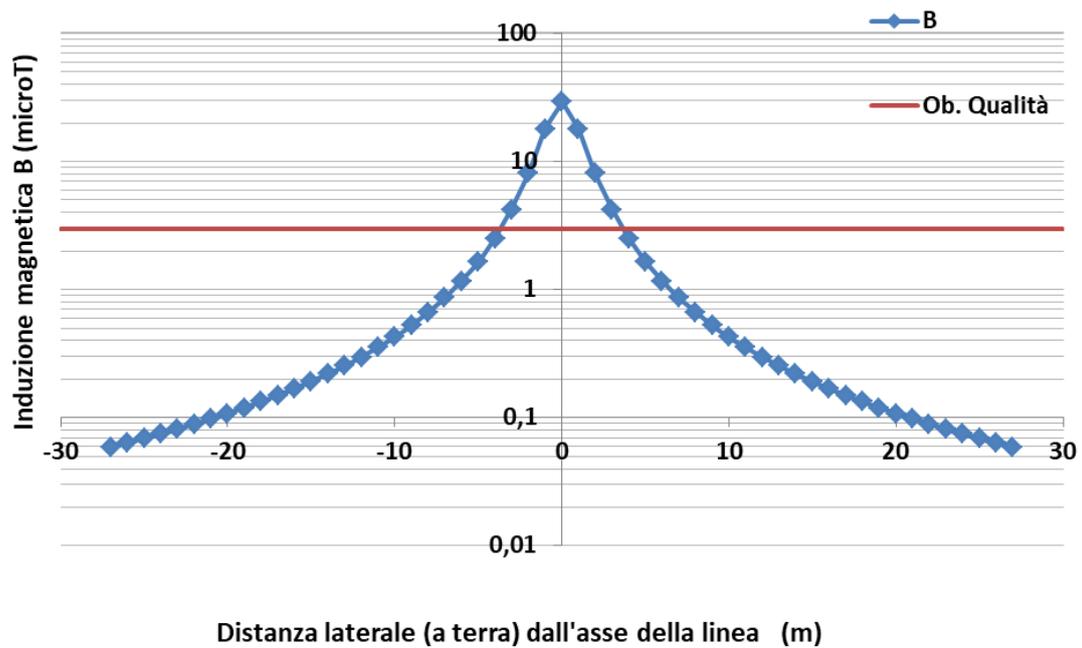


Figura 13: Campo di induzione magnetica B (μT) generato dai cavidotti MT nel tratto esterno al progetto eolico in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità

Nella tabella seguente sono riportati i valori puntuali del campo B di Figura 14, al variare del raggio di una circonferenza centrata nel baricentro del cavidotto. Da essa troviamo che il valore del campo B assume un valore pari all' obiettivo di qualità ($3 \mu T$), ad una distanza di circa 3.7 m dal cavo interrato.

Distanza laterale a livello del suolo [m]	B (μT)
0	29,2
1	18,0
2	8,1
3	4,2
4	2,5
5	1,6
6	1,2
7	0,9
8	0,7
9	0,5
10	0,43
11	0,35
12	0,30
13	0,25
14	0,22
15	0,19
16	0,17
17	0,15
18	0,13
19	0,12
20	0,11

Tabella 12: Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo sull'asse stradale, per i ricettori esterni all'impianto

7.3 CAMPO B GENERATO DALLA STAZIONE ELETTRICA UTENTE MT-AT

Il campo B all'interno della stazione utente di trasformazione è essenzialmente prodotto:

- dal trasformatore MT/AT-30/36 kV;
- dai cavi di connessione al trasformatore in MT e AT.

L'impatto elettromagnetico generato dai cavi afferenti al trasformatore sono quelli più significativi e pertanto si propone di seguito il calcolo del campo da loro prodotto.

La connessione in ingresso al trasformatore a 30 kV, avverrà mediante n.3 terne di cavi aventi una sezione di 630 mmq ciascuno, mentre, la connessione tra il trasformatore ed il quadro in AT a 36 kV dedicato all'interno della SE di Terna SpA, avverrà attraverso n.2 terne di cavi interrati con sezione minima pari a 630 mmq ciascuno e distanti circa 25 cm l'uno dall'altro. I collegamenti in ingresso al trasformatore avverranno con percorso dapprima interrato, per poi risalire in aria e collegarsi ai morsetti in MT sul trasformatore. Al contrario, le connessioni in uscita dal trasformatore, saranno in aria per poi interrarsi fino alla SE.

Di seguito il calcolo del campo magnetico nei cavi da 30 kV e 36 kV:

- **caso A:** cavi da 630 mmq – tensione nominale 30 kV - profondità di posa 1,2 m – distanza 7 cm:

Distanza laterale a livello del suolo [m]	B (μT)
0	22,2
1	13,4
2	6,0
3	3,1
4	1,9
5	1,2
6	0,9
7	0,6
8	0,5
9	0,4
10	0,32

- **caso B:** cavi da 630 mmq – tensione nominale 36 kV - profondità di posa 1,2 m – distanza 25 cm:

Distanza laterale a livello del suolo [m]	B (μT)
0	12,6
1	7,6
2	3,4
3	1,8
4	1,1
5	0,7
6	0,5
7	0,4
8	0,3
9	0,2
10	0,18

Nel **caso A**, il valore del campo B generato dalla portata dei cavi interrati che collegano i quadri di protezione con i morsetti del trasformatore in MT (pari a circa 1.671 A), raggiunge il valore pari all'obiettivo di qualità ad una distanza di circa 2,8 m. Poiché la distanza minima tra i conduttori che risalgono il trasformatore e la recinzione perimetrale della stazione utente di trasformazione, lati nord ed est, è di circa 4 m, si evince che il campo elettromagnetico all'esterno della recinzione assume un valore inferiore all'obiettivo di qualità.

Nel **caso B**, il valore del campo B prodotto dalla portata dei cavi interrati a 36 kV che collegano il trasformatore 30/36 kV con i quadri d'ingresso della futura stazione RTN (pari a circa 1.240 A), assume un valore pari all'obiettivo di qualità ad una distanza di circa 2,3 m, distanza tra la quale, non sono stati riscontrati dei possibili ricettori sensibili.

7.4 ANALISI DEGLI EFFETTI SUI RICETTORI

Dall'analisi dei ricettori interni al parco, l'unico che può risultare sensibile al campo B generato dai cavi elettrici, è quello riportato nella figura successiva, denominato R1, ubicato vicino al tratto di cavidotto composto da n.1 terna di cavi (di collegamento tra la turbina 1 ed il punto "B"), nella zona visibile in figura 13 nel riquadro in magenta. Il ricettore dista circa 8,0 m dalla strada percorsa dai cavi. A tale distanza, il valore del campo B è pari a circa 0,19 μ T, come si evince dalla tabella 9.

Il valore dell'obiettivo di qualità su questo ricettore, imposto dalla normativa, sarà dunque rispettato.

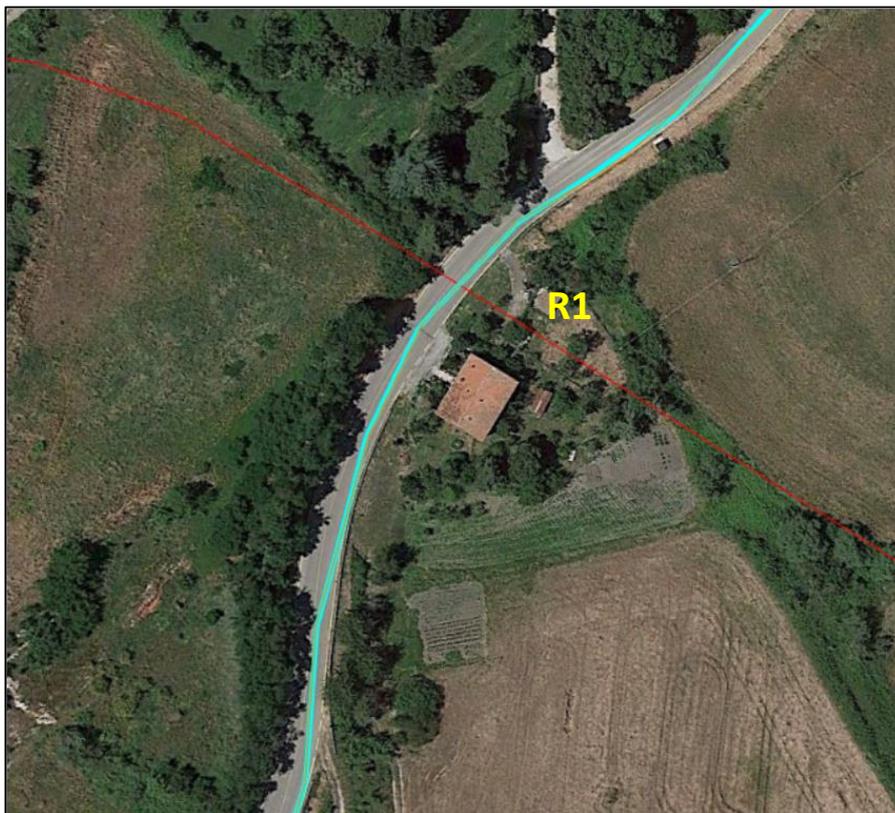


Figura 14: Ortofoto del ricettore R1

Per quanto riguarda il tratto di cavidotto esterno all'area di impianto, come si deduce dalla Tabella 12, la distanza massima dal cavidotto di evacuazione in cui il valore dell'induzione magnetica è pari all'obiettivo di qualità è uguale a circa 3.7 m.

Il ricevitore più vicino al percorso del cavidotto di evacuazione, che potrebbe risultare più sensibile al campo B generato dai cavi elettrici ivi posati, denominato R2 è indicato sia col riquadro in verde nella Figura 13 precedente che raffigurato con ingrandimento nell'immagine successiva.



Figura 15: Ortofoto del ricevitore R2

Tale ricevitore dista circa 6,5 m dal tratto di strada percorsa dai cavi. Dalla tabella 12 si evince che, il valore del campo B generato dalle quattro terne di cavi interrati da 630 mmq ciascuno, è pari a circa 1,4 μ T, valore inferiore all'obiettivo di qualità.

8 CONCLUSIONI

Nel presente documento si è descritto il quadro generale e normativo riferito all'esposizione ai campi elettromagnetici di bassa frequenza, quali quelli generati sia dai componenti elettrici principali che costituiscono un impianto eolico, che dagli elettrodotti interrati. Sono state esaminate le possibili sorgenti dei campi elettromagnetici, descrivendo attraverso opportuni modelli di calcolo, l'andamento del campo magnetico generato dalle configurazioni tipiche dei componenti elettrici e dei cavidotti MT ed AT.

Quindi, sotto opportune ipotesi cautelative, si è effettuato il calcolo post-operam dell'esposizione elettromagnetica, individuando in particolare per i cavidotti di progetto le distanze di rispetto per il soddisfacimento dei limiti di esposizione e degli obiettivi di qualità previsti dalla normativa vigente (vedi tabella sottostante). I risultati hanno indicato che per i principali componenti elettrici costituenti l'impianto eolico e per i cavidotti interni ed esterni all'area del parco eolico, il valore dell'induzione magnetica prodotta è risultato trascurabile.

Infrastruttura	Distanza di prima approssimazione [m]
tratto cavidotto con n°1 terna	1.7
tratto cavidotto con n°2 terne	2.5
tratto cavidotto con n°3 terne	2.8
tratto cavidotto esterno	3.7
Stazione elettrica utente (caso A)	2.8
Stazione elettrica utente (caso B)	2.3

Tabella 13: Distanza di prima approssimazione dalle opere di progetto

È importante sottolineare che i calcoli effettuati per la determinazione del campo B, sono stati condotti tenendo conto del valore della portata dei cavi elettrici impiegati. Nella realtà, il parco eolico potrebbe produrre al massimo 41,4 MW, a cui corrisponde un valore di corrente che percorre il cavidotto di evacuazione inferiore alla portata dei cavi stessi e dunque, il valore che il campo B assumerebbe nella realtà sarebbe inferiore a quello calcolato.

In aggiunta, in base ad opportune tecniche, è possibile ridurre il valore di induzione B al di sotto dell'obiettivo di qualità su eventuali ricettori sensibili.

Possiamo ritenere quindi che, tutte le opere elettriche connesse al progetto eolico sono pertanto conformi ai parametri normativi relativi all'impatto elettromagnetico per l'obiettivo di qualità. Si specifica comunque che nel calcolo non è stato possibile tenere conto delle effettive caratteristiche del terreno, informazione necessaria in sede di progetto esecutivo.

Con le considerazioni e le valutazioni sopra esposte e, con le tolleranze attribuibili al modello di calcolo adottato, si può ritenere che la situazione connessa alla realizzazione ed all'esercizio dell'impianto eolico in progetto, nelle condizioni ipotizzate, risulta nel complesso compatibile con i limiti di legge e con la salvaguardia della salute pubblica.