

REGIONE MARCHE

Comune di Caldarola (MC)

PROGETTO DEFINITIVO

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO DELLA POTENZA DI 60,0 MW integrato con un sistema di accumulo della potenza di 20,0 MW e delle relative opere di connessione alla RTN sito nei comuni di Caldarola e Camerino (MC)

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



Fred. Olsen Renewables Italy S.r.l.
Viale Castro Pretorio, 122 - 00185 Roma
C.F e P.IVA 15604711000

Revisione	Data	Elaborato	Verificato	Approvato	Descrizione
00	10/11/2022	Lauretti	Bartolazzi	F.O. Renewables	Relazione impatto elettromagnetico

N° DOCUMENTO

FLS-CLD-RIE

SCALA

--

FORMATO

A4

INDICE

INDICE DELLE FIGURE	2
1. PREMESSA	5
2. OGGETTO DEL DOCUMENTO	5
3. INTRODUZIONE	6
2.1 I CAMPI ELETTRICI E MAGNETICI	7
2.2 EFFETTI BIOLOGICI E LIMITI DI ESPOSIZIONE	7
4. RIFERIMENTI LEGISLATIVI NAZIONALI	9
5. DESCRIZIONE DELL' IMPIANTO EOLICO	13
6. POSSIBILI EMISSIONI DERIVANTI DALL'IMPIANTO EOLICO	14
6.1 AEROGENERATORE.....	14
6.1.1 GENERAZIONE DI CAMPI MAGNETICI NELL'AEROGENERATORE.....	16
6.2 CABINA DI RACCOLTA (CR)	17
6.3 CAVIDOTTI IN MEDIA TENSIONE	19
6.3.1 CAVIDOTTI INTERNI ALL'AREA D'IMPIANTO-POST OPERAM	22
6.3.1.1 TIPOLOGIA DEI CAVI IN MT.....	22
FIGURA 7 – SEZIONE TIPO DEL CAVO IN MT - 30KV – ARP1H5(AR)E.....	24
6.3.1.2 COLLEGAMENTI ELETTRICI	25
6.3.1.3 TIPOLOGIA DI SCAVO	26
6.3.1.4 CAMPO B DEI CAVIDOTTI INTERNI.....	28
6.3.1.5 CALCOLO DEL VALORE DI INDUZIONE B SUL TRATTO T12-T11	30
6.3.1.6 CALCOLO DEL VALORE DI INDUZIONE B SUL TRATTO B-CR	32
6.3.1.7 CAVIDOTTO ESTERNO DI CONNESSIONE TRA LA CABINA DI RACCOLTA E LA STAZIONE UTENTE DI TRASFORMAZIONE	33
6.3.1.7.1 CALCOLO DEL VALORE DI INDUZIONE B.....	33
6.3.1.8 RICETTORI PROSSIMI IL CAVIDOTTO DI EVACUAZIONE	35
6.4 IMPIANTO DI ACCUMULO	40
6.4.1 POSSIBILI EMISSIONI DERIVANTI DALL'IMPIANTO STORAGE	40
6.4.1.1 CABINA AUX	40
6.4.1.2 CAVI IN BT	40
6.4.1.3 CAVI IN MT	42
6.5 STAZIONE ELETTRICA UTENTE-MT/AT	46
6.6 CAVO IN AT-132 KV.....	49

6.6.1	CALCOLO DEL CAMPO B DEL CAVO AT	52
7	CONCLUSIONI	54

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1	– Limiti di riferimento di esposizione ai campi magnetici di bassa frequenza secondo ICNIRP e CENELEC, e indicazione della SAE.	9
Figura 2	– Caratteristiche elettriche della turbina V150	16
Figura 3	– Caratteristiche del trasformatore aux BT/MT in cabina di raccolta.....	18
Figura 4	– Andamento dell'induzione magnetica B generata da un tratto rettilineo di terna trifase, per diverse configurazioni geometriche della terna stessa.	20
Figura 5	– 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.	21
Figura 6	– Sezione tipo del cavo in MT - 30kV – ARP1H5(AR)E.....	23
Figura 7	– Sezione tipo del cavo in MT - 30kV – ARP1H5(AR)E.....	24
Figura 8	– Percorsi dei cavidotti tra i gruppi del parco con la cabina di raccolta.	25
Figura 9	– Sezione di scavo per i cavidotti interrati in MT interni all'area d'impianto	27
Figura 10	: Caratteristiche degli scavi adottati in MT	28
Figura 11	– Layout dell'impianto e ricettori interni all'area d'impianto (in verde).	29
Figura 12	: Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto in MT interno all'area d'impianto, tratto T11-T12, in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità	31
Figura 13	: Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto in MT interno all'area d'impianto, tratto B-CR, in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità	32
Figura 14	: Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto di evacuazione MT del progetto eolico in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità	34
Figura 15	– Posizione dei ricettori potenzialmente sensibili lungo il percorso del cavidotto di evacuazione.....	36
Figura 16	: Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto di evacuazione MT del progetto eolico in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità	39
Figura 17	: Cavo in BT in cc	41

Figura 18: 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	41
Figura 19 – Planimetria del sistema di accumulo con i collegamenti in cavo	43
Figura 20: Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto di evacuazione MT del progetto eolico in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità	45
Figura 21: Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto di evacuazione MT del progetto eolico in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità	46
Figura 22 – Campo di induzione magnetica B (μT) generato dalle sbarre AT in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità.	47
Figura 23 – Inquadramento su mappa ortofoto dell'impianto di accumulo e della stazione utente di trasformazione MT/AT 30/150 kV	49
Figura 24 –Caratteristiche tecniche del cavo in AT a 132 kV	50
Figura 25 – Specifiche tecniche del cavo in AT a 132 kV.....	51
Figura 26 – Sezioni tipiche di scavo e di posa per il cavo in AT kV	52
Figura 27 – Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto in AT in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità	53

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 – Limiti della normativa italiana sull'esposizione a campi elettromagnetici a 50 Hz, indicati nel DPCM dell'8 Luglio 2003.	11
Tabella 2 – Induzione magnetica B generata da comuni elettrodomestici a 50 Hz.	12
Tabella 3 – <i>Cavi in MT e loro lunghezza interni al parco eolico</i>	26
Tabella 4 – <i>Distanze dei ricettori vicini all' area d'impianto con i cavidotti MT interni</i>	29
Tabella 5 – <i>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>	31
Tabella 6 – <i>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>	32
Tabella 7 – <i>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>	34
Tabella 8 – <i>Distanze tra i ricettori potenzialmente sensibili con la strada in cui verrà interrato il cavidotto di evacuazione</i>	38
Tabella 9 – <i>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>	39
Tabella 10 – <i>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>	42
Tabella 11 – <i>Lunghezze e sezioni dei cavi in MT interni all'impianto di accumulo</i>	44
Tabella 12 – <i>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>	45
Tabella 13 – <i>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>	46
Tabella 14 – <i>Valori del campo B sulle sbarre in AT in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale sul terreno</i>	48
Tabella 15 – <i>Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo AT sull'asse stradale</i>	53

1. PREMESSA

Il presente progetto ha come obiettivo la realizzazione di una centrale per la produzione di energia da fonte rinnovabile tramite l'impiego di tecnologia eolica, tramite l'installazione di n.12 aerogeneratori, modello tipo Vestas V150, della potenza unitaria di 5,0 MW per una potenza totale di 60,0 MW, integrata con un sistema di accumulo avente una potenza nominale installata di circa 20 MW. Sono anche previsti impianti di utenza e di rete per la connessione a 132 kV, quali rispettivamente: un cavidotto in AT che collega la Stazione di trasformazione utente con la nuova Stazione di smistamento della RTN e lo stallo in ingresso alla stazione di smistamento.

Soggetto Responsabile dell'impianto in progetto denominato Parco Eolico "Energia Caldarola", è la società *Fred. Olsen Renewables Italy S.r.l.* che ha come attività principali lo sviluppo, la progettazione, l'installazione, la commercializzazione, la gestione e la vendita di energia elettrica generata da fonti rinnovabili. La società ha sede a Roma, in Viale Castro Pretorio n. 122 – CAP 00185, C.F. e P.IVA 15604711000.

SR International S.r.l. è una società di consulenza e progettazione operante nel settore delle fonti di energia rinnovabili, in particolare solare ed eolica. Per la realizzazione del progetto in esame essa funge da soggetto di riferimento per il supporto tecnico-progettuale.

L'impianto in progetto comporta un significativo contributivo alla produzione di energia rinnovabile; l'energia prodotta sarà immessa nella Rete di Trasmissione Nazionale di proprietà della società Terna S.p.A.

2. OGGETTO DEL DOCUMENTO

Il presente documento ha lo scopo di descrivere i possibili campi elettromagnetici generati dall'impianto eolico da realizzare nei territori comunali di Caldarola e Camerino, nella regione Marche, in provincia di Macerata, prendendo in considerazione tutti gli elementi che potrebbero esserne una fonte. In particolare, si porrà maggiore attenzione alle linee elettriche in cavo interrato:

- in MT a 30 kV, interne al campo eolico, che collegano gli aerogeneratori tra di loro ed infine con la cabina di raccolta (CR);
- in MT a 30 kV, esterno all'area d'impianto, che collega la CR con la stazione utente di trasformazione MT/AT (SU). Denominato cavidotto di evacuazione, si svilupperà principalmente nel territorio comunale di Camerino;
- in MT a 30 kV, per i collegamenti tra le cabine inverter/trasformazione con la cabina di raccolta storage (CRS);
- in MT a 3 kV per la connessione della CRS con la SU;
- in AT a 132 kV, che collegherà la stazione di trasformazione con la stazione di smistamento RTN di Terna (SE).

Si rimanda alla Relazione tecnica degli impianti elettrici FLS-CLD-RTI per l'esposizione dettagliata delle caratteristiche tecniche ed elettriche dei cavidotti di connessione dell'impianto eolico e dello storage in oggetto.

3. INTRODUZIONE

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.

2.1 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.

2.2 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 Absorbition 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.

Sulla base dei livelli sperimentalmente individuati si definiscono quindi dei limiti di base di esposizione e, con opportuni coefficienti di sicurezza (10 o 50) si definiscono i livelli di riferimento per la normativa di protezione dai campi elettromagnetici. Allo stato dell'arte l'istituzione più autorevole per la revisione degli studi di ricerca e la definizione dei limiti è costituito dalla International Commission on Non Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), che gode del riconoscimento ufficiale dell'OMS e della IARC (International Agency for Research on Cancer). La definizione dei limiti di base secondo la guida ICNIRP (1998) si basa solo sugli effetti biologici della cui pericolosità per la salute si abbia una accertata evidenza scientifica.

È possibile differenziare due tipi di rischi:

- Il rischio da esposizione (anche istantanea) a livelli elevati, per i quali sono noti gli effetti avversi da un punto di vista medico (effetti acuti).
- Il rischio da esposizione prolungata a livelli inferiori, per i quali non è ancora possibile trarre conclusioni definitive.

Per quanto riguarda gli effetti cancerogeni, allo stato dell'arte non c'è evidenza sperimentale della loro esistenza, anche se alcuni studi epidemiologici evidenziano una correlazione statistica tra i casi di leucemia infantile e la vicinanza agli elettrodotti che trasportano elevate correnti e valori di induzione magnetica superiori a $0.2 \mu\text{T}$. La IARC ha invece deciso di classificare l'esposizione ambientale a campi magnetici ELF come possibilmente cancerogena con riferimento alla leucemia infantile.

In **Figura 1** si riassumono i valori di induzione magnetica individuati come limiti di riferimento per le normative secondo l'ICNIRP e il CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization). Si riporta anche la soglia di attenzione epidemiologica (SAE), relativa a possibili correlazioni epidemiologiche con casi di leucemia infantile.

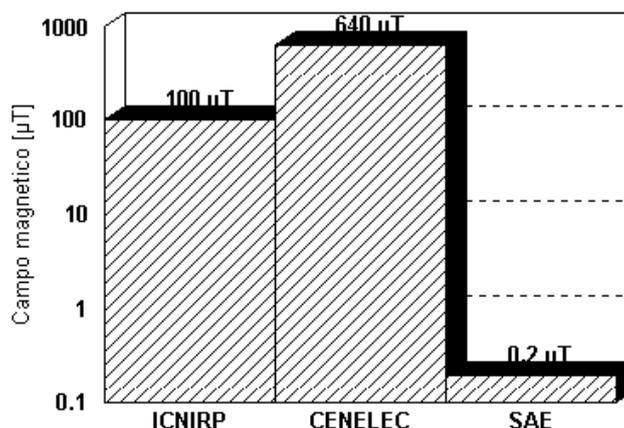


Figura 1 – Limiti di riferimento di esposizione ai campi magnetici di bassa frequenza secondo ICNIRP e CENELEC, e indicazione della SAE.

Riassumendo dunque, l'ICNIRP prescrive come limite di riferimento per l'esposizione a campi elettromagnetici di bassa frequenza il valore di induzione magnetica B pari a $100 \mu\text{T}$, mentre il CENELEC considera un valore più elevato, pari a $640 \mu\text{T}$.

4. RIFERIMENTI LEGISLATIVI NAZIONALI

Numerosi paesi come ad esempio la Germania adottano come limiti di legge relativi all'esposizione ai campi elettromagnetici i livelli di riferimento individuati dalla commissione ICNIRP.

L'Italia anche in seguito a pressioni mediatiche ha provveduto a emanare norme via via più restrittive in materia di protezione dai campi elettromagnetici, anche in assenza di studi sperimentali che suggeriscano tale direzione. 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:

- esposizione:** è la condizione di una persona soggetta a campi elettrici, magnetici, elettromagnetici, o a correnti di contatto, di origine artificiale;
- 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 μ T** 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 1**.

Campi a 50 Hz

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

Tabella 1 – 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 2** 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 2 – 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".

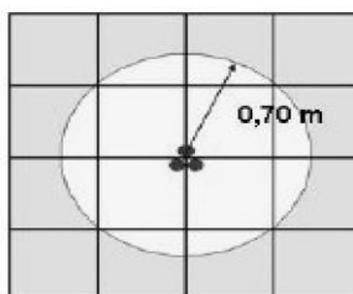
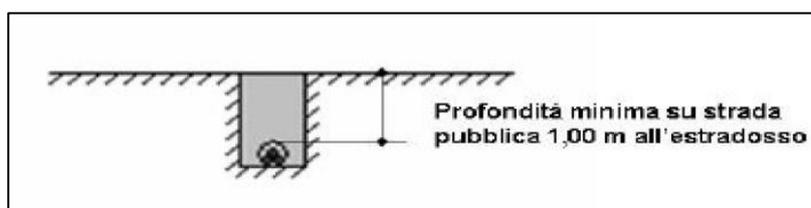
In particolare, si ricorda che con esso sono state date le seguenti definizioni:

- 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.

In questo caso le relative fasce di rispetto hanno un'ampiezza ridotta, inferiore alle distanze previste dal DM 21 marzo 1988, n. 449 e dalla Norma CEI EN 50341-2-13 "Linee elettriche aeree con tensione superiore a 1 kV in c.a. - Parte 2-13: Aspetti Normativi Nazionali (NNA) per l'Italia (basati sulla EN 50341-1: 2012).

Nell'immagine successiva è riportata la curva di livello dell'induzione magnetica generata da un cavo cordati ad elica, i cui calcoli sono stati effettuati con il modello tridimensionale "Elico" della piattaforma "EMF Tools", che tiene conto del passo d'elica.



Si evince che il cavo da 185 mmq, con un valore di portata di 325 A, interrato ad 1 m di profondità, genera un campo B pari a 3 μ T ad una distanza di circa 0,7 m. Mentre, con lo stesso metodo analitico, un cavo da 240 mmq, con una portata di 441 A, anch'esso interrato ad 1 m di profondità, ha una DPA di circa 0,9 m dal centro del cavo stesso.

5. DESCRIZIONE DELL' IMPIANTO EOLICO

L'impianto eolico in oggetto, sarà composto da n.12 aerogeneratori aventi ciascuno una potenza nominale di 5 MW per una potenza complessiva installata di circa 60,0 MW. La scelta di questo modello di macchina di grande taglia è stata concepita al fine di migliorare l'inserimento ambientale e paesaggistico dell'impianto. Dal punto di vista elettrico, gli aerogeneratori verranno suddivisi in n.4 gruppi in ciascuno dei quali gli aerogeneratori saranno collegati ai quadri MT a 30 kV di parallelo, mediante cavidotti in MT interrati. Ogni gruppo sarà poi connesso elettricamente al proprio quadro MT ubicato all'interno della cabina di raccolta

CR, attraverso una linea elettrica interrata. Infine, l'energia prodotta dall'impianto eolico sarà evacuata verso la SU distante dalla CR circa 9,4 km su percorso stradale, attraverso un cavidotto interrato. La SU, ubicata in un'area adiacente la stazione elettrica di smistamento RTN di Terna e condivisa con altri produttori, verrà poi collegata in AT a 132 kV mediante un cavidotto anch'esso interrato con un cavo a sezione nominale di 1600 mmq, alla SE.

6. POSSIBILI EMISSIONI DERIVANTI DALL'IMPIANTO EOLICO

Un impianto eolico è costituito dei seguenti componenti principali:

- aerogeneratore;
- cabina di raccolta;
- cavidotti in MT interni ed esterni al campo eolico;
- cavidotto in AT interrato;
- stazione utente di trasformazione MT/AT.

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.

L'aerogeneratore più adatto per la tipologia dell'area ed alla ventosità del sito, è il modello V150 della Vestas, avente un diametro del rotore di circa 150 m, un'altezza dal mozzo pari a 160 m per un totale di 200 m dal suolo ed una potenza nominale di 5 MW.

Le caratteristiche elettriche dei principali componenti dell'aerogeneratore scelto, sono riportate nella figura seguente:

Generator	
Type	Permanent Magnet Synchronous generator
Rated Power [P _N]	Up to 6450 kW (depending on turbine variant)
Frequency range [f _N]	0-138 Hz
Voltage, Stator [U _{Ns}]	3 x 800 V (at rated speed)
Number of Poles	36
Winding Type	Form with Vacuum Pressurized Impregnation
Winding Connection	Star
Operational speed range	0-460 rpm
Overspeed Limit (2 minutes)	720 rpm
Temperature Sensors, Stator	PT100 sensors placed in the stator hot spots.
Insulation Class	H
Enclosure	IP54

Converter	
Rated Apparent Power [S _N] @ 1.0 p.u. voltage	6750 kVA
Rated Grid Voltage	3 x 720 V
Rated Generator Voltage	3 x 800 V
Rated Grid Current @ 1.0 p.u. voltage	5400 A
Enclosure	IP54

Transformer			
Type description	Eco-design liquid immersed transformer.		
Basic layout	3 phase, 2 winding transformer		
Applied standards	IEC 60076-1, IEC 60076-16, IEC 61936-1 Commission Regulation No 548/2014 Commission Regulation No 2019/1783		
Cooling method	KF/WF		
Rated power	7000 kVA	7300kVA	7500kVA
Expansion system	Open breathing	Sealed	Sealed
Insulation liquid, Type/Fire point	Synthetic ester, biodegradable/ K-class (>300°C)	Natural/Synthetic ester, biodegradable/ K-class (>300°C)	
No-load reactive power	~17 kVA ^{r1}	~18 kVA ^{r1}	~19 kVA ^{r1}
Full load reactive power	~735 kVA ^{r1}	~810 kVA ^{r1}	~832 kVA ^{r1}
No-load current	~ 0.25 % ¹	~ 0.25 % ¹	~ 0.25 % ¹

Transformer			
Positive sequence short-circuit impedance @ rated power, 95°C	9.9 % ²	10.3 % ²	10.6 % ²
Positive sequence short-circuit resistance @ rated power, 95°C	~0.9 % ¹	~0.9 % ¹	~0.9 % ¹
Zero sequence short-circuit impedance @ rated power, 95°C	~9.6 % ¹	~10.0 % ¹	~10.3 % ¹
Zero sequence short-circuit resistance @ rated power, 95°C	~0.9 % ¹	~0.9 % ¹	~0.9 % ¹
Rated voltage, turbine side			
U _m 1.1kV	0.720 kV		
Rated voltage, grid side			
U _m 24.0kV	20.0-22.0 kV		
U _m 36.0kV	22.1-33.0 kV		
U _m 40.5kV	33.1-36.0 kV		
Insulation level AC / LI / LIC			
U _m 1.1kV	3 / - / - kV		
U _m 24.0kV	50 / 125 / 138 kV		
U _m 36.0kV	70 / 170 / 187 kV		
U _m 40.5kV	80 / 200 / 220 kV		
Off-circuit tap changer	None		
Frequency	50 Hz / 60 Hz		
Vector group	Dyn11		
Inrush peak current	<8 x I _n ¹		
Half crest time	~ 0.5 s ¹		
Sound power level	≤ 80 dB(A)		
Average winding temperature rise	Class 120 (E) ≤65 K Class 130 (B) ≤75 K		
Max altitude	3500 m		
Insulation system	Hybrid insulation system Winding insulation: 120 (E), Thermally Upgrader Paper 130 (B), High temperature insulation Other materials can have different class.		
Insulation liquid, Amount	≤ 3000 kg		
Corrosion class	C3		
Weight	≤11200 kg		
Overvoltage protection	Plug-in surge arresters on HV bushings		
High voltage bushings	Outer cone, interface C1		

Figura 2 – Caratteristiche elettriche della turbina V150

6.1.1 GENERAZIONE DI CAMPI MAGNETICI NELL'AEROGENERATORE

Il generatore elettrico può indurre campi elettromagnetici. Dato il basso valore della tensione in uscita dal generatore (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 160 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%, che potrebbe essere 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

Si evince in questo caso che il campo B assumerà valori molto bassi ad una distanza al suolo che è pari a circa 160 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 5,14 MW della turbina. Dalla formula successiva si può ricavare il valore del campo B massimo:

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

Dal calcolo si evince che, ad un metro di distanza dalle sbarre, l'induzione magnetica assume il suo massimo valore di circa 4 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 CABINA DI RACCOLTA (CR)

Per l'impianto in oggetto sarà installata una cabina elettrica di raccolta (CR). Il manufatto sarà realizzato con elementi componibili prefabbricati in calcestruzzo armato vibrato o a struttura monoblocco, tali da garantire pareti interne lisce senza nervature ed una superficie interna costante lungo tutte le sezioni orizzontali. Nella CR verranno convogliati tutti i cavi in uscita dal collegamento elettrico degli aerogeneratori nei rispettivi n.4 gruppi e dalla quale usciranno n.4 cavi MT a 30 kV che si collegheranno ai quadri elettrici della SE.

La CR di dimensioni pari a circa 20,0x3,5x2,7 m sarà suddivisa in n.2 locali: locale quadri MT e locale quadri BT e trafo aux MT/BT, quest'ultimo avente una potenza nominale di circa 100

kVA, isolato in resina per l'alimentazione dei servizi ausiliari, alloggiato in apposito box metallico prefabbricato di opportune dimensioni.

Di seguito sono riportate le caratteristiche tecniche del trasformatore aux:

CLASS 36 kV ED3R36	Power	Uk *	P ₀	P _{cc} *	I ₀	LwA	LpA	A	B	C	D	Wheel	Weight
	kVA	%	W	W	%	dB(A)	dB(A)	mm	mm	mm	mm	mm	Kg
	50	6	230	1870	1,4	54	41	1260	670	1525	520	125	850
	100	6	320	2250	1	56	43	1290	670	1545	520	125	1020
	160	6	460	3190	0,88	57	44	1425	670	1545	520	125	1300
	200	6	520	3630	0,85	58	44	1500	820	1600	670	125	1490
	250	6	590	4180	0,8	59	45	1500	670	1700	520	125	1670
	315	6	710	4980	0,79	60	46	1590	820	1750	670	125	1910
	400	6	860	6050	0,78	61	47	1590	820	1850	670	125	2010
	500	6	1030	7050	0,76	62	48	1620	820	1880	670	125	2200
	630	6	1260	8360	0,75	63	49	1680	820	1980	670	125	2470
	800	6	1490	8800	0,71	64	49	1710	1050	2150	820	125	2960
	1000	6	1780	9900	0,7	65	50	1830	1050	2300	820	125	3590
1250	6	2070	12100	0,69	67	52	1860	1000	2360	820	150	3890	
1600	6	2530	14300	0,67	68	53	2010	1050	2500	820	150	4860	
2000	6	2990	17600	0,65	72	56	2100	1300	2595	1070	200	5860	
2500	6	3560	20900	0,62	73	57	2250	1300	2625	1070	200	7160	
3150	6	4370	24200	0,6	76	60	2340	1300	2805	1070	200	8610	
4000	7	6300	26900	0,61	84	68	2520	1300	2835	1070	200	9650	
5000	8	6900	35000	0,61	86	70	2610	1300	2835	1070	200	10770	

* Dati riferiti a 120°C a tensione nominale / Data referred to 120°C at rated voltage.

Figura 3 – Caratteristiche del trasformatore aux BT/MT in cabina di raccolta

In base al DM del 29/05/2008, cap.5.2.1, l'ampiezza della Distanza di Prima Approssimazione per la valutazione dei campi elettromagnetici indotti (DPA) dai componenti elettrici della cabina, si determina considerando la corrente del lato in bassa tensione del trasformatore, tenendo conto di una distanza dalle fasi pari al diametro dei cavi reali in uscita dal trasformatore.

Per la determinazione della DPA cioè, si applica la seguente formula:

$$\frac{DPA}{\sqrt{I}} = 0,40942 * x^{0,5242}$$

dove:

- DPA, è la distanza di prima approssimazione (m);
- I, la corrente nominale in BT (A);
- x, è il diametro dei cavi (m).

Considerando che il valore della corrente nominale sul lato BT del trasformatore è pari a circa 144,4 A con tensione di 400 V e tenendo conto del diametro esterno del cavo in BT (opportunamente dimensionato e pari a (3x1x300) mmq) di circa 67 mm, si ottiene una DPA pari a circa 1,2 m.

La circonferenza avente il raggio pari al valore della DPA appena calcolata, centrata nel trasformatore BT/MT all'interno della cabina utente di trasformazione, è interna al locale trafo. Inoltre, essendo le cabine elettriche non permanentemente presidiate durante il periodo di produzione dell'impianto ma solamente in fase di manutenzione o di controllo del personale

formato, ma questo avverrebbe soltanto per brevi periodi di tempo e con gli adeguati dispositivi di protezione. Dunque, il campo magnetico generato dalla cabina di raccolta non presenta alcuna criticità.

6.3 CAVIDOTTI IN MEDIA TENSIONE

Di maggiore interesse, come già accennato, è invece l'esposizione legata al passaggio di corrente sia nei cavidotti interni all'impianto che di collegamento alla Cabina di Raccolta, 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 fotovoltaici 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.

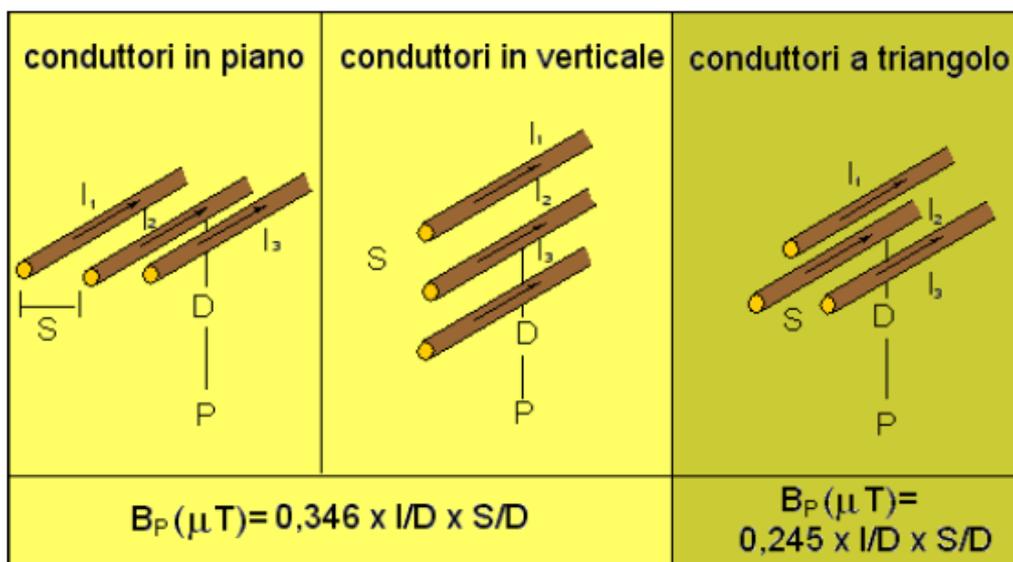


Figura 4 – Andamento dell'induzione magnetica B generata da un tratto rettilineo di terna trifase, per diverse configurazioni geometriche della terna stessa.

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.

Attualmente è diffusa un'altra 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 $3 \mu T$ 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. 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.

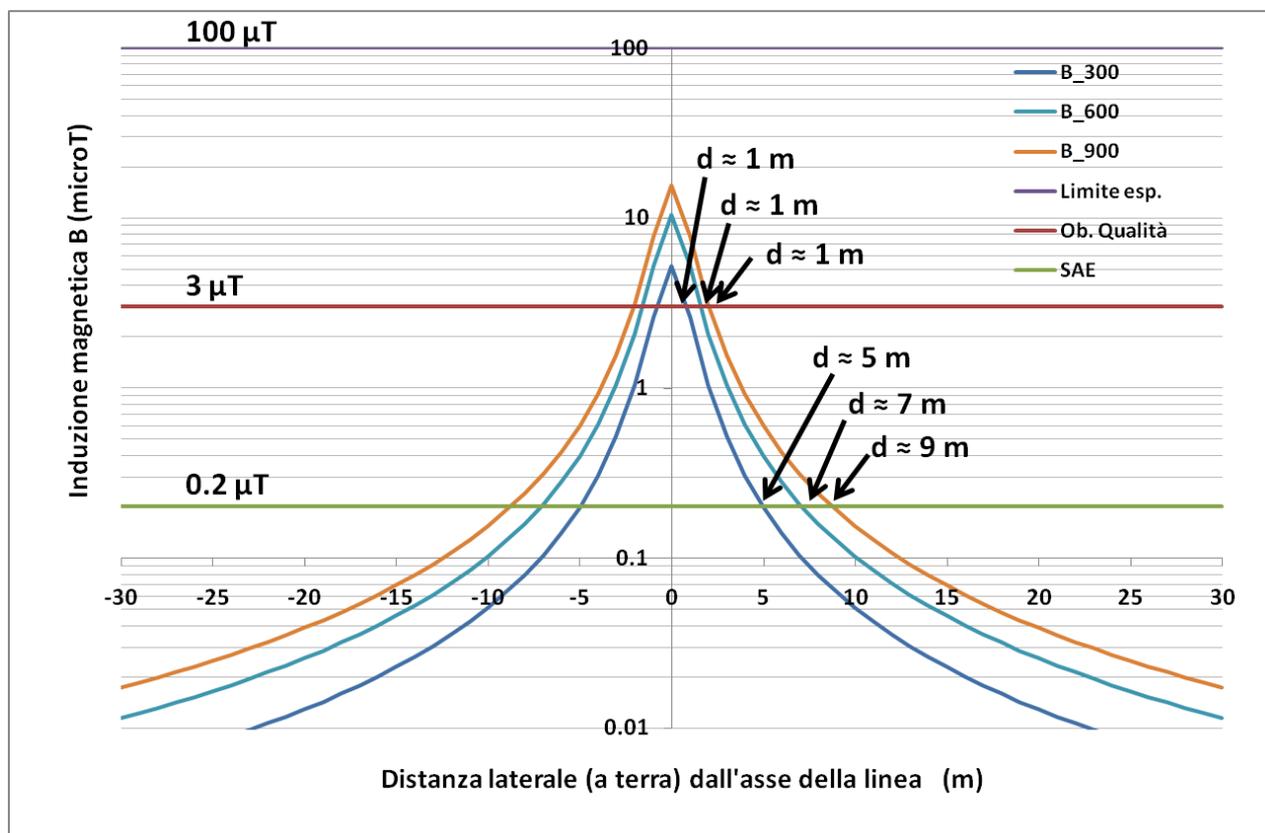


Figura 5 – Andamento del campo B generato da una terna piana trifase percorsa da corrente di 300 A (blu), 600 A (ciano) e 900 A (arancio) e indicazione delle distanze dalla linea necessarie per rientrare nei limiti di legge e nella SAE.

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). È anche indicata la Soglia di Attenzione Epidemiologica (SAE) di 0.2 μT , seppure essa non sia un limite di legge. 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 μT , 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 μT . Infine, la SAE di 0.2 μT è raggiunta a distanza di 5, 7 e 9 m. 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.

6.3.1 CAVIDOTTI INTERNI ALL'AREA D'IMPIANTO-POST OPERAM

Date le suddette premesse metodologiche, si descrivono di seguito i risultati dello studio del campo elettromagnetico generato sia dai cavidotti interni all'impianto eolico che dal cavidotto di evacuazione, entrambe in MT a 30 kV, nella fase di funzionamento dell'impianto eolico.

6.3.1.1 TIPOLOGIA DEI CAVI IN MT

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, ed infine alla cabina di raccolta. 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 95 mmq e 240 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 400 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

<p>Norma di riferimento HD 620/IEC 60502-2</p> <p>Descrizione del cavo Anima Conduttore a corda rotonda compatta di alluminio Semiconduttivo interno Miscela estrusa Isolante Miscela in elastomero termoplastico (qualità HPTE) Semiconduttivo esterno Miscela 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)</p>	<p>Standard HD 620/IEC 60502-2</p> <p>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)</p>
---	--

sezione nominale	diametro conduttore	diametro sull'isolante	diametro esterno nominale	peso del cavo	raggio minimo di curvatura	sezione nominale	posa in aria	ρ=1 °C m/W	posa interrata	ρ=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	ρ=1 °C m/W	underground installation	ρ=2 °C m/W
(mm²)	(mm)	(mm)	(mm)	(kg/km)	(mm)	(mm²)	(A)	(A)	(A)	(A)
50	8,2	24,8	38	3180	800	50	194	173	133	133
70	9,7	25,1	38	3340	800	70	240	212	163	163
95	11,4	26,0	39	3610	820	95	293	254	195	195
120	12,9	26,9	40	3900	840	120	338	290	223	223
150	14,0	27,6	41	4180	870	150	382	325	250	250
185	15,8	29,0	42	4620	890	185	439	369	283	283
240	18,2	31,4	45	5380	950	240	519	429	325	325
300	20,8	34,6	49	6500	1030	300	599	486	373	373

Figura 6 – Sezione tipo del cavo in MT - 30kV – ARP1H5(AR)E

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

<p>Norma di riferimento HD 620/IEC 60502-2</p> <p>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)</p>	<p>Standard HD 620/IEC 60502-2</p> <p>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)</p>
---	--

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	
conductor cross-section	conductor diameter	diameter over insulation	nominal outer diameter	weight	minimum bending radius	conductor cross-section	open air installation trefoil	$\rho=1\text{ }^{\circ}\text{C m/W}$	$\rho=2\text{ }^{\circ}\text{C m/W}$
(mm ²)	(mm)	(mm)	(mm)	(kg/km)	(mm)	(mm ²)	(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 7 – Sezione tipo del cavo in MT - 30kV – ARP1H5(AR)E

6.3.1.2 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 le posizioni delle turbine con i percorsi dei cavidotti di collegamento elettrico tra gli aerogeneratori (in rosso), con indicazione del numero di terne di cavi nello scavo (riquadri in magenta):

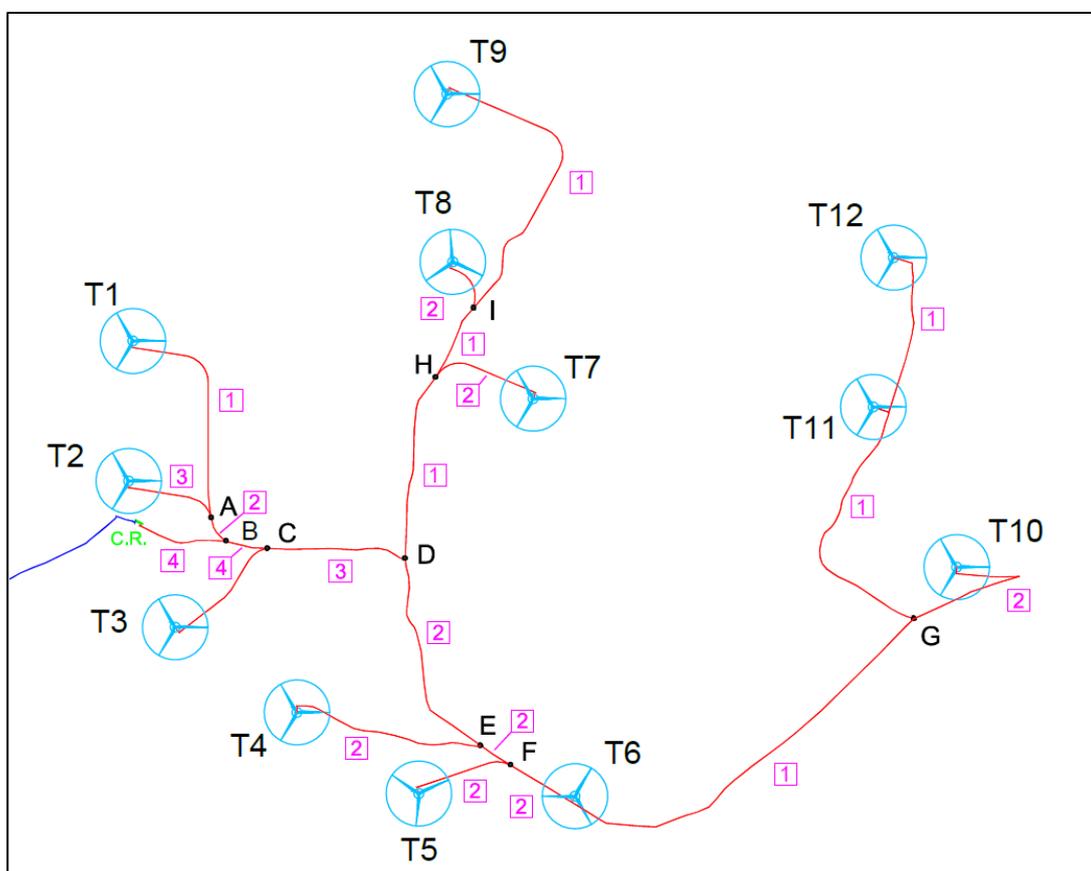


Figura 8 – Percorsi dei cavidotti tra i gruppi del parco con la cabina di raccolta.

Gli aerogeneratori verranno suddivisi in n.4 gruppi, con i seguenti collegamenti elettrici tra le turbine e la cabina di raccolta:

- Gruppo 1: T1-T2, T3-T2, T2-CR;
- Gruppo 2: T6-T5, T5-T4, T4-CR;
- Gruppo 3: T9-T8, T8-T7, T7-CR;

- Gruppo 4: T12-T11, T11-T10, T10-CR;

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

Collegamenti elettrici in MT	Tipologia di cavo MT - 30 kV	Lunghezza cavi [m]
Turbina T1 - Turbina T2	3x95	905
Turbina T3 - Turbina T2	3x95	715
Turbina T6 - Turbina T5	3x95	500
Turbina T5 - Turbina T4	3x240	925
Turbina T9 - Turbina T8	3x95	1035
Turbina T8 - Turbina T7	3x240	695
Turbina T12 - Turbina T11	3x95	480
Turbina T11 - Turbina T10	3x240	1277
Turbina T2 - CR	3x(1x400)	605
Turbina T4 - CR	3x(1x400)	1830
Turbina T7 - CR	3x(1x400)	1535
Turbina T10 - CR	3x(1x400)	3192

Tabella 3 – Cavi in MT e loro lunghezza interni al parco eolico

Nelle tratte dove la sezione dei cavi risulta uguale o inferiore ai 240 mmq, si è scelto l'impiego del cavo cordato ad elica visibile, il quale, secondo il DM 29.05.2008, presenta campo magnetico con ampiezza ridotta rispetto ad altri cavi non elicordati.

6.3.1.3 TIPOLOGIA DI SCAVO

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:

- 60 cm nel caso di posa di n.1 e n.2 terne;
- 70 cm nel caso di posa di n.3 terne;
- 90 cm, per la 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 n.4 cavi in MT, mentre in figura 10 sono riportate in forma tabellare, le varie lunghezze dei tratti di collegamento dell' impianto riferiti alla figura 8 precedente, ed il numero dei cavi posati negli scavi.

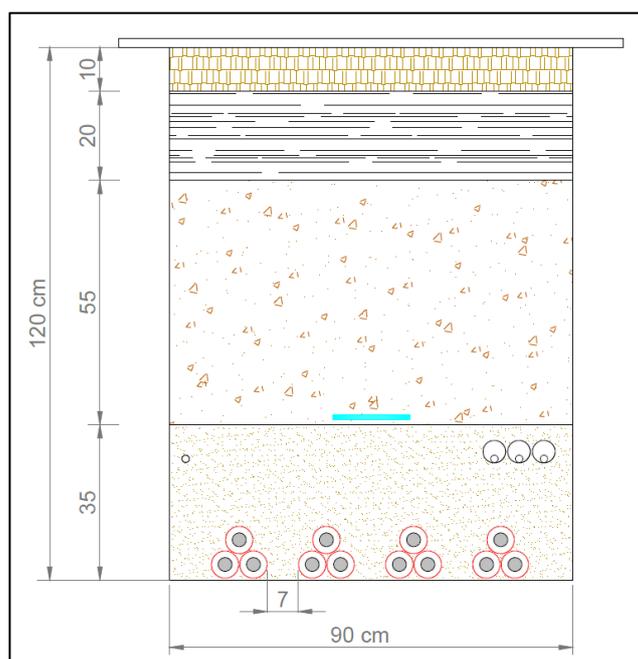


Figura 9 – Sezione di scavo per i cavidotti interrati in MT interni all'area d'impianto

Tratti di scavo del cavidotto in MT	SCAVI				
	Lunghezza [m]	Larghezza [m]	Profondità [m]	Volume [mc]	N° cavi per scavo
T1-A	615	0,6	1,2	442,8	1
A-T2	260	0,7	1,2	218,4	3
A-B	75	0,6	1,2	54	2
B-CR	240	0,9	1,2	259,2	4
B-C	110	0,9	1,2	118,8	4
C-T3	240	0,6	1,2	172,8	1
C-D	365	0,7	1,2	306,6	3
D-E	570	0,6	1,2	410,4	2
T4-E	515	0,6	1,2	370,8	2
E-F	100	0,6	1,2	72	2
T5-F	280	0,6	1,2	201,6	2
F-T6	190	0,6	1,2	136,8	2
T6-G	1110	0,6	1,2	799,2	1
G-T10	477	0,6	1,2	343,44	2
G-T11	770	0,6	1,2	554,4	1
T11-T12	450	0,6	1,2	324	1
D-H	490	0,6	1,2	352,8	1
T7-H	300	0,6	1,2	216	2
H-I	210	0,6	1,2	151,2	1
I-T8	155	0,6	1,2	111,6	2
I-T9	850	0,6	1,2	612	1
CR-SU	9310	0,9	1,2	10054,8	4
TOTALE SCAVI:	17682			16283,64	

Figura 10: Caratteristiche degli scavi adottati in MT

6.3.1.4 CAMPO B DEI CAVIDOTTI INTERNI

Nella **Figura 11** sottostante è raffigurato il layout del parco eolico su mappa ortofoto, in cui sono visibili:

- gli aerogeneratori;
- i cavidotti MT (in rosso);
- la cabina di raccolta (CR, in verde);
- la posizione dei ricettori più vicini all' area d'impianto (R59 e R60, in giallo);
- tratto di cavidotto di evacuazione (in blu).

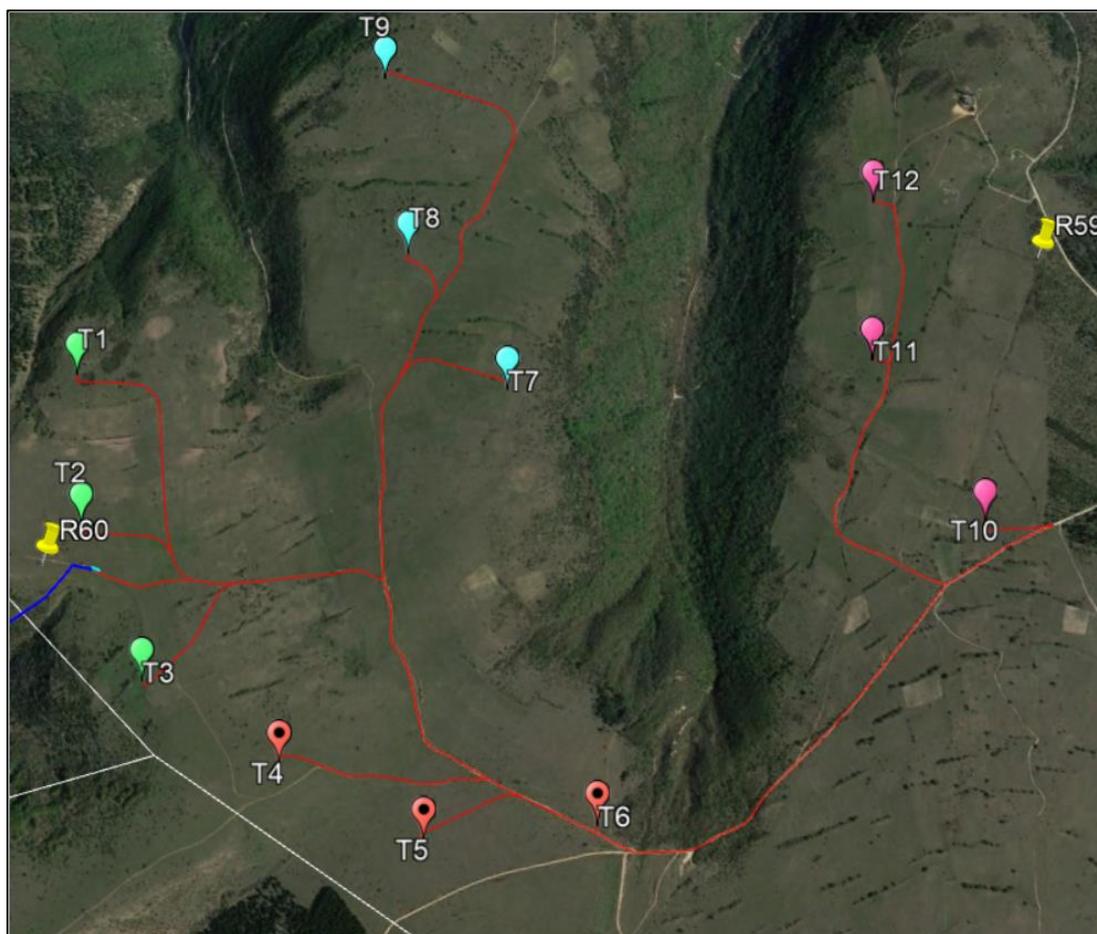


Figura 11 – Layout dell’impianto e ricettori interni all’area d’impianto (in verde).

Di seguito una tabella riepilogativa con le distanze dei ricettori dalle rispettive tratte di cavidotto interne più vicine:

Ricettore	Tratto di cavidotto	Distanza [m]	Numero di cavi nello scavo	Sezioni dei cavi [mmq]
R59	T12-T11	330	1	95
R60	B-CR	140	4	400

Tabella 4 – Distanze dei ricettori vicini all’ area d’impianto con i cavidotti MT interni

Per il calcolo del campo B, consideriamo il caso peggiore in cui le terne dei cavi non sono cordate, scegliendo la sezione ed il valore della portata corrispondente dei cavi della tabella in figura 7. 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 $3 \mu\text{T}$ (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.

6.3.1.5 CALCOLO DEL VALORE DI INDUZIONE B SUL TRATTO T12-T11

Il cavidotto in MT costituito da n.1 terna di cavi unipolari della sezione di 95 mm^2 , genera un valore d'induzione B direttamente proporzionale alla portata del cavo.

Tale cavo considerato nella progettazione, del tipo "air-bag" ARP1H5(AR)E, ha un valore della portata di corrente di circa 254 A (resistività del terreno pari ad 1°Cm/W , Temperatura 20°C), interrato a circa $1,2 \text{ m}$ di profondità e il cui diametro esterno è pari a circa 39 mm .

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 12**. In quest'ultima sono in aggiunta indicati sia il limite di esposizione che l'obiettivo di qualità fissati dalla normativa.

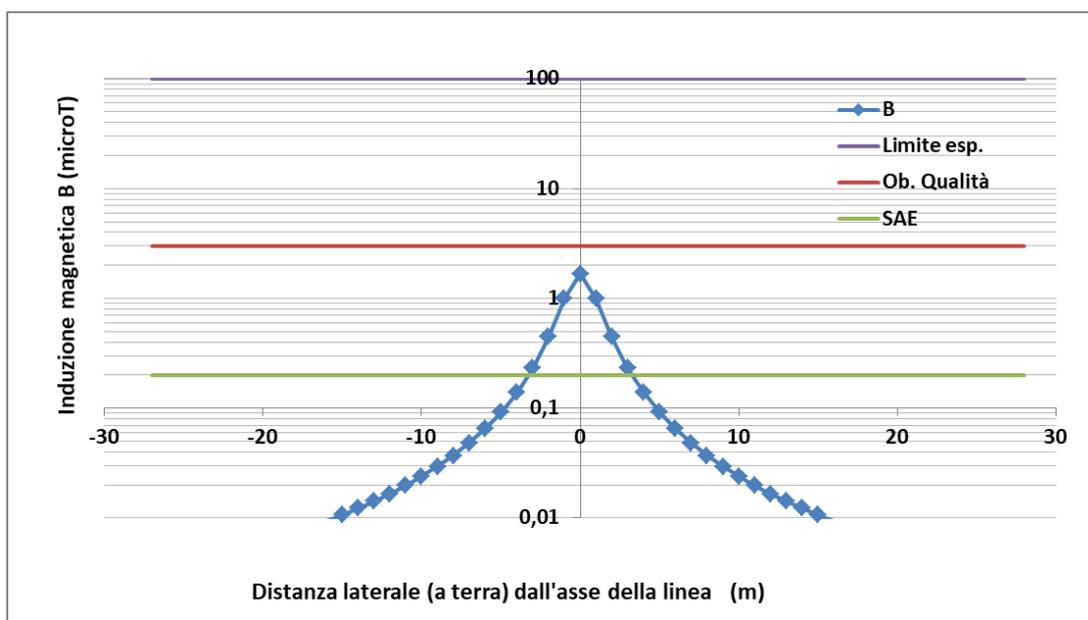


Figura 12: Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto in MT interno all'area d'impianto, tratto T11-T12, in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità

Nella **Tabella 5** seguente sono riportati i valori puntuali del campo B di **Figura 13**, al variare del raggio di una circonferenza centrata nel baricentro del cavidotto.

Punti	Distanza [m]	B(μT)
0	1,2	1,69
1	1,6	0,99
2	2,3	0,45
3	3,2	0,23
4	4,2	0,14
5	5,1	0,09

Tabella 5 – Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo sull'asse stradale, per i ricettori interni all'impianto

Dalla tabella precedente si evince che il valore del campo B non raggiunge mai l'obiettivo di qualità ($3\mu T$). Il valore del campo B presso il Ricettore R59, distante circa 330 metri dal cavo, assume un valore irrilevante.

6.3.1.6 CALCOLO DEL VALORE DI INDUZIONE B SUL TRATTO B-CR

Il cavidotto in MT costituito da n.4 terne di cavi unipolari della sezione di 400 mmq, del tipo "air-bag" ARP1H5(AR)E, genera un valore d'induzione B direttamente proporzionale alla portata del cavo pari a circa 557 A (resistività del terreno pari ad 1°Cm/W, Temperatura 20°C), interrato a circa 1,2 m di profondità e il cui diametro esterno è pari a circa 53 mm.

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 13**. In quest'ultima sono in aggiunta indicati sia il limite di esposizione che l'obiettivo di qualità fissati dalla normativa.

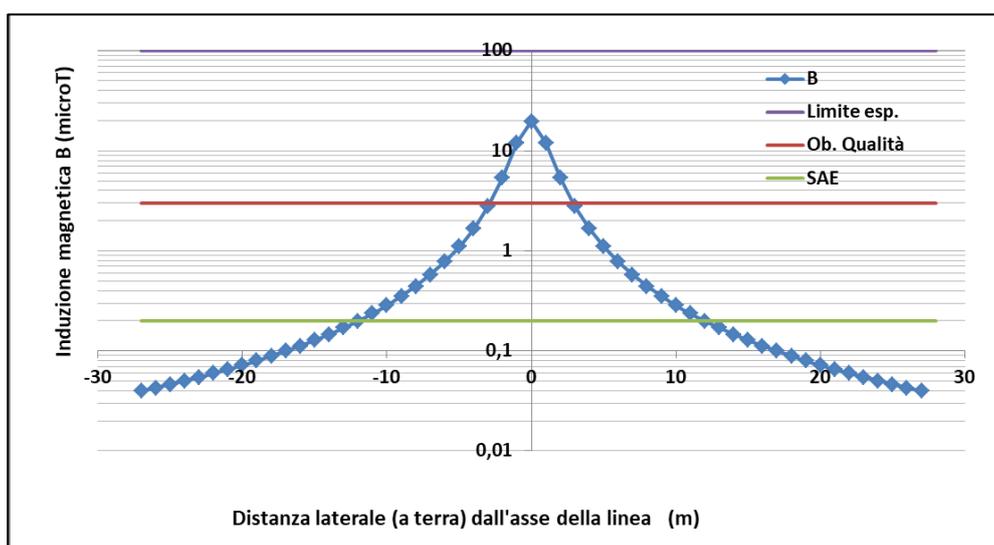


Figura 13: Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto in MT interno all'area d'impianto, tratto B-CR, in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità

Nella **Tabella 6** seguente sono riportati i valori puntuali del campo B di **Figura 13**, al variare del raggio di una circonferenza centrata nel baricentro del cavidotto.

Punti	Distanza [m]	B(μT)
0	1,2	19,60
1	1,6	11,97
2	2,3	5,39
3	3,2	2,80
4	4,2	1,67
5	5,1	1,10

Tabella 6 – Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo sull'asse stradale, per i ricettori interni all'impianto

Dalla tabella precedente si evince che il valore del campo B raggiunge l'obiettivo di qualità ($3\mu\text{T}$) a circa 2,9 m dalla proiezione ortogonale del cavo sulla strada. Il valore del campo B presso il Ricettore R60, distante circa 140 metri dal cavo, risulta pressoché nullo.

6.3.1.7 CAVIDOTTO ESTERNO DI CONNESSIONE TRA LA CABINA DI RACCOLTA E LA STAZIONE UTENTE DI TRASFORMAZIONE

Il collegamento in MT tra la cabina di raccolta e la stazione utente di trasformazione MT/AT sarà realizzato mediante n.4 cavi trifase aventi ciascuno una sezione nominale di 500 mmq, con conduttore in alluminio e tensione d'isolamento 18/30 KV. Il cavo che verrà utilizzato sarà del tipo descritto in Figura 7, ARP1H5(AR)E, con cavi unipolari disposti a trifoglio e protezione meccanica del tipo air bag.

I cavi saranno interrati, in una trincea della profondità di 1,2 m, e distanziati tra di loro di circa 7 cm sul piano orizzontale. Nello stesso scavo, a distanza di almeno 0,3 m dai cavi di energia, potrà essere posato un cavo con fibre ottiche e/o telefoniche per trasmissione dati. Tutti i cavi verranno alloggiati in sabbia o inerte prescritto, la cui resistività termica, se necessario, verrà corretta con una miscela di sabbia vagliata più umida o con cemento 'mortar'. Saranno segnalati superiormente da un nastro segnaletico e potranno essere protetti anche da una rete in PVC.

6.3.1.7.1 CALCOLO DEL VALORE DI INDUZIONE B

Il cavidotto di evacuazione avente n.4 terne di cavi unipolari della sezione di 500 mmq, ciascuno, genera un valore d'induzione B direttamente proporzionale alla portata del cavo. Per il cavo considerato nella progettazione, del tipo "air-bag" ARP1H5(AR)E, la portata di corrente ha un valore di circa 636 A per il cavo 3x(1x500) mmq (resistività del terreno pari ad 1°Cm/W , Temperatura 20°C) ed un diametro esterno del cavo di circa 56 mm.

Il campo di induzione magnetica B, assumerà un andamento variabile con la distanza laterale dall'asse della linea, secondo la curva mostrata in **Figura 14**. In quest'ultima sono in aggiunta indicati sia il limite di esposizione che l'obiettivo di qualità fissati dalla normativa.

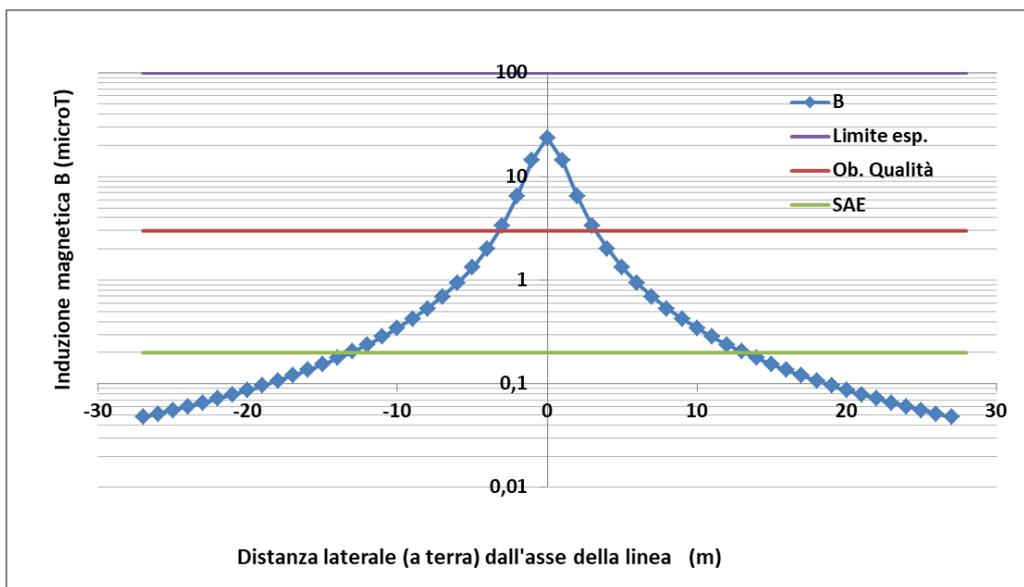


Figura 14: Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto di evacuazione MT del progetto eolico in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità

Nella **Tabella 7** seguente sono riportati i valori puntuali del campo B di **Figura 14**, al variare del raggio di una circonferenza centrata nel baricentro del cavidotto.

Punti	Distanza [m]	B(μT)
0	1,2	23,61
1	1,6	14,45
2	2,3	6,51
3	3,2	3,38
4	4,2	2,01
5	5,1	1,33
6	6,1	0,94
7	7,1	0,69
8	8,1	0,53
9	9,1	0,42
10	10,1	0,34

Tabella 7 – Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo sull’asse stradale, per i ricettori esterni all’impianto

Dalla tabella 7, il valore del campo B raggiunge l’obiettivo di qualità ($3\mu T$) a circa 3,3 m dalla proiezione ortogonale del cavo sul percorso stradale. Nel paragrafo successivo verranno elencati i ricettori più vicini al percorso del cavidotto, dall’ impianto eolico fino alla stazione di trasformazione a Camerino.

6.3.1.8 RICETTORI PROSSIMI IL CAVIDOTTO DI EVACUAZIONE

I possibili ricettori sensibili, ubicati nelle immediate vicinanze del percorso del cavidotto di evacuazione (in blu), composto da n.4 terne di cavi unipolari da 500 mmq ciascuno, al di sotto dei 3,3 m calcolati precedentemente, sono rappresentati per una visione d'insieme, su mappa ortofoto nella figura 15 ed in dettaglio in quelle successive:

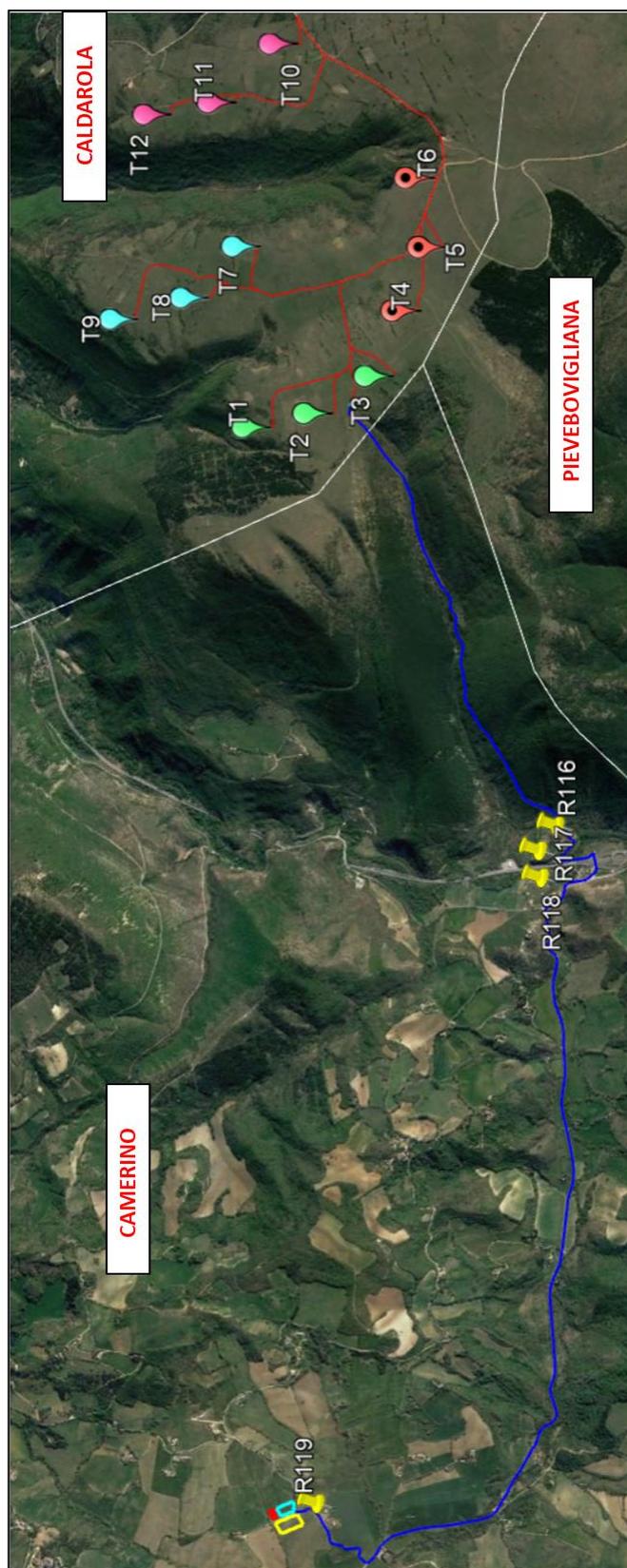
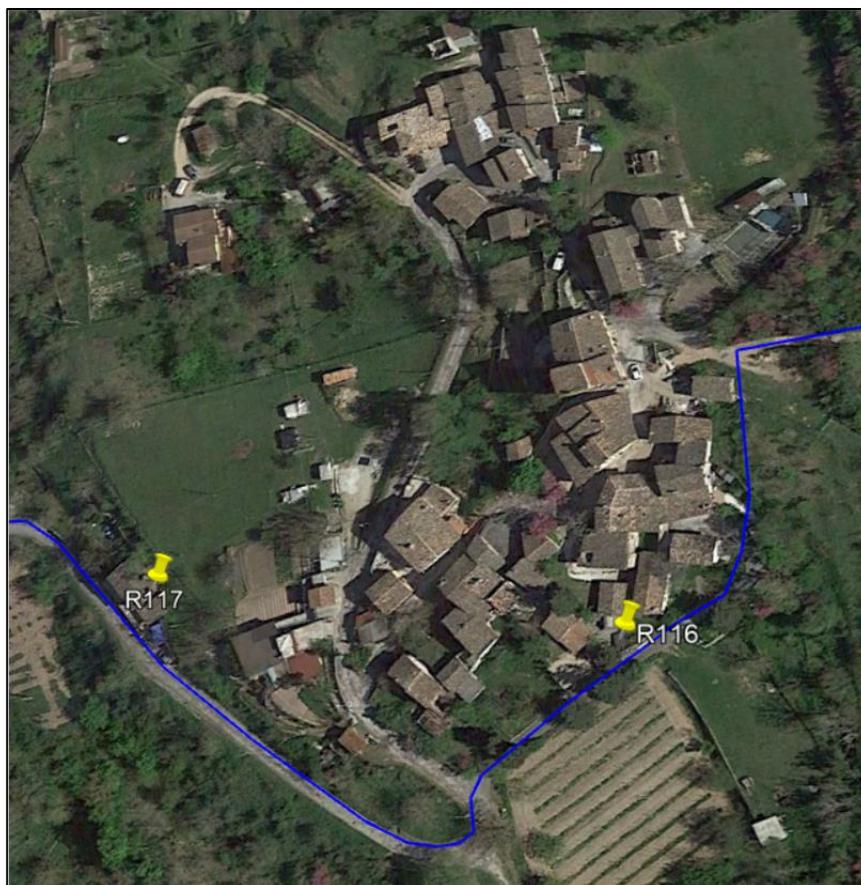
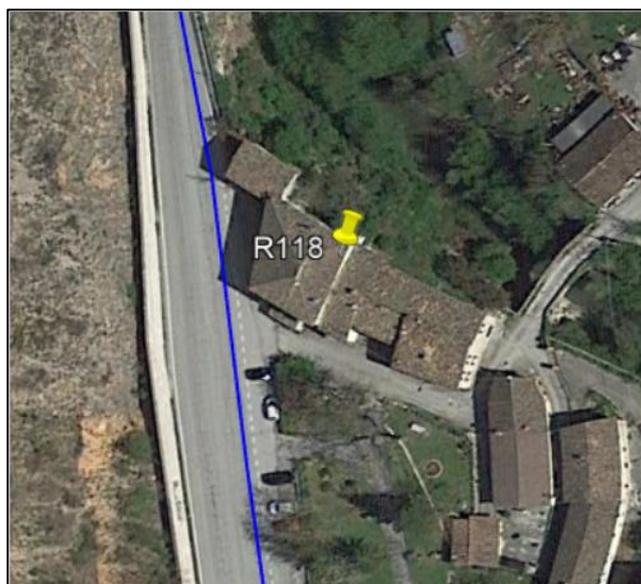


Figura 15 – Posizione dei ricettori potenzialmente sensibili lungo il percorso del cavidotto di evacuazione

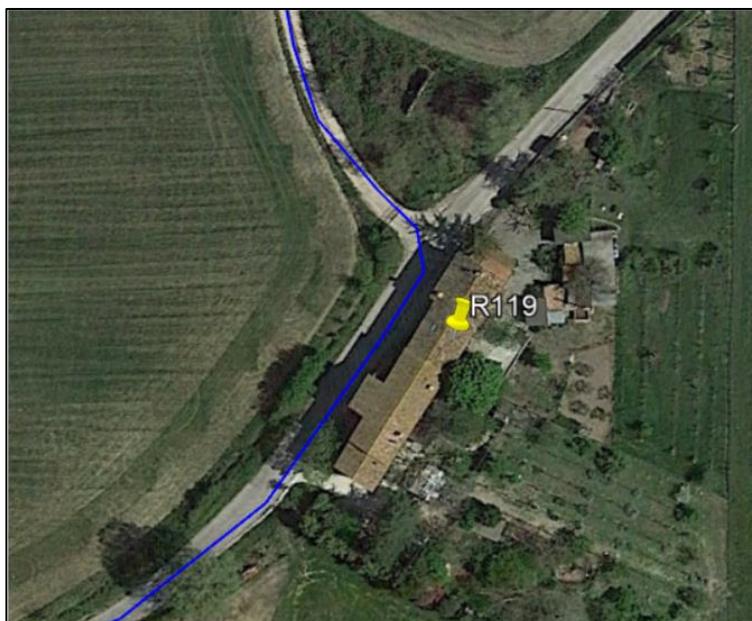
Ricettori R116 e R117:



Ricettore R118:



Ricettore R119:



Nella **tabella 8** seguente, sono riportate le distanze tra i ricettori potenzialmente sensibili con il lato del percorso stradale attraversato dal cavidotto di evacuazione, più vicino ed essi:

Ricettore	Distanza [m]	Numero di cavi nello scavo	Sezioni dei cavi [mmq]
R116	1,0	4	500
R117	2,0	4	500
R118	2,5	4	500
R119	2,0	4	500

Tabella 8 – Distanze tra i ricettori potenzialmente sensibili con la strada in cui verrà interrato il cavidotto di evacuazione

Per ridurre il campo B al di sotto dell'obiettivo di qualità nei tratti stradali prossimi ai ricettori più esposti al campo di induzione elettromagnetica, esistono ad esempio delle possibili soluzioni:

- interro dei cavi a profondità maggiore;
- distanziamento dei cavi dal ricettore;
- utilizzo di un materiale di posa del cavo, avente un basso valore di conducibilità termica, tale da ridurre il valore della portata del cavo (compatibile con il corretto dimensionamento del cavo);
- schermatura dei cavi con canalina o tubazione metallica, ad alta permeabilità, nel tratto più vicino al ricettore.

E' importante sottolineare che i calcoli effettuati nel progetto per determinare il campo B, sono stati condotti tenendo conto del valore della portata del cavidotto, pari a circa 2.544 A (portata di 636x4 cavi). Nella realtà, poiché il parco eolico ha una potenza nominale installata di 60 MW, il valore di corrente massima che percorre il cavidotto di evacuazione è pari a circa 1.283 A, cioè circa 321 A per cavo, quasi la metà rispetto al valore considerato nei calcoli del campo B precedentemente. Assumendo tale valore di corrente, il campo B ad una distanza di circa 1,0 m (riferita al ricettore R116), raggiungerà un valore di circa 7,3 μT , dimezzato rispetto al caso riportato in tabella 7.

Di seguito i risultati del calcolo del campo B nel caso in cui i cavi fossero percorsi dalla corrente massima prodotta dall' impianto eolico:

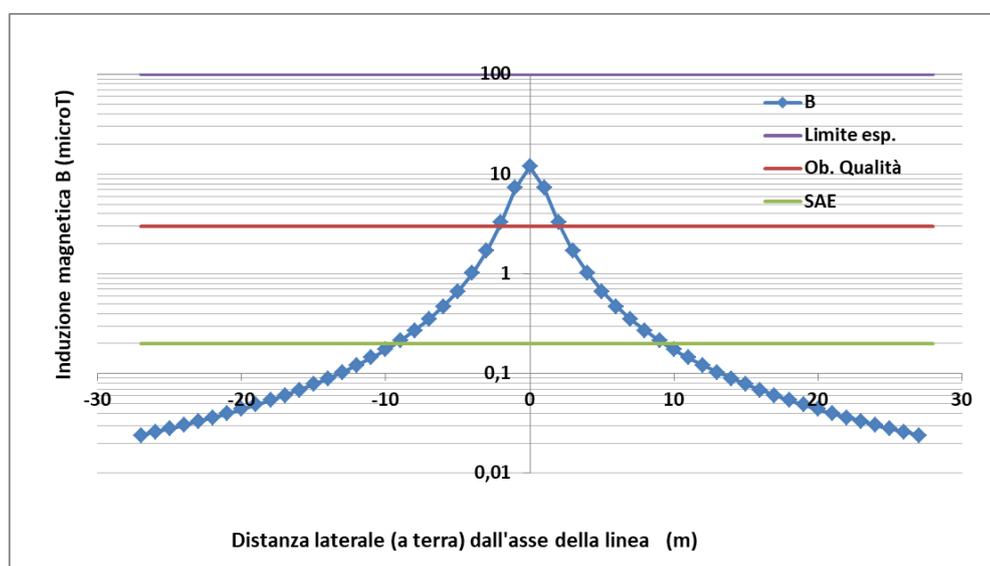


Figura 16: Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto di evacuazione MT del progetto eolico in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità

I punti del grafico riportati in forma tabellare:

Punti	Distanza [m]	B(μT)
0	1,2	11,91
1	1,6	7,29
2	2,3	3,28
3	3,2	1,70
4	4,2	1,02
5	5,1	0,67

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

6.4 IMPIANTO DI ACCUMULO

L'impianto di accumulo sarà costituito da n.14 battery containers o BC, ciascuna con una capacità di circa 5,76 MWh ed una potenza nominale di circa 1,43 MW, collegate alle n.7 cabine di trasformazione/inverter o PCS. Tali cabine sono composte da un inverter centralizzato da 3450 MVA collegato ai battery containers mediante cavidotti interrati in BT in corrente continua. L'impianto storage sarà suddiviso in due sottocampi ciascuno avente n.4 e n.3 cabine PCS, collegate tra di loro ed infine con la cabina di raccolta storage (CRS), mediante cavidotti interrati in MT a 30 kV. La CRS verrà connessa in antenna a 30 kV alla stazione utente di trasformazione MT/AT adiacente l'area dell'impianto di accumulo.

6.4.1 POSSIBILI EMISSIONI DERIVANTI DALL'IMPIANTO STORAGE

Di seguito, i possibili sistemi elettrici che potrebbero causare emissioni elettromagnetiche nell'area dell'impianto:

- Cabina aux;
- Cavidotti interrati.

L'emissione dei campi elettromagnetici generati dai sistemi battery containers sarà evitata grazie all'installazione delle batterie elettrochimiche in moduli e racks protetti da involucri metallici ed ubicati in appositi container (anch'essi metallici) tali da ridurre notevolmente il B generato dai cablaggi elettrici interni che collegano le batterie e i vari apparati e dispositivi elettrici del container.

6.4.1.1 CABINA AUX

Per l'impianto in oggetto sarà installata una cabina (o container) ausiliaria di dimensioni minime pari a circa 12x3x2,7 m, al cui interno verranno alloggiati tutti i sistemi e quadri elettrici per l'alimentazione dei sistemi ausiliari, una postazione utente con pc e sistemi di controllo dell'impianto storage ed un trasformatore BT/MT, quest'ultimo avente una potenza nominale di circa 100 kVA, isolato in resina per l'alimentazione dei servizi ausiliari, alloggiato in apposito box metallico prefabbricato di opportune dimensioni.

Le caratteristiche tecniche del trasformatore, sono riportate nella figura 3 e, per la determinazione della DPA, valgono le stesse considerazioni fatte nel capitolo 6.2, ottenendo dunque un valore della distanza di prima approssimazione pari a circa 1,2 m dal trasformatore.

6.4.1.2 CAVI IN BT

Il collegamento tra ciascun BCi con i quadri in ingresso dell'inverter ubicato nelle cabine PCSi, avverrà tramite cavidotti interrati in BT in corrente continua, ciascuno contenente n.5 cavi bipolari della sezione di 150 mmq, posizionati ad una profondità minima di 0,6 m dalla superficie del terreno. I cavi saranno distanziati di circa 7 cm all'interno dello stesso scavo.

Il cavo considerato nella progettazione, del tipo FG16R16 0,6/1 kV, ha un valore della portata di circa 420 A (resistività del terreno pari ad 1°Cm/W, Temperatura 20°C), il cui diametro esterno è pari a circa 25 mm.

Di seguito il data-sheet del cavo preso in esame per il calcolo del B ed in figura 19 i loro percorsi di connessione (in arancione):

FG16R16

sezione nominale	diametro indicativo conduttore	spessore medio isolante	diametro esterno massimo	peso indicativo del cavo	resistenza massima a 20 °C in c. c.	30 °C in aria	portata di corrente (A) con temperatura ambiente di 30 °C in tubo in aria	portata di corrente (A) con temperatura ambiente di 20 °C interrato in tubo	portata di corrente (A) con temperatura ambiente di 20 °C interrato	raggio minimo di curvatura
<i>conductor cross-section</i>	<i>approximate conductor diameter</i>	<i>average insulation thickness</i>	<i>maximum outer diameter</i>	<i>approx. weight</i>	<i>maximum DC resistance at 20 °C</i>	<i>in open air at 30 °C</i>	<i>in duct in air at 30 °C</i>	<i>permissible current rating (A) in buried duct at 20 °C</i>		<i>minimum bending radius</i>
(mm ²)	(mm)	(mm)	(mm)	(kg/km)	(Ω/km)			ρ=1°C m/W	ρ=1,5°C m/W	(mm)

1 conduttore / Single core - tab. CEI-UNEL 35318

1,5	1,5	0,7	8,2	79	13,3	24	20	22	21	35	32	74
2,5	2	0,7	8,7	94	7,98	33	28	29	27	45	39	78
4,0	2,5	0,7	9,3	112	4,95	45	37	37	35	58	51	84
6,0	3	0,7	9,9	139	3,30	58	48	47	44	73	64	89
10,0	3,9	0,7	10,9	188	1,91	80	66	63	59	97	85	98
16,0	5	0,7	11,4	227	1,21	107	88	82	77	125	110	103
25,0	6,4	0,9	13,2	331	0,780	135	117	108	100	160	141	119
35,0	7,7	0,9	14,6	425	0,554	169	144	132	121	191	169	131
50,0	9,2	1,0	16,4	579	0,386	207	175	166	150	226	199	148
70,0	11,0	1,1	17,3	784	0,272	268	222	204	184	277	244	156
95,0	12,5	1,1	24,4	989	0,206	328	269	242	217	331	292	220
120,0	14,2	1,2	22,4	1250	0,161	383	312	274	251	377	332	202
150,0	15,8	1,4	24,8	1540	0,129	444	355	324	287	420	370	223
185,0	17,5	1,6	27,2	1890	0,106	510	417	364	323	476	419	245
240,0	20,1	1,7	30,4	2410	0,0801	607	490	427	379	550	484	274
300,0	22,5	1,8	33,0	3030	0,0641	703	-	484	429	620	546	297

Figura 17: Cavo in BT in cc

Il campo di induzione magnetica B generato dai conduttori del cavo percorso dal valore della portata, assume un andamento con la distanza laterale dall'asse della linea, secondo la curva mostrata in **Figura 18**. In quest'ultima sono in aggiunta indicati sia il limite di esposizione che l'obiettivo di qualità fissati dalla normativa.

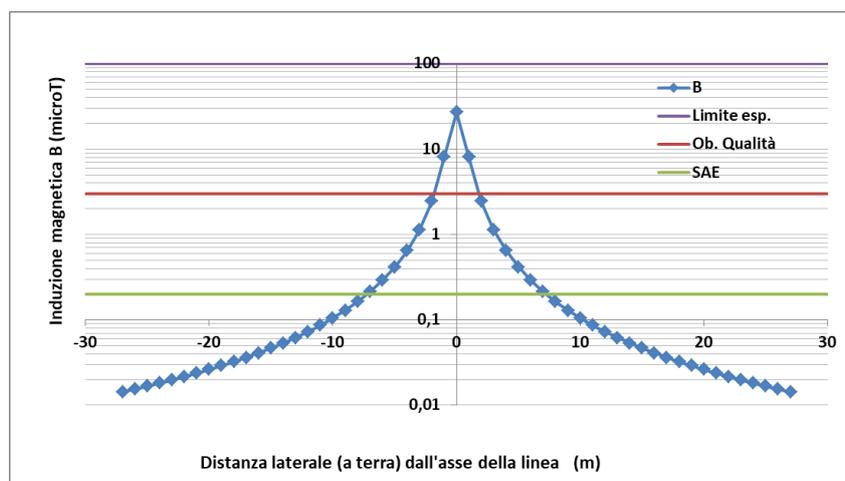


Figura 18: Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto in MT interno all'area d'impianto in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità

Nella **Tabella 10** seguente sono riportati i valori puntuali del campo B di **Figura 17**, al variare del raggio di una circonferenza centrata nel baricentro del cavidotto.

Punti	Distanza [m]	B(μ T)
0	1,2	27,11
1	1,6	8,04
2	2,3	2,45
3	3,2	1,13
4	4,2	0,65
5	5,1	0,42
6	6,1	0,29
7	7,1	0,21
8	8,1	0,16
9	9,1	0,13
10	10,1	0,10

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

Dalla tabella precedente si evince che il valore del campo B raggiunge l’obiettivo di qualità (3μ T) a circa 2,0 metri dal cavo, in un’area a ridosso delle cabine del sistema di accumulo e dunque non frequentata abitualmente da persone.

6.4.1.3 CAVI IN MT

Il calcolo del campo B verrà effettuato sia sui cavi che collegano le cabine elettriche PCSi con la cabina di raccolta storage (interni), e sia sui cavi di collegamento tra quest’ultima e la cabina MT all’interno della stazione utente (esterni).

- CAVI MT INTERNI:

di seguito la planimetria del sistema di accumulo in cui sono visibili i n.14 battery containers che si collegano alle n.7 cabine di trasformazione/inverter. Inoltre sono riportati i cavidotti di collegamento tra i 2 gruppi di BCi (il primo composto da n.4 BCi: BC1, BC2, BC3, BC4; l’altro composto da n.3 battery containers: BC5, BC6, BC7) con la cabina di raccolta storage (in rosso).

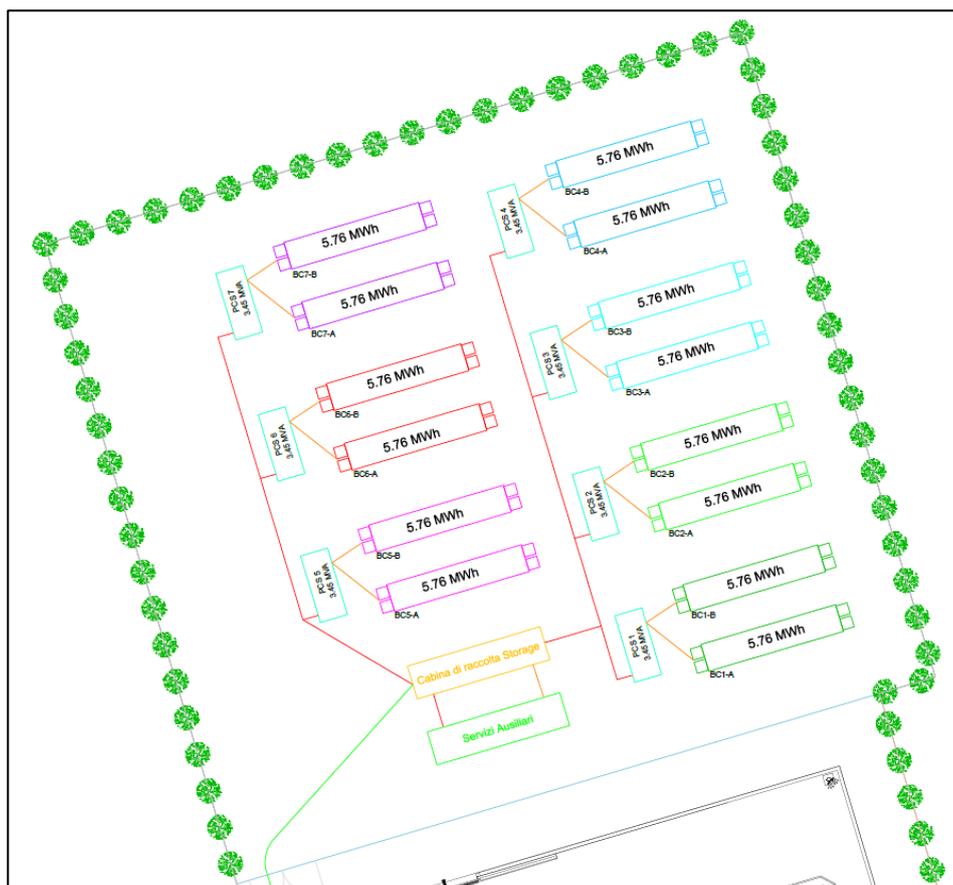


Figura 19 – Planimetria del sistema di accumulo con i collegamenti in cavo

Nella tabella successiva sono riportate sia le lunghezze dei cavi di connessione tra i dispositivi in MT dello storage che le rispettive sezioni.

Per il calcolo del campo B generato dal cavidotto in MT si considera il percorso del cavidotto di connessione tra l'ultima cabina PCSi con la cabina CRS, i cui collegamenti avverranno con cavi aventi la sezione di 95 mmq, e dunque con un valore di portata più alta rispetto a quella dei cavi da 70 mmq.

	Lunghezza cavi in MT-30 kV [m]	Sezione cavo [mmq]	DP [kW]
PCS4-PCS3	20	70	0,1
PCS3-PCS2	18	70	0,5
PCS2-PCS1	18	70	1,1
PCS1-CR	15	95	1,1
PCS7-PCS6	20	70	0,1
PCS6-PCS5	20	70	0,5
PCS5-CR	15	95	0,6
CR-SU	70	400	3,8
S.AUX. - CR	10	70	0
TOTALE			7,8
Lunghezza cavo 70 mmq		106	m
Lunghezza cavo 95 mmq		30	m
Lunghezza cavo 400 mmq		70	m

Tabella 11 – Lunghezze e sezioni dei cavi in MT interni all’impianto di accumulo

Il cavidotto contenente n.1 terna di cavi unipolari della sezione di 95 mmq, del tipo “air-bag” ARE4H5(AR)EX, genera un valore d’induzione B direttamente proporzionale alla portata del cavo, pari a circa 244 A (resistività del terreno pari ad 1°Cm/W, Temperatura 20°C) con un diametro esterno di circa 42 mm.

Il campo di induzione magnetica B generato dai conduttori percorsi dal valore della corrente pari alla loro portata, assumerà un andamento variabile con la distanza laterale dall’asse della linea, secondo la curva mostrata in **Figura 20**. In quest’ultima sono in aggiunta indicati sia il limite di esposizione che l’obiettivo di qualità fissati dalla normativa.

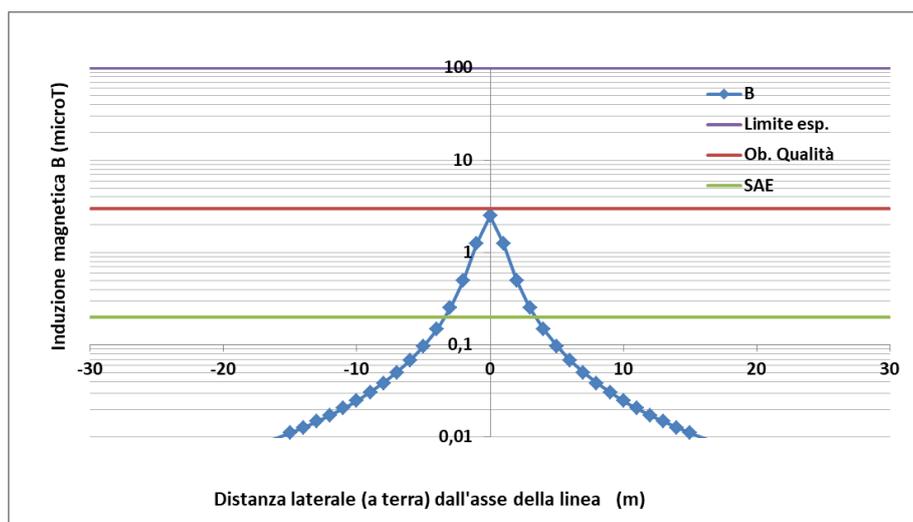


Figura 20: Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto di evacuazione MT del progetto eolico in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità

Nella **Tabella 12** seguente sono riportati i valori puntuali del campo B di **Figura 20**, al variare del raggio di una circonferenza centrata nel baricentro del cavidotto.

Punti	Distanza [m]	$B(\mu\text{T})$
0	1,2	2,51
1	1,6	1,26
2	2,3	0,50
3	3,2	0,25
4	4,2	0,15
5	5,1	0,10

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

Dalla **tabella 12** si nota che il valore del campo B non raggiunge mai l'obiettivo di qualità.

▪ CAVO MT ESTERNO:

la connessione tra la CRS e la SU si realizzerà tramite un cavidotto interrato avente una sezione minima nominale di 400 mmq, del tipo ARE4H5(AR)E, con protezione "air-bag", portata pari a 526 A e diametro esterno di circa 55 mm.

Il campo di induzione magnetica B generato dai conduttori, è visualizzato nella figura successiva:

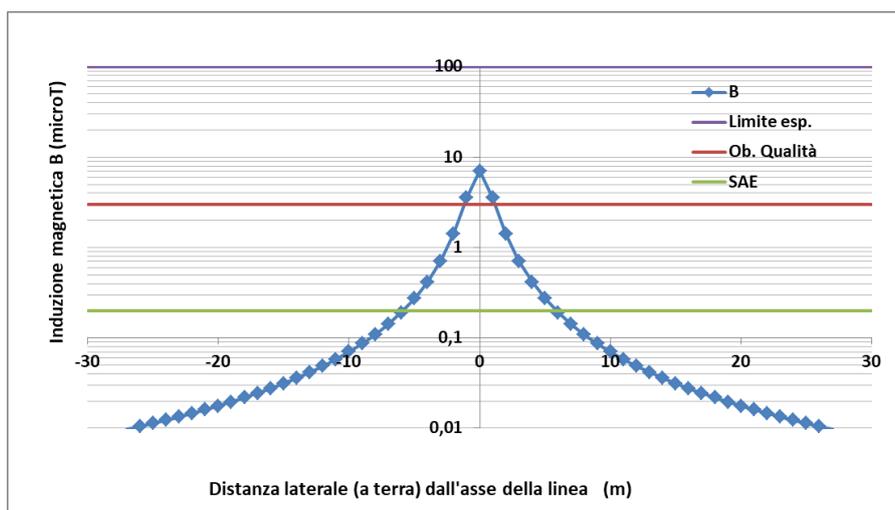


Figura 21: Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto di evacuazione MT del progetto eolico in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità

Nella **Tabella 13** seguente sono riportati i valori puntuali del campo B di **Figura 21**, al variare del raggio di una circonferenza centrata nel baricentro del cavidotto.

Punti	Distanza [m]	$B(\mu T)$
0	1	7,1
1	1,4	3,5
2	2,2	1,4
3	3,2	0,7
4	4,1	0,4
5	5,1	0,3

Tabella 13 – Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo sull’asse stradale, per i ricettori esterni all’impianto

Dalla tabella precedente si evince che il valore del campo B raggiunge l’obiettivo di qualità ad una distanza di circa 1,2 m dal cavidotto. Anche in questo caso, essendo il percorso del cavo lontano da ricettori potenzialmente sensibili, l’effetto del campo B esterno all’area d’impianto è impercettibile.

6.5 STAZIONE ELETTRICA UTENTE-MT/AT

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

- dal trasformatore MT/AT;
- dalle linee/sbarre aeree di connessione.

L'impatto elettromagnetico generato dalle sbarre aeree è di gran lunga quello più significativo e pertanto si propone di seguito il calcolo del campo prodotto dalle sbarre AT-132 kV condivise tra tutti i produttori.

Tali sbarre AT sono assimilabili ad una linea trifase aerea, con tensione pari a 132 kV, avente una distanza tra i conduttori di circa 2,2 m, un' altezza dal suolo di circa 7,5 m e percorsa da correnti simmetriche ed equilibrate.

Considerando una sbarra in rame la cui portata è di circa 2000 A, il campo di induzione magnetica B generato assumerà il classico andamento secondo la curva riportata in **figura 22**, nella quale sono anche indicati il limite di esposizione e l'obiettivo di qualità fissati dalla normativa.

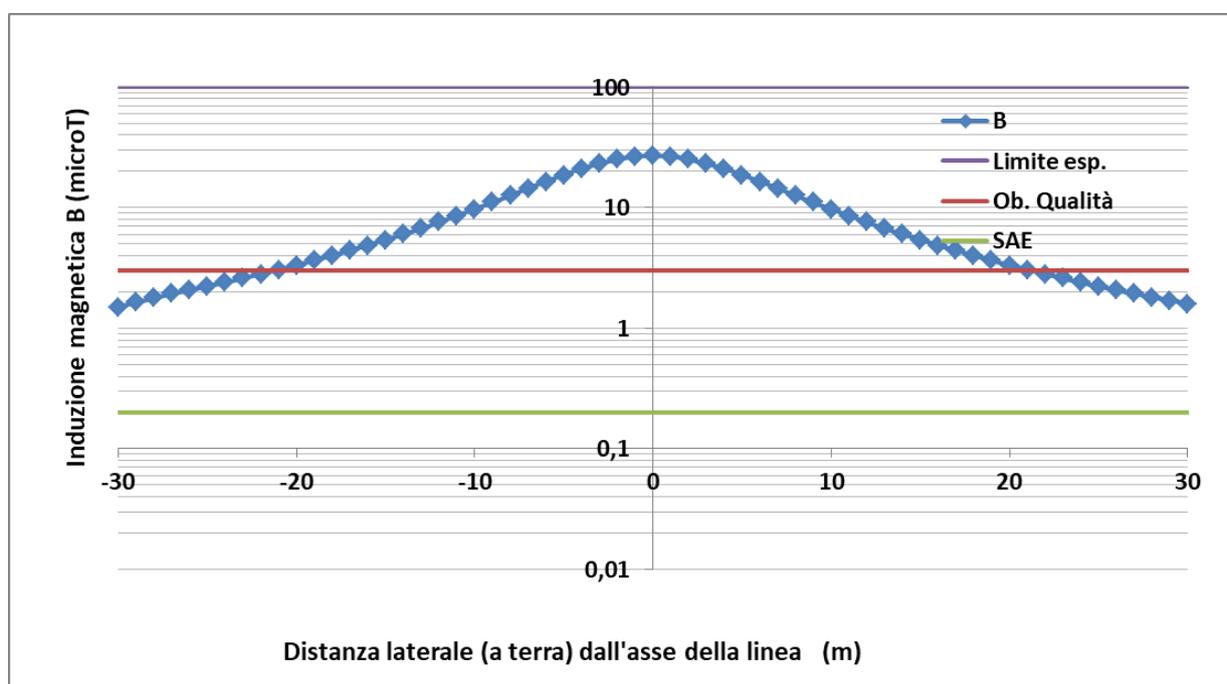


Figura 22 – Campo di induzione magnetica B (μT) generato dalle sbarre AT in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità.

Nella **tabella 14** seguente sono riportati i valori puntuali del campo B di **figura 22**, al variare del raggio di una circonferenza centrata nel baricentro dei cavi della sbarra:

Punti	Distanza [m]	B [μT]
0	7,5	27,1
1	7,6	26,6
2	7,8	25,3
3	8,1	23,3
4	8,5	21,1
5	9,0	18,7
6	9,6	16,5
7	10,3	14,5
8	11,0	12,7
9	11,7	11,1
10	12,5	9,7
11	13,3	8,6
12	14,2	7,6
13	15,0	6,8
14	15,9	6,0
15	16,8	5,4
16	17,7	4,9
17	18,6	4,4
18	19,5	4,0
19	20,4	3,6
20	21,4	3,3
21	22,3	3,1
22	23,2	2,8
23	24,2	2,6
24	25,1	2,4
25	26,1	2,2
26	27,1	2,1
27	28,0	1,9
28	29,0	1,8
29	30,0	1,7
30	30,9	1,6

Tabella 14 – Valori del campo B sulle sbarre in AT in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale sul terreno

Poiché la distanza minima delle sbarre AT dal perimetro lato est della stazione utente di trasformazione è di circa 20 m, il campo elettromagnetico all'esterno della recinzione assume un valore di circa 3,3 μT, attenuandosi man mano fino a raggiungere il valore di 3 μT ad una distanza dal confine di circa 2 m.

Il ricettore più vicino alla stazione di trasformazione, dista circa 100 m in linea d'aria dalle sbarre AT, come si evince dalla figura successiva:

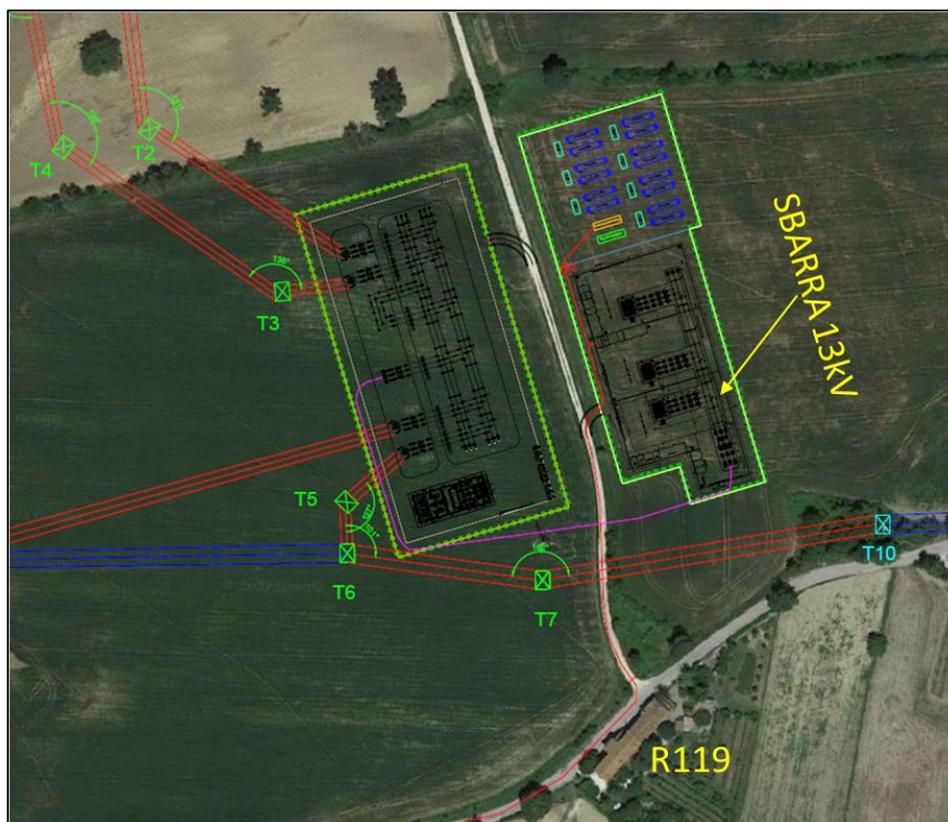


Figura 23 – Inquadramento su mappa ortofoto dell’impianto di accumulo e della stazione utente di trasformazione MT/AT 30/150 kV

A tale distanza, il valore del campo B è fuori dal valore del limite di 3 μ T.

Un’ altra considerazione da fare è che la stazione utente condivisa con altri produttori sarà collegata allo stallo dedicato nella stazione RTN a 132 kV di Terna SpA, la cui potenza massima in ingresso è pari a circa 200 MW. Per tale valore, la corrente che percorrerà le sbarre condivise in AT, assumerà un valore di circa 972,0 A, valore dunque inferiore a quello massimo ipotizzato sulle sbarre AT, il quale determinerà di conseguenza un campo B più basso di quello calcolato precedentemente.

6.6 CAVO IN AT-132 KV

▪ TRACCIATO

La connessione tra la Stazione di trasformazione utente 30/132 kV e la stazione RTN sarà realizzato tramite cavidotto interrato, con cavo avente una sezione nominale pari a 1600 mmq, alla tensione nominale di 132 kV, per una lunghezza di circa 250 m.

Il tracciato del cavidotto (in ciano), visibile in **figura 23**, in magenta, e si sviluppa:

- all’interno dell’area della stazione SU, per circa 8 m;

- su terreno privato per circa 230 m;
- all'interno dell'area della stazione SU, per circa 12 m.

▪ CARATTERISTICHE TECNICHE DEL CAVO IN AT

Il cavo che si prevede di utilizzare per la connessione della stazione utente di trasformazione allo stallo dedicato nella stazione RTN sarà del tipo ARE4H1H5E (o similari) unipolare conforme alle specifiche IEC e CENELEC, i cui cavi unipolari verranno posati in orizzontale nello scavo, opportunamente distanziati tra di loro. Ciascun cavo d'energia sarà formato da:

- un conduttore in alluminio compatto di sezione indicativa calcolata pari a 1600 mmq;
- schermo semiconduttivo sul conduttore;
- isolamento in polietilene reticolato (XLPE);
- schermo semiconduttivo sull'isolamento;
- nastri in materiale igroespandente;
- schermo metallico in rame;
- foglio metallico in alluminio o rame;
- rivestimento in polietilene con grafitatura esterna (PE).

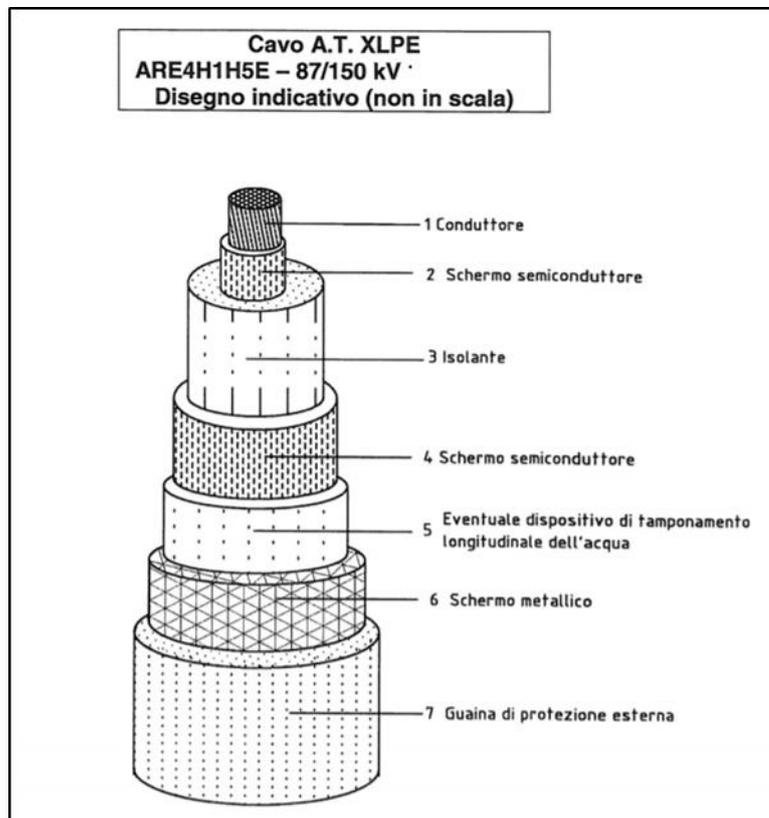


Figura 24 –Caratteristiche tecniche del cavo in AT a 132 kV

Dal punto di vista costruttivo tale conduttore in alluminio è generalmente tamponato per evitare la accidentale propagazione longitudinale dell'acqua. Sopra il conduttore viene applicato prima uno strato semiconduttivo estruso, poi l'isolamento XLPE e successivamente un nuovo semiconduttivo estruso; su quest'ultimo viene avvolto un nastro semiconduttivo igroespandente, anche in questo caso per evitare la propagazione longitudinale dell'acqua. Gli schermi metallici intorno ai conduttori di fase dei cavi con isolamento estruso hanno la funzione principale di fornire una via di circolazione a bassa impedenza alle correnti di guasto in caso di cedimento di isolamento. Pertanto essi saranno dimensionati in modo da sostenere le massime correnti di corto circuito che si possono presentare. Sopra lo schermo di alluminio viene applicata la guaina aderente di polietilene nera e grafitata avente funzione di protezione anticorrosiva ed infine la protezione esterna meccanica.

Si riportano di seguito le specifiche elettriche e tecniche del cavo scelto in AT:

Nominal section area	Conductor diameter	Thickness of insulation	DC		Aluminium screen			Copper wire/lead sheath			Copper wire/alu sheath			Corrugated Alu sheath			Lead sheath		
			conductor resistance at 20°C	Electrostatic capacitance	Sectional area*	Outside diameter of cable*	Weight of cable*	Sectional area* copper screen	Outside diameter of cable*	Weight of cable*	Sectional area*	Outside diameter of cable*	Weight of cable*	Sectional area*	Outside diameter of cable*	Weight of cable*	Sectional area*	Outside diameter of cable*	Weight of cable*
mm ²	mm	mm	Ω/km	µF/km	mm ²	mm	kg/m	mm ²	mm	kg/m	mm ²	mm	kg/m	mm ²	mm	kg/m	mm ²	mm	kg/m
400 R	23.3	20.7	0.0778	0.15	180	82	6	65	88	13	85	85	6	470	95	7	810	87	15
500 R	26.4	19.6	0.0605	0.16	190	83	6	65	89	13	85	85	7	480	96	7	790	88	15
630 R	30.3	18.5	0.0469	0.19	190	85	7	65	91	13	85	87	7	490	98	8	810	90	16
800 R	34.7	17.6	0.0367	0.21	200	88	7	60	94	15	85	90	8	500	101	8	810	92	16
1000 R	38.2	17.0	0.0291	0.23	200	90	8	60	96	15	85	92	9	520	103	9	810	94	17
1200 R	41.4	16.6	0.0247	0.25	160	92	9	55	99	17	80	95	9	560	107	10	800	97	18
1600 S	48.9	15.8	0.0186	0.30	180	100	10	45	107	19	80	103	11	670	115	12	780	104	19
2000 S	54.0	15.5	0.0149	0.32	190	105	12	35	112	22	75	108	12	760	120	14	790	109	21

Nominal section area	Laying conditions : Trefoil formation					Laying conditions : Flat formation					Nominal section area
	Earthing conditions	Direct burial		In air, in gallery		Earthing conditions	Direct burial		In air, in gallery		
		induced current in the metallic screen			induced current in the metallic screen						
mm ²	$\rho_T = 1,0$ T = 20°C	$\rho_T = 1,2$ T = 30°C	T = 30°C	T = 50°C	$\rho_T = 1,0$ T = 20°C	$\rho_T = 1,2$ T = 30°C	T = 30°C	T = 50°C	mm ²		
400 R	With circulating currents	515	445	665	530	555	480	755	605	400 R	
500 R		580	500	765	610	635	550	880	705	500 R	
630 R		690	595	920	730	730	630	1 035	830	630 R	
800 R		780	670	1 065	845	835	715	1 225	980	800 R	
1000 R	Without circulating current	865	745	1 195	950	930	800	1 375	1 100	1000 R	
1200 R		935	800	1 300	1 035	1 010	865	1 515	1 210	1200 S	
1600 S		1 130	970	1 630	1 295	1 225	1 050	1 895	1 515	1600 S	
2000 S		1 255	1 075	1 845	1 460	1 375	1 175	2 170	1 735	2000 S	

Figura 25 – Specifiche tecniche del cavo in AT a 132 kV

- MODALITÀ DI POSA DEL CAVO IN AT

Il cavo sarà interrato ed installato normalmente in una trincea della profondità minima di 1,7 m, con disposizione delle fasi in orizzontale sullo stesso piano e distanziate tra di loro di due diametri di lunghezza. Nello stesso scavo, a distanza di almeno 0,3 m dai cavi di energia, sarà posato un cavo con fibre ottiche e/o telefoniche per trasmissione dati. Tutti i cavi verranno alloggiati in terreno di riporto, la cui resistività termica, se necessario, verrà corretta con una miscela di sabbia vagliata o con cemento 'mortar'. I cavi saranno protetti e segnalati superiormente da una rete in PVC e da un nastro segnaletico, ed ove necessario anche da una lastra di protezione in cemento armato dello spessore di 6 cm. La restante parte della trincea verrà ulteriormente riempita con materiale di risulta e di riporto.

Di seguito è riportata la sezione di scavo con la posa del cavo trifase per differenti tipologie di percorso:

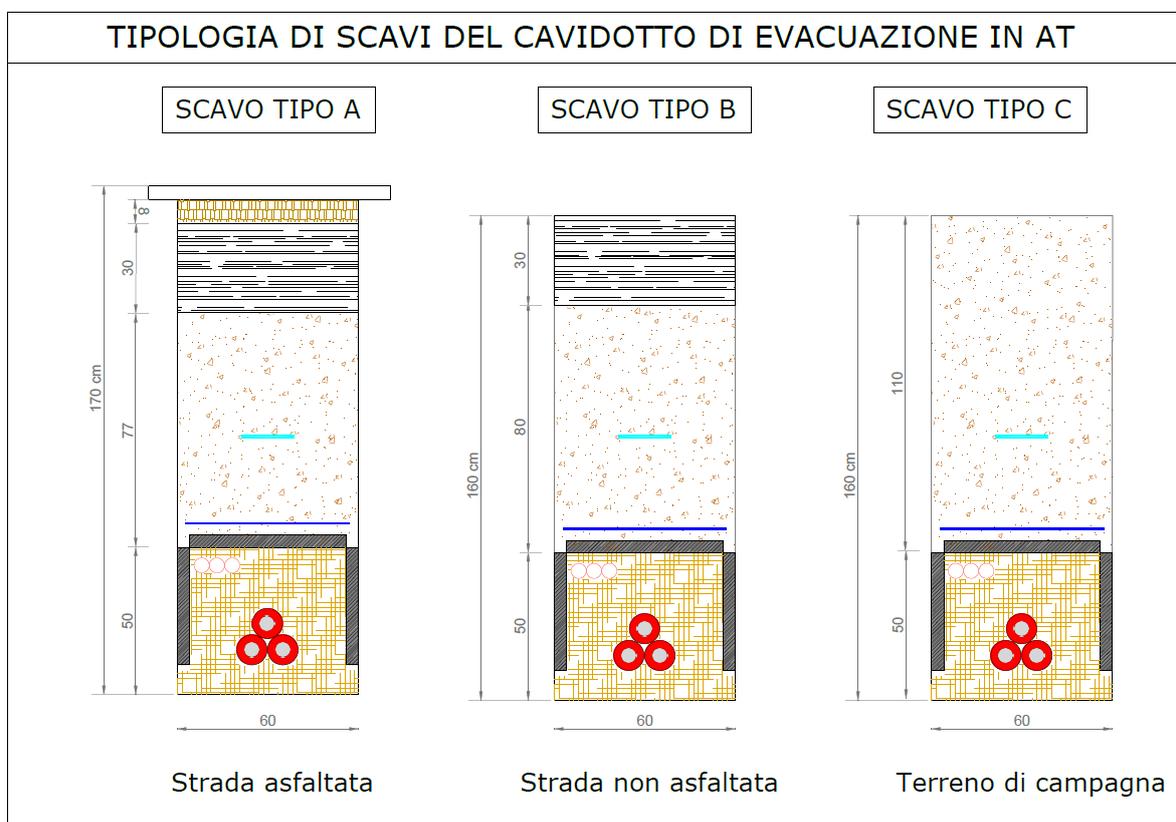


Figura 26 – Sezioni tipiche di scavo e di posa per il cavo in AT kV

6.6.1 CALCOLO DEL CAMPO B DEL CAVO AT

Il campo di induzione magnetica B generato dai conduttori in alluminio dei cavi percorsi dal valore della portata pari a 1.130 A, assume un andamento con la distanza laterale dall'asse

della linea, secondo la curva mostrata in **Figura 29**, con indicazione del limite di esposizione e l'obiettivo di qualità fissati dalla normativa.

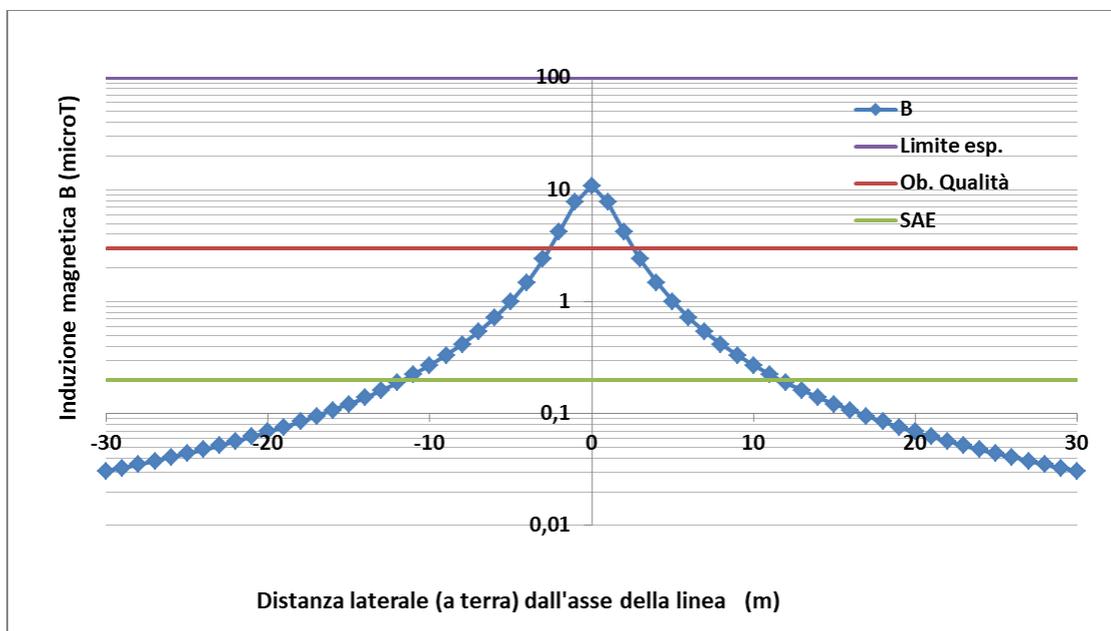


Figura 27 – Campo di induzione magnetica B (μT) generato dal cavidotto in AT in relazione ai limiti di esposizione e obiettivo di qualità

Nella **Tabella 15** seguente sono riportati i valori puntuali del campo B di **Figura 27**, al variare del raggio di una circonferenza centrata nel baricentro del cavidotto in AT.

Punti	Distanza [m]	$B(\mu T)$
0	1,6	10,81
1	1,9	7,78
2	2,6	4,22
3	3,4	2,39
4	4,3	1,49
5	5,2	1,00
6	6,2	0,72
7	7,2	0,54
8	8,2	0,42
9	9,1	0,33
10	10,1	0,27

Tabella 15 – Valori del campo B in relazione alla variazione della distanza dalla proiezione ortogonale del cavo AT sull'asse stradale

Il cavidotto è distante circa 75 m dal ricevitore R119, riportato nella **figura 23**, dunque fuori dal valore del limite di 3 μT del campo B generato dalla portata del cavo.

7 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. I risultati hanno indicato che per i principali componenti elettrici costituenti: l'impianto eolico, le stazioni elettriche, l'impianto di accumulo e i cavidotti in BT e MT interni alle aree degli impianti, il cavo in AT, il valore dell'induzione magnetica prodotta non influenza alcun ricettore sensibile, essendo questi distanti dall'area d'impianto.

Per quanto riguarda invece il valore dell'induzione magnetica B indotta dal cavidotto interrato in MT esterno all'impianto eolico, a 30 kV, che collega la cabina di ricezione con la stazione utente di trasformazione MT/AT, potrebbe influenzare alcuni ricettori potenzialmente sensibili ubicati lungo il suo tracciato. In base ad opportune tecniche descritte nella relazione, è possibile ridurre il valore di induzione B al di sotto dell'obiettivo di qualità sui ricettori sensibili.

Possiamo ritenere dunque che, tutte le opere elettriche connesse al progetto eolico e di accumulo 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 degli impianti in progetto, nelle condizioni ipotizzate, risulta nel complesso compatibile con i limiti di legge e con la salvaguardia della salute pubblica.