



IMPIANTO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE RINNOVABILE EOLICA DENOMINATO "TRUNCU REALE" DA REALIZZARSI IN LOCALITA' TRUNCU REALE (SS)

OPERA DI PUBBLICA UTILITA'
VALUTAZIONE IMPATTO AMBIENTALE ai sensi del D.Lgs 3 aprile 2006, n.152 ALL. II

COMMITTENTE

FIMENERGIA

INDIRIZZO

VIA L. BUZZI, 6, 15033 CASALE MONFERRATO (AL)
T. +390292875126 (ufficio operativo)

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

RESPONSABILE DEL PROGETTO

FAVERO ENGINEERING

VIA GIOVANNI BATTISTA PIRELLI, 27
20124 MILANO (MI)
+390292875126

Ing. FRANCESCO FAVERO
Ing. ALESSANDRO LUNARDI
Ing. STEFANO PAVESI
Ing. SIMONE SCORRANO
Ing. GIOVANNI LANIA
Paes. RICCARDO GORETTI
Paes. RICCARDO BIGLIARDI
Dott. ANGELO GIGLIOTTI

CONSULENZA TECNICO-AMBIENTALE

energia viva
bia

PIAZZA DELL'ANNUNZIATA 7
09123 CAGLIARI (CA)
+39 347 596 5654 - energhiabia@pec.it

Ing. BRUNO MANCA
Ing. ALESSANDRA SCALAS
Ing. ILARIA GIOVAGNORIO
Ing. SILVIA EXANA
Dott. GIOVANNI LOVIGU
Dott. GIULIO CASU
Dott. GIORGIO LAI
FEDERICA ZACCHEDDU

CONSULENTI

ACUSTICA: Ing. CARLO FODDIS - Ing. IVANO DISTINTO
Viale Europa 54, 09045, Quartu San'Elena (CA) - + 39 070 2348760 - cf@fadssystem.net
AGRO - PEDOLOGIA: Dott. Nat. NICOLA MANIS
Via Picasso 26, 09036, Guspini (SU) - +39 347805917 - nicolamanis@pecagrotecnici.it
ARCHEOLOGIA: Archeologo dott. FABRIZIO DELUSSU
Via Depretis 7, 08022, Dorgali (NU) - + 39 3475012131 - archeologofabriziodelussu@gmail.com
CHIROTTEROFAUNA: Dott. Nat. Ermanno Pidinchedda
Via G. Leopardi 1, 07100, Sassari (SS) - + 39 328 1612483 - ermannopidinchedda@gmail.com
FAUNISTICA: Dott. Nat. MAURIZIO MEDDA
Via Lunigiana 17, 09122, Cagliari (CA) - +39 393 8236806 - meddamaurizio@libero.it
FLORISTICA: Dott. Agr. Nat. FABIO SCHIRRU
Via Solomardi 34, 09040, San Basilio (SU) - +39 347 4998552 - fabio.schirru@pecagrotecnici.it
GEOLOGIA, GEOTECNICA E IDRAULICA: Dott. Geol. COSIMA ATZORI
Via Bologna, 30 09033 Decimomannu (CA) - +39 070 7346008 - cosima.atzori@gaiaconsulting.eu

REV.	DATA	DESCRIZIONE	PREPARATO	CONTROLLATO	APPROVATO
00	GIUGNO 2023	PRIMA EMISSIONE	Ing. S. Scorrano	Ing. S. Pavesi	Ing. F. Favero
01					
02					
03					
04					

ELABORATO

TITOLO **PROGETTO ELETTRICO - RELAZIONE VALUTAZIONE
DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI**

DETTAGLI DEL DISEGNO

SCALA GENERALE

SCALA PARTICOLARE

-

-

ARCHIVIO

FILE

DTG_022

STILE DI STAMPA

FAVERO ENGINEERING.ctb

CODIFICA

FASE PROGETTUALE

DEFINITIVO

CATEGORIA

DTG

PROGRESSIVO

0 2 2

REVISIONE

00

INDICE

1	OGGETTO.....	2
2	GENERALITÀ SULLE EMISSIONI ELETTROMAGNETICHE	3
3	RIFERIMENTI NORMATIVI.....	4
3.1	Legislazione italiana	4
3.2	Normativa italiana CEI.....	6
4	VALUTAZIONE PREVENTIVA DEI CAMPI ELETTRICI E MAGNETICI.....	8
4.1	Applicazione della normativa sulla tutela della popolazione	8
4.2	Criteri di valutazione.....	8
4.3	Elettrodotti MT interrati	10
4.4	Aerogeneratore	11
4.5	Sistema di accumulo	12
4.6	Sottostazione AT/MT.....	15
5	DATI TECNICI IN INGRESSO	17
5.1	Valori limite di riferimento	17
5.2	Cavidotto di connessione alla rete	18
5.3	Aerogeneratore	18
5.4	Sistema di accumulo	19
5.5	Sottostazione di trasformazione AT/MT	20
6	CALCOLO DISTANZA DI PRIMA APPROSSIMAZIONE	21
6.1	Cavidotto connessione alla rete	21
6.2	Sbarre MT aerogeneratore.....	21
6.3	Trasformatori sistema di accumulo	22
6.4	Sbarre MT cabina ausiliari sistema di accumulo	22
6.5	Sbarre BT cabine sistema di accumulo.....	23
6.6	Trasformatore sottostazione.....	23
6.7	Sbarre MT cabina.....	24
6.8	Sbarre AT	24
6.9	Considerazioni.....	25
7	CONCLUSIONI.....	26

1 OGGETTO

Il presente progetto è finalizzato alla costruzione di una centrale eolica per la produzione di energia elettrica, da ubicarsi nel Comune di Sassari.

Tutta la progettazione è stata sviluppata utilizzando tecnologie ad oggi disponibili sul mercato europeo; considerando che la tecnologia eolica è in rapido sviluppo, dal momento della progettazione definitiva alla realizzazione potranno cambiare le tecnologie e le caratteristiche delle componenti principali (aerogeneratori, strutture di supporto, sistema di accumulo), ma resteranno invariate le caratteristiche complessive e principali dell'intero impianto in termini di potenza massima di produzione, occupazione del suolo e fabbricati.

La relazione ha lo scopo di descrivere le emissioni di campi magnetici, elettrici ed elettromagnetici generati durante l'esercizio dell'impianto eolico e definire la compatibilità dell'impianto con i limiti normativi di esposizione e tutela della popolazione nonché permettere la verifica di compatibilità ed interferenza dell'impianto con eventuali impianti elettrici ed elettronici presenti in zona.

2 GENERALITÀ SULLE EMISSIONI ELETTROMAGNETICHE

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

I campi ELF (Extremely Low Frequency) sono definiti come quelli di frequenza fino a 300Hz.

A frequenze così basse corrispondono lunghezze d'onda in aria molto grandi e, in situazioni pratiche, il campo elettrico e quello magnetico agiscono in modo indipendente l'uno dall'altro e vengono misurati e valutati separatamente.

I campi elettrici sono prodotti dalle cariche elettriche. Essi governano il moto di altre cariche elettriche che vi siano immerse. La loro intensità viene misurata in volt al metro (V/m) o in chilovolt al metro (kV/m). Quando delle cariche si accumulano su di un oggetto, fanno sì che cariche di segno uguale od opposto vengano, rispettivamente, respinte o attratte.

L'intensità di questo effetto viene caratterizzata attraverso la tensione, misurata in volt (V). A ogni dispositivo collegato ad una presa elettrica, anche se non acceso, è associato un campo elettrico che è proporzionale alla tensione della sorgente cui è collegato. L'intensità dei campi elettrici è massima vicino al dispositivo e diminuisce con la distanza. Molti materiali comuni, come il legno ed il metallo, costituiscono uno schermo per questi campi.

I campi magnetici sono prodotti dal moto delle cariche elettriche, cioè dalla corrente. Essi governano il moto delle cariche elettriche. La loro intensità si misura in ampere al metro (A/m), ma è spesso espressa in termini di una grandezza corrispondente, l'induzione magnetica, che si misura in tesla (T), millitesla (mT) o microtesla (μ T). Ad ogni dispositivo collegato ad una presa elettrica, se il dispositivo è acceso e vi è una corrente circolante, è associato un campo magnetico proporzionale alla corrente fornita dalla sorgente cui il dispositivo è collegato. I campi magnetici sono massimi vicino alla sorgente e diminuiscono con la distanza. Essi non vengono schermati dalla maggior parte dei materiali di uso comune, e li attraversano facilmente.

Ai fini dell'esposizione umana alle radiazioni non ionizzanti, considerando le caratteristiche fisiche delle grandezze elettriche in gioco in un impianto eolico e di accumulo (tensioni fino a 30.000 V, correnti continue o alternate a frequenza di 50 Hz) i campi elettrici e magnetici sono da valutarsi separatamente perché disaccoppiati.

3 RIFERIMENTI NORMATIVI

3.1 Legislazione italiana

In materia di prevenzione dai rischi di esposizione delle lavoratrici, dei lavoratori e della popolazione ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici il riferimento legislativo è costituito dalla legge quadro n. 36 del 22 febbraio 2001.

La legge 36, all'art. 4 comma 2, rimanda ad un successivo decreto attuativo la definizione dei limiti di esposizione, i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità, le tecniche di misurazione e rilevamento dell'inquinamento elettromagnetico. Di fondamentale importanza risulta l'art. 3 della legge che riporta le definizioni:

- Elettrodotta: è l'insieme delle linee elettriche, delle sottostazioni e delle cabine di trasformazione;
- 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;
- 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;
- 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;
- 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. 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;
- Obiettivi di qualità sono:
 - 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;
 - 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.

Il DPCM 8 luglio 2003 attua quanto previsto dalla legge quadro riguardo alla "fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti". Agli articoli 3 e 4 esso stabilisce i seguenti limiti:

- Limite di esposizione: 100 μT per l'induzione magnetica e 5 kV/m per il campo elettrico.
- Valore di attenzione: nelle aree gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere, 10 μT per l'induzione magnetica, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio dell'elettrodotto;
- Obiettivo 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 ... (omissis)...., ai fini della progressiva minimizzazione dell'esposizione ai campi elettrici e magnetici generati dagli elettrodotti operanti alla frequenza di 50 Hz, è fissato l'obiettivo di qualità di 3 μT per il valore dell'induzione magnetica, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.

In base all'art. 5 le tecniche di misurazione da adottare sono quelle indicate dalla norma CEI 211-6 prima edizione e successivi aggiornamenti. Inoltre, il sistema agenziale APAT-ARPA dovrà determinare le procedure di misura e valutazione, con l'approvazione del Ministero dell'Ambiente, per la determinazione del valore di induzione magnetica utile ai fini della verifica del non superamento del valore di attenzione e dell'obiettivo di qualità.

Per la verifica delle disposizioni di cui agli articoli 3 e 4, oltre alle misurazioni e determinazioni di cui sopra, il sistema agenziale APAT-ARPA può avvalersi di metodologie di calcolo basate su dati tecnici e storici dell'elettrodotto.

Dal campo di applicazione del DPCM è espressamente esclusa, invece, l'applicazione dei limiti, valori di attenzione e obiettivi di qualità di cui sopra ai lavoratori esposti ai campi per ragioni professionali (art. 1 comma 2).

Inoltre, in base all'art. 1 comma 3 per tutte le sezioni di impianto non incluse nella definizione di elettrodotto o che sono esercite con frequenze diverse dai 50 Hz, fino a 100 kHz, si applicano i limiti della raccomandazione del Consiglio dell'Unione Europea del 12 luglio 1999, pubblicata nella G.U.C.E. n. 199 del 30 luglio 1999. In particolare, andrà rispettato, se applicabile nei confronti della popolazione, per la sezione in corrente continua il limite di riferimento per induzione magnetica di 40.000 μT .

L'art. 6 del DPCM 8/7/03 recita:

1. "Per la determinazione delle fasce di rispetto si dovrà fare riferimento all'obiettivo di qualità di cui all'art. 4 [...]"
2. "L'APAT, sentite le ARPA, definirà la metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto ai fini delle verifiche delle autorità competenti".

Per quanto riguarda la determinazione delle fasce di rispetto riferite agli elettrodotti sia aerei che interrati, il Ministero dell'Ambiente ha comunicato con lettera prot. DSA/2004/25291 del 15 novembre 2004, che "a metodica da usarsi per la determinazione provvisoria delle fasce di rispetto pertinenti ad una o più linee elettriche aeree o interrate che insistono sulla medesima porzione di territorio può compiersi come segue:

[...]

3. Le linee possono essere schematizzate così come prevede la norma CEI211-4 "Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee elettriche", cap. 4.1. Il calcolo può essere eseguito secondo l'algoritmo definito al cap. 4.3.
4. Si calcolano le regioni di spazio definite dal luogo delle superfici di isocampo di induzione magnetica pari a $3 \mu\text{T}$ in termini di valore efficace.
5. Le proiezioni verticali a livello del suolo di dette superfici determinano le fasce di rispetto. Le relative dimensioni, espresse in metri, possono essere arrotondate all'intero più vicino"

3.2 Normativa italiana CEI

La costruzione ed esercizio della centrale elettrica, così come riportato negli elaborati tecnici di progetto, sarà eseguita secondo le norme di legge e le norme tecniche del CEI nonché, per la parte di connessione alla rete, secondo le disposizioni normative di Terna e dell'Enel Distribuzione S.p.a.

La valutazione dei campi elettrici e magnetici a frequenza industriale è invece argomento della Norma CEI 211-4 "Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee elettriche", dalla quale sono state tratte tutte le ipotesi di calcolo. In particolare:

- Tutti i conduttori costituenti la linea (sia i conduttori attivi sia i conduttori di guardia) sono considerati rettilinei, orizzontali, di lunghezza infinita e paralleli tra di loro; in base a queste ipotesi, si trascura la componente longitudinale dell'induzione magnetica; nella realtà, i conduttori suddetti si dispongono

secondo una catenaria, ma la componente longitudinale non supera in genere il 10% delle altre componenti del campo, per cui:

- L'errore che si commette, nel calcolo della risultante, è certamente inferiore, in percentuale, a questo valore;
- I conduttori sono considerati di forma cilindrica, con diametro costante disposti a fascio di 3 per fase; si suppone che la distanza tra i singoli conduttori a uguale potenziale sia piccola rispetto alla distanza tra i conduttori a diverso potenziale;
- Si suppone inoltre che i conduttori appartenenti ad un fascio siano uguali tra di loro e che, in una sezione normale del fascio, i loro centri giacciono su una circonferenza (circonferenza circoscritta al fascio); in base a queste ipotesi, si sostituisce al fascio di sub-conduttori un conduttore unico di opportuno diametro equivalente;
- Il suolo è considerato piano, privo di irregolarità, perfettamente conduttore dal punto di vista elettrico, perfettamente trasparente dal punto di vista magnetico;
- Si trascura l'influenza sulla distribuzione del campo dei tralicci stessi, di piloni di sostegno, degli edifici, della vegetazione e di qualunque altro oggetto che si trovi nell'area interessata, ovvero si calcola il campo imperturbato.

Le ipotesi suddette permettono di ridurre il calcolo del campo ad un problema piano, essendo, in questo caso, la distribuzione stessa uguale su qualunque sezione normale all'asse longitudinale della linea. A parità di altri fattori, l'accuratezza dei dati forniti è ovviamente tanto maggiore quanto più le condizioni reali sono aderenti a quelle sopra elencate.

La guida CEI 106-11 "Guida per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti secondo le disposizioni del DPCM 8 luglio 2003 (art. 6) - Parte 1: Linee elettriche aeree e in cavo" costituisce l'applicazione delle formule fornite dalla guida CEI 211-4 ai diversi tipi di elettrodotti, quindi anche interrati. A sufficiente distanza dalla terna di conduttori, la superficie su cui l'induzione assume lo stesso valore (superficie isolivello) ha con buona approssimazione la forma di un cilindro avente come asse la catenaria ideale passante per il baricentro dei conduttori. La sezione trasversale di tale cilindro è una circonferenza. Prendendo in considerazione il valore di 3 μT , si può calcolare il raggio della corrispondente circonferenza, che costituisce la fascia di rispetto.

4 VALUTAZIONE PREVENTIVA DEI CAMPI ELETTRICI E MAGNETICI

4.1 Applicazione della normativa sulla tutela della popolazione

Per tutto ciò che attiene la valutazione dei campi magnetici ed elettrici all'interno dell'impianto eolico, essendo l'accesso a ogni turbina ammesso esclusivamente a personale lavoratore autorizzato, non trova applicazione il DPCM 8 luglio 2003.

Essendo le zone direttamente confinanti con l'impianto di rete non adibite né ad una permanenza giornaliera non inferiore alle 4 ore né a zone gioco per l'infanzia/abitazioni scuole, vanno verificati esclusivamente i limiti di esposizione. Non trovano applicazione, per le stesse motivazioni, gli obiettivi di qualità del DPCM 8 luglio 2003.

Rimane comunque inteso che i limiti esposti dal DPCM si applicano esclusivamente alla parte esterna della centrale e relativamente ai campi magnetici prodotti da correnti di frequenza 50 Hz. Per la valutazione dei campi magnetici statici prodotti dalla sezione in corrente continua, se necessario, si farà riferimento alla raccomandazione del Consiglio dell'Unione Europea del 12 luglio 1999.

4.2 Criteri di valutazione

Al contrario delle linee elettriche, per le quali è ormai consolidato un metodo di calcolo preventivo dei campi magnetici ed elettrici, per le cabine elettriche e per tutti i sistemi non assimilabili alle linee elettriche, a causa delle geometrie complesse, non è agevole determinare gli andamenti dei campi elettrici e magnetici con modelli matematici, ma a valle di considerazioni preventive di massima, in caso di dubbio si deve procedere direttamente alle misure in campo.

Considerando che la massima tensione elettrica all'interno ed all'esterno è di 30.000 V (ad eccezione della sezione a 150.000 V all'interno della sottostazione di connessione) e che i campi elettrici sono schermati dal suolo, dalle recinzioni, dalle murature del fabbricato, dagli alberi, dalle guaine metalliche dei cavi a media tensione, ecc. si può trascurare completamente la valutazione dei campi elettrici che, si ricorda, sono generati dalla tensione elettrica.

In particolare, è stato più volte dimostrato da misure sperimentali condotte in tutta Italia dal sistema agenziale ARPA sulle cabine MT/BT della Distribuzione, che i campi elettrici all'esterno delle cabine a media tensione risultano essere abbondantemente inferiori ai limiti di legge.

Per quanto concerne invece i campi magnetici è necessario identificare nella centrale eolica le possibili sorgenti emmissive e le loro caratteristiche.

Si ricorda a tal proposito che il valore di campo magnetico generato da un sistema elettrico trifase simmetrico ed equilibrato in un punto dello spazio è estremamente dipendente dalla distanza esistente tra gli assi dei conduttori delle tre fasi. Per assurdo, infatti, se i tre conduttori coincidessero nello spazio, il campo magnetico esterno risulterebbe nullo per qualsiasi valore della corrente circolante nei conduttori. Per questo motivo il problema dei campi magnetici è poco sentito nelle reti di bassa e media tensione in cavo dove gli spessori degli isolanti sono molto contenuti permettendo alle tre fasi di essere estremamente ravvicinate tra loro se non addirittura inserite nello stesso cavo multipolare (bassa tensione).

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

4.3 Elettrodotti MT interrati

Come si evince dalle tavole allegate l'elettrodotto interrato si sviluppa principalmente lungo strade sterrate o lungo strade urbane, principalmente in aree non densamente popolate. Unicamente il tratto di cavo che attraversa la frazione di Saccheddu coinvolge un'area abitata, tuttavia data l'installazione del cavo, interrato a 1,30 metri lungo il margine stradale, ad una distanza maggiore di 10 metri da qualsiasi abitazione, è garantita l'assenza di influenze di natura elettromagnetica sulla popolazione.

La valutazione è effettuata nei riguardi dell'elettrodotto interrato presente a progetto, considerando i casi di posa più gravosi, ma senza portare in conto la presenza di eventuali linee elettriche interrate o aeree già esistenti.

Per quanto riguarda i campi elettrici prodotti dagli elettrodotti interrati, essi sono trascurabili grazie all'effetto schermante del terreno stesso.

Per quanto riguarda la generazione di campi magnetici, si trova che la disposizione a trifoglio dei cavi unipolari consente di avere valori di induzione assai ridotti, grazie alla possibilità di avvicinare i conduttori. Infatti i campi magnetici, interagendo tra loro, si attenuano a vicenda.

Si sottolinea che, ai sensi della comunicazione del Ministero dell'Ambiente già citata, la profondità di posa dei cavi non è influente ai fini del calcolo della fascia di rispetto, mentre è importante il numero e la disposizione dei conduttori nello scavo.

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

Per la valutazione dei campi generati dai cavi MT posati a elica si utilizzano le seguenti formule

$$B_{max} = \frac{0.245 * I * S}{D^2}$$

Dove:

- B è l'induzione magnetica calcolata in μT ;
- S è la distanza tra le sbarre MT, nel nostro caso 4,8cm;
- I è la corrente che attraversa le sbarre, nel nostro caso 715A;
- D è la distanza dalle sbarre espressa in metri, nel nostro caso 1m.

Considerando questi presupposti il valore dell'induzione magnetica generata dal trasformatore sarà pari a circa **8,41 μT** ; inferiore alla soglia di attenzione.

4.4 Aerogeneratore

Tutti i componenti di maggiore impatto elettromagnetico (generatore, convertitore, trasformatore) sono installati all'interno della navicella posta a 114 metri.

Alla base di ogni aerogeneratore è situato unicamente quadro mt per la connessione della turbina alla rete.

Non si considerano importanti per la verifica dei limiti di esposizione, considerando che tali locali non prevedono la presenza di lavoratori se non per il tempo strettamente necessario alle operazioni di manutenzione, i cavi a media tensione e le sbarre dei quadri di media tensione, segregati nelle cabine MT, non accessibili al pubblico;

Per i motivi suddetti le fonti rilevanti di campo elettromagnetico dell'aerogeneratore saranno le sbarre MT all'interno delle cabine.

Per la valutazione dei campi generati dalle sbarre MT si utilizzano le seguenti formule

$$B_{max} = \frac{0.346 * I * S}{D^2}$$

Dove:

- B è l'induzione magnetica calcolata in μT ;
- S è la distanza tra le sbarre MT, nel nostro caso 35cm;
- I è la corrente che attraversa le sbarre, nel nostro caso 143A;
- D è la distanza dalle sbarre espressa in metri, nel nostro caso 1m.

Considerando questi presupposti il valore dell'induzione magnetica generata dal trasformatore sarà pari a circa **17,32 μT** .

Il caso esposto presenta il caso peggiorativo di sbarre di distribuzione in aria, tipicamente le sbarre di distribuzione di un quadro elettrico sono contenute all'interno della carpenteria, che svolge, in parte, la funzione di schermo per l'induzione magnetica. Viste le considerazioni si può considerare il valore compatibile con la legislazione vigente.

4.5 Sistema di accumulo

Il sistema di accumulo è composto da batterie, cavi in corrente continua, convertitori AC/DC, trasformatori BT/MT e cabine.

Per tutta la parte in corrente continua si ricorda che per la frequenza 0-1 Hz il limite di riferimento per induzione magnetica che non deve essere superato è di 40.000 μT , valore 400 volte più alto dell'equivalente per la corrente a 50 Hz.

Buona esecuzione vuole che i cavi di diversa polarizzazione (+ e -) viaggino sempre a contatto, annullando reciprocamente quasi del tutto i campi magnetici statici prodotti in un punto esterno (tale precauzione viene in genere presa soprattutto al fine della protezione dalle sovratensioni limitando al massimo l'area della spira che si viene a creare tra il cavo positivo e il cavo negativo).

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

Per quanto riguarda gli armadi batteria e convertitori, essi saranno certificati CE e in particolare rispetteranno tutte le norme nazionali ed europee in materia di compatibilità elettromagnetica.

Per i motivi suddetti le fonti rilevanti di campo elettromagnetico del sistema di accumulo saranno i trasformatori, sbarre MT in cabina ausiliari e le sbarre BT all'interno delle cabine.

1) Per la valutazione dei campi generati dalle sbarre BT si utilizzano le seguenti formule

$$B_{max} = \frac{0.346 * I * S}{D^2}$$

Dove:

- B è l'induzione magnetica calcolata in μT ;
- S è la distanza tra le sbarre BT, nel nostro caso 10cm;
- I è la corrente che attraversa le sbarre, nel nostro caso 2591A;
- D è la distanza dalle sbarre espressa in metri, nel nostro caso 1m.

Considerando questi presupposti il valore dell'induzione magnetica generata dal trasformatore sarà pari a circa **89,65 μT** .

Il caso esposto presenta il caso peggiorativo di sbarre di distribuzione in aria, tipicamente le sbarre di distribuzione di un quadro elettrico sono contenute all'interno della carpenteria, che svolge, in parte, la funzione di schermo per l'induzione magnetica. Viste le considerazioni si può considerare il valore compatibile con la legislazione vigente.

2) Per la valutazione dei campi generati dalle sbarre MT si ipotizza che le sbarre di media tensione siano contenute nel quadro MT.

$$B_{max} = \frac{0.346 * I * S}{D^2}$$

Dove:

- B è l'induzione magnetica calcolata in μT ;
- S è la distanza tra le sbarre MT, nel nostro caso 35cm;
- I è la corrente che attraversa le sbarre, nel nostro caso 716A;
- D è la distanza dalle sbarre espressa in metri, nel nostro caso 1,5m (profondità cuncolo).

Considerando questi presupposti il valore dell'induzione magnetica generata dal trasformatore sarà pari a circa **38,54 μT** .

Il caso esposto presenta il caso peggiorativo di sbarre di distribuzione in aria, tipicamente le sbarre di distribuzione di un quadro elettrico sono contenute all'interno della carpenteria, che svolge, in parte, la funzione di schermo per l'induzione magnetica. Viste le considerazioni si può considerare il valore compatibile con la legislazione vigente.

3) La valutazione dei campi generati dal trasformatore parte da dati sperimentali su una taglia e tipo standard di trasformatore MT/BT in resina, per poi essere estesa con le dovute approssimazioni alla varia gamma di tipologie e potenze. La formula approssimata per il calcolo dei campi generati da un trasformatore è la seguente:

$$B = 0.72 * vcc\% * \frac{\sqrt{Sr}}{D^{2.8}}$$

Dove:

- B è l'induzione magnetica calcolata in μT ;
- Vcc% è la tensione di cortocircuito del trasformatore in percentuale, nel nostro caso 8%;
- Sr è la potenza del trasformatore, nel nostro caso 3150kVA;
- D è la distanza dal trasformatore espressa in metri, nel nostro caso 1m.

Considerando questi presupposti il valore dell'induzione magnetica generata dal trasformatore sarà pari a circa **324 μT** .

I valori ottenuti sono compatibili con la legislazione all'interno della centrale considerando le operazioni vengano svolte soltanto da operatori professionisti e che l'accesso all'impianto sia impedito ad operatori non professionisti tramite recinzioni.

Si ricorda che il valore di attenzione per operatori professionisti a 50Hz è di $1000\mu\text{T}$, così come indicato nella tabella 1 estratta dai Dlgs 159-2016.

I VA inferiori (tabella B2, seconda colonna), garantiscono per le frequenze al di sotto di 400 Hz il rispetto dei VLE relativi agli effetti sensoriali (tabella A3), mentre per le frequenze al di sopra di 400 Hz coincidono con i VA superiori assicurando il rispetto dei VLE relativi agli effetti sanitari (tabella A2).

I VA per l'esposizione degli arti (tabella B2, quarta colonna) garantiscono il rispetto dei VLE per gli effetti sanitari relativi alla stimolazione elettrica dei tessuti limitatamente agli arti, tenuto conto del fatto che il campo magnetico presenta un accoppiamento più debole negli arti che nel corpo intero. Questi valori possono essere utilizzati in caso di esposizione strettamente confinata agli arti, restando ferma la necessità di valutare il rispetto dei VA su tutto il corpo del lavoratore.

TABELLA B2

VA per i campi magnetici ambientali a frequenze comprese tra 1 Hz e 10 MHz

Intervallo di frequenza	VA (B) inferiori per l'induzione magnetica [μT] (valori RMS)	VA (B) superiori per l'induzione magnetica [μT] (valori RMS)	VA (B) per l'induzione magnetica per esposizione localizzata degli arti [μT] (valori RMS)
$1 \leq f < 8 \text{ Hz}$	$2,0 \times 10^5 / f$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
$8 \leq f < 25 \text{ Hz}$	$2,5 \times 10^4 / f$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
$25 \leq f < 300 \text{ Hz}$	$1,0 \times 10^5$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
$300 \text{ Hz} \leq f < 3 \text{ kHz}$	$3,0 \times 10^5 / f$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
$3 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$	$1,0 \times 10^2$	$1,0 \times 10^2$	$3,0 \times 10^2$

Tabella 1: Valori di attenzione come da Dlgs n.159-2016

Le formule indicate sono state ricavate per trasformatori isolati in resina, nel caso di trasformatore isolato in olio la letteratura suggerisce che l'induzione magnetica prodotta sia inferiore rispetto al caso precedente. Per cui, cautelativamente, le considerazioni fatte possono ritenersi ancora corrette.

Pertanto, considerando anche una sovrapposizione degli effetti in un punto esterno alla centrale il valore di induzione magnetica determinato dalle varie sorgenti in condizioni di funzionamento a potenza nominale sarà di molto inferiore al limite di esposizione.

4.6 Sottostazione AT/MT

Le fonti rilevanti di campo elettromagnetico del sistema di accumulo saranno i trasformatori, le sbarre MT all'interno delle cabine e le sbarre AT.

- 1) Per la valutazione dei campi generati dalle sbarre MT si ipotizza che le sbarre di media tensione siano contenute nel quadro MT.

$$B_{max} = \frac{0.346 * I * S}{D^2}$$

Dove:

- B è l'induzione magnetica calcolata in μT ;
- S è la distanza tra le sbarre MT, nel nostro caso 35cm;
- I è la corrente che attraversa le sbarre, nel nostro caso 1288A;
- D è la distanza dalle sbarre espressa in metri, nel nostro caso 1,5m (profondità cunicolo).

Considerando questi presupposti il valore dell'induzione magnetica generata dal trasformatore sarà pari a circa **69,32 μT** .

Il caso esposto presenta il caso peggiorativo di sbarre di distribuzione in aria, tipicamente le sbarre di distribuzione di un quadro elettrico sono contenute all'interno della carpenteria, che svolge, in parte, la funzione di schermo per l'induzione magnetica. Viste le considerazioni si può considerare il valore compatibile con la legislazione vigente.

- 2) Per la valutazione dei campi generati dalle sbarre AT si utilizzano le seguenti formule

$$B_{max} = \frac{0.346 * I * S}{D^2}$$

Dove:

- B è l'induzione magnetica calcolata in μT ;
- S è la distanza tra le sbarre AT, nel nostro caso 2,2m;
- I è la corrente che attraversa le sbarre, nel nostro caso 258A;
- D è la distanza dalle sbarre espressa in metri, nel nostro caso 1,5m

Considerando questi presupposti il valore dell'induzione magnetica generata dal trasformatore sarà pari a circa **87,28 μT** .

Viste le considerazioni si può considerare il valore compatibile con la legislazione vigente.

3) La valutazione dei campi generati dal trasformatore parte da dati sperimentali su una taglia e tipo standard di trasformatore MT/BT in resina, per poi essere estesa con le dovute approssimazioni alla varia gamma di tipologie e potenze. La formula approssimata per il calcolo dei campi generati da un trasformatore è la seguente:

$$B = 0.72 * vcc\% * \frac{\sqrt{Sr}}{D^{2.8}}$$

Dove:

- B è l'induzione magnetica calcolata in μT ;
- Vcc% è la tensione di cortocircuito del trasformatore in percentuale, nel nostro caso 12,5%;
- Sr è la potenza del trasformatore, nel nostro caso 80000kVA;
- D è la distanza dal trasformatore espressa in metri, nel nostro caso 1,5m.

Considerando questi presupposti il valore dell'induzione magnetica generata dal trasformatore sarà pari a circa **817,96 μT** .

I valori ottenuti sono compatibili con la legislazione all'interno della centrale considerando le operazioni vengano svolte soltanto da operatori professionisti e che l'accesso all'impianto sia impedito ad operatori non professionisti tramite recinzioni.

Si ricorda che il valore di attenzione per operatori professionisti a 50Hz è di 1000 μT , così come indicato nella tabella 1 estratta dal Dlgs 159-2016.

Le formule indicate sono state ricavate per trasformatori isolati in resina, nel caso di trasformatore isolato in olio la letteratura suggerisce che l'induzione magnetica prodotta sia inferiore rispetto al caso precedente. Per cui, cautelativamente, le considerazioni fatte possono ritenersi ancora corrette.

Pertanto, considerando anche una sovrapposizione degli effetti in un punto esterno alla sottostazione il valore di induzione magnetica determinato dalle varie sorgenti in condizioni di funzionamento a potenza nominale sarà di molto inferiore al limite di esposizione.

5 DATI TECNICI IN INGRESSO

5.1 Valori limite di riferimento

Ricapitolando, i fini della protezione della popolazione dall'esposizione ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati da linee e cabine elettriche, il D.P.C.M. 8 luglio 2003 (artt. 3 e 4) fissa, in conformità alla Legge 36/2001 (art. 4, c. 2):

- i limiti di esposizione del campo magnetico ($100 \mu\text{T}$) come valore efficaci, per la protezione da possibili effetti a breve termine;
- il valore di attenzione ($10 \mu\text{T}$) e l'obiettivo di qualità ($3 \mu\text{T}$) del campo magnetico da intendersi come mediana nelle 24 ore in normali condizioni di esercizio, per la protezione da possibili effetti a lungo termine connessi all'esposizione nelle aree di gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenza non inferiore a 4 ore giornaliere (luoghi tutelati).

Nella valutazione della distanza di prima approssimazione da considerare nella realizzazione degli impianti si farà riferimento al limite obiettivo di qualità ($3 \mu\text{T}$).

5.2 Cavidotto di connessione alla rete

La linea di connessione alla rete elettrica nazionale sarà costituita da cavidotto avente le seguenti caratteristiche:

Tipo: cavo unipolare cordato ad elica

Formazione:

- ARE4H5EX 2x(3x1x150) mm² con conduttori in Alluminio per gli aerogeneratori WTG1, WTG2, WTG3 e WTG6;
- ARE4H5EX 2x(3x1x240) mm² con conduttori in Alluminio per gli aerogeneratori WTG4, WTG5, WTG7, WTG8 e WTG9 e per le batterie

Modalità posa:

- Posa semplice, interrati a profondità compresa tra 0,8 e 1,3 m;
- Infilaggio in tubi in pead per attraversamenti tramite TOC.

Nel caso peggiore nei i cavi saranno caratterizzati da:

- Corrente massima I_{max}: 716 A
- Distanza tra i conduttori D: 48mm

5.3 Aerogeneratore

Le apparecchiature installate nella zona degli aerogeneratori e rilevanti ai fini del calcolo della Dpa sono nel caso peggiore:

Sbarre in Media tensione all'interno della cabina:

- Corrente I: 143 A
- Distanza D: 0.35m

5.4 Sistema di accumulo

Le apparecchiature installate nella zona accumulo e rilevanti ai fini del calcolo della Dpa sono nel caso peggiore:

Trasformatore:

- Potenza nominale Pnmax: 3150 kVA
- Tensione primaria, lato MT V1: 30 kV
- Tensione secondaria, lato bt V2: 690 kV
- Corrente secondaria, lato bt I2: 2721 A

Sbarre in Media tensione all'interno della cabina ausiliari:

- Corrente I: 716 A
- Distanza D: 0.35m

Sbarre in Bassa tensione all'interno della cabina:

- Corrente I: 2721 A
- Distanza D: 0.1m

5.5 Sottostazione di trasformazione AT/MT

Le apparecchiature installate nella Sottostazione AT e rilevanti ai fini del calcolo della Dpa sono nel caso peggiore:

Trasformatore:

- Potenza nominale Pnmax: 80000 kVA
- Tensione primaria, lato MT V1: 150 kV – 50Hz
- Tensione secondaria, lato bt V2: 30 kV
- Corrente secondaria, lato bt I2: 1589 A

Sbarre in Media tensione all'interno della cabina:

- Corrente I: 1589 A
- Distanza D: 0.35m

Sbarre in Alta tensione:

- Corrente I: 318 A
- Distanza D: 2.2m

6 CALCOLO DISTANZA DI PRIMA APPROSSIMAZIONE

6.1 Cavidotto connessione alla rete

Per il calcolo della distanza di prima approssimazione si utilizzano le formule inverse a quelle presentate nei capitoli precedenti, quindi:

$$Dpa = 0.286 * \sqrt{I * S}$$

Dove:

- I è la corrente nominale
- S è la distanza tra i conduttori;

Quindi:

$$Dpa = 0.286 * \sqrt{716 * 0.048} = 1.68m$$

Che arrotondata al mezzo metro superiore risulta essere: **Dpa = 2 m**

6.2 Sbarre MT aerogeneratore

Per il calcolo della distanza di prima approssimazione si utilizzano le formule inverse a quelle presentate nei capitoli precedenti, quindi:

$$Dpa = 0.34 * \sqrt{I * S}$$

Dove:

- I è la corrente nominale
- S è la distanza tra i conduttori;

Quindi:

$$Dpa = 0.34 * \sqrt{143 * 0,35} = 2.41m$$

Che arrotondata al mezzo metro superiore risulta essere: **Dpa = 2.5 m**

6.3 Trasformatori sistema di accumulo

$$Dpa = 0.6 * vcc\%^{0.357} * S^{0.179}$$

Dove:

- Vcc% e la tensione di cortocircuito del trasformatore in percentuale
- Sr è la potenza del trasformatore

Quindi:

$$Dpa = 0.6 * 8^{0.357} * 3150^{0.179} = 5.33 \text{ m}$$

Che arrotondata al mezzo metro superiore risulta essere: **Dpa = 5,5 m**

6.4 Sbarre MT cabina ausiliari sistema di accumulo

Per il calcolo della distanza di prima approssimazione si utilizzano le formule inverse a quelle presentate nei capitoli precedenti, quindi:

$$Dpa = 0.34 * \sqrt{I * S}$$

Dove:

- I è la corrente nominale
- S è la distanza tra i conduttori;

Quindi:

$$Dpa = 0.34 * \sqrt{716 * 0,35} = 5.38m$$

Che arrotondata al mezzo metro superiore risulta essere: **Dpa = 5.5 m**

6.5 Sbarre BT cabine sistema di accumulo

Per il calcolo della distanza di prima approssimazione si utilizzano le formule inverse a quelle presentate nei capitoli precedenti, quindi:

$$Dpa = 0.34 * \sqrt{I * S}$$

Dove:

- I è la corrente nominale
- S è la distanza tra i conduttori;

Quindi:

$$Dpa = 0.34 * \sqrt{2721 * 0,1} = 5.61m$$

Che arrotondata al mezzo metro superiore risulta essere: **Dpa = 6 m**

6.6 Trasformatore sottostazione

$$Dpa = 0.6 * vcc\%^{0.357} * S^{0.179}$$

Dove:

- Vcc% e la tensione di cortocircuito del trasformatore in percentuale
- Sr è la potenza del trasformatore

Quindi:

$$Dpa = 0.6 * 12.5^{0.357} * 80000^{0.179} = 11,15 m$$

Che arrotondata al mezzo metro superiore risulta essere: **Dpa = 11,5 m**

6.7 Sbarre MT cabina

Per il calcolo della distanza di prima approssimazione si utilizzano le formule inverse a quelle presentate nei capitoli precedenti, quindi:

$$Dpa = 0.34 * \sqrt{I * S}$$

Dove:

- I è la corrente nominale
- S è la distanza tra i conduttori;

Quindi:

$$Dpa = 0.34 * \sqrt{1589 * 0,35} = 8.02m$$

Che arrotondata al mezzo metro superiore risulta essere: **Dpa = 8.5 m**

6.8 Sbarre AT

Per il calcolo della distanza di prima approssimazione si utilizzano le formule inverse a quelle presentate nei capitoli precedenti, quindi:

$$Dpa = 0.34 * \sqrt{I * S}$$

Dove:

- I è la corrente nominale
- S è la distanza tra i conduttori;

Quindi:

$$Dpa = 0.34 * \sqrt{318 * 2.2} = 8.98m$$

Che arrotondata al mezzo metro superiore risulta essere: **Dpa = 9 m**

6.9 Considerazioni

Si ribadisce che le correnti utilizzate nei calcoli per il nuovo impianto, ai sensi della normativa vigente, sono ben maggiori delle correnti di impiego valutate in condizioni di potenza nominale dell'impianto. Inoltre la scelta di sezioni dei cavi (e quindi portate) elevate ha anche lo scopo di ridurre le cadute di tensione sulle linee, a fronte di correnti di esercizio ridotte rispetto alla portata del cavo stesso.

A seguito dei sopralluoghi effettuati si è riscontrato che le fasce di rispetto calcolate sono sempre rispettate, considerando il fatto che unicamente il tratto di cavo che attraversa la frazione di Saccheddu coinvolge un'area abitata, tuttavia data l'installazione del cavo, interrato a 1,30 metri lungo il margine stradale, ad una distanza maggiore di 10 metri da qualsiasi abitazione, mentre negli altri casi sono del tutto assenti edifici ad uso residenziale o similare vicini alla viabilità lungo la quale saranno interrate le linee a MT.

Come già detto nei paragrafi precedenti, si è verificato che i limiti di esposizione sono sempre verificati. Inoltre, la mediana sulle 24 ore dei valori di corrente che percorrono tutte le sezioni di impianto sono pressoché nulle.

7 CONCLUSIONI

A seguito delle valutazioni preventive eseguite, tenendo sempre presente le dovute approssimazioni conseguenti alla complessità geometrica della sorgente emissiva e precisando che le simulazioni dei paragrafi precedenti riguardano solo le opere elettriche di progetto, si presume che l'opera proposta, per le sue caratteristiche emissive e per l'ubicazione scelta, sarà conforme alla normativa italiana in tema di protezione della popolazione dagli effetti dei campi magnetici, elettrici ed elettromagnetici, in altre parole, l'impatto elettromagnetico ai sensi della legge italiana è **nullo**. Successivamente alla realizzazione ed entrata in esercizio dell'impianto, il rispetto dei limiti di esposizione, se necessario, potrà essere verificato e confermato con misure dirette in campo.