

COMUNE DI MONTALTO DI CASTRO
PROVINCIA DI VITERBO
PROGETTO: MONTALTO

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DI ENERGIA
ELETTRICA DA FONTE EOLICA DELLA POTENZA DI 43,2 MW E SISTEMA DI
ACCUMULO DA 27,6 MW

RELAZIONE SULL'ELETTROMAGNETISMO

IL COMMITTENTE



Sorgenia Renewables s.r.l. – Via Alessandro
Algardi 4 Milano Lombardia 20148

GRUPPO DI PROGETTAZIONE



Switch Engineering s.r.l. – Via Francesco
Benaglia 13, 00153 Roma – P.IVA 1550097005

IL TECNICO



REV.	DATA	DESCRIZIONE
0	30/10/2023	Prima emissione
1		
2		
3		

N.

R.02

REVISIONE

00



Regione Toscana



Sommario

1	Introduzione.....	4
2	Generalità sulle emissioni elettromagnetiche	5
3	Norme e documentazione di riferimento	6
4	Inquadramento normativo.....	7
5	Descrizione dell'impianto.....	11
5.1	Caratteristiche generali del Parco Eolico	11
5.2	Caratteristiche generali dell'Aerogeneratore.....	11
5.3	Sistema di Accumulo.....	12
5.4	Linee di distribuzione in AT 30 kV.....	13
5.5	Linee di distribuzione in AT 36 kV.....	13
6	Metodi di calcolo del campo magnetico.....	14
6.1	Cenni Teorici.....	14
6.2	Metodo di Calcolo.....	15
7	Valutazione preventiva dei campi elettromagnetici generati delle componenti dell'impianto ..	16
7.1	Applicazione della normativa sulla tutela della popolazione	16
7.2	Aerogeneratore	16
7.3	Cabine elettriche interne all'aerogeneratore e linee AT di collegamento tra gli aerogeneratori.....	17
7.4	BESS	18
7.5	Linea di Collegamento AT Impianto - Nuova Stazione elettrica (SE).....	19
8	Conclusioni	20

REVISIONI

REV N.	DATE	DRAWN	CHECKED	APPROVED
0	31/03/2023	Ing. Leonardo Longobucco	Arch. Francesco Letteriello	Ing. Dario Biagi

1 Introduzione

Il presente studio è finalizzato al calcolo preventivo delle emissioni elettromagnetiche non ionizzanti determinate dalle installazioni elettriche previste dal progetto di un nuovo impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica. Tale intervento verrà realizzato nella Provincia di Viterbo, nel territorio del comune di Montalto di Castro (VT).

Il progetto del nuovo impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica avrà una potenza complessiva di 43.2 MW, equivalente all'installazione di n.6 aerogeneratori della potenza nominale pari a 7.2 MW.

In data 28/07/2023 è stata fornita da Terna Soluzione Tecnica Minima Generale (Codice Pratica STMG: 202202981). L'intervento di cui in oggetto verrà mediante la sottostazione AT/MT, in doppia antenna a 36 kV sulla sezione 36 kV di una nuova Stazione Elettrica (SE) della RTN a 380/132/36 kV. La futura Stazione Elettrica (SE) della RTN a 36/132/380 kV sarà inserita in entra – esce alla linea RTN a 380 kV "Manciano". Il presente elaborato è mirato a valutare le emissioni elettromagnetiche dovute alle cabine elettriche, ai cavidotti ed alle cabine utente di trasformazione annesse all'impianto.

2 Generalità sulle emissioni elettromagnetiche

I campi elettromagnetici consistono in onde elettriche (E) e magnetiche (H) che viaggiano insieme. Esse si propagano alla velocità della luce e sono caratterizzate principalmente da due parametri: frequenza e lunghezza d'onda.

I campi ELF si identificano nei campi a frequenza fino a 300 Hz. 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 possono essere 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 kilovolt 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).

L'intensità dei campi elettrici è massima vicino alla sorgente e diminuisce con la distanza (proporzionale alla tensione della sorgente). 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).

I campi magnetici sono massimi vicino alla sorgente e diminuiscono con la distanza (proporzionale alla corrente della sorgente). Essi non vengono schermati dalla maggior parte dei materiali di uso comune, e li attraversano facilmente.

Come già accennato il campo elettrico, a differenza del campo magnetico, subisce una attenuazione per effetto della presenza di elementi posti fra la sorgente e il punto irradiato. Pertanto, le situazioni più critiche sono rappresentate dagli impianti installati in ambiente esterno, rappresentando le schermature dei cavi, la presenza di opere civili e la blindatura degli scomparti validi elementi di schermatura. Inoltre, la distanza tra le apparecchiature e le recinzioni è tale da contenere i valori di campo elettrico entro i valori limite da eventuali ricettori sensibili. Ai fini del presente studio si valuteranno, quindi, i soli campi magnetici.

3 Norme e documentazione di riferimento

Il presente documento è redatto sulla base della seguente documentazione:

- Legge 22 febbraio 2001, n. 36 “Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici”.
- DPCM 8 luglio 2003 “Fissazione dei limiti di esposizione, valori di attenzione ed obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti”.
- DM 29 maggio 2008, GU n. 156 del 5 luglio 2008, “Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti”.
- DLgs 81/2008 del 9/4/2008 “Testo unico sulla sicurezza”.
- CEI 11-17 “Impianti di produzione, trasmissione, distribuzione pubblica di energia elettrica - Linee in cavo”.
- CEI 11-60, "Portata al limite termico delle linee elettriche aeree esterne con tensione maggiore a 100 kV",
- CEI 20-21 “Calcolo della portata di corrente” (IEC 60287).
- CEI 106-11 “Guida per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti secondo le disposizioni del DPCM 8 luglio 2003 (Art. 6). Parte I: linee elettriche aeree e in cavo”.
- Guida CEI 211-4 “Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee e da stazioni elettriche”.
- Guida CEI CLC/TR 50453 “Valutazione dei campi elettromagnetici attorno ai trasformatori di potenza”.
- Norma CEI EN 61936-1, “Impianti elettrici con tensione superiore a 1 kV in c.a. Parte 1: Prescrizioni comuni”.

4 Inquadramento normativo

La normativa nazionale per la tutela della popolazione dagli effetti dei campi elettromagnetici disciplina separatamente le basse frequenze (es. elettrodotti) e le alte frequenze (es. impianti radiotelevisivi, stazioni radiobase, ponti radio).

Il 14 febbraio 2001 è stata approvata dalla Camera dei deputati la legge quadro sull'inquinamento elettromagnetico (L.36/01). In generale il sistema di protezione dagli effetti delle esposizioni agli inquinanti ambientali distingue tra:

- Effetti acuti (o di breve periodo), basati su una soglia, per cui si fissano limiti di esposizione che garantiscono, con margini cautelativi, la non insorgenza di tali effetti;
- Effetti cronici (o di lungo periodo), privi di soglia e di natura probabilistica (all'aumentare dell'esposizione aumenta non l'entità ma la probabilità del danno), per cui si fissano livelli operativi di riferimento per prevenire o limitare il possibile danno complessivo.

È importante dunque distinguere il significato dei termini utilizzati nelle leggi (si riportano nella tabella 1 le definizioni inserite nella legge quadro).

Limiti di esposizione	Valori di CEM che non devono essere superati in alcuna condizione di esposizione, ai fini della tutela dagli effetti acuti.
Valori di attenzione	Valori di CEM che non devono essere superati negli ambienti abitativi, scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze prolungate. Essi costituiscono la misura di cautela ai fini della protezione da possibili effetti di lungo periodo.
Obiettivi di qualità	Valori di CEM causati da singoli impianti o apparecchiature da conseguire nel breve, medio e lungo periodo, attraverso l'uso di tecnologie e metodi di risanamento disponibili. Sono finalizzati a consentire la minimizzazione dell'esposizione della popolazione e dei lavoratori ai CEM anche per la protezione da possibili effetti di lungo periodo.

Tabella 1: Definizioni di limiti di esposizione, di valori di attenzione e di obiettivi di qualità secondo la

La normativa di riferimento in Italia per le linee elettriche è il DPCM del 08/07/2003 (G.U. n. 200 del 29.08.2003) "Fissazione dei limiti massimi di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici generati alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti"; tale decreto, per effetto di quanto fissato dalla legge quadro sull'inquinamento elettromagnetico, stabilisce:

- I limiti di esposizione, i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità per la tutela della salute della popolazione nei confronti dei campi elettromagnetici generati a frequenze non contemplate dal D.M. 381/98, ovvero i campi a bassa frequenza (ELF) e a frequenza industriale (50 Hz);
- Parametri per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti.

Relativamente alla definizione di limiti di esposizione, valori di attenzione e obiettivi di qualità per l'esposizione della popolazione ai campi di frequenza industriale (50 Hz) relativi agli elettrodotti, il DPCM 08/07/03 propone i valori descritti in tabella 2, confrontati con la normativa europea.

Normativa	Limiti Previsti	Induzione Magnetica B (μT)	Intensità del campo Elettrico E (V/m)
DPCM 08/07/03	Limiti di Esposizione	100	5.000
	Limiti di Attenzione	10	
	Obiettivi di Qualità	3	
Racc. 1999/512/CE	Livelli di riferimento (ICNIRP1998, OMS)	100	5.000

Tabella 1: Limiti di esposizione, limiti di attenzione e obiettivi di qualità del DPCM 08/07/03, confrontati

Il valore di attenzione di 10 μ T si applica nelle aree di gioco per l'infanzia, negli ambienti abitativi, negli ambienti scolastici e in tutti i luoghi in cui possono essere presenti persone per almeno 4 ore al giorno. Tale valore è da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.

L'obiettivo di qualità di 3 μ T si applica ai nuovi elettrodotti nelle vicinanze dei sopraccitati ambienti e luoghi, nonché ai nuovi insediamenti e edifici in fase di realizzazione in prossimità di linee e di installazioni elettriche già esistenti (valore inteso come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio). Da notare che questo valore corrisponde approssimativamente al livello di induzione prevedibile, per linee a pieno carico, alle distanze di rispetto stabilite dal vecchio DPCM 23/04/92.

Si ricorda che i limiti di esposizione fissati dalla legge sono di 100 μ T per lunghe esposizioni e di 1000 μ T per brevi esposizioni.

Per quanto riguarda la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti, il Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare, sentite le ARPA, ha approvato, con

Decreto 29 Maggio 2008, “La metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti”. Tale metodologia, ai sensi dell’art. 6 comma 2 del D.P.C.M. 8 luglio 2003, ha lo scopo di fornire la procedura da adottarsi per la determinazione delle fasce di rispetto pertinenti alle linee elettriche aeree e interrate, esistenti e in progetto. I riferimenti contenuti in tale articolo implicano che le fasce di rispetto debbano attribuirsi ove sia applicabile l’obiettivo di qualità: “Nella progettazione di nuovi elettrodotti in corrispondenza di aree di gioco per l’infanzia, di ambienti abitativi, di ambienti scolastici e di luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore e nella progettazione di nuovi insediamenti e delle nuove aree di cui sopra in prossimità di linee ed installazioni elettriche già presenti nel territorio” (Art. 4).

Al fine di semplificare la gestione territoriale e il calcolo delle fasce di rispetto è stato introdotto nella metodologia di calcolo un procedimento semplificato che trasforma la fascia di rispetto (volume) in una distanza di prima approssimazione (distanza).

5 Descrizione dell'impianto

5.1 Caratteristiche generali del Parco Eolico

L'impianto eolico per la produzione di energia elettrica avrà le seguenti caratteristiche generali:

- n° 6 aerogeneratori della potenza massima di circa 7.2 MW ciascuno avente generatore di tipo asincrono, con diametro del rotore pari a 172 m, altezza mozzo pari a 125 m, per un'altezza massima al tip (punta della pala) pari a circa 211 m, comprensivi al loro interno di cabine elettriche di trasformazione AT/BT. Gli aerogeneratori saranno divisi in due gruppi, sottocampi, in base collegamento elettrico che li connette;
- due reti elettriche interrate a 30 kV per l'interconnessione tra gli aerogeneratori di ciascuno dei due gruppi e la stazione utente (SSEU) di riferimento;
- due sistemi di energy storage da cinque elementi ciascuno, aventi potenza complessiva pari a 13.8 MW ciascuno, connessi mediante rete elettrica interrata a 30 kV ad una delle due sottostazioni di trasformazione di riferimento; i sistemi di energy storage saranno realizzati in posizione adiacente alla stazione utente (SSEU);
- una stazione utente (SSEU) inclusa di convogliamento cavi, 2 trasformatori e cabina di sezionamento;
- una rete elettrica interrata a 36 kV per l'interconnessione tra la stazione utente (SSEU) e lo stallo della stazione elettrica SE Terna;
- n° 1 stallo per allaccio elettrico alla RTN ad una "Nuova Stazione Elettrica" (SE) di Terna a 380/132/36 kV da inserire in entra – esce alla linea RTN;
- rete telematica di monitoraggio in fibra ottica per il controllo dell'impianto eolico mediante trasmissione dati via modem o satellitare.

5.2 Caratteristiche generali dell'Aerogeneratore

Tutti i componenti dell'aerogeneratore, ad eccezione del rotore, sono ubicati in una cabina, detta navicella, la quale a sua volta, è posta su un supporto cuscinetto in modo da essere

facilmente orientabile secondo la direzione del vento. L'intera navicella (realizzata in materiale plastico rinforzato con fibra di vetro) viene posta su di una torre tronco-conica tubolare ad un'altezza di 125 m dal suolo.

Oltre ai componenti prima detti, vi è un sistema di controllo che esegue diverse funzioni: il controllo della potenza, che viene eseguito ruotando le pale intorno al proprio asse principale in maniera da aumentare o ridurre la superficie esposta al vento, in base al profilo delle pale; il controllo della navicella, detto controllo dell'imbardata, che serve ad inseguire la direzione del vento, ma che può essere anche utilizzato per il controllo della potenza; l'avviamento della macchina allorché è presente un vento di velocità sufficiente, e la fermata della macchina, quando vi è un vento di velocità superiore a quella massima per la quale la macchina è stata progettata.

L'intera navicella viene posta su di una torre avente forma conica tubolare alta 125 m. La velocità del vento di avviamento è la minima velocità del vento che dà la potenza corrispondente al massimo rendimento aerodinamico del rotore. Quando la velocità del vento supera il valore corrispondente alla velocità di avviamento, la potenza cresce al crescere della velocità del vento. La crescita della potenza si attesta fino alla velocità nominale, di circa 7.2 m/s, per poi mantenersi costante fino alla velocità di Cut-out wind speed (fuori servizio).

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

5.3 Sistema di Accumulo

Il sistema BESS in esame prevede n.8 Battery Power Converter (BPC), ciascuno di potenza pari a 3,15 MW e n. 2 Battery Power Converter (BPC), ciascuno di potenza pari a 1,2 MW per una potenza complessiva di 27,6 MW, n.10 Battery container (BC) di cui n. 8 da 3,15 MWh e n. 2 da 1,2 MWh, per un'energia complessiva erogabile/assorbibile di 27,6 MWh.

N.2 BESS main MW/SW container e n.2 BESS Auxiliary Container.

5.4 Linee di distribuzione in MT 30 kV

Gli aerogeneratori sono collegati tra loro e alla sottostazione elettrica di connessione da una rete di distribuzione in cavo interrato esercita in media tensione a 30 kV. Alla stessa sottostazione sarà collegato, allo stesso modo, anche il sistema di accumulo.

I cavi impiegati saranno unipolari e per ciascun gruppo di aerogeneratori vi saranno 3 cavi di dimensioni 1*500 mmq.

Il cavo suddetto è definito a campo radiale in quanto, essendo ciascuna anima rivestita da uno schermo metallico, le linee di forza elettriche risultano perpendicolari agli strati dell'isolante. Tutti i cavidotti relativi al sistema di accumulo saranno per la quasi totalità interrati all'interno dell'area dell'impianto. Ad ogni modo, si fa presente che i sistemi di accumulo saranno posizionati adiacentemente alla Stazione Utente.

Ai fini della valutazione dei campi magnetici, di seguito descritta, sono state considerate come portate in servizio normale le correnti massime generate dall'impianto eolico e dal sistema di accumulo. Tali valori di corrente risultano sovradimensionati e quindi di tipo conservativo in quanto i valori massimi reali, comunque inferiori ai valori indicati, si otterranno solo in determinate condizioni di funzionamento, funzione di diversi parametri quali per esempio le condizioni atmosferiche, rendimento delle apparecchiature ecc.

5.5 Linee di distribuzione in AT 36 kV

La stazione elettrica utente (SSEU) sarà collegata alla Stazione Elettrica (SE) Terna in cavo interrato. La trasmissione sarà esercita in alta tensione a 36 kV.

Anche in questo caso si utilizzerà il cavo a campo radiale in quanto, essendo ciascuna anima rivestita da uno schermo metallico, e le linee di forza elettriche risultano perpendicolari agli strati dell'isolante. Tutti i cavidotti relativi al sistema di accumulo saranno per la quasi totalità interrati all'interno dell'area dell'impianto.

Ai fini della valutazione dei campi magnetici, di seguito descritta, sono state considerate come portate in servizio normale le correnti massime generate dall'impianto eolico e dal sistema di accumulo. Tali valori di corrente risultano sovradimensionati e quindi di tipo conservativo in quanto i valori massimi reali, comunque inferiori ai valori indicati, si otterranno solo in determinate condizioni di funzionamento, funzione di diversi parametri quali per esempio le condizioni atmosferiche, rendimento delle apparecchiature ecc.

6 Metodi di calcolo del campo magnetico

6.1 Cenni Teorici

L'induzione magnetica B generata da NR conduttori filiformi, numerati da 0 a $(NR-1)$, può essere calcolata con l'espressione riportata di seguito. Si fa notare che solo i conduttori reali contribuiscono al campo magnetico, perché si assume il suolo perfettamente trasparente dal punto di vista magnetico e non si considerano quindi i conduttori immagine.

$$\vec{B} = \frac{-\mu_0}{4\pi} \sum_{k=0}^{NR-1} \int_{C_k}^r \frac{i}{r^3} \vec{r} \times d\vec{l}$$

Dove μ_0 è la permeabilità magnetica del vuoto, NR è il numero dei conduttori, i la corrente, C_k il conduttore generico, $d\vec{l}$ un suo tratto elementare, r la distanza tra questo tratto elementare ed il punto dove si vuole calcolare il campo.

Il modello adottato (conduttori cilindrici rettilinei orizzontali indefiniti paralleli tra di loro) consente di eseguire facilmente l'integrazione e semplificare i calcoli. Indicato con Q il punto dove si vuole determinare il campo, definiamo sezione normale il piano verticale passante per Q e ortogonale ai conduttori; indichiamo quindi con P_k il punto dove il generico conduttore C_k interseca la sezione normale, e con i_k la corrente nel singolo conduttore (si è preso l'asse z nella direzione dei conduttori).

Con queste posizioni, per l'induzione magnetica in Q si ottiene l'espressione:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{2\pi} \sum_{k=0}^{NR-1} \frac{i_k \vec{z} \times (Q - P_k)}{|Q - P_k|^2}$$

La formula indica che l'induzione magnetica è inversamente proporzionale al quadrato della distanza del punto di interesse dai conduttori; esiste inoltre una proporzionalità diretta tra l'induzione e la distanza tra i singoli conduttori di ogni terna.

Per il calcolo del campo elettrico, invece, si ricorre al principio delle immagini in base al quale il terreno, considerato come piano equipotenziale a potenziale nullo, può essere simulato con una configurazione di cariche immagine. In altre parole, per ogni conduttore reale, sia attivo che di guardia, andrà considerato un analogo conduttore immagine la cui

posizione è speculare, rispetto al piano di terra, a quella del conduttore reale e la cui carica è opposta rispetto a quella del medesimo conduttore reale.

In particolare, il campo elettrico di un conduttore rettilineo di lunghezza infinita con densità lineare di carica costante può essere espresso come:

$$\vec{E} = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 d} \vec{u}_r$$

La formula indica che l'induzione magnetica è inversamente proporzionale al quadrato della distanza del punto di interesse dai conduttori; esiste inoltre una proporzionalità diretta tra l'induzione e la distanza tra i singoli conduttori di ogni terna. Dove λ è la densità di carica sul conduttore, ϵ_0 è la costante dielettrica nel vuoto, d è la distanza del conduttore rettilineo dal punto di calcolo, u_r è versore unitario con direzione radiale al conduttore.

6.2 Metodo di Calcolo

Lo studio dell'impatto elettromagnetico nel caso di linee elettriche aeree e non, si traduce nella determinazione di una fascia di rispetto. Per l'individuazione di tale fascia si deve effettuare il calcolo dell'induzione magnetica basato sulle caratteristiche geometriche, meccaniche ed elettriche della linea presa in esame. Esso deve essere eseguito secondo modelli tridimensionali o bidimensionali con l'applicazione delle condizioni espresse al paragrafo 6.1 della norma CEI 106-11.

Al fine di semplificare la gestione territoriale e il calcolo delle fasce di rispetto, in prima approssimazione è possibile:

- Calcolare la fascia di rispetto combinando la configurazione dei conduttori, geometrica e di fase, e la portata in corrente in servizio normale che forniscono il risultato più cautelativo sull'intero tronco;
- Proiettare al suolo verticalmente tale fascia;
- Individuare l'estensione rispetto alla proiezione del centro linea (DPA).

Come già accennato il campo Elettrico, a differenza del campo Magnetico, subisce una attenuazione per effetto della presenza di elementi posti fra la sorgente e il punto irradiato risultando nella totalità dei casi inferiore ai limiti imposti dalla norma.

Ai fini del presente studio si valuteranno i soli campi magnetici per tutte le apparecchiature elettriche costituenti l'impianto.

7 Valutazione preventiva dei campi elettromagnetici generati dalle componenti dell'impianto

7.1 Applicazione della normativa sulla tutela della popolazione

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

Essendo le zone direttamente confinanti con l'impianto 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.

7.2 Aerogeneratore

L'aerogeneratore è costituito da un supporto metallico continuo (torre tubolare), a seconda dei casi appoggiata su una base tubolare realizzata in cemento armato precompresso prefabbricato o in metallo, alla cui estremità superiore è installata la "navicella", ossia il sistema di conversione dell'energia eolica in energia elettrica, costituito da:

- pale in materiale non metallico;
- albero di trasmissione;
- moltiplicatore di giri;
- generatore elettrico.

Il generatore elettrico è il più significativo componente che può indurre campi elettromagnetici.

Dato il basso valore della tensione in uscita dal generatore (0.69 kV) l'entità del campo elettrico è trascurabile mentre il campo magnetico può assumere valori di interesse esclusivamente nelle immediate vicinanze del generatore all'interno della navicella che è situata a circa 125 metri di altezza dal suolo.

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

Anche gli aerogeneratori – alla pari di qualsiasi altro ostacolo (naturale o antropico) - possono influenzare la propagazione di un campo elettromagnetico, quale quello delle onde radiotelevisive e delle telecomunicazioni. Gli effetti sono quelli di un'alterazione della qualità del collegamento, in termini di segnale-disturbo, e della forma del segnale ricevuto con eventuale alterazione dell'informazione.

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).

7.3 Cabine elettriche interne all'aerogeneratore e linee MT di collegamento tra gli aerogeneratori

Ogni aerogeneratore è dotato di una cabina elettrica (cabina di macchina) interna. Nei moderni aerogeneratori multimegawatt l'emissione di campi elettrici e soprattutto magnetici è da attribuire al trasformatore e alle sbarre del quadro di bassa tensione.

Nel caso specifico, il trasformatore MT/BT è ubicato nella navicella, mentre i quadri di protezione e sezionamento alla base della torre tubolare.

La valutazione dei campi generati 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.

Per la valutazione dei campi generati dalle sbarre di bassa tensione si ipotizza che le sbarre di bassa tensione contenute nel quadro BT disposte in piano distino l'una dall'altra $D=15$ cm e siano lunghe $L=2$ metri. Ad un metro di distanza dalle sbarre l'induzione magnetica assume il suo massimo valore:

$$\vec{B} = \frac{0.346 \times I \times D \times \text{sen}(\arctan\left(\frac{L}{2}\right))}{1 + D^2} = 126.99 \mu\text{T}$$

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.

Il valore di campo magnetico diminuisce esponenzialmente (come per i trasformatori) e si riduce a pochi μT già a 5 m dalle sbarre. I risultati ottenuti trovano conferma in tantissimi studi e misure effettuate dalle diverse ARPA in Italia.

A loro volta, gli aerogeneratori saranno collegati tra loro mediante un cavidotto MT avente tensione di 30 kV. Tale cavidotto consentirà il collegamento delle turbine con il sistema della sottostazione elettrica 30/36 kV, collegata a sua volta anche ad un sistema BESS di stoccaggio di energia. La sottostazione elettrica 30/36 kV sarà connessa con la SE di riferimento. I cavi MT interrati permettono di eliminare la componente elettrica del campo, grazie all'effetto schermante del terreno; inoltre, la limitata distanza tra i cavi (ulteriormente ridotta grazie all'impiego di terne posate "a trifoglio") fa sì che l'induzione magnetica risulti significativa solo in prossimità dei cavi e decisamente trascurabile al livello della superficie del terreno. Per il cavidotto interrato in media tensione la distanza di prima approssimazione non eccede il range di ± 2 m rispetto all'asse del cavidotto stesso.

7.4 BESS

Relativamente al sistema BESS, vengono adottate le medesime considerazioni relative alle torri: essendo l'accesso ammesso esclusivamente a personale lavoratore autorizzato, non trova applicazione il DPCM 8 luglio 2003. Essendo le zone direttamente confinanti con l'impianto 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.

7.5 Linea di Collegamento AT Impianto - Nuova Stazione elettrica (SE)

Per la realizzazione dei cavidotti di collegamento, sono stati considerati tutti gli accorgimenti che consentono la minimizzazione degli effetti elettromagnetici sull'ambiente e sulle persone.

In particolare, la scelta di operare con linee in AT interrate permette di eliminare la componente elettrica del campo, grazie all'effetto schermante del terreno; inoltre, la limitata distanza tra i cavi (ulteriormente ridotta grazie all'impiego di terne posate "a trifoglio") fa sì che l'induzione magnetica risulti significativa solo in prossimità dei cavi e decisamente trascurabile al livello della superficie del terreno. Qui i valori di campo magnetico ad altezza conduttori restano al di sotto dei $3 \mu\text{T}$ ad una distanza di circa 3 m rispetto all'asse del cavidotto.

8 Conclusioni

La determinazione delle fasce di rispetto è stata effettuata in accordo al D.M. del 29/05/2008 riportando per ogni opera elettrica la summenzionata DPA. Dalle analisi e considerazioni fatte si può desumere quanto segue:

- I valori di campo elettrico si possono considerare inferiori ai valori imposti dalla norma (<5000 V/m) in quanto le aree con valori superiori ricadono all'interno delle recinzioni dell'impianto di accumulo, della sottostazione elettrica e dei locali quadri e subiscono un'attenuazione per effetto della presenza di elementi posti fra la sorgente e il punto irradiato;
- Per i cavidotti in media tensione la distanza di prima approssimazione non eccede il range di ± 2 m rispetto all'asse del cavidotto;
- Per la cabina di consegna i valori di campo magnetico ad altezza conduttori restano al di sotto dei 3 μ T ad una distanza di circa 6 m dal muro perimetrale;
- Per il cavidotto in AT la distanza di prima approssimazione non eccede il range di ± 3 m rispetto all'asse del cavidotto.

All'interno delle aree summenzionate delimitate dalle Distanze di prima Approssimazione, DPA non risultano recettori sensibili ovvero aree di gioco per l'infanzia, ambienti abitativi, ambienti scolastici, luoghi adibiti a permanenza di persone per più di quattro ore giornaliere. Si può quindi concludere che la realizzazione delle opere elettriche relative all'impianto eolico in oggetto, integrato da un sistema di accumulo, da realizzarsi nella Provincia di Viterbo, rispetta la normativa vigente.

In fase esecutiva si valuterà la possibilità di ridurre ulteriormente le emissioni elettromagnetiche e quindi le DPA valutando soluzioni tecniche e di posa alternative e migliorative.