



REGIONE PUGLIA



PROVINCIA di FOGGIA



COMUNE di FOGGIA

| | | | | | |
|--------------------------------------|--|--|--|------------------------|-----------------------------|
| <p>Proponente</p> | <p>WIND ENERGY LA ROCCA S.R.L.</p> <p>Sede Operativa Via Caravaggio, 125 - 65125 Pescara (PE) P.IVA 02276610686</p> | | | | |
| <p>Progettazione e Coordinamento</p> |  <p>VEGA sas LANDSCAPE ECOLOGY & URBAN PLANNING Via delli Carri, 48 - 71121 Foggia - Tel. 0881.756251 - Fax 1784412324 mail: info@studiovega.org - website: www.studiovega.org</p> | | | | |
| <p>Paesaggio e beni culturali</p> | <p>Arch. Antonio Demaio Tel. 0881.756251 Fax 1784412324 E-Mail: info@studiovega.org</p> | <p>Progettazione elettrica</p> | <p>Ditt. Ing. Francesco Gramazio Tel. 338.9722166 E-Mail: francesco.gramazio@carlomaresca.it</p> | | |
| <p>Studio Geologico</p> | <p>Studio di Geologia Tecnica & Ambientale Dott.sa Geol. Giovanna Amedei Via Pietro Nenni, 4 - 71012 Rodi Garganico (Fg) Tel./Fax 0884.965793 Cell. 347.6262259 E-Mail: giovannaamedei@tiscali.it</p> | <p>Studio Acustico</p> | <p>Arch. Marianna Denora Via Savona, 3 - 70022 Altamura (BA) Tel. Fax 080 3147468 E-Mail: info@studioprogettazioneacustica.it</p> | | |
| <p>Studio Idraulico e elettrico</p> | <p>Ing. Antonella Laura Giordano & Ing. Michea Napoli Viale degli Aviatori, 73/F14 - 71122 - Foggia e-mail: micheanapoli@gmail.com</p> | <p>Studio Naturalistico</p> | <p>Dott. Forestale Luigi Lupo Corso Roma, 110 71121 Foggia E-Mail: luigilupo@libero.it</p> | | |
| <p>Studio Archeologico</p> |  | <p>Elaborazione e rilievi di campo</p> | <p>Geom. Nicola Laonigro E-Mail: nicola.laonigro@gmail.com</p> | | |
| <p>Opera</p> | <p>Progetto di un impianto eolico composto da n. 10 Aerogeneratori nel Comune di Foggia (FG) alla località "La Stella - Duanera"</p> | | | | |
| <p>Oggetto</p> | <p>Folder: PROGETTO - Parte C</p> <p>Nome Elaborato: U5U1VR6_ARCH_DOC_C04</p> <p>Descrizione Elaborato: Specialistica - Studio elettromagnetico</p> | | | | |
| | | | | | |
| <p>00</p> | <p>Gennaio 2020</p> | <p>Progetto definitivo</p> | <p>Vega</p> | <p>Arch. A. Demaio</p> | <p>Wind Energy La Rocca</p> |
| <p>Rev.</p> | <p>Data</p> | <p>Oggetto della revisione</p> | <p>Elaborazione</p> | <p>Verifica</p> | <p>Approvazione</p> |
| <p>Scala: Fs</p> | <p>Codice Pratica U5U1VR6</p> | | | | |
| <p>Formato:</p> | | | | | |

Progetto di un impianto eolico composto da n.10 aerogeneratori nel Comune di Foggia in località "La Stella - Duanera".

INDICE

| | |
|---|----|
| 1. PREMESSA | 2 |
| 2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO..... | 2 |
| 3. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO | 5 |
| 3.1 Caratteristiche del generatore..... | 6 |
| 3.2 Determinazione delle correnti nominali BT/MT | 7 |
| 3.3 Linee MT | 7 |
| 3.4 Stazione di trasformazione AT/MT | 8 |
| 4. CENNI TEORICI SUL MODELLO UTILIZZATO | 9 |
| 4.1 Campo elettrico | 10 |
| 4.2 Campo magnetico | 10 |
| 5. ANALISI DELL'IMPATTO ELETTROMAGNETICO DELL'IMPIANTO EOLICO IN PROGETTO | 11 |
| 5.1 Cavidotti..... | 11 |
| 5.2 Base aerogeneratore | 13 |
| 5.3 La sottostazione elettrica AT | 14 |
| 5.4 Le cabine di conversione e trasformazione | 15 |
| 5.5 Calcolo dell'induzione magnetica in prossimità del trasformatore..... | 15 |
| 6. FASCE DI RISPETTO | 16 |
| 7. CONCLUSIONI | 18 |

INDICE FIGURE E TABELLE

| | |
|--|----|
| Tab. 1 - Definizioni di limiti di esposizione, di valori di attenzione e di obiettivi di qualità secondo la legge quadro 3 | |
| Tab. 2 - Limiti di esposizione, limiti di attenzione e obiettivi di qualità del DPCM 08/07/03, confrontati con i livelli di riferimento della Raccomandazione 1999/512CE | 4 |
| Tab. 3 - Valori di portata massima ammissibile | 8 |
| Tab. 4 - Caratteristiche della stazione di trasformazione..... | 9 |
| Fig. 1 Andamento tipico del campo di induzione magnetica | 10 |
| Fig. 1 - Fascia di rispetto cavi interrati 150kV. Fonte: ENEL | 17 |
| Fig. 2 - Fascia di rispetto cabina primaria 150kV. Fonte: ENEL..... | 18 |

Progetto di un impianto eolico composto da n.10 aerogeneratori nel Comune di Foggia in località "La Stella - Duanera".

1. PREMESSA

Il presente studio elettromagnetico fa riferimento alla proposta di progetto della WIND ENERGY LA ROCCA srl per la realizzazione di un impianto eolico nel Comune di Foggia in località "La Stella - Duanera". Il progetto è composto da n° 10 aerogeneratori aventi una potenza unitaria di 4.3 MW, per una potenza complessiva di 43 MW, con altezza al mozzo di 107,5 metri, diametro del rotore di 145 metri e delle relative opere connesse ed infrastrutture indispensabili alla costruzione ed al funzionamento dell'impianto. Gli aerogeneratori sono collegati attraverso linee elettriche interrato in cavo esercite in MT.

L'energia prodotta dalla centrale eolica verrà collegata in antenna a 150 kV alla stazione elettrica di trasformazione della RTN a 380/150 kV di "Palmori" in agro di Lucera.

Lo studio di impatto elettromagnetico si rende necessario al fine di una valutazione del campo elettrico e magnetico nei riguardi della popolazione. In particolare "la fascia di rispetto" di cui al DM 29/05/2008 viene calcolata tenendo conto dell'elettrodotto interrato e della Sottostazione Elettrica MT/AT. Al calcolo della fascia di rispetto segue la verifica dell'assenza di ricettori sensibili all'interno di tale fascia: aree gioco per l'infanzia, ambienti abitativi, ambienti scolastici, luoghi adibiti a permanenze non inferiori a 4 ore giornaliere.

Poiché le linee di trasporto e di distribuzione dell'energia elettrica (elettrodotti), hanno in Europa una frequenza di 50 Hz i campi elettrici e magnetici rientrano nella banda ELF (30 – 300 Hz, bassa frequenza) e quindi regolati dal D.P.C.M. 8 luglio 2003 per la determinazione delle fasce di rispetto.

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

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 radio base, 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.

E' importante dunque distinguere il significato dei termini utilizzati nelle leggi (riportiamo 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. |

Tab. 1 - Definizioni di limiti di esposizione, di valori di attenzione e di obiettivi di qualità secondo la legge quadro

La normativa di riferimento in Italia per le linee elettriche è il DPCM del 08/07/2003 (G.U. n. 200 del 29.8.2003) "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);*
- *I limiti di esposizione, i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità per la tutela della salute dei lavoratori professionalmente esposti nei confronti dei campi elettromagnetici generati a frequenze comprese tra 0 Hz e 300 GHz (esposizione professionale ai campi elettromagnetici);*
- *Le fasce di rispetto per gli elettrodotti in AT.*

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.

Progetto di un impianto eolico composto da n.10 aerogeneratori nel Comune di Foggia in località "La Stella - Duanera".

| Normativa | Limiti previsti | Induzione magnetica B (μT) | Intensità del campo elettrico E (V/m) |
|--------------------------|--|--|--|
| <i>DPCM</i> | Limite d'esposizione | 100 | 5.000 |
| | Limite d'attenzione | 10 | |
| | Obiettivo di qualità | 3 | |
| <i>Race. 1999/512/CE</i> | Livelli di riferimento (ICNIRP1998, OMS) | 100 | 5.000 |

Tab. 2 - Limiti di esposizione, limiti di attenzione e obiettivi di qualità del DPCM 08/07/03, confrontati con i livelli di riferimento della Raccomandazione 1999/512CE

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 ed 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.

Da ricordare, inoltre, che per le linee elettriche in MT (linee aeree a 20 kV) esiste il DM 16/01/91 del Ministero dei Lavori Pubblici, il quale stabilisce per tali linee una distanza di circa 3 m dai fabbricati.

Oltre alle norme legislative esistono dei rapporti informativi dell'Istituto superiore della sanità (ISTISAN 95/29 ed ISTISAN 96/28) che approfondiscono la problematica e mirano alla determinazione del principio cautelativo.

Questi rapporti definiscono la cosiddetta Soglia di Attenzione Epidemiologia (SAE) per l'induzione magnetica, che è posta pari a 0.2 μ T (microTesla): un valore limite, cautelativo, al di sotto del quale è

Progetto di un impianto eolico composto da n.10 aerogeneratori nel Comune di Foggia in località "La Stella - Duanera".

dimostrata la non insorgenza di patologie.

Poiché la relazione si riferisce unicamente all'esposizione della popolazione ai campi elettrici e magnetici e pertanto non prende in considerazione l'esposizione dei lavoratori, conseguentemente non sono valutati i rischi di cui al DECRETO LEGISLATIVO 9 aprile 2008, n. 81 (Gazzetta Ufficiale n. 101, 30 aprile 2008, S.O. n. 108/L) "**Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro**".

Infine, in questa sede, si richiamano le principali Norme CEI:

- CEI 211-7 "Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettromagnetici nell'intervallo di frequenza 10 kHz – 300 GHz, con riferimento all'esposizione umana";
- 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;
- CEI 106-12 "Guida pratica ai metodi e criteri di riduzione dei campi magnetici prodotti dalle cabine elettriche MT/bT".

In particolare, per quanto riguarda il calcolo dell'induzione magnetica e la determinazione delle fasce si è tenuto conto delle indicazioni tecniche previste nel decreto del 29 maggio 2008 e nelle Norme CEI 106-11 e CEI 106-12 nelle quali viene ripreso il modello di calcolo normalizzato della Norma CEI 211-4 e vengono proposte, in aggiunta, delle formule analitiche approssimate che permettono il calcolo immediato dell'induzione magnetica ad una data di stanza dal centro geometrico della linea elettrica.

3. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO

Nell'esercizio degli impianti eolici i campi elettromagnetici si manifestano 50 Hz. A frequenze così basse corrispondono lunghezze d'onda in aria molto grandi (6000 km a 50 Hz e 5000 km a 60 Hz).

Il campo elettrico e quello magnetico agiscono in modo indipendente l'uno dall'altro e sono calcolati e misurati separatamente.

I campi elettrici sono prodotti dalle cariche elettriche e la loro intensità viene misurata in volt al metro (V/m) o in chilovolt al metro (kV/m). L'intensità dei campi elettrici è massima vicino al dispositivo e diminuisce con la distanza. Essi vengono schermati dalla maggior parte dei materiali di uso comune.

I campi magnetici sono prodotti dal moto delle cariche elettriche, cioè dalla corrente. 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).

Progetto di un impianto eolico composto da n.10 aerogeneratori nel Comune di Foggia in località "La Stella - Duanera".

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 che ne vengono facilmente attraversati.

Gli impianti eolici, essendo costituiti fondamentalmente da elementi per la produzione ed il trasporto di energia elettrica, sono interessati dalla presenza di campi elettromagnetici.

Le componenti dell'impianto sulle quali rivolgere l'attenzione al fine della valutazione dell'impatto elettromagnetico sono:

- ✓ il generatore elettrico ed il trasformatore BT/MT posti all'interno della navicella degli aerogeneratori;
- ✓ i cavidotti in MT di trasporto dell'energia;
- ✓ la stazione di smistamento
- ✓ la sottostazione elettrica di trasformazione AT/MT;
- ✓ i raccordi aerei AT.

L'impianto nel suo complesso può essere suddiviso nelle seguenti distinte sezioni:

- Il parco eolico è costituito da 10 aerogeneratori con potenza nominale di 4.3 MW, per una potenza totale installata di 43 MW;
- I 10 aerogeneratori sono connessi tra di loro da una rete di distribuzione in cavo interrato esercita in media tensione a 30 kV;

L'energia prodotta viene trasportata dal parco al punto di immissione in rete mediante linee di evacuazione MT in cavo interrato (LINEA DI VETTORIAMENTO A 30 kV).

L'energia, prima di essere immessa in rete viene elevata alla tensione di 150 kV mediante una stazione di trasformazione AT/MT costituita da un trasformatore di potenza da 63 MVA;

lo schema di allacciamento alla RTN prevede il collegamento della sottostazione di trasformazione utente in antenna a 150 kV di futura realizzazione della Stazione Elettrica a 380 kV della RTN denominata "Palmori".

3.1 Caratteristiche del generatore

| | | |
|-------------------------|---|-----|
| Potenza nominale | 4300 | kW |
| Tipo | generatore asincrono con rotore avvolto | |
| Grado di protezione | IP54 | |
| Tensione del generatore | 690 | Vac |
| Frequenza | 50 | Hz |
| Numero di poli | 4 | |

Progetto di un impianto eolico composto da n.10 aerogeneratori nel Comune di Foggia in località "La Stella - Duanera".

| | |
|--|---|
| Collegamento avvolgimenti statore | stella/triangolo |
| Efficienza nominale con il convertitore | 96% |
| Fattore di potenza impostato | 1 |
| Range di variazione del fattore di potenza | 0.95 _{CAP} – 0.95 ^{IND} |

3.2 Determinazione delle correnti nominali BT/MT

La potenza nominale dell'aerogeneratore è di 4.300 kW. La tensione di generazione è pari a 690V. Considerando un fattore di potenza unitario, la corrente nominale sul lato di bassa tensione risulta pari a: $IBT = 6.000.000 / (\sqrt{3} \times 690 \times 1) = 3597A$

Che sul lato di media tensione corrisponde ad una corrente di: $IMT = 5020 \times (690/30.000) = 83 A$

3.3 Linee MT

Il collegamento tra i diversi aerogeneratori ed il quadro MT di raccolta viene realizzato mediante una rete radiale in cavo interrato con isolamento a 36kV, con conduttori unipolari, disposti ad elica visibile, in alluminio, isolati in gomma etile propilene (EPR), per una tensione di 36kV.

Le sezioni impiegate sono state dimensionate con il criterio dalla massima caduta di tensione, verificando, di volta in volta, che la portata del cavo non risulti, in alcun caso, inferiore alla corrente di impiego del circuito, ma che la sia maggiore di circa 1,25 volte, in ottemperanza della norma CEI.

I 10 aerogeneratori vengono collegati tra loro secondo uno schema "entra-esce". Ciascuna delle suddette linee, a partire dall'ultimo aerogeneratore del ramo procede, con un percorso interrato al trasporto dell'energia prodotta dalla relativa sezione del parco fino all'ingresso nella stazione di trasformazione AT/MT.

Il percorso di ciascuna linea è stato individuato sulla base dei seguenti criteri:

- minima istanza;
- massimo sfruttamento degli scavi delle infrastrutture di collegamento da realizzare
- migliore condizione di posa.

Il cavo sarà interrato ad una profondità minima di 1 metro. I conduttori saranno posati su un letto di sabbia vagliata e protetti superiormente da apposite protezioni copricavo.

Nella tabella che segue vengono riportati i valori di portata massima ammissibile nelle diverse pose, per alcune delle sezioni impiegate, in corrispondenza di una tempo temperatura massima di servizio permanente pari a 90°C, applicando un fattore di correzione pari ad 1.

Progetto di un impianto eolico composto da n.10 aerogeneratori nel Comune di Foggia in località "La Stella - Duanera".

| Sezione [mmq] | Portata posa singola [A] | R@20°C [Ω/km] | X [Ω/km] |
|---------------|--------------------------|---------------|----------|
| 95 | 255 | 0,416 | 0,13 |
| 95 | 255 | 0,416 | 0,13 |
| 95 | 255 | 0,416 | 0,13 |
| 95 | 255 | 0,416 | 0,13 |
| 95 | 255 | 0,416 | 0,13 |
| 95 | 255 | 0,416 | 0,13 |
| 500 | 624 | 0,089 | 0,1 |
| 500 | 624 | 0,089 | 0,1 |
| 400 | 549 | 0,109 | 0,11 |
| 400 | 549 | 0,109 | 0,11 |

Tab. 3 - Valori di portata massima ammissibile

Le linee in media tensione sono interrate per tutta la lunghezza del percorso, al fine di eliminare qualsiasi impatto visivo - paesaggistico e riducendo a valori trascurabili le emissioni elettromagnetiche dell'elettrodotto.

La linea di connessione in media tensione sarà realizzata in cavo interrato e precisamente da quattro terne tripolari ad elica visibile, alla profondità di 1,2 m. Ogni terna sarà disposta ad una distanza reciproca di almeno 20 cm. Ogni terna sarà di 3 conduttori unipolari disposti ad elica visibile. Non è previsto alcun passaggio aereo.

Le linee di evacuazione vengono realizzate, nell'intera tratta, con cavo interrato a triplice terna, di tipo unipolare con disposizione ad elica visibile a corda rigida compatta di alluminio con isolante in gomma sintetica a base di EPR.

3.4 Stazione di trasformazione AT/MT

La stazione di trasformazione AT/MT consente di elevare l'energia prodotta dalla tensione di 30kV del parco eolico al livello di 150 kV della stazione di consegna TERNA SpA.

La stazione è costituita da uno stallo di trasformazione con un trasformatore in olio AT/MT ed un Q.E. generale MT.

L'ingresso alla sottostazione è costituito da linee in cavo interrato isolato a 36kV, realizzate con conduttore in alluminio ed isolamento in EPR, analogamente alle linee di connessione degli aerogeneratori. Le uscite in AT sono realizzate con sbarre rigide e conducono all'ingresso della adiacente stazione di consegna.

Progetto di un impianto eolico composto da n.10 aerogeneratori nel Comune di Foggia in località "La Stella - Duanera".

| | | |
|--|------|------------|
| Tensione di esercizio del sistema | 150 | kV |
| Tensione di massima del sistema | 170 | kV |
| Frequenza nominale | 50 | Hz |
| Tensione di tenuta a frequenza industriale | 325 | kV |
| Tensione di tenuta ad impulso atmosferico | 750 | kV |
| Corrente nominale di breve durata | 31,5 | KA per 1 s |
| Corrente di guasto monofase a terra | 10 | KA |

Tab. 4 - Caratteristiche della stazione di trasformazione

4. CENNI TEORICI SUL MODELLO UTILIZZATO

Ogni apparecchiatura che produce o che viene attraversata da una corrente elettrica (dinamo, cavi elettrici, elettrodomestici, etc.) è caratterizzata da un *campo elettromagnetico*. Il campo elettromagnetico presente in un dato punto dello spazio è definito da due vettori: il *campo elettrico* e l'*induzione magnetica*. Il primo, misurato in V/m, dipende dall'intensità e voltaggio della corrente, mentre l'induzione magnetica – che si misura in μT - dipende dalla permeabilità magnetica del mezzo. Il rapporto tra l'induzione magnetica e la permeabilità del mezzo individua il *campo magnetico*.

Le grandezze caratterizzanti il campo elettrico ed il campo magnetico sono in generale intercorrelate, fatta eccezione per i campi a frequenze molto basse, per le quali il campo elettrico ed il campo magnetico possono essere considerati indipendenti.

In generale le correlazioni tra campo elettrico e campo magnetico sono assai complesse, dipendono dalle caratteristiche della sorgente, dal mezzo di propagazione, dalla presenza di ostacoli nella propagazione, dalle caratteristiche del suolo e dalle frequenze in gioco.

La diffusione del campo elettromagnetico nello spazio avviene nello stesso modo in tutte le direzioni; la diffusione può essere comunque alterata dalla presenza di ostacoli che, a seconda della loro natura, inducono sul campo elettromagnetico riflessioni, rifrazioni, diffusioni, assorbimento, ecc. La diffusione del campo elettromagnetico può essere alterata anche dalla presenza di un altro campo elettromagnetico.

Progetto di un impianto eolico composto da n.10 aerogeneratori nel Comune di Foggia in località "La Stella - Duanera".

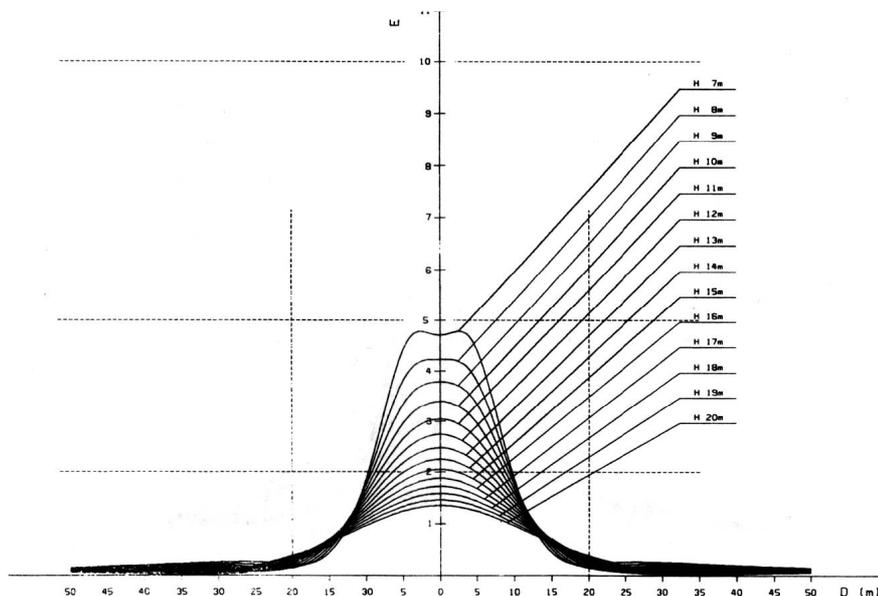


Fig. 1 Andamento tipico del campo di induzione magnetica.

Nel presente documento si esaminano le apparecchiature e le infrastrutture necessarie alla realizzazione del progetto proposto, con particolare riguardo alla generazione di campi elettromagnetici a bassa frequenza.

Tutte le componenti del progetto operano, infatti, alla frequenza di 50 Hz, coincidente con la frequenza di esercizio della rete di distribuzione elettrica nazionale.

4.1 Campo elettrico

Tutti i cavi interrati sono schermati nei riguardi del campo elettrico, che pertanto risulta pressoché nullo in ogni punto circostante all'impianto.

4.2 Campo magnetico

Le grandezze che determinano l'intensità del campo magnetico circostante un elettrodotto sono principalmente:

- Distanza dalle sorgenti (conduttori);
- Intensità delle sorgenti (correnti di linea);
- Disposizione e distanza tra sorgenti (distanza mutua tra i conduttori di fase);
- Presenza di sorgenti compensatrici;
- 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,

Progetto di un impianto eolico composto da n.10 aerogeneratori nel Comune di Foggia in località "La Stella - Duanera".

sull'utilizzazione di circuiti in doppia terna a fasi incrociate e sull'utilizzazione di linee in cavo.

I valori di campo magnetico, risultano notevolmente abbattuti mediante interrimento degli elettrodotti. Questi saranno posti a circa 1,2 m di profondità e generano, a parità di corrente trasportata, un campo magnetico al livello del suolo più intenso degli elettrodotti aerei (circa il doppio), però l'intensità del campo magnetico si riduce molto più rapidamente con la distanza. Tra gli svantaggi sono da considerare i problemi di perdita dell'energia legati alla potenza reattiva vista anche la lunghezza del cavidotto MT di collegamento tra il parco eolico e la Sottostazione Produttore. Confrontando il campo magnetico generato da linee aeree con quello generato da cavi interrati, si rileva che per i cavi interrati l'intensità massima del campo magnetico è più elevata, ma presenta un'attenuazione più pronunciata.

5. ANALISI DELL'IMPATTO ELETTROMAGNETICO DELL'IMPIANTO EOLICO IN PROGETTO

Le componenti dell'impianto sulle quali determinare i valori di elettromagnetismo attesi sono:

- n. 10 aerogeneratori della potenza uninominale di 4.3 MW con trasformatore interno 0.6/30kV;
- elettrodotto interrato MT 30 kV di collegamento tra gli aerogeneratori tipo ARE4H1RX di formazione 3x1x300 mm² per una lunghezza pari a 17,758 km;
- elettrodotto TOC MT 30 kV tipo ARE4H5E di formazione 3x1x400 mm² di collegamento tra il parco eolico e la Sottostazione Elettrica Produttore 30/150 kV per una lunghezza pari a 1,819 km;
- elettrodotto interrato MT 30 kV tipo ARE4H1RX di formazione 3x1x400 mm² di collegamento tra il parco eolico e la Sottostazione Elettrica Produttore 30/150 kV per una lunghezza pari a 500 m;
- Sottostazione Elettrica Produttore 30/150 kV;

5.1 Cavidotti

Si fa presente che nella scelta della soluzione tecnica per il 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 MT 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 cosiddette "a trifoglio") fa sì che l'induzione magnetica risulti significativa solo nelle immediate prossimità dei cavi.

Risultati delle simulazioni

Progetto di un impianto eolico composto da n.10 aerogeneratori nel Comune di Foggia in località "La Stella - Duanera".

Per la determinazione del campo magnetico generato da cavi percorsi da corrente, nel caso di un sistema trifase quale quello oggetto dei cavidotti percorsi dai maggiori valori di corrente all'interno dell'impianto, si può fare riferimento alla norma CEI 106-12 "Guida pratica ai metodi e criteri di riduzione dei campi magnetici prodotti dalle cabine elettriche MT/bT" che fornisce la relazione di calcolo di cui alla tabella seguente:

$$B_0 = 0,1 \sqrt{6} \frac{S \cdot I}{R^2}$$

Dove S rappresenta la distanza tra le fasi. La modalità di posa in progetto prevede una disposizione delle fasi a triangolo, ai fini dell'applicazione della formula riportata si è, pertanto, fatto riferimento al caso c), considerando la distanza fra le fasi "S" pari al diametro esterno reale dei cavi (conduttore + isolante). La sezione di cavidotto MT percorso dal maggiore valore di corrente presente all'interno del parco è quella corrispondente alla partenza del cavo MT tipo ARE4H5E 18/30 kV con conduttore in alluminio in formazione 3x1x400 mm² (diametro esterno max pari a 48 mm). Il caso più sfavorevole è a livello del suolo e cioè con R pari alla profondità di posa pari a 1,35 m. Nella formula si inserisce il valore della corrente massimo pari alla portata e cioè a 549 A, in virtù della condizione più conservativa. Tale valore è superiore alla corrente di linea I = 244 A¹, nel caso di 3 circuiti raggruppati.

In definitiva, B₀ risulta essere pari a 3,50 μT.

Per il valore che viene determinato ad 1 metro da terra R diventa pari così a 2,35 m. Pertanto il nuovo valore di B₀ risulta essere di 1,15 μT, ben al di sotto dei 3 μT.

Dunque, nel caso specifico al suolo non si raggiungeranno mai i 3μT, se non nel caso di portata massima di corrente che per l'impianto eolico non verrà mai raggiunta, visto che per la sua potenza massima la corrente di linea è pari a 244 A.

La tabella seguente riassume i valori di B (μT) al variare di R (m) per un valore della corrente pari alla portata della linea di 549 A.

| D (m) | B (μT) |
|-------|--------|
| 0,2 | 159,05 |
| 0,5 | 25,44 |
| 0,8 | 9,94 |
| 1,35 | 3,50 |

¹ E' stato considerato un fattore di potenza di 0,95

Progetto di un impianto eolico composto da n.10 aerogeneratori nel Comune di Foggia in località "La Stella - Duanera".

| | |
|-------|------|
| 1,455 | 3,00 |
| 2,35 | 1,15 |

La scelta di operare con linee in MT interrato, come detto, permette di eliminare l'effetto dovuto al campo elettrico, soprattutto in virtù dell'effetto schermante del terreno. Ciò si può effettivamente constatare dai valori ottenuti con misure effettuate in campi eolici ben più grandi di quello oggetto del presente studio, dove si è ben al di sotto del limite di 5.000 V/m imposto dalla legge. Riguardo al campo magnetico, dai risultati delle simulazioni si può facilmente constatare che nel caso S1, il valore dell'induzione magnetica al suolo (caso più sfavorevole) resta al di sotto dei 10 µT (precisamente pari a 3,75 µT), valore indicato nel DPCM 08/07/2003 come limite di attenzione previsto per le 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. Altresì, spostandosi di soli pochi metri dall'asse dei conduttori i valori calcolati di campo magnetico scendono fino a soddisfare anche la SAE (Soglia di Attenzione Epidemiologia). Si sottolinea, peraltro, che la posa dei cavidotti è prevista in luoghi che non sono adibiti a permanenze prolungate della popolazione e tanto meno negli ambienti particolarmente protetti, quali scuole, aree di gioco per l'infanzia etc, correndo per la gran parte del loro percorso lungo la rete viaria o ai margini delle strade di impianto.

5.2 Base aerogeneratore

Alla base dell'aerogeneratore dove il cavo esce dal generatore e dal trasformatore la fascia di rispetto è calcolabile considerando la condizione più gravosa e cioè il cavo ad un metro da terra ($d=0$ nella formula sottostante) e utilizzando la seguente formula semplificata per il calcolo diretto della distanza R_0 dell'asse della linea al livello del suolo ($h=0$) oltre la quale l'induzione magnetica scende al di sotto del valore di 3 µT:

$$R_0 = \sqrt{0,082 * S * I - d^2} [m]$$

In questo caso il cavo all'interno dell'aerogeneratore è un 3x1x95 mm², con una portata di corrente pari a 255 A e un diametro esterno massimo pari a 35 mm.

Pertanto, applicando la formula precedente con $d=0$, si ha un valore della fascia di rispetto R_0 pari a 0,92 x 2 = 1,84 m, valore che ricade abbondantemente all'interno del locale generazione e trasformatore,

Progetto di un impianto eolico composto da n.10 aerogeneratori nel Comune di Foggia in località "La Stella - Duanera".

dove la presenza umana è prevista solo in condizioni di manutenzione e per cui a macchine ferme il campo magnetico è nullo.

Il calcolo della distanza di prima approssimazione per il trasformatore MT/bT interno all'aerogeneratore si effettua considerando una struttura semplificata costituita da un sistema trifase, percorso da una corrente pari alla corrente nominale di bassa tensione del trasformatore, e con distanza tra le fasi pari al diametro dei cavi reali in uscita dal trasformatore stesso. Il calcolo è stato effettuato applicando la relazione:

$$Dpa = 0.40942 * x^{0.5241} * \sqrt{I}$$

Dove x è il diametro reale del cavo (isolante + conduttore) ed I è la corrente nominale bT in uscita dal trasformatore, la DPA va intesa come distanza da ciascuna delle pareti (tetto, pavimenti, pareti) all'interno della quale i valori di induzione magnetica sono superiori ai 3 µT. Nel presente progetto si prevede "x" pari a 35,6 mm con "I" pari a 2510 A.

Dunque, la DPA calcolata è pari a: 4,25 m.

Nelle immediate vicinanze del trasformatore, pertanto, viene superato il limite di esposizione ma deve essere evidenziato che tali zone sono utilizzate unicamente per interventi manutentivi e dunque interessate dal personale tecnico solo quando lo stesso trasformatore non è in servizio.

Le installazioni impiantistiche oggetto di intervento, in ultimo, si collocano a distanze maggiori di 500 m da qualsiasi ambiente abitativo e non, in cui vi possa essere la presenza continuativa di persone.

5.3 La sottostazione elettrica AT

In generale, i contributi maggiori al campo elettromagnetico intorno ad una sottostazione derivano dalle linee di potenza entranti ed uscenti dalla sottostazione stessa. L'entità del campo elettromagnetico dovuto ai trasformatori diminuisce rapidamente con la distanza; oltre la recinzione della sottostazione i campi elettromagnetici prodotti dagli equipaggiamenti dentro la sottostazione sono tipicamente indistinguibili dai livelli del fondo ambientale. L'ARPA di Rimini ha effettuato nel 1994 delle misure in alcune cabine primarie (v. Inquinamento Elettromagnetico, P. Bevitori et al. - Maggioli Editore, 1997 - pagg. 188-190). Il campo elettrico misurato lungo il perimetro di recinzione di cabine primarie è risultato sempre inferiore a 5 V/m; si ricorda che i limiti di legge per il campo elettrico sono di 5000 V/m per lunghe esposizioni e di 10000 V/m per brevi esposizioni. Il livello di induzione magnetica è sempre risultato minore di 0.2 µT, valore che soddisfa anche la SAE.

Nella Tabella 3 sono riportati, invece, i valori del campo elettrico e del campo magnetico rilevato a seguito di

misurazioni effettuate dall'ASL su campi funzionanti.

| Luogo di misura | Valore di intensità di campo elettrico (V/m) | Valore di intensità di induzione magnetica (10 ⁻⁶ tesla) |
|--|--|---|
| Porta ingresso sottostazione | 350 | 0,7 |
| Interno alla sottostazione | 179 | 4,2 |
| Vicino ad una linea alta tensione a 150 kV | 435 | 0,3 |

Tab. 5 – Valori del campo elettrico e magnetico rilevati

La misura è stata effettuata vicino la porta di ingresso della sottostazione, all'interno della sottostazione e vicino ad una linea alta tensione a 150 kV

Si nota come solo il valore misurato all'interno della sottostazione è superiore a 3 µT, obiettivo di qualità nel DPCM 08/07/2003, mentre tutte le altre misure soddisfano anche tale valore.

Si osserva infine che la sottostazione sarà realizzata in corrispondenza di una linea AT esistente e quindi in un sito già oggetto di intervento industriale e soggetto a campi elettromagnetici, i quali non aumenteranno con la nuova realizzazione essendo in misura preponderante dipendenti dalle linee di potenza entranti ed uscenti dalla sottostazione stessa, mentre il campo elettromagnetico dovuto ai trasformatori, misurato oltre le recinzioni, è in genere indistinguibile dai livelli di fondo dell'ambiente.

5.4 Le cabine di conversione e trasformazione

Nella valutazione andiamo a determinare i limiti del campo magnetico in prossimità della navicella dove sono localizzati il generatore elettrico BT ed il trasformatore MT/BT.

In una cabina MT/BT il campo magnetico è più elevato in prossimità del trasformatore e del generatore ma essendo localizzati all'interno di una navicella posta a 115 m di altezza gli effetti dei campi al suolo sono trascurabili in base alle misurazioni e certificazioni degli aerogeneratori.

5.5 Calcolo dell'induzione magnetica in prossimità del trasformatore

Il valore dell'induzione magnetica B decresce rapidamente al crescere della distanza dal trasformatore, e per distanze comprese tra 1 e 10m (trasformatore in resina) si può calcolare con la seguente formula:

$$B = 5 \frac{u_{ec}}{6} \sqrt{\frac{S_r}{630}} \left(\frac{3}{a} \right)^2$$

dove:

Progetto di un impianto eolico composto da n.10 aerogeneratori nel Comune di Foggia in località "La Stella - Duanera".

ucc: tensione percentuale di cortocircuito;

Sr: potenza nominale del trasformatore (kVA);

a : distanza dal trasformatore (m).

Avendo considerato un trasformatore trifase in resina a perdite normali tipo AN come individuato nel paragrafo precedente, otteniamo i valori di induzione magnetica riportati nella seguente tabella:

| trasformatore kVA | 1 | 2 | 3 | 5 | 8 | 10 |
|-------------------|--------|-------|-------|------|------|------|
| 3450 | 185,16 | 46,29 | 20,57 | 7,41 | 2,89 | 1,85 |

Tab. 6 – Potenza vs Distanza dal trasformatore in metri (valori dell'induzione magnetica in μT)

Si può osservare analizzando i valori precedenti, che una distanza di 5 m dal trasformatore è sufficiente per raggiungere un valore di induzione magnetica che sia al di sotto del limite di attenzione mentre una distanza di 8 m garantisce il rispetto dell'obiettivo di qualità. Si ricorda che tale limite si applica per la realizzazione di nuove cabine in prossimità di linee ed installazioni elettriche esistenti, di 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 h al giorno.

In definitiva, poiché le cabine si configurano tutte all'interno della recinzione d'impianto non accessibile a persone non autorizzate e poiché l'area all'esterno della cabina in cui l'obiettivo di qualità non è raggiunto risulta esigua si può escludere pericolo per la salute pubblica.

6. FASCE DI RISPETTO

Per "fasce di rispetto" si intendono quelle definite dalla Legge 22 febbraio 2001 n° 36, all'interno delle quali non è consentita alcuna destinazione di edifici ad uso residenziale, scolastico, sanitario, ovvero un uso che comporti una permanenza superiore a 4 ore, da determinare in conformità alla metodologia di cui al D.P.C.M. 08/07/2003.

Tale DPCM prevede (art. 6 comma 2) che l'APAT, sentite le ARPA, definisca la metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto con l'approvazione del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare. Con Decreto 29 maggio 2008 (pubblicato in G.U. n. 156 del 05/07/2008 – Supplemento Ordinario n. 160) il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare ha approvato la metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti. Scopo dei paragrafi seguenti è il calcolo delle fasce di rispetto, tramite l'applicazione della suddetta metodologia di calcolo, per la linea in oggetto e la rappresentazione delle stesse fasce su corografia in scala 1: 5 000 ovvero 1: 10 000. L'Enel ha unificato sul territorio nazionale le fasce di rispetto in caso di opere elettriche esercite in alta tensione dopo prolungate misure presso i propri impianti.

Progetto di un impianto eolico composto da n.10 aerogeneratori nel Comune di Foggia in località "La Stella - Duanera".

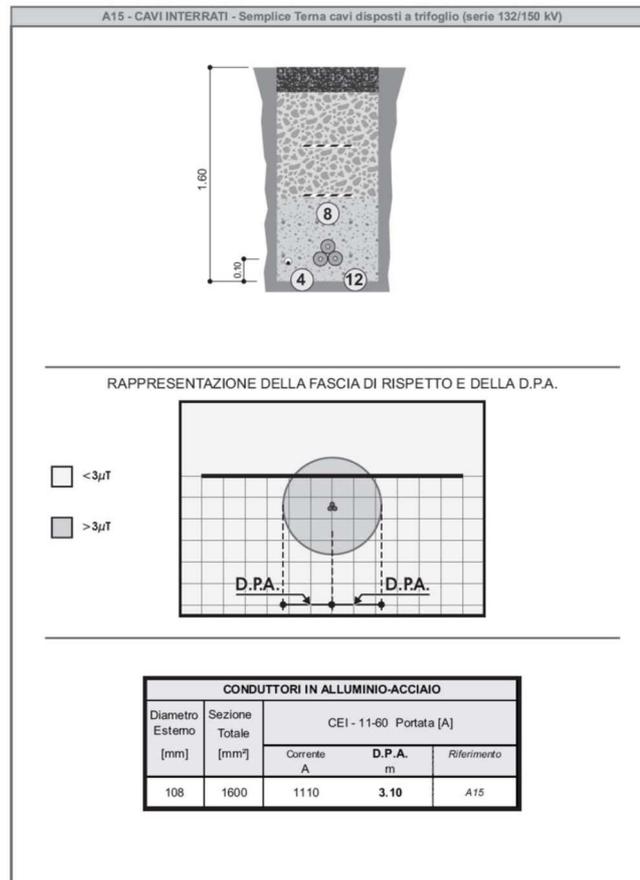


Fig. 1 - Fascia di rispetto cavi interrati 150kV. Fonte: ENEL

Progetto di un impianto eolico composto da n.10 aerogeneratori nel Comune di Foggia in località "La Stella - Duanera".

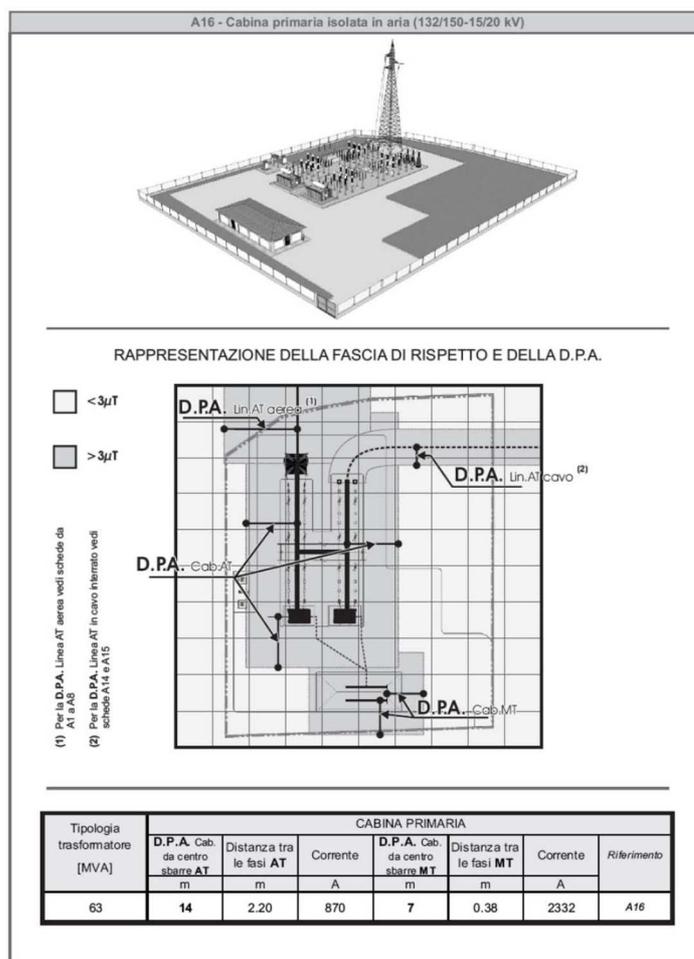


Fig. 2 - Fascia di rispetto cabina primaria 150kV. Fonte: ENEL

7. CONCLUSIONI

La determinazione delle DPA è stata effettuata in accordo al D.M. del 29/05/2008 riportando per ogni opera elettrica (cavidotti e cabina elettrica) la summenzionata DPA. Da quanto riportato nei precedenti paragrafi, nonché nei calcoli sopra eseguiti, risulta evidente che i campi generati sono tali da rientrare nei limiti di legge.

- La fascia di rispetto per il cavidotto interrato MT è pari a 1,455 m per cui il valore di $3 \mu T$ non si raggiunge ad un metro dal livello del suolo rispetto al quale il valore dell'induzione magnetica è pari a $1,15 \mu T$;
- La fascia di rispetto per la cabina di trasformazione interna alla torre eolica è pari a 1,84 m;

Progetto di un impianto eolico composto da n.10 aerogeneratori nel Comune di Foggia in località "La Stella - Duanera".

- La fascia di rispetto per il cavidotto interrato AT è pari a 0,57 m per cui il valore di 3 μ T non si raggiunge nemmeno al livello del suolo rispetto al quale il valore dell'induzione magnetica è pari a 0,27 μ T;

Dalla verifica puntuale di tutta la linea elettrica interrata e in prossimità della Sottostazione Elettrica Produttore 30/150 kV non esistono recettori sensibili all'interno delle fasce di rispetto come sopra definite.

Non si ritiene pertanto necessario adottare misure di salvaguardia particolari in quanto il parco eolico in oggetto si trova in zona agricola e sia gli aerogeneratori che le opere connesse (linee elettriche interrate e stazioni elettriche isolate in aria) sono state posizionate in lontananza da possibili ricettori sensibili presenti (abitazioni private).

Si sottolinea, peraltro, che l'innalzamento degli aerogeneratori, la posa dei cavidotti MT e la realizzazione della stazione di trasformazione AT sono stati posizionati in luoghi che non sono adibiti a permanenze prolungate della popolazione e tanto meno negli ambienti particolarmente protetti, quali scuole, aree di gioco per l'infanzia, ecc.

Dai risultati della simulazione si evince che i valori elevati di campo magnetico sono confinati all'interno della navicella o della stazione elettrica ed in prossimità delle stesse decresce rapidamente. Si ricorda inoltre che tali opere sono posizionate a distanza di centinaia di metri da abitazioni e quindi a distanze considerevoli dal punto di vista elettromagnetico.

Pertanto si può concludere che per il parco eolico e le infrastrutture di rete elettrica in esame non si ravvisano pericoli per la salute pubblica per quanto riguarda i campi elettromagnetici.

Foggia, Gennaio 2020

Arch. Antonio Demaio
