



OPERE DI RETE PROPEDEUTICHE AL COLLEGAMENTO ALLA RTN DI UN IMPIANTO DI GENERAZIONE DA FONTE EOLICA DA 78 MW

Intervento 2 – Stazione Elettrica di smistamento a 150 kV “SSE Nuoro”

Piano Tecnico delle Opere –Relazione valutazione previsionale campi elettromagnetici

Provincia di Nuoro – Comuni di Nuoro

Marzo 2022


REF.: G807_DEF_R_010_Intervento 2_Relazione valutazione previsionale campi elettromagnetici_1-1_REV00



GEOTECH S.r.l.


Via T. Nani, 7
Morbegno (SO)

+39 0342 610774
info@geotech-srl.it

	<p style="text-align: center;">OPERE DI RETE PROPEDEUTICHE AL COLLEGAMENTO ALLA RTN DI UN IMPIANTO DI GENERAZIONE DA FONTE EOLICA DA 78 MW</p> <p style="text-align: center;">Intervento 2</p> <p style="text-align: center;">Piano Tecnico delle Opere - Relazione valutazione previsionale campi elettromagnetici</p>	<p style="text-align: center;">Marzo 2022</p>
---	---	---

INDICE

1. PREMESSA	3
2. CONTESTO E SCOPO DELL'INTERVENTO	4
3. RIFERIMENTI NORMATIVI E DEFINIZIONI	5
3.1. Norme tecniche di riferimento	5
3.2. Definizioni	7
3.2.1. Campi elettrici.....	11
3.2.2. Campi magnetici.....	11
3.2.3. Fascia di Rispetto	11
3.2.4. Distanza di prima approssimazione (DPA).....	11
4. VALUTAZIONE DELLE FASCE DI RISPETTO	12
5. LINEE AEREE AT.....	13
6. LINEE INTERRATE AT	13
7. LINEE INTERRATE MT	14
8. LOCALI TRASFORMATORI MT/BT.....	15
9. CALCOLO DELLE FASCE DI RISPETTO NELL'AREA AT DI STAZIONE	16
9.1. Linee con cavi unipolari posati a trifoglio.....	16
9.2. Linea con cavi unipolari posati in piano.....	17
10. VALUTAZIONI DEI CAMPI ALL'INTERNO DELLA STAZIONE	18
10.1. Valutazione CEM mediante software di calcolo.....	18
10.1.1. Sbarre omnibus.....	18
10.1.2. Stalli linea.....	20
11. RISULTATI DELLO STUDIO PREVISIONALE CAMPI ELETTROMAGNETICI	23
11.1. Campi magnetici.....	23
11.2. Campi elettrici	24


	<p style="text-align: center;">OPERE DI RETE PROPEDEUTICHE AL COLLEGAMENTO ALLA RTN DI UN IMPIANTO DI GENERAZIONE DA FONTE EOLICA DA 78 MW</p> <p style="text-align: center;">Intervento 2</p> <p style="text-align: center;">Piano Tecnico delle Opere - Relazione valutazione previsionale campi elettromagnetici</p>	<p style="text-align: center;">Marzo 2022</p>
---	---	---

1. PREMESSA

Il presente lavoro, redatto dalla Società di Ingegneria GEOTECH S.r.l., con sede in via Nani, 7 a Morbegno (SO) costituisce la Relazione Valutazione Previsionale Campi Elettromagnetici del Piano Tecnico delle Opere dell'Intervento 2 delle opere di rete necessarie al collegamento alla Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) di un impianto di generazione da fonte rinnovabile (eolica) avente potenza pari a 78 MW da realizzarsi in Sardegna da parte della società EDP RENEWABLES ITALIA HOLDING SRL (EDP). Il Parco Eolico sarà ubicato in Comune di Nuoro, nell'omonima provincia, in località "Su Cuccuru" mentre le opere di connessione di rete propedeutiche al suo collegamento alla RTN attraverseranno cinque comuni della Provincia di Nuoro: Bolotana, Nuoro, Oniferi, Orani e Ottana.

Oggetto della presente Relazione Valutazione Previsionale Campi Elettromagnetici è la descrizione della verifica previsionale con le distanze di prima approssimazione e di rispetto dei limiti normativi ai fini della protezione della popolazione, per effetto dell'esposizione ai campi elettromagnetici dell'intervento 2 denominato "**Stazione Elettrica di smistamento a 150 kV "SSE Nuoro"**", ubicato nel Comune di Nuoro, in Provincia di Nuoro nella Regione Sardegna e facente parte del più ampio progetto "**Opere di rete propedeutiche al collegamento alla RTN di un impianto di generazione da fonte eolica da 78 MW**".

In generale occorre riferirsi alla Direttiva 2013/35/UE, Direttiva EMF, che esamina l'esposizione ai Campi Elettromagnetici in tutto lo spettro delle frequenze, mentre per le basse frequenze (ELF), di fatto, è sufficiente riferirsi alla Direttiva quadro 89/391/CEE.

 edp renewables	<p style="text-align: center;">OPERE DI RETE PROPEDEUTICHE AL COLLEGAMENTO ALLA RTN DI UN IMPIANTO DI GENERAZIONE DA FONTE EOLICA DA 78 MW</p> <p style="text-align: center;">Intervento 2</p> <p style="text-align: center;">Piano Tecnico delle Opere - Relazione valutazione previsionale campi elettromagnetici</p>	<p style="text-align: center;">Marzo 2022</p>
---	---	---

2. CONTESTO E SCOPO DELL'INTERVENTO

L'opera in progetto per la quale viene redatto il presente Piano Tecnico delle Opere è costituita dalla costruzione e messa in esercizio della Stazione Elettrica di smistamento 150 kV di Nuoro propedeutico al collegamento alla RTN di un impianto di generazione da fonte rinnovabile (eolica) da 78 MW della società EDP RENEWABLES ITALIA HOLDING SRL (EDP) da realizzarsi in località *Su Cuccuru* in Comune di Nuoro in Provincia di Nuoro.

A seguito della Soluzione Tecnica Minima Generale (STMG) confermata da Enel con protocollo OUT-11/02/2020-0267530 che prevede la connessione dell'impianto di produzione alla Cabina Primaria di Nuoro a seguito del potenziamento della RTN di competenza di Terna Spa, quest'ultima ha notificato con nota n. TERNA/P2019 0055671 – 02/08/2019 la soluzione di connessione.


La soluzione di connessione prevede la realizzazione di:

- ✓ Una nuova Stazione Elettrica (SSE Nuoro) di smistamento 150 kV della RTN da inserire in entra/esce alla linea 150 kV "Siniscola-Taloro";
- ✓ Un futuro ampliamento della sezione a 150 kV della SE RTN a 220 kV "Ottana";
- ✓ Un nuovo collegamento a 150 kV tra le stazioni suddette.

Si fa presente che il progetto per la realizzazione della futura Stazione Elettrica di Ottana2 ("SE Ottana2"), dato dall'ampliamento della Stazione Elettrica a 220 kV esistente "SE Ottana" con una nuova sezione a 150 kV, è in carico ad un altro produttore e non fa parte del presente progetto.

Si segnala altresì che il presente documento fa parte del Piano Tecnico delle Opere della sola futura Stazione Elettrica di smistamento di Nuoro.

A seguito della soluzione di connessione sopra descritta, la scrivente EDPR ha ottenuto di potersi allacciare, con il Parco Eolico, alla futura "SSE Nuoro" al fine di limitare le reti da realizzare e liberando lo stallo nella Cabina Primaria di Nuoro.


	<p style="text-align: center;">OPERE DI RETE PROPEDEUTICHE AL COLLEGAMENTO ALLA RTN DI UN IMPIANTO DI GENERAZIONE DA FONTE EOLICA DA 78 MW</p> <p style="text-align: center;">Intervento 2</p> <p style="text-align: center;">Piano Tecnico delle Opere - Relazione valutazione previsionale campi elettromagnetici</p>	<p style="text-align: center;">Marzo 2022</p>
---	---	---

3. RIFERIMENTI NORMATIVI E DEFINIZIONI

3.1. NORME TECNICHE DI RIFERIMENTO

Le caratteristiche delle realizzazioni in genere, degli impianti, dei loro componenti, dovranno rispondere alle norme tecniche, a quelle di legge ed ai regolamenti vigenti ed in particolare dovranno essere conformi a:

- ✓ Vincoli ambientali specifici del territorio in cui verranno inseriti;
- ✓ Prescrizioni delle Autorità Locali di controllo ASL e di vigilanza INAIL (ARPAS) e VV. F;
- ✓ Quanto previsto in materia di compatibilità elettromagnetica;
- ✓ D.Lgs. n.81 del 09 aprile 2008 e sue modifiche: "Testo unico sulla salute e sicurezza sul lavoro";
- ✓ Legge 1° marzo 1968, n. 186 "disposizioni concernenti la produzione di materiali, apparecchiature, macchinari, installazioni e impianti elettrici, ed elettronici";
- ✓ D.M. n. 37 del 22 gennaio 2008 "installazione degli impianti";
- ✓ Modalità per la Dichiarazione di conformità di tutti gli impianti;
- ✓ Delibere AEEG in materia di energia elettrica prodotta da impianti di generazione rinnovabile e non.
- ✓ Marcatura CE o dichiarazione CE ove richiesta;
- ✓ Prescrizioni delle Autorità Locali di controllo ASL e di vigilanza INAIL (ARPAS) e VV. F;
- ✓ Legge 1° marzo 1968, n. 186 "disposizioni concernenti la produzione di materiali, apparecchiature, macchinari, installazioni e impianti elettrici, ed elettronici";
- ✓ Linee guida ICNIRP 2010 (International Commission on Non Ionizing Radiation Protection): Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz);
- ✓ Direttiva 2013/35/UE - Disposizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici) (ventesima direttiva particolare ai sensi dell'articolo 16, paragrafo 1, della direttiva 89/391/CEE) e che abroga la direttiva 2004/40/CE.
- ✓ Guida non vincolante di buone prassi per l'attuazione della direttiva 2013/35/UE relativa ai campi elettromagnetici - Volume 1: Guida pratica
- ✓ Guida non vincolante di buone prassi per l'attuazione della direttiva 2013/35/UE relativa ai campi elettromagnetici - Volume 2: Studi di casi
- ✓ Guida non vincolante di buone prassi per l'attuazione della direttiva 2013/35/UE relativa ai campi elettromagnetici - Guida per le PMI
- ✓ DLgs 159/2016 pubblicato nella GU 192 del 18/08/2016, entrato in vigore il 02/09/2016: recepisce la Direttiva UE 2013/35/UE


	<p>OPERE DI RETE PROPEDEUTICHE AL COLLEGAMENTO ALLA RTN DI UN IMPIANTO DI GENERAZIONE DA FONTE EOLICA DA 78 MW</p> <p>Intervento 2</p> <p>Piano Tecnico delle Opere - Relazione valutazione previsionale campi elettromagnetici</p>	<p>Marzo 2022</p>
---	---	-------------------

- ✓ DPCM 8 luglio 2003: 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- G. U. n. 200 del 29 agosto 2003.
- ✓ Decreto 29 maggio 2008. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare. Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti. (Supplemento ordinario n.160 alla G.U. 5 luglio 2008 n. 156).
- ✓ Documento Enel - Linee Guida per l'applicazione del par. 5.1.3 dell'Allegato al DM 29.05.2008
- ✓ D.Lgs. 81/08 (modifiche) Recepimento del DLgs 159/2019: con la sostituzione all'Allegato XXXVI degli articoli: 206, 207, 209, 210, 211, 212, 219, inserimento dell'art. 210 bis.
- ✓ Legge n. 36, del 22 febbraio 2001: Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici. G. U. n. 55 del 7 marzo 2001

Norme CEI, CEI-EN, in caso di mancanza di riferimenti nazionali e/o europei, quelle IEC (International Electrotechnical Commission), UN.EL.-U.N.I./I.S.O.- CEE.

Di seguito vengono elencate a titolo indicativo non esaustivo le principali.

CLASSIFICAZIONE CENELEC IEC O ISO	CLASSIFICAZIONE CEI O UNI	TITOLO DELLA NORMA, SPECIFICA O GUIDA
CEI EN 62226-1	CEI 106-10	<i>Esposizione ai campi elettrico e magnetico nell'intervallo delle frequenze basse e intermedie - Metodi di calcolo della densità di corrente e del campo elettrico interno indotti nel corpo umano Parte 1: Aspetti generali</i>
NC	CEI 106-11	<i>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</i>
NC	CEI 106-12	<i>Guida pratica ai metodi e criteri di riduzione dei campi magnetici prodotti dalle cabine elettriche MT/BT</i>
CEI EN 50413	CEI 106-20	<i>Norma di base sulle procedure di misura e di calcolo per l'esposizione umana ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici (0 Hz-300 GHz).</i>
CEI EN 50499	CEI 106-23	<i>Procedura di valutazione dell'esposizione dei lavoratori ai campi elettromagnetici</i>
CEI EN 62110	CEI 106-27	<i>Livelli di campo elettrico e magnetico generati da sistemi di potenza in c.a. - Procedure di misura con riferimento all'esposizione umana</i>

	<p>OPERE DI RETE PROPEDEUTICHE AL COLLEGAMENTO ALLA RTN DI UN IMPIANTO DI GENERAZIONE DA FONTE EOLICA DA 78 MW</p> <p>Intervento 2</p> <p>Piano Tecnico delle Opere - Relazione valutazione previsionale campi elettromagnetici</p>	<p>Marzo 2022</p>
---	---	-------------------

CEI EN 50527-2-1	CEI 106-30	<i>Procedura per la valutazione dell'esposizione ai campi elettromagnetici dei lavoratori con dispositivi medici impiantabili attivi Parte 2-1: Valutazione specifica per lavoratori con stimolatore cardiaco (pacemaker)</i>
NC	CEI 211- 4	<i>Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee elettriche</i>
NC	CEI 211- 6	<i>Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettrici e magnetici nell'intervallo di frequenza 0 Hz 10 kHz, con riferimento all'esposizione umana</i>
CEI EN 61000-6-2	CEI 210-54	<i>Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 6-2: Norme generiche - Immunità per gli ambienti industriali</i>
CEI EN 61000-6-4	CEI 210-66	<i>Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 6-4: Norme generiche - Emissione per gli ambienti industriali</i>

Tabella 1 - Norme di riferimento per i campi elettromagnetici


3.2. DEFINIZIONI

Per specificare i valori limite di esposizione relativi ai campi elettromagnetici, a seconda della frequenza, sono utilizzate le seguenti grandezze fisiche:

- ✓ **Campi elettromagnetici:** campi elettrici statici e campi magnetici statici e campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici variabili nel tempo con frequenze sino a 300 GHz;
- ✓ **Effetti biofisici diretti**, effetti provocati direttamente nel corpo umano a causa della sua presenza all'interno di un campo elettromagnetico, che comprendono:
 - **effetti termici**, quali il riscaldamento dei tessuti a causa dell'assorbimento di energia dai campi elettromagnetici nei tessuti medesimi;
 - **effetti non termici**, quali la stimolazione di muscoli, nervi ed organi sensoriali.

Questi effetti possono essere di detrimento per la salute mentale e fisica dei lavoratori esposti. La stimolazione degli organi sensoriali può inoltre comportare sintomi transitori quali vertigini e fosfeni. Inoltre, tali effetti possono generare disturbi temporanei o influenzare le capacità cognitive o altre funzioni cerebrali o muscolari e possono, pertanto, influire negativamente sulla capacità di un lavoratore di operare in modo sicuro;

- ✓ Correnti negli arti.
- ✓ **effetti indiretti**, effetti provocati dalla presenza di un oggetto in un campo elettromagnetico, che potrebbe essere causa di un pericolo per la salute e sicurezza, quali:
 - **interferenza** con attrezzature e dispositivi medici elettronici, compresi stimolatori cardiaci e altri impianti o dispositivi medici portati sul corpo;

	<p style="text-align: center;">OPERE DI RETE PROPEDEUTICHE AL COLLEGAMENTO ALLA RTN DI UN IMPIANTO DI GENERAZIONE DA FONTE EOLICA DA 78 MW</p> <p style="text-align: center;">Intervento 2</p> <p style="text-align: center;">Piano Tecnico delle Opere - Relazione valutazione previsionale campi elettromagnetici</p>	<p style="text-align: center;">Marzo 2022</p>
---	---	---

- **rischio propulsivo** di oggetti ferromagnetici all'interno di campi magnetici;
- **innesco di dispositivi elettro-esplosivi** (detonatori);
- **incendi ed esplosioni** dovuti all'accensione di materiali infiammabili a causa di scintille prodotte da campi indotti, correnti di contatto o scariche elettriche;
- **correnti di contatto.**

Valori limite di esposizione (VLE), valori stabiliti sulla base di considerazioni biofisiche e biologiche, in particolare gli effetti diretti acuti e a breve termine scientificamente accertati, ossia gli effetti termici e la stimolazione elettrica dei tessuti;

VLE relativi agli effetti sanitari, VLE al di sopra dei quali i lavoratori potrebbero essere soggetti a effetti nocivi per la salute, quali il riscaldamento termico o la stimolazione del tessuto nervoso o muscolare;

VLE relativi agli effetti sensoriali, VLE al di sopra dei quali i lavoratori potrebbero essere soggetti a disturbi transitori delle percezioni sensoriali e a modifiche minori delle funzioni cerebrali;

Valori di azione (VA), livelli operativi stabiliti per semplificare il processo di dimostrazione della conformità ai pertinenti VLE e, ove appropriato, per prendere le opportune misure di protezione o prevenzione specificate nel presente capo.


Con riferimento al Dlgs 81/08 aggiornato, nell'allegato XXXVI, parte II:

- ✓ **per i campi elettrici, per VA inferiori e VA superiori** s'intendono i livelli connessi alle misure specifiche misure di protezione o prevenzione stabilite nel presente capo;
- ✓ **per i campi magnetici, per VA inferiori** s'intendono i valori connessi ai VLE relativi agli effetti sensoriali e per **VA superiori** i valori connessi ai VLE relativi agli effetti sanitari.

Valori Limite di Esposizione e Valori di Azione

Le seguenti grandezze fisiche sono utilizzate per descrivere l'esposizione ai campi elettromagnetici:

- ✓ **Intensità di campo elettrico E** è una quantità vettoriale che corrisponde alla forza esercitata su una particella carica indipendentemente dal suo movimento nello spazio. È espressa in Volt a metro (V/m).
- ✓ **Corrente di contatto I_c** è la corrente di contatto tra una persona e un oggetto è espressa in Ampere (A). Un conduttore che si trovi in un campo elettrico può essere caricato dal campo.
- ✓ **La corrente attraverso gli arti I_L** è la corrente che attraversa gli arti di una persona esposta a campi elettromagnetici nella gamma di frequenza compresa tra 10MHz e 110 MHz a seguito del contatto con un oggetto in un campo elettromagnetico o del flusso di correnti capacitive indotte nel corpo esposto. È espressa in ampere (A).
- ✓ **Intensità di campo magnetico H** è una grandezza vettoriale che, assieme all'induzione magnetica, specifica un campo magnetico in qualunque punto dello spazio. È espressa in Ampere a metro [A/m].

	<p style="text-align: center;">OPERE DI RETE PROPEDEUTICHE AL COLLEGAMENTO ALLA RTN DI UN IMPIANTO DI GENERAZIONE DA FONTE EOLICA DA 78 MW</p> <p style="text-align: center;">Intervento 2</p> <p style="text-align: center;">Piano Tecnico delle Opere - Relazione valutazione previsionale campi elettromagnetici</p>	<p style="text-align: center;">Marzo 2022</p>
---	---	---

- ✓ **Induzione magnetica B** è una grandezza vettoriale che determina una forza agente sulle cariche in movimento. È espressa in **Tesla [T]**. Nello spazio libero e nei materiali biologici l'induzione magnetica e l'intensità del campo magnetico sono legate dall'equazione $1 \text{ A/m} = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T}$.
- ✓ **Densità di potenza S**. Questa grandezza si impiega nel caso delle frequenze molto alte per le quali la profondità di penetrazione nel corpo è modesta. Si tratta della potenza radiante incidente perpendicolarmente a una superficie, divisa per l'area della superficie in questione ed è espressa in Watt per metro quadro è $[\text{W/m}^2]$.
- ✓ **Assorbimento specifico di energia SA**. È l'energia assorbita per unità di massa di tessuto biologico e si esprime in Joule per chilogrammo (J/kg) . Nel presente decreto esso si impiega per limitare gli effetti non termici derivanti da esposizioni a microonde pulsate.
- ✓ **Tasso di assorbimento specifico di energia SAR**. Si tratta del valore mediato su tutto il corpo o su alcune parti di esso, del tasso di assorbimento di energia per unità di massa di tessuto corporeo ed è espresso in Watt a chilogrammo $[\text{W/kg}]$.
- ✓ **Il SAR¹ a corpo intero** è una misura ampiamente accettata per porre in rapporto gli effetti termici nocivi dell'esposizione a radiofrequenze (RF). Oltre al valore del SAR mediato su tutto il corpo, sono necessari anche valori locali del SAR per valutare e limitare la deposizione eccessiva di energia in parti piccole del corpo conseguenti a particolari condizioni di esposizione, quali ad esempio il caso di un individuo in contatto con la terra, esposto a RF dell'ordine di pochi MHz e di individui esposti nel campo vicino di un'antenna.

Tra le grandezze sopra citate, sono direttamente misurabili: l'induzione magnetica **B**, la corrente di contatto **I_c**, la corrente attraverso gli arti **I_L** le intensità di campo elettrico **E** e magnetico **H** e la densità di potenza **S**.

Effetti non termici


Valori Limite di Esposizione VLE

Il VLE relativo agli effetti sensoriali è il quello applicabile in condizioni di lavoro normali (tabella A1) ed è correlato alla prevenzione di nausea e vertigini dovute a disturbi sull'organo dell'equilibrio, e di altri effetti fisiologici, conseguenti principalmente al movimento del soggetto esposto all'interno di un campo magnetico statico.

Il VLE relativo agli effetti sanitari in condizioni di lavoro controllate (tabella A1) è applicabile su base temporanea durante il turno di lavoro, ove giustificato dalla prassi o dal processo, purché siano state adottate misure di prevenzione di cui all'art.208 c.4 del decreto. I VLE per frequenze inferiori a 1Hz (tabella A1) sono limiti per il campo magnetico statico, la cui misurazione non è influenzata dalla presenza del soggetto esposto.

Limiti di riferimento DPCM 8 luglio 2003

¹ Questa definizione è inserita per completezza generale, ma non è applicabile ai campi a bassa frequenza.

	<p style="text-align: center;">OPERE DI RETE PROPEDEUTICHE AL COLLEGAMENTO ALLA RTN DI UN IMPIANTO DI GENERAZIONE DA FONTE EOLICA DA 78 MW</p> <p style="text-align: center;">Intervento 2</p> <p style="text-align: center;">Piano Tecnico delle Opere - Relazione valutazione previsionale campi elettromagnetici</p>	<p style="text-align: center;">Marzo 2022</p>
---	---	---

Ove i VLE non vengano superati, non è necessario verificare l'assorbimento tramite il controllo tasso di assorbimento specifico SAR, in tali casi vale ancora la direttiva quadro 89/391/CEE, in questo caso rimangono validi i riferimenti legislativi facenti capo alla direttiva quadro.

Il DPCM dell'8 luglio 2003 stabilisce diversi criteri di valutazione dei campi elettromagnetici in prossimità di linee elettriche ad alta tensione e fissa i limiti di esposizione nei confronti dei campi elettrici e magnetici generati dagli elettrodotti eserciti alla frequenza di 50 Hz. In particolare, viene fissato il valore di attenzione di 10 μ T (microtesla) ovvero il valore di induzione magnetica che non deve essere superato nei luoghi definiti "a permanenza prolungata di persone". Questo valore è da intendersi con riferimento alla mediana nelle 24 ore.

Per una migliore composizione di quanto sintetizzato è importante distinguere il significato dei seguenti termini:

- ✓ La determinazione dei livelli di campo, elettrico e magnetico (CEM), in un luogo è elemento chiave per stabilire se il rischio esiste o no. Per dimostrazione le misure strumentali possono dare conferma di questo.
- ✓ L'intensità del CEM dipende dalla distanza dalla sorgente e di norma diminuisce rapidamente allontanandosi da quest'ultima. Per questo spesso, per assicurare la sicurezza delle persone, si utilizzano recinzioni, barriere o altre misure protettive che impediscano l'accesso non autorizzato ad aree dove i limiti di esposizione possono essere superati.
- ✓ In genere i limiti di esposizione sono diversi per il personale generico, in transito o presente occasionalmente e per i lavoratori specifici del settore elettrico.


Nella tabella e nei paragrafi seguenti sono indicate alcune definizioni fondamentali che tengono in conto queste considerazioni.

Limiti di esposizione	<i>Valori di CEM che non devono essere superati in alcuna condizione di esposizione, ai fini della tutela dagli effetti acuti.</i>
Valori di attenzione	<i>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 a lungo termine.</i>
Obiettivi di qualità	<i>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 a lungo termine.</i>

Tabella 2 - Limiti di riferimento DPCM 8 luglio 2003

I limiti di esposizione, i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità non si applicano ai lavoratori esposti per ragioni professionali.

In generale l'impatto magnetico dovuto alle linee elettriche percorse da corrente è determinato dai seguenti fattori:

	<p style="text-align: center;">OPERE DI RETE PROPEDEUTICHE AL COLLEGAMENTO ALLA RTN DI UN IMPIANTO DI GENERAZIONE DA FONTE EOLICA DA 78 MW</p> <p style="text-align: center;">Intervento 2</p> <p style="text-align: center;">Piano Tecnico delle Opere - Relazione valutazione previsionale campi elettromagnetici</p>	<p style="text-align: center;">Marzo 2022</p>
---	---	---

- ✓ La corrente circolante nei conduttori;
- ✓ La disposizione delle fasi;

Le distanze per il rispetto dei limiti sono determinate singolarmente. Il DPCM 8 Luglio 2003 e gli altri riferimenti legislativi, fissano i limiti seguenti di esposizione nei confronti dei campi elettrici e magnetici generati dagli elettrodotti eserciti alla frequenza di 50 Hz.

3.2.1. Campi elettrici.

- ✓ Limiti di esposizione per i campi elettrici di **5 kV/m** da non superare mai in alcuna condizione di presenza della popolazione civile.

3.2.2. Campi magnetici.


- ✓ **100 μ T** limite di esposizione per i campi magnetici da non superare mai in alcuna condizione di contiguità con la popolazione;
- ✓ **10 μ T** è il valore di attenzione, che si assume per l'induzione magnetica a titolo di misura di cautela per la protezione da possibili effetti a lungo termine, eventualmente connessi con l'esposizione ai campi magnetici generati alla frequenza di rete (50 Hz), nelle aree gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio (Rif. D. p. c. m. 3 Luglio 2003).
- ✓ **3 μ T** limiti di esposizione per i campi magnetici nelle aree con permanenze di persone di almeno 4 ore giornaliere (valore di attenzione) per i nuovi elettrodotti (obiettivo di qualità).

3.2.3. Fascia di Rispetto

E' lo spazio circostante un generico elettrodotto, che comprende tutti i punti al di sopra e al di sotto del suolo, caratterizzati da un valore di induzione magnetica maggiore o uguale all'obiettivo di qualità (3 μ T).

3.2.4. Distanza di prima approssimazione (DPA)

E' la distanza in pianta, al livello del suolo, della proiezione, a partire dal centro della linea, della regione in cui l'induzione magnetica raggiunge il valore di 3 μ T; tale zona può essere vista in sezione come una ellisse o un cerchio a seconda della disposizione geometrica dei conduttori.

	<p style="text-align: center;">OPERE DI RETE PROPEDEUTICHE AL COLLEGAMENTO ALLA RTN DI UN IMPIANTO DI GENERAZIONE DA FONTE EOLICA DA 78 MW</p> <p style="text-align: center;">Intervento 2</p> <p style="text-align: center;">Piano Tecnico delle Opere - Relazione valutazione previsionale campi elettromagnetici</p>	<p style="text-align: center;">Marzo 2022</p>
---	---	---

4. VALUTAZIONE DELLE FASCE DI RISPETTO

Per le fasce di rispetto, sono utilizzati i seguenti dati:

- ✓ Portata di corrente in servizio normale;
- ✓ Numero e tipologia dei conduttori (diametro e materiali), geometria della disposizione;
- ✓ Condizioni di fase relative alle correnti nei conduttori;
- ✓ Profondità/altezza dei conduttori rispetto al suolo.

Il modello di calcolo regolato dalla norma CEI 106-11 è quello previsto dalla legge di Biot-Savart, la quale calcola il valore dell'induzione magnetica su un piano trasversale alla linea (aerea o interrata), quindi su due sole dimensioni.


Questo considera la stima dell'induzione magnetica di ciascun conduttore percorso da corrente e l'applicazione successiva della sovrapposizione degli effetti per determinare l'induzione magnetica totale. Le ipotesi di calcolo, prevedono che i conduttori siano considerati rettilinei, orizzontali, indefinitamente lunghi e paralleli fra loro; che le correnti siano considerate concentrate negli assi centrali dei conduttori.

Non sono prese in considerazione le correnti indotte negli schermi (linee in cavo interrato), e viene assunto che il suolo sia perfettamente trasparente dal punto di vista magnetico. Per le varie tipologie di elettrodotto possono essere utilizzate le formule approssimate indicate nella Norma CEI 103-11, assieme alle formule da utilizzare per la valutazione del CEM.

Nello specifico, riferendoci alla conoscenza della induzione magnetica, una volta ottenute le componenti sul piano B_x e B_y (il modello è bidimensionale, componente B_z nulla), si applica la seguente formula per determinare l'induzione magnetica complessiva:

$$B = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2} \text{ } [\mu\text{T}]; (1)$$

Per i calcoli della parte Produttore, non riconducibili in generale a soluzioni standard (come quelle del gestore) si è utilizzato un software specialistico BECALC, in grado di applicare rapidamente le formule e visualizzarne graficamente il risultato.


	<p>OPERE DI RETE PROPEDEUTICHE AL COLLEGAMENTO ALLA RTN DI UN IMPIANTO DI GENERAZIONE DA FONTE EOLICA DA 78 MW</p> <p>Intervento 2</p> <p>Piano Tecnico delle Opere - Relazione valutazione previsionale campi elettromagnetici</p>	<p>Marzo 2022</p>
---	--	-------------------

5. LINEE AEREE AT

In generale occorre tenere in considerazione anche la presenza di linee aeree, la parte in ingresso in stazione è stata rappresentata come DPA, ma nel presente documento, non ci sono calcoli per la parte linee, poiché tali valutazioni sono state già fatte nel documento dedicato agli elettrodotti.

6. LINEE INTERRATE AT

In generale occorre tenere in considerazione anche l'arrivo di linee interrate AT, la parte in ingresso in stazione è stata rappresentata come DPA, ma nel presente documento, non ci sono calcoli per la parte linee, poiché tali valutazioni sono state già fatte nel documento dedicato agli elettrodotti.

	<p>OPERE DI RETE PROPEDEUTICHE AL COLLEGAMENTO ALLA RTN DI UN IMPIANTO DI GENERAZIONE DA FONTE EOLICA DA 78 MW</p> <p>Intervento 2</p> <p>Piano Tecnico delle Opere - Relazione valutazione previsionale campi elettromagnetici</p>	<p>Marzo 2022</p>
---	---	-------------------

7. LINEE INTERRATE MT

Per i servizi ausiliari di stazione sono previste due linee dedicate MT indipendenti, il cavo interrato in arrivo dall'esterno è del tipo ad elica visibile, queste due linee alimentano ciascuna un trasformatore da 250 kVA.

Per il calcolo della DPA di queste linee queste linee può essere applicata la Linea Guida per l'applicazione del § 5.1.3 dell'Allegato al DM 29.05.08.

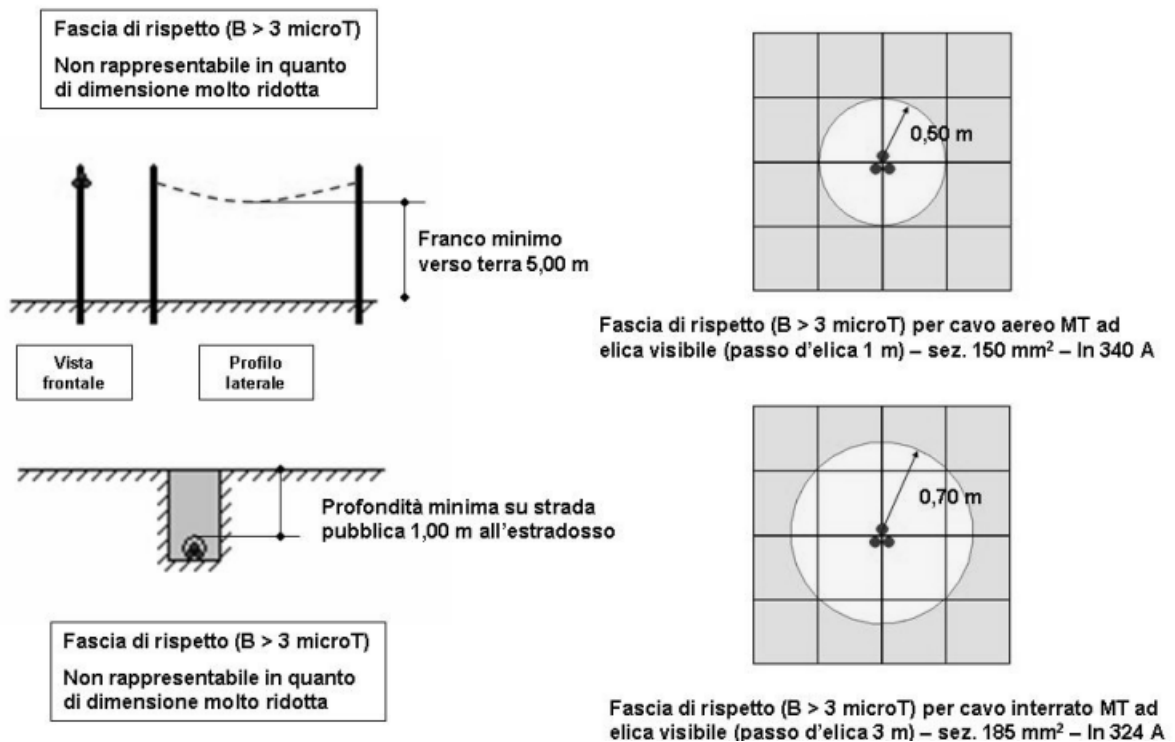



Figura 1- Da Linea Guida per l'applicazione del § 5.1.3 dell'Allegato al DM 29.05.08 - Enel

Esaminando il riferimento si può osservare che, per il cavo interrato ad almeno 1 all'estradosso, con la corrente MT corrispondente al trafo di cui sopra, **la DPA è nettamente inferiore a 0,70 m**, che è calcolata per una $I_n = 324$ A, mentre al trasformatore da 250 kVA corrispondono 9,62 A.

	<p style="text-align: center;">OPERE DI RETE PROPEDEUTICHE AL COLLEGAMENTO ALLA RTN DI UN IMPIANTO DI GENERAZIONE DA FONTE EOLICA DA 78 MW</p> <p style="text-align: center;">Intervento 2</p> <p style="text-align: center;">Piano Tecnico delle Opere - Relazione valutazione previsionale campi elettromagnetici</p>	<p style="text-align: center;">Marzo 2022</p>
---	---	---

8. LOCALI TRASFORMATORI MT/BT

La valutazione deve essere eseguita nel rispetto delle norme legislative e tecniche; nello specifico il DM 29/05/08 individua un metodo approssimato di calcolo attraverso la determinazione della distanza di prima approssimazione D_{PA} secondo la seguente formula:

$$D_{PA} = 0,40942 \cdot \sqrt{I} \cdot x^{0,5241} \text{ [m]; (8)}$$

Dove:

- ✓ I è la corrente nominale secondaria del trasformatore;
- ✓ x è il diametro dei cavi in uscita dal trasformatore.


La formula è stata ricavata considerando un sistema trifase, percorso da una corrente pari a quella nominale del trasformatore, e con distanza tra le fasi pari al diametro dei cavi in uscita dal trasformatore stesso. Tale procedimento può essere applicato a cabine box con trasformatori con potenza apparente di 250 - 400 - 630 kVA.

Nella tabella seguente sono riportate le distanze di prima approssimazione per le taglie, sopra elencate, dei trasformatori MT/BT, nel caso si abbia un diametro del conduttore di circa 0,04 m.

Potenza trasformatore [kVA]	Corrente al secondario [A]	D.P.A. [m]	
		Esatta	Approssimata
250	361	1,43	1,50
400	723	2,03	2,00
630	909	2,28	2,50

Tabella 3- Distanze di Prima Approssimazione per Trasformatori con tensione secondaria 400 V

Per il locale trasformatore MT/BT da 250 kVA la DPA è da considerarsi pari a 1,5 m.

	<p style="text-align: center;">OPERE DI RETE PROPEDEUTICHE AL COLLEGAMENTO ALLA RTN DI UN IMPIANTO DI GENERAZIONE DA FONTE EOLICA DA 78 MW</p> <p style="text-align: center;">Intervento 2</p> <p style="text-align: center;">Piano Tecnico delle Opere - Relazione valutazione previsionale campi elettromagnetici</p>	<p style="text-align: center;">Marzo 2022</p>
---	---	---

9. CALCOLO DELLE FASCE DI RISPETTO NELL'AREA AT DI STAZIONE

Per il calcolo accurato delle fasce di rispetto, vengono utilizzati i seguenti dati:

- ✓ Portata di corrente in servizio normale;
- ✓ Numero e tipologia dei conduttori (diametro e materiali), geometria della disposizione;
- ✓ Condizioni di fase relative alle correnti nei conduttori;
- ✓ Profondità/altezza dei conduttori rispetto al suolo.

Il modello di calcolo regolato dalla norma CEI 106-11 è quello previsto dalla legge di Biot-Savart, la quale calcola il valore dell'induzione magnetica su un piano trasversale alla linea (aerea o interrata), quindi su due sole dimensioni. Questo considera la stima dell'induzione magnetica di ciascun conduttore percorso da corrente e l'applicazione successiva della sovrapposizione degli effetti per determinare l'induzione magnetica totale. Le ipotesi di calcolo, prevedono che i conduttori siano considerati rettilinei, orizzontali, indefinitamente lunghi e paralleli fra loro; che le correnti siano considerate concentrate negli assi centrali dei conduttori. Non sono prese in considerazione le correnti indotte negli schermi (linee in cavo interrato), e viene assunto che il suolo sia perfettamente trasparente dal punto di vista magnetico.

Le varie tipologie di elettrodotto sono riportate nel seguito, assieme alle formule da utilizzare per la valutazione del CEM. Nello specifico, riferendoci alla conoscenza della induzione magnetica, una volta ottenute le componenti sul piano B_x e B_y (il modello è bidimensionale, componente B_z nulla), si applica la seguente formula per determinare l'induzione magnetica complessiva:

$$B = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2} \quad [\mu T]; (1)$$

Per i calcoli si è utilizzato un software specialistico BECALC in grado di applicare rapidamente le formule e di visualizzarne graficamente il risultato.


9.1. LINEE CON CAVI UNIPOLARI POSATI A TRIFOGLIO.

La formula da applicare è la seguente:

$$B = \frac{PI}{R^2} \cdot 0,1 \cdot \sqrt{6} \quad [\mu T]; (2)$$

dove P [m] è la distanza fra i conduttori adiacenti (in caso di distanze differenti, P diventa la media delle distanze fra i conduttori esterni e quello centrale), I [A] è la corrente, simmetrica ed equilibrata, che attraversa i conduttori, R [m] è la distanza dal baricentro dei conduttori alla quale calcolare l'induzione magnetica B (la formula è valida per $R \gg P$). E' anche possibile calcolare la distanza R' dal baricentro dei conduttori, alla quale l'induzione magnetica si riduce all'interno del valore obiettivo di qualità di 3 μT :

$$R' = 0,34 \cdot \sqrt{PI} \quad [m]; (3)$$

	<p style="text-align: center;">OPERE DI RETE PROPEDEUTICHE AL COLLEGAMENTO ALLA RTN DI UN IMPIANTO DI GENERAZIONE DA FONTE EOLICA DA 78 MW</p> <p style="text-align: center;">Intervento 2</p> <p style="text-align: center;">Piano Tecnico delle Opere - Relazione valutazione previsionale campi elettromagnetici</p>	<p style="text-align: center;">Marzo 2022</p>
---	---	---

Invece della distanza dal baricentro può essere significativo conoscere la spazio dall'asse della linea a livello del suolo ($h=0$) R_0 , oltre il quale l'induzione magnetica si riduce all'interno del valore obiettivo di qualità di $3 \mu\text{T}$:

$$R_0 = \sqrt{0,115 \cdot P \cdot I - d^2} \quad [\text{m}]; \quad (4)$$

(la formula è generale e con d si è indicata la profondità di posa).

9.2. LINEA CON CAVI UNIPOLARI POSATI IN PIANO.

La formula da applicare può essere la stessa utilizzata per le linee è la seguente:

$$B = \frac{PI}{R^2} \cdot 0,2 \cdot \sqrt{3} \quad [\mu\text{T}]; \quad (5)$$


dove P [m] è la distanza fra i conduttori (in caso di distanze differenti, P diventa la media delle distanze fra i tre conduttori), I [A] è la corrente, simmetrica ed equilibrata, che attraversa i conduttori, R [m] è la distanza dal baricentro dei conduttori alla quale calcolare l'induzione magnetica B (la formula è valida per $R \gg P$). Rovesciando la logica, è anche possibile calcolare la distanza R' dal baricentro dei conduttori, alla quale l'induzione magnetica si riduce al valore dell'obiettivo di qualità di $3 \mu\text{T}$:

$$R' = 0,286 \sqrt{P \cdot I} \quad [\text{m}]; \quad (6)$$

R_0 la distanza dall'asse della linea a livello del suolo $h = 0$, oltre la quale l'induzione magnetica si mantiene entro il valore dei $3 \mu\text{T}$, previsto come obiettivo di qualità (d è la profondità di posa):

$$R_0 = \sqrt{0,082 \cdot P \cdot I - d^2} \quad [\text{m}]; \quad (7)$$

I calcoli confermano la validità delle formule approssimate, che causano un errore minimo rispetto al metodo accurato dettato dalla norma CEI 106-11.

	<p style="text-align: center;">OPERE DI RETE PROPEDEUTICHE AL COLLEGAMENTO ALLA RTN DI UN IMPIANTO DI GENERAZIONE DA FONTE EOLICA DA 78 MW</p> <p style="text-align: center;">Intervento 2</p> <p style="text-align: center;">Piano Tecnico delle Opere - Relazione valutazione previsionale campi elettromagnetici</p>	<p style="text-align: center;">Marzo 2022</p>
---	---	---

10. VALUTAZIONI DEI CAMPI ALL'INTERNO DELLA STAZIONE

Per le aree di stazione, a livello generale, si può far riferimento al documento: *Linee Guida per l'applicazione del par. 5.1.3 dell'Allegato al DM 29.05.2008*.

In questo documento, per la parte sbarre a 150 kV (rif scheda n. 16), la fascia di rispetto 3 μ T, è larga 14 m, misurati trasversalmente all'asse sbarre.

Per il cavo AT interrato (rif. Schede n. 14 e 15), le DPA definite per una terna di conduttori posati in piano ed una terna posata a trifoglio, sono rispettivamente 5,10 m e 3,10 m.

Le rappresentazioni d'esempio indicate nella guida citata, sono riferite ad una Cabina Primaria con due stalli trasformatore MT/AT da 63 MVA, pertanto calcolate per una corrente sul livello 150 kV pari a 243 A per macchina.

Nella presente relazione ci si riferisce alle specifiche contenute nel documento Terna *Allegato A.3 Requisiti e caratteristiche di riferimento di stazioni e linee elettriche della RTN*, nel quale si considerano le correnti nominali: 2000 A per le sbarre e 1250 A per gli stalli linea.

Le isolinee calcolate con il SW per l'induzione magnetica B, sono relative a queste correnti, di seguito sono riportati i grafici che definiscono le distanze anzidette con i valori nominali di corrente.

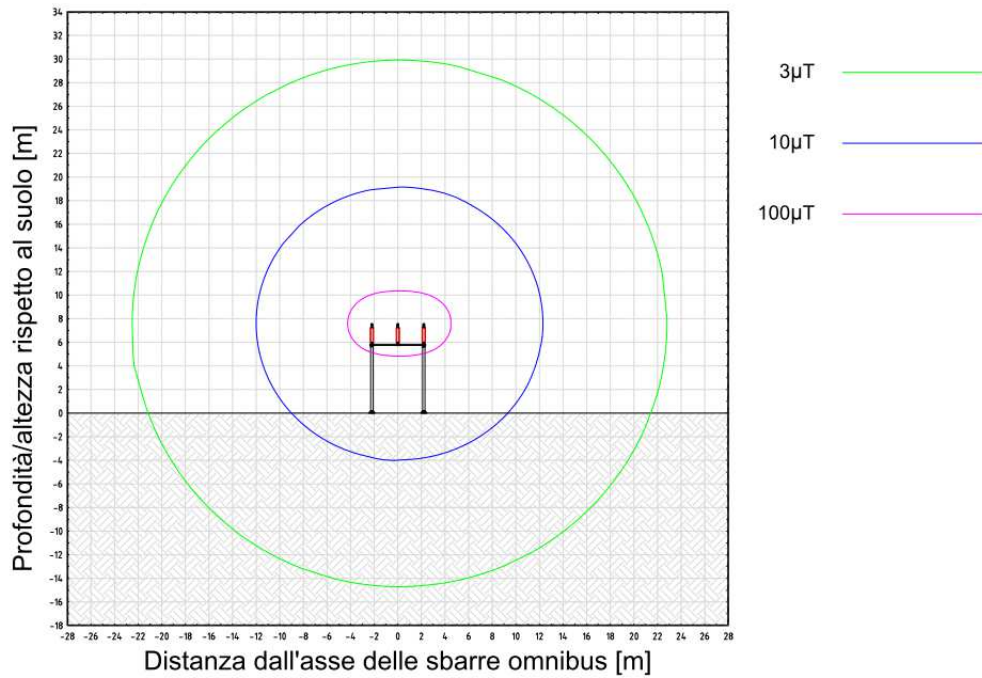
10.1. VALUTAZIONE CEM MEDIANTE SOFTWARE DI CALCOLO

Per un calcolo, sempre cautelativo, ma più vicino alle correnti effettive, è stato utilizzato il SW BECALC.

10.1.1. Sbarre omnibus

Di seguito vengono rappresentati calcoli per la parte in aria (stazioni tipo AIS), in particolare per questa parte oltre le curve a induzione costante, sono stati calcolati i livelli del campo elettrico, infatti in tale zona anche il campo elettrico è significativo, per quanto, come verrà meglio riepilogato nelle conclusioni, tali aree sono accessibili solo a personale specialistico, per il quale, con riferimento ai tempi, valgono le valutazioni dei rischi dedicate.

Isolinee dell'Induzione Magnetica su una Sezione Verticale

*Figura 2 - Sbarre omnibus AT - Isolinee induzione magnetica 3, 10 e 100 μT*

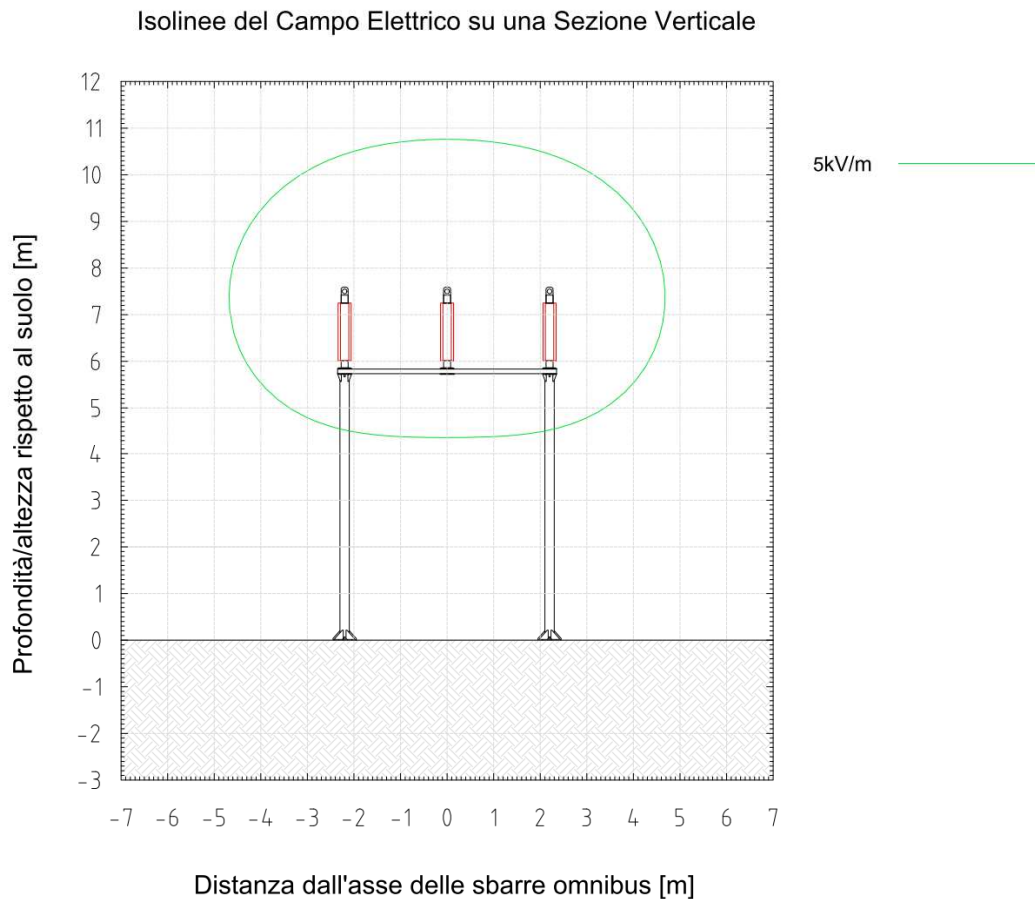


Figura 3 - Sbarre AT in aria - Isolinea campo elettrico 5 kV/m

10.1.2. Stalli linea

Di seguito vengono rappresentati i calcoli per gli stalli di linea, anche per questa parte, per lo stesso motivo di cui alle sbarre, oltre le curve a induzione costante, sono stati calcolati i livelli del campo elettrico.

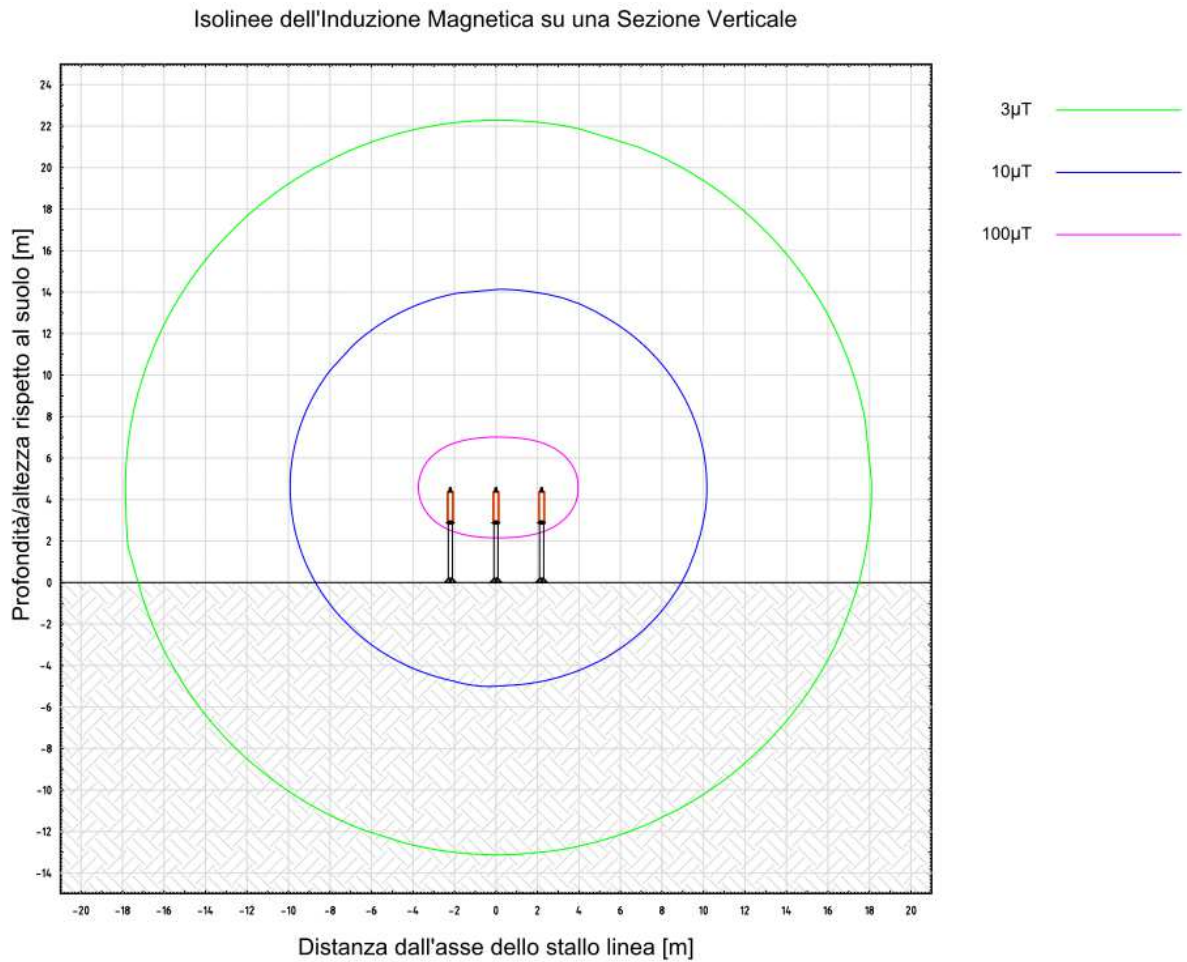


Figura 4 - Stallo linea - Isolinee induzione magnetica 3, 10 e 100 μT

Isolinee del Campo Elettrico su una Sezione Verticale

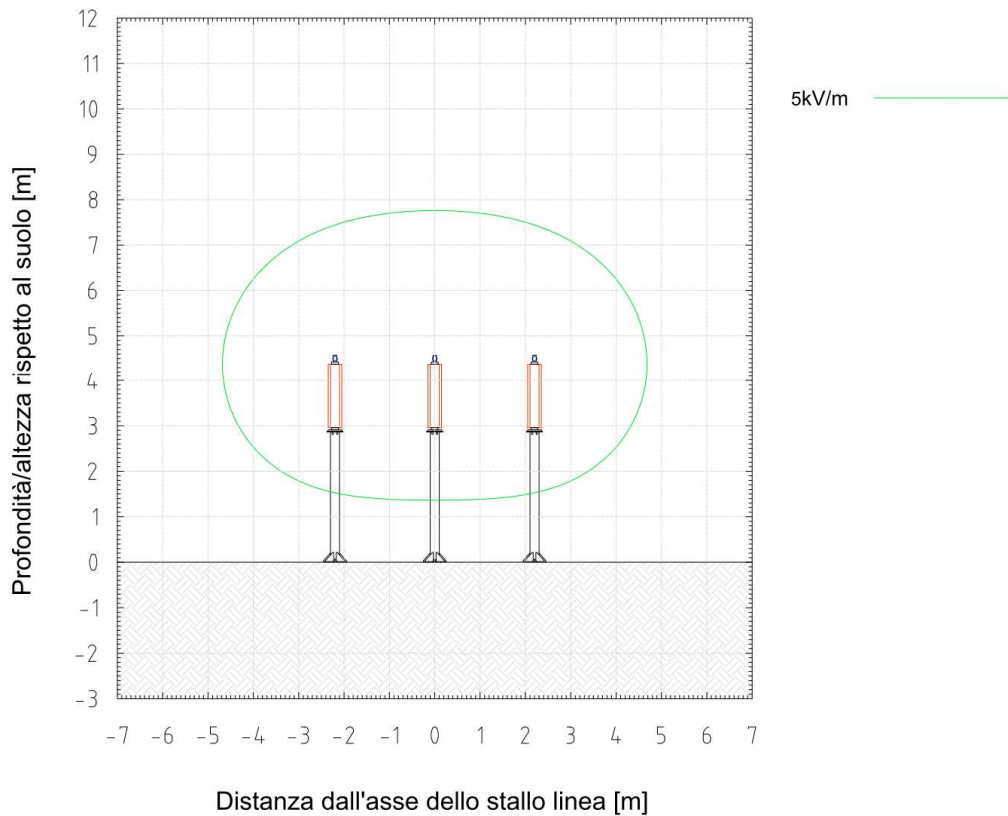


Figura 5 – Stallo linea - Isolinea campo elettrico 5 kV/m

11. RISULTATI DELLO STUDIO PREVISIONALE CAMPI ELETTROMAGNETICI

11.1. CAMPI MAGNETICI

Per quanto evidenziato nei riferimenti, i livelli d'induzione magnetica, corrispondenti ai valori di corrente presunta circolanti negli stalli e nelle sbarre, confermano che i valori sono entro le soglie legislative di riferimento.

Nel documento G807_DEF_T_014, si evidenzia come, anche con le correnti nominali, gli effetti dovuti alla stazione, al di fuori della sua recinzione determinano in generale valori del campo magnetico B inferiori a 10 μ T ed in generale rispettano gli obiettivi di qualità dei 3 μ T.

Sottostante un estratto della tavola di cui sopra, i colori Magenta, Ciano e Verde sono le proiezioni al suolo delle superfici isolinee, ai rispettivi valori di 100, 10 e 3 μ T.

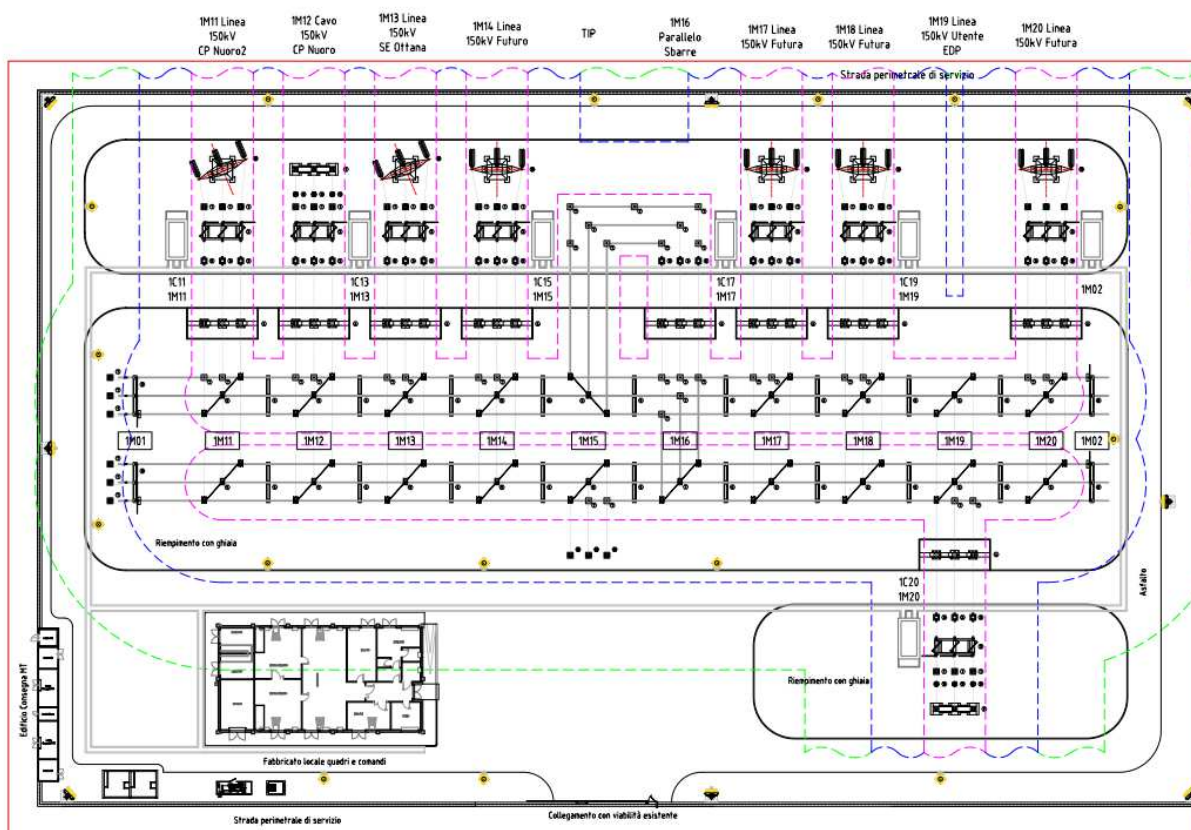



Figura 6 - Planimetria di stazione con le proiezioni dei valori dell'induzione B: 100, 10 e 3 μ T

Si evidenzia che i calcoli sono stati effettuati con riferimento a condizioni cautelative, prendendo per la sezione AT la corrente nominale delle sbarre (2000 A) e degli stalli linea (1250 A), mentre di fatto le correnti effettive sono nettamente inferiori (non superano di media la metà di questi valori).

	<p style="text-align: center;">OPERE DI RETE PROPEDEUTICHE AL COLLEGAMENTO ALLA RTN DI UN IMPIANTO DI GENERAZIONE DA FONTE EOLICA DA 78 MW</p> <p style="text-align: center;">Intervento 2</p> <p style="text-align: center;">Piano Tecnico delle Opere - Relazione valutazione previsionale campi elettromagnetici</p>	<p style="text-align: center;">Marzo 2022</p>
---	---	---

Da questo contesto vengono escluse le fasce delle linee afferenti alla stazione, per le quali le DPA si sviluppano nel percorso delle linee stesse, come evidenziato nei documenti di progetto dedicati agli elettrodotti.

11.2. CAMPI ELETTRICI

Per i campi elettrici, considerati i livelli di tensione, la disposizione dei conduttori e gli schermi delle varie parti presenti nelle zone di impianto, vengono confermati i modelli disponibili sulla letteratura tecnica, i calcoli effettuati e rappresentati al paragrafo 10 evidenziano che non vengono superati i valori limite di 5 kV/m, ancor meno al di fuori della recinzione di stazione.