



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA
PROVINCIA DI NUORO

Comuni di:



Villagrande Strisaili



Tortolì



Girasole

IMPIANTI DI GENERAZIONE ELETTRICA
DA FONTI RINNOVABILI

Codici Rintracciabilità Terna: 201900807 - 201900878 - 201901210

PROGETTO OPERE DI RETE TERNA
PIANO TECNICO DELLE OPERE

TITOLO

*VALUTAZIONE PREVISIONALE
CAMPI ELETTROMAGNETICI
ELETTRODOTTO ARBATAX - FLUMENDOSA II
NUOVA PALIFICAZIONE CON CONDUTTORI 31,5 mm*

COMMITTENTE



Queequeg Renewables, ltd
Unit 3.21, 1110 Great West Road
TW80GP London (UK)
Company number: 111780524



Ecoenergy Project 2 S.r.l.
via Alessandro Manzoni, 30
20121 Milano (MI)

PROGETTAZIONE



tecnoprogetti
engineering & consulting

Ing. Marco Angelo Luigi MURRU
via Pietro Nenni, 11
09042 Monserrato (CA)
Tel +39(0)70-5740021

GRUPPO DI LAVORO

Ing. Marco Angelo Luigi Murru: Coordinamento e progetto Impianti Elettrici

Ing. Mauro Murru: progetto Impianti Elettrici

Geol. Nicola Demurtas: parte Geologica e Idrogeologica

Ing. Valentina Pisu: parte Ambientale

Rev.	Documento	Redatto	Verificato	Approvato	Data
00	2332E 10070	Marco Piras	Mauro Murru	Marco A. L. Murru	Ottobre 2023

PROGETTAZIONE: Tecnoprogetti Engineering & Consulting Ing. Marco Angelo Luigi Murru via Pietro Nenni, 11- 09042 – Monserato (CA)	CLIENTE: QUEEQUEG RENEWABLES, LTD Unit 3.21, 1110 Great West Road - TW80GP London (UK) Ecoenergy Project 2 S.r.l. via Alessandro Manzoni, 30 - 20121 MILANO (MI)	DOCUMENTO: 2332E 10070 Rev. 00 del 02/10/2023
OGGETTO: IMPIANTI DI PRODUZIONE DI ENERGIA DA FONTI RINNOVABILI PROGETTO OPERE DI RETE: NUOVA PALIFICAZIONE CON CONDUTTORI 31,5 MM LINEA FLUMENDOSA- ARBATAX - RELAZIONE CALCOLO PREVISIONALE CAMPI ELETTROMAGNETICI -		Pag. 2 di 16

INDICE

1.	OGGETTO E SCOPO.....	3
2.	RIFERIMENTI NORMATIVI E DEFINIZIONI.....	4
2.1.	NORME TECNICHE DI RIFERIMENTO.....	4
2.2.	NORME LEGISLATIVE E GUIDE.....	5
3.	DEFINIZIONI	6
3.1.	DEFINIZIONI GENERALI DI RIFERIMENTO	6
3.2.	LIMITI DI RIFERIMENTO DPCM 8 LUGLIO 2003.....	7
3.2.1.	Campi elettrici.....	9
3.2.2.	Campi magnetici.....	9
4.	DESCRIZIONE COMPONENTI DELLE OPERE DI RETE.....	9
4.1.	NUOVO ELETTRODOTTO 150 KV	9
4.1.1.	CONDUTTORI E FUNI DI GUARDIA.....	9
4.1.2.	SOSTEGNI.....	10
4.1.3.	FONDAZIONI.....	10
5.	VALUTAZIONE DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI	11
5.1.	VALUTAZIONE DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI INERENTI LE LINEE AT.....	11
5.1.1.	Caratteristiche elettriche e geometriche linee 150 kv	11
5.1.1.1.	Caratteristiche elettriche	
5.1.1.2.	Caratteristiche geometriche (sostegni)	11
5.2.	VALUTAZIONE DEL CAMPO MAGNETICO DELLE LINEE AEREE AT.....	13
5.3.	VALUTAZIONE DEL CAMPO ELETTRICO LINEE AEREE AT.....	15
6.	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE DELLO STUDIO PREVISIONALE	16
6.1.	CAMPI MAGNETICI.....	16
6.2.	CAMPI ELETTRICI.....	16
6.3.	EFFETTI CUMULATIVI DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI	16

PROGETTAZIONE: Tecnoprogetti Engineering & Consulting Ing. Marco Angelo Luigi Murru via Pietro Nenni, 11- 09042 – Monserato (CA)	CLIENTE: QUEEQUEG RENEWABLES, LTD Unit 3.21, 1110 Great West Road - TW80GP London (UK) Ecoenergy Project 2 S.r.l. via Alessandro Manzoni, 30 - 20121 MILANO (MI)	DOCUMENTO: 2332E 10070 Rev. 00 del 02/10/2023
OGGETTO: IMPIANTI DI PRODUZIONE DI ENERGIA DA FONTI RINNOVABILI PROGETTO OPERE DI RETE: NUOVA PALIFICAZIONE CON CONDUTTORI 31,5 MM LINEA FLUMENDOSA- ARBATAX - RELAZIONE CALCOLO PREVISIONALE CAMPI ELETTROMAGNETICI -		Pag. 3 di 16

1. Oggetto e scopo.

Oggetto della seguente relazione è la valutazione previsionale dei Campi Elettromagnetici per le Opere di Rete del Gestore Terna S.p.A., focalizzata sulla **nuova palificazione dell'elettrodotto congiungente le stazioni elettriche della Centrale idroelettrica Flumendosa II e di Arbatax.**

Questa attività determina la rimozione delle limitazioni per l'elettrodotto suddetto e fa parte delle opere necessarie alla connessione dei diversi impianti di produzione di energia rinnovabile da fonte eolica e fotovoltaica, da realizzarsi in agro dei Comuni di Ballao, Siurgus Donigala, Mandas e Armungia in Provincia Sud Sardegna.

Le opere di rete esaminate in questo documento insistono sui Comuni di: Villagrande Strisaili, Tortolì, e Girasole in Provincia di Nuoro nella zona denominata Ogliastra.

In particolare, facendo riferimento alle STMG di pertinenza, le opere di rete sono necessarie a permettere l'immissione dell'energia rinnovabile proveniente da:

Impianto Eolico da 92.4 MW nel Comune di Ballao (CA), STMG Codice Pratica 201900807;

Impianto Fotovoltaico da 55 MW nei Comuni di Siurgus Donigala e Mandas (CA), STMG Codice Pratica 201900878.

Impianto Eolico nel Comune di Jerzu (NU) Codice Pratica 201901210 (Sarda Eolica)

In particolare per il primo impianto la STMG elaborata prevede che l'impianto venga collegato in antenna a 150 kV con una nuova stazione Elettrica (SE) della RTN da inserire in entra esce alla linea "Goni-Eaf Armungia".

Al fine di permettere l'immissione dell'energia rinnovabile prodotta dai suddetti impianti il Gestore della rete evidenzia la necessità di diversi interventi, tra i quali che interessano il Proponente / Produttore titolare delle STMG sopra mezzionate:

- realizzazione di una nuova SE della RTN a 150 kV da inserire in entra esce alla linea "Muravera – Selargius";
- realizzazione di un nuovo elettrodotto a 150 kV di collegamento tra le stazioni suddette.
- il potenziamento , rifacimento e rimozione delle limitazioni sulle linee RTN a 150 kV "Goni-Ulassai", "Isili – Flumendosa II", "Arbatax- Lanusei" e "Arbatax – Flumendosa II".

Tra le ripartizioni degli interventi tra i vari proponenti Produttori interessati al proponente Produttore è stata assegnata la progettazione delle due nuove Stazioni Elettriche della RTN, l'elettrodotto congiungente l'edue nuove Stazioni Elettriche e la **rimozione delle limitazioni sulla linea RTN a 150 kV "Arbatax – Flumendosa II"**, mentre gli altri di interventi di rimozione delle limitazioni, sopra citati, sono in capo ad altri Produttori interessati per la connessione dei propri impianti alla stessa zona della RTN.

Lo scopo è quello di effettuare la valutazione tramite modelli di calcolo i livelli del campo elettrico e dell'induzione magnetica, generati dagli impianti di III categoria, riguardante l'elettrodotto Flumendosa II – Arbatax in riferimento alla nuova palificazione con conduttori da 31, 5 mm.

PROGETTAZIONE: Tecnoprogetti Engineering & Consulting Ing. Marco Angelo Luigi Murru via Pietro Nenni, 11- 09042 – Monserato (CA)	CLIENTE: QUEEQUEG RENEWABLES, LTD Unit 3.21, 1110 Great West Road - TW80GP London (UK) Ecoenergy Project 2 S.r.l. via Alessandro Manzoni, 30 - 20121 MILANO (MI)	DOCUMENTO: 2332E 10070 Rev. 00 del 02/10/2023
OGGETTO: <i>IMPIANTI DI PRODUZIONE DI ENERGIA DA FONTI RINNOVABILI PROGETTO OPERE DI RETE: NUOVA PALIFICAZIONE CON CONDUTTORI 31,5 MM LINEA FLUMENDOSA- ARBATAX - RELAZIONE CALCOLO PREVISIONALE CAMPI ELETTROMAGNETICI -</i>		Pag. 4 di 16

Verranno utilizzati i dati tecnici di progetto per la verifica previsionale con le distanze di prima approssimazione e di rispetto dei limiti normativi ai fini della protezione delle persone sia comuni ove eventualmente i campi possano estendersi al di fuori delle aree dell'impianto, sia per il personale di manutenzione per effetto dell'esposizione ai campi elettromagnetici.

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) è sufficiente riferirsi alla Direttiva quadro 89/391/CEE.

Lo studio è stato espressamente richiesto dalla Committenza per una valutazione previsionale di verifica dei livelli di riferimento legislativi, i risultati saranno poi confrontati con le misure strumentali effettuate in situ, individuando ove ci fossero dei superamenti, gli opportuni provvedimenti per riportare i livelli a valori normativamente accettabili.

2. Riferimenti normativi e definizioni.

2.1. Norme tecniche di riferimento

- CEI 211- 6. "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".
- CEI 211- 4. "Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee elettriche".
- CEI 106-10. 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
- 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
- CEI 106-20 - CEI EN 50413 - Norma di base sulle procedure di misura e di calcolo per l'esposizione umana ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici (0 Hz-300 GHz).
- CEI 106-23 - CEI EN 50499 - Procedura di valutazione dell'esposizione dei lavoratori ai campi elettromagnetici
- CEI 106-27 - CEI EN 62110 - Livelli di campo elettrico e magnetico generati da sistemi di potenza in c.a. - Procedure di misura con riferimento all'esposizione umana

PROGETTAZIONE: Tecnoprogetti Engineering & Consulting Ing. Marco Angelo Luigi Murru via Pietro Nenni, 11- 09042 – Monserato (CA)	CLIENTE: QUEEQUEG RENEWABLES, LTD Unit 3.21, 1110 Great West Road - TW80GP London (UK) Ecoenergy Project 2 S.r.l. via Alessandro Manzoni, 30 - 20121 MILANO (MI)	DOCUMENTO: 2332E 10070 Rev. 00 del 02/10/2023
OGGETTO: IMPIANTI DI PRODUZIONE DI ENERGIA DA FONTI RINNOVABILI PROGETTO OPERE DI RETE: NUOVA PALIFICAZIONE CON CONDUTTORI 31,5 MM LINEA FLUMENDOSA- ARBATAX - RELAZIONE CALCOLO PREVISIONALE CAMPI ELETTROMAGNETICI -		Pag. 5 di 16

- CEI 106-30 - CEI EN 50527-2-1. 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)

2.2. Norme legislative e guide.

- Linee guida ICNIRP 2010 (International Commission on Non Ionizing Radiation Protection): GUIDELINES FOR LIMITING EXPOSURE TO TIME-VARYING ELECTRIC AND MAGNETIC FIELDS (1Hz 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
- 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.
- 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).

PROGETTAZIONE: Tecnoprogetti Engineering & Consulting Ing. Marco Angelo Luigi Murru via Pietro Nenni, 11- 09042 – Monserato (CA)	CLIENTE: QUEEQUEG RENEWABLES, LTD Unit 3.21, 1110 Great West Road - TW80GP London (UK) Ecoenergy Project 2 S.r.l. via Alessandro Manzoni, 30 - 20121 MILANO (MI)	DOCUMENTO: 2332E 10070 Rev. 00 del 02/10/2023
OGGETTO: IMPIANTI DI PRODUZIONE DI ENERGIA DA FONTI RINNOVABILI PROGETTO OPERE DI RETE: NUOVA PALIFICAZIONE CON CONDUTTORI 31,5 MM LINEA FLUMENDOSA- ARBATAX - RELAZIONE CALCOLO PREVISIONALE CAMPI ELETTROMAGNETICI -		Pag. 6 di 16

3. Definizioni

3.1. Definizioni generali di riferimento

Valgono le definizioni di seguito riportate, riprese come le più significative per la comprensione del documento, dalle norme nazionali e internazionali ed in parte contenute nella Legge 36/2001, nel DPCM 8 luglio 2003 e nel Decreto 29 maggio 2008.

Campi elettromagnetici: campi elettrici statici e campi magnetici statici e campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici variabili nel tempo con frequenze sino a 300 GHz ¹;

Intensità di campo elettrico E: grandezza vettoriale che corrisponde alla forza esercitata su una particella carica indipendentemente dal suo movimento nello spazio. È espressa in Volt a metro (V/m).

Intensità di campo magnetico H: grandezza vettoriale che, assieme all'induzione magnetica, specifica un campo magnetico in qualunque punto dello spazio. È espressa in Ampere a metro [A/m].

Induzione magnetica B: 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 $1 \text{ [A/m]} = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ [T]}$.

Autorità competenti ai fini dei controlli: sono le autorità di cui all'art. 14 della Legge 36/2001 (le amministrazioni provinciali e comunali, al fine di esercitare le funzioni di controllo e di vigilanza sanitaria e ambientale, utilizzano le strutture delle Agenzie Regionali per la Protezione dell'Ambiente).

Autorità competenti ai fini delle autorizzazioni: sono le autorità competenti al rilascio delle autorizzazioni per la costruzione e/o l'esercizio di elettrodotti e/o insediamenti e/o aree di cui all'art. 4 del DPCM 8 luglio 2003 (aree gioco per l'infanzia, ambienti abitativi, ambienti scolastici e luoghi adibiti a permanenze non inferiori a 4 ore).

Campata: elemento minimo di una linea elettrica sotteso tra due sostegni.

Asse della linea elettrica: è il piano verticale passante per i punti centrali delle basi dei due sostegni di estremità di ogni campata costituente la linea ovvero per il conduttore centrale di una linea aerea a bandiera o di una terna di cavi interrati.

Centro geometrico dei conduttori: si assume come centro geometrico dei conduttori il baricentro del triangolo determinato dall'intersezione di un piano (x,y) ortogonale ai tre conduttori di fase della linea e avente come vertici i centri di tali conduttori o dei fasci nel caso di conduttori a fascio.

Distanza di Prima Approssimazione (DPA): per le linee è la distanza, in pianta sul livello del suolo, dalla proiezione del centro linea che garantisce che ogni punto la cui proiezione al suolo disti dalla proiezione del centro linea più della DPA si trovi all'esterno delle fasce di rispetto. Per le cabine secondarie è la distanza, in pianta sul livello del suolo, da tutte le pareti della cabina stessa che garantisce i requisiti di cui sopra.

¹ Nel nostro caso si tratta di campi a 50 Hz annoverati nel campo delle ELF Extremely Low Frequency non-ionizing radiation from 1 Hz to 300 Hz, frequenze estremamente basse non ionizzanti.

PROGETTAZIONE: Tecnoprogetti Engineering & Consulting Ing. Marco Angelo Luigi Murru via Pietro Nenni, 11- 09042 – Monserato (CA)	CLIENTE: QUEEQUEG RENEWABLES, LTD Unit 3.21, 1110 Great West Road - TW80GP London (UK) Ecoenergy Project 2 S.r.l. via Alessandro Manzoni, 30 - 20121 MILANO (MI)	DOCUMENTO: 2332E 10070 Rev. 00 del 02/10/2023
OGGETTO: IMPIANTI DI PRODUZIONE DI ENERGIA DA FONTI RINNOVABILI PROGETTO OPERE DI RETE: NUOVA PALIFICAZIONE CON CONDUTTORI 31,5 MM LINEA FLUMENDOSA- ARBATAX - RELAZIONE CALCOLO PREVISIONALE CAMPI ELETTROMAGNETICI -		Pag. 7 di 16

Elettrodotta: è l'insieme delle linee elettriche delle sottostazioni e delle cabine di trasformazione.

Fascia di rispetto: è lo spazio circostante un elettrodotta, che comprende tutti i punti, al di sopra e al di sotto del livello del suolo, caratterizzati da un'induzione magnetica di intensità maggiore o uguale all'obiettivo di qualità ($3 \mu T$).

Come prescritto dall'articolo 4, c. 1 lettera h) della Legge Quadro n. 36 del 22 febbraio 2001, all'interno delle fasce di rispetto non è consentita alcuna destinazione di edifici ad uso residenziale, scolastico, sanitario e ad uso che comporti una permanenza non inferiore a quattro ore.

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;

SAR², Specific Absorption Rate (Tasso di Assorbimento Specifico di energia). 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 [W/kg].

3.2. Limiti di riferimento DPCM 8 luglio 2003

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

I due parametri VLE e SAR sono significativi per i lavoratori del settore elettrico che possono essere sottoposti, in condizioni di lavoro controllate, 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 D.Lgs. 81/08 .

In questo documento si pone invece l'attenzione alla verifica previsionale dell'esposizione ai campi elettromagnetici a 50 Hz per la popolazione comune.

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

² Il SAR misurato in W/kg, è un parametro definito per frequenze comprese fra 100 kHz e 10 GHz, di fatto non è significativo per i campi a bassa frequenza ELF del caso in oggetto.

PROGETTAZIONE: Tecnoprogetti Engineering & Consulting Ing. Marco Angelo Luigi Murru via Pietro Nenni, 11- 09042 – Monserato (CA)	CLIENTE: QUEEQUEG RENEWABLES, LTD Unit 3.21, 1110 Great West Road - TW80GP London (UK) Ecoenergy Project 2 S.r.l. via Alessandro Manzoni, 30 - 20121 MILANO (MI)	DOCUMENTO: 2332E 10070 Rev. 00 del 02/10/2023
OGGETTO: <i>IMPIANTI DI PRODUZIONE DI ENERGIA DA FONTI RINNOVABILI PROGETTO OPERE DI RETE: NUOVA PALIFICAZIONE CON CONDUTTORI 31,5 MM LINEA FLUMENDOSA- ARBATAX - RELAZIONE CALCOLO PREVISIONALE CAMPI ELETTROMAGNETICI -</i>		Pag. 8 di 16

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 1

Come già detto i limiti di esposizione, i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità non si applicano ai lavoratori esposti per ragioni professionali, che sono invece soggetti all'applicazione del DLgs 81/08.

L'impatto magnetico dovuto alle linee elettriche aeree, in cavo o in sbarre percorse da corrente è determinato dai seguenti fattori:

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

Il DPCM 8 Luglio 2003 e gli altri riferimenti legislativi coordinati, fissano i limiti seguenti di esposizione nei confronti dei campi elettrici e magnetici generati dagli elettrodotti eserciti alla frequenza di 50 Hz.

Le distanze per il rispetto dei limiti sono determinate singolarmente.

PROGETTAZIONE: Tecnoprogetti Engineering & Consulting Ing. Marco Angelo Luigi Murru via Pietro Nenni, 11- 09042 – Monserato (CA)	CLIENTE: QUEEQUEG RENEWABLES, LTD Unit 3.21, 1110 Great West Road - TW80GP London (UK) Ecoenergy Project 2 S.r.l. via Alessandro Manzoni, 30 - 20121 MILANO (MI)	DOCUMENTO: 2332E 10070 Rev. 00 del 02/10/2023
OGGETTO: IMPIANTI DI PRODUZIONE DI ENERGIA DA FONTI RINNOVABILI PROGETTO OPERE DI RETE: NUOVA PALIFICAZIONE CON CONDUTTORI 31,5 MM LINEA FLUMENDOSA- ARBATAX - RELAZIONE CALCOLO PREVISIONALE CAMPI ELETTROMAGNETICI -		Pag. 9 di 16

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 µT** sono i limiti di esposizione per i campi magnetici da non superare mai in alcuna condizione di contiguità con la popolazione;
- 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, si assume per l'induzione magnetica il valore di attenzione di **10 µT**, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio (Rif. D. p. c. m. 3 Luglio 2003).
- **3 µT** sono i 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).

4. Descrizione componenti delle opere di rete

4.1. Nuovo elettrodotto 150 kV

Come descritto nella premessa dovrà essere adeguato tramite nuova palificazione l'elettrodotto sulla direttrice congiungente le stazioni **Flumendosa II - Arbatax**, esso sarà previsto secondo gli standard tecnici dalla società TERNA S.p.A, Gestore della Rete di Trasmissione Nazionale, tale elettrodotto si conetterà agli stalli predisposti nelle nuove stazioni.

Nello specifico si fa riferimento al Progetto Unificato TERNA per gli elettrodotti, in cui sono inseriti tutti i componenti (sostegni e fondazioni, conduttori, morsetteria, isolatori, ecc.) con le relative modalità di impiego.

Le frecce e le sollecitazioni dei conduttori di energia, delle corde di guardia, dell'armamento, dei sostegni e delle fondazioni, risponderanno ai riferimenti normativi tecnici e legislativi riguardo agli elettrodotti di classe terza, per quanto concerne le distanze tra conduttori di energia e fabbricati adibiti ad abitazione o ad altra attività che comporta tempi di permanenza prolungati, conformi al dettato del D.P.C.M. 08/07/2003.

4.1.1. Conduttori e funi di guardia

Come richiesto dal gestore di rete i raccordi alla nuova SE verranno realizzati con linee in semplice terna con disposizione a triangolo dei conduttori.

Per ciascuna fase elettrica si è previsto un conduttore singolo di energia del tipo unificato a corda di alluminio-acciaio ACSR di diametro complessivo di 31,50 mm.

Per i conduttori si è ipotizzata un'altezza da terra non inferiore a metri 10,00, arrotondamento per accesso di quella minima prevista dall'art. 2.1.05 del D.M. 16/01/1991.

L'elettrodotto sarà inoltre equipaggiato con una corda di guardia destinata, come da standard, a proteggere l'elettrodotto stesso dalle scariche atmosferiche, a migliorare/uniformare la messa a terra dei sostegni. La stessa fune di guardia sarà del tipo incorporante fibre ottiche in acciaio rivestito di alluminio del diametro di 11,50 mm in conformità allo standard previsto dal Progetto Unificato TERNA.

PROGETTAZIONE: Tecnoprogetti Engineering & Consulting Ing. Marco Angelo Luigi Murru via Pietro Nenni, 11- 09042 – Monserrato (CA)	CLIENTE: QUEEQUEG RENEWABLES, LTD Unit 3.21, 1110 Great West Road - TW80GP London (UK) Ecoenergy Project 2 S.r.l. via Alessandro Manzoni, 30 - 20121 MILANO (MI)	DOCUMENTO: 2332E 10070 Rev. 00 del 02/10/2023
OGGETTO: IMPIANTI DI PRODUZIONE DI ENERGIA DA FONTI RINNOVABILI PROGETTO OPERE DI RETE: NUOVA PALIFICAZIONE CON CONDUTTORI 31,5 MM LINEA FLUMENDOSA- ARBATAX - RELAZIONE CALCOLO PREVISIONALE CAMPI ELETTROMAGNETICI -		Pag. 10 di 16

4.1.2. Sostegni

La scelta dell'altezza dei sostegni, della lunghezza delle campate e di conseguenza i tracciati ipotizzati sono stati sviluppati con riferimento all'impiego di tipologie della serie del Progetto Unificato 132/150kV semplice terna tronco piramidali – Tiro Pieno con impiego per la Zona di riferimento.

Essi saranno realizzati con angolari di acciaio ad elementi zincati a caldo e bullonati, raggruppati in elementi strutturali. Ciascun sostegno si può considerare composto dai sottoinsiemi: piedi, base, tronco e testa, di quest'ultima fanno parte le mensole, alle quali sono applicati gli armamenti (insieme di elementi che consente di ancorare meccanicamente i conduttori al sostegno, mantenendoli nel contempo elettricamente isolati da esso e quindi da terra), in sommità vi è il cimino che sorregge la fune di guardia.

4.1.3. Fondazioni

Con il termine fondazione si intende la struttura (mista in acciaio-calcestruzzo) interrata, incaricata di trasmettere gli sforzi al terreno (compressione e/o strappamento), generati da:

- peso dei conduttori;
- peso degli armamenti,
- peso del sostegno,

con anche sommate le azioni del vento sulle sezioni coperte da un eventuale manicotto di ghiaccio (in funzione della zona climatica).

Le fondazioni unificate per i sostegni della serie 150 kV semplice terna sono del tipo a piedini separati e sono utilizzabili su terreni normali, di buona o media consistenza.

Ciascun piedino di fondazione è composto di tre parti:

- a)** un blocco di calcestruzzo armato costituito da una base, che appoggi sul fondo dello scavo, formata da una serie di platee (parallelepipedi a pianta quadrata) sovrapposte; detta base è simmetrica rispetto al proprio asse verticale;
- b)** un colonnino a sezione circolare, inclinato secondo la pendenza del montante del sostegno;
- c)** un "moncone" annegato nel calcestruzzo al momento del getto, collegato al montante del "piede" del sostegno. Il moncone è costituito da un angolare, completo di squadrette di ritenuta, che si collega con il montante del piede del sostegno mediante un giunto a sovrapposizione. I monconi sono raggruppati in tipi, caratterizzati dalla dimensione dell'angolare, ciascuno articolato in un certo numero di lunghezze.

Poiché le fondazioni unificate sono utilizzabili solo su terreni normali di buona e media consistenza, per sostegni posizionati su terreni con scarse caratteristiche geomeccaniche, su terreni instabili, su terreni allagabili o su versanti ad elevata pendenza, potrebbero essere necessarie fondazioni speciali (pali trivellati, micropali, tiranti in roccia), sulla base di apposite indagini geotecniche che saranno effettuate in fase esecutiva.

Per l'opera in oggetto in fase esecutiva saranno effettuate delle approfondite indagini geognostiche,

PROGETTAZIONE: Tecnoprogetti Engineering & Consulting Ing. Marco Angelo Luigi Murru via Pietro Nenni, 11- 09042 – Monserato (CA)	CLIENTE: QUEEQUEG RENEWABLES, LTD Unit 3.21, 1110 Great West Road - TW80GP London (UK) Ecoenergy Project 2 S.r.l. via Alessandro Manzoni, 30 - 20121 MILANO (MI)	DOCUMENTO: 2332E 10070 Rev. 00 del 02/10/2023
OGGETTO: IMPIANTI DI PRODUZIONE DI ENERGIA DA FONTI RINNOVABILI PROGETTO OPERE DI RETE: NUOVA PALIFICAZIONE CON CONDUTTORI 31,5 MM LINEA FLUMENDOSA- ARBATAX - RELAZIONE CALCOLO PREVISIONALE CAMPI ELETTROMAGNETICI -		Pag. 11 di 16

che permetteranno di utilizzare la fondazione che meglio si adatti alle caratteristiche geomeccaniche e morfologiche del terreno interessato.

5. Valutazione dei campi elettromagnetici

Ai fini dei calcoli dei campi elettrici e magnetici, per la verifica previsionale di esposizione della popolazione, occorre riferirsi ai parametri elettrici e geometrici della linea aerea.

5.1. Valutazione dei campi elettromagnetici inerenti le linee AT

5.1.1. Caratteristiche elettriche e geometriche linee 150 kV

Come già descritto la linea in oggetto sarà realizzata con palificazione a semplice terna ed armamenti comprendenti 3 conduttori di energia ed una fune di guardia.

5.1.1.1. Caratteristiche elettriche

Le caratteristiche elettriche dell'elettrodotto sono le seguenti:

- Frequenza nominale: 50 Hz
- Tensione nominale: 150 kV
- Corrente nominale: 500 A
- Potenza nominale: 130 MVA
- Corrente massima: 840 A

Isolamento

L'isolamento degli elettrodotti è previsto per una tensione di esercizio di 150 kV, con riferimento per l'isolamento 170 kV, in previsione sarà realizzato con isolatori di sospensione ed amarro del tipo composito, con carico di rottura classe 120 kN, prestazioni per media o alta polluzione (da definire in fase esecutiva). Le caratteristiche generali degli isolatori risponderanno a quanto previsto dalle norme CEI.

5.1.1.2. Caratteristiche geometriche (sostegni)

Tipologia

La tipologia di tralicci utilizzati nella palificazione è congruente con la codifica Terna S.p.A., essi saranno i seguenti: portale **Palo Gatto** in partenza/arrivo linea nelle due stazioni rispettivamente di Armungia e Burcei; pali scelti fra le tipologie: **E, C, M, N, P, V**, utilizzati per le campate di linea, con armamenti in amarro o in sospensione a seconda della caratteristica della campata.

PROGETTAZIONE: Tecnoprogetti Engineering & Consulting Ing. Marco Angelo Luigi Murru via Pietro Nenni, 11- 09042 – Monserrato (CA)	CLIENTE: QUEQUEG RENEWABLES, LTD Unit 3.21, 1110 Great West Road - TW80GP London (UK) Ecoenergy Project 2 S.r.l. via Alessandro Manzoni, 30 - 20121 MILANO (MI)	DOCUMENTO: 2332E 10070
		Rev. 00 del 02/10/2023
OGGETTO: IMPIANTI DI PRODUZIONE DI ENERGIA DA FONTI RINNOVABILI PROGETTO OPERE DI RETE: NUOVA PALIFICAZIONE CON CONDUTTORI 31,5 MM LINEA FLUMENDOSA- ARBATAX - RELAZIONE CALCOLO PREVISIONALE CAMPI ELETTROMAGNETICI -		Pag. 12 di 16

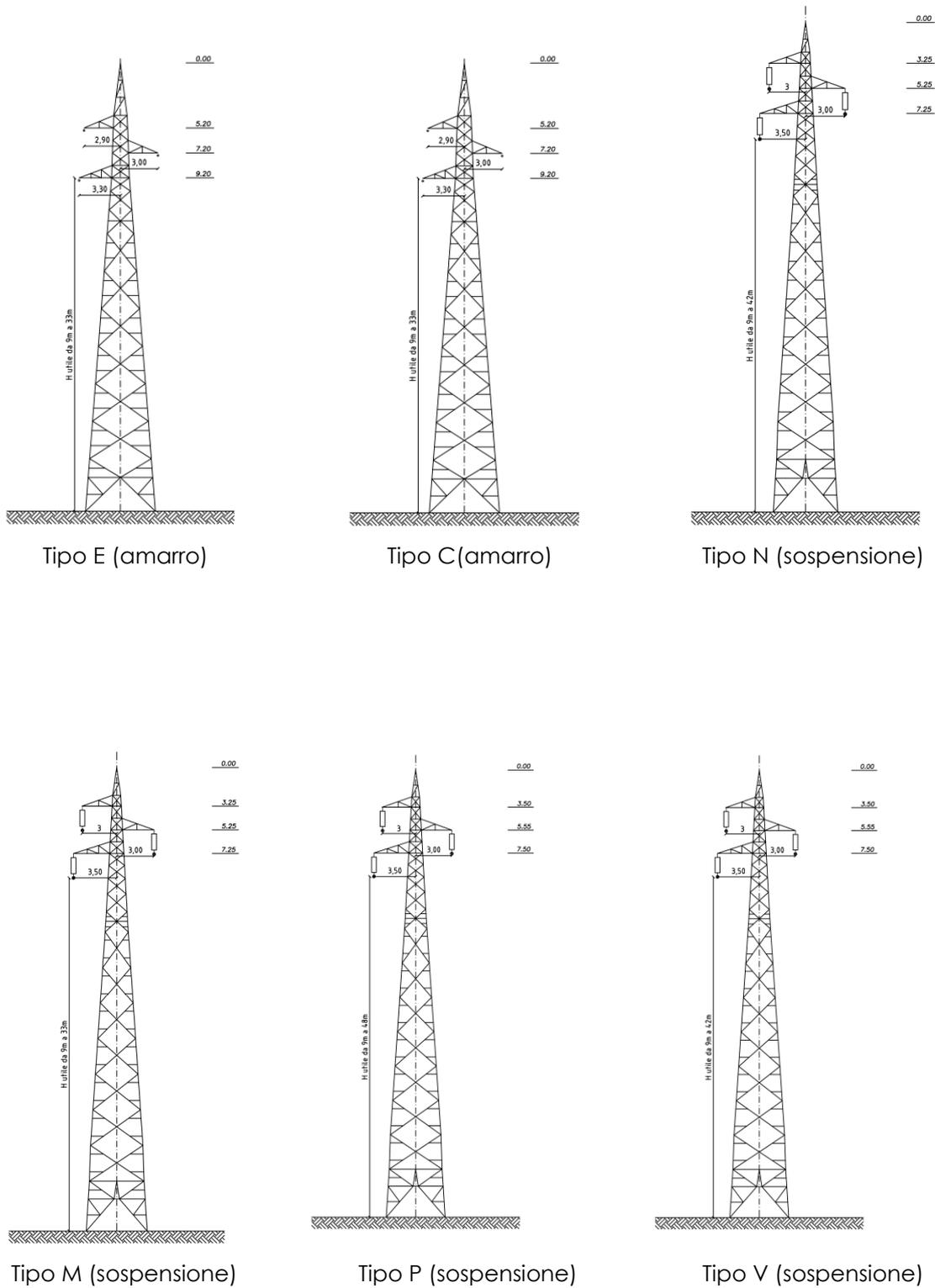


Figura 1 - Pali unificati 150 kV – Semplice terna – in amarro ed a sospensione

PROGETTAZIONE: Tecnoprogetti Engineering & Consulting Ing. Marco Angelo Luigi Murru via Pietro Nenni, 11- 09042 – Monserato (CA)	CLIENTE: QUEEQUEG RENEWABLES, LTD Unit 3.21, 1110 Great West Road - TW80GP London (UK) Ecoenergy Project 2 S.r.l. via Alessandro Manzoni, 30 - 20121 MILANO (MI)	DOCUMENTO: 2332E 10070 Rev. 00 del 02/10/2023
OGGETTO: IMPIANTI DI PRODUZIONE DI ENERGIA DA FONTI RINNOVABILI PROGETTO OPERE DI RETE: NUOVA PALIFICAZIONE CON CONDUTTORI 31,5 MM LINEA FLUMENDOSA- ARBATAX - RELAZIONE CALCOLO PREVISIONALE CAMPI ELETTROMAGNETICI -		Pag. 13 di 16

5.2. Valutazione del campo magnetico delle linee aeree AT

I conduttori sono ancorati ai sostegni, come da disegni schematici riportati di seguito, tra due sostegni consecutivi i conduttori si dispongono secondo una catenaria e progettualmente la sua altezza dal suolo, anche per il franco minimo, è sempre maggiore del valore preso a riferimento (7 m).

La linea elettrica durante il suo normale funzionamento genera un campo elettrico ed un campo magnetico, il primo è proporzionale alla tensione della linea stessa, il secondo è proporzionale alla corrente che vi transita, entrambi decrescono molto rapidamente con la distanza dalla linea.

Per il calcolo dei campi il programma BECALC fornisce risultati in conformità alla norma CEI 211-4 in accordo a quanto disposto dal D.P.C.M. 08/07/2003.

Per la simulazione con il SW, sono stati scelti i pali tali da determinare valori cautelativi, adottando in particolare la configurazione più estesa trasversalmente all'asse linea (pali con le mensole più lunghe), si ipotizza inoltre di mantenere rigida la mutua posizione tra conduttori anche in corrispondenza della freccia massima (franco minimo). Di fatto in corrispondenza della freccia massima i conduttori si restringono verso l'asse linea, pertanto l'estensione del campo, trasversale all'asse linea, è minore.

Per il calcolo si è considerata un'altezza dei conduttori dal suolo pari a 7 m, corrispondenti cioè all'approssimazione per eccesso del valore indicato dal D.M. 1991 per le linee aeree. **Tale ipotesi è conservativa, in quanto il franco effettivo, per scelta progettuale, sarà sempre molto maggiore di tale valore (questo sarà evidente nella tabella di picchettazione che verrà fornita nei disegni definitivi e confermati in quelli esecutivi).**

Nelle figure seguenti sono riportati il calcolo del campo elettrico e magnetico per le linee aeree 150 kV a semplice terna dell'unificazione del Gestore della Rete di Trasmissione Nazionale.

Rappresentiamo di seguito i risultati della simulazione tramite SW BECALC.

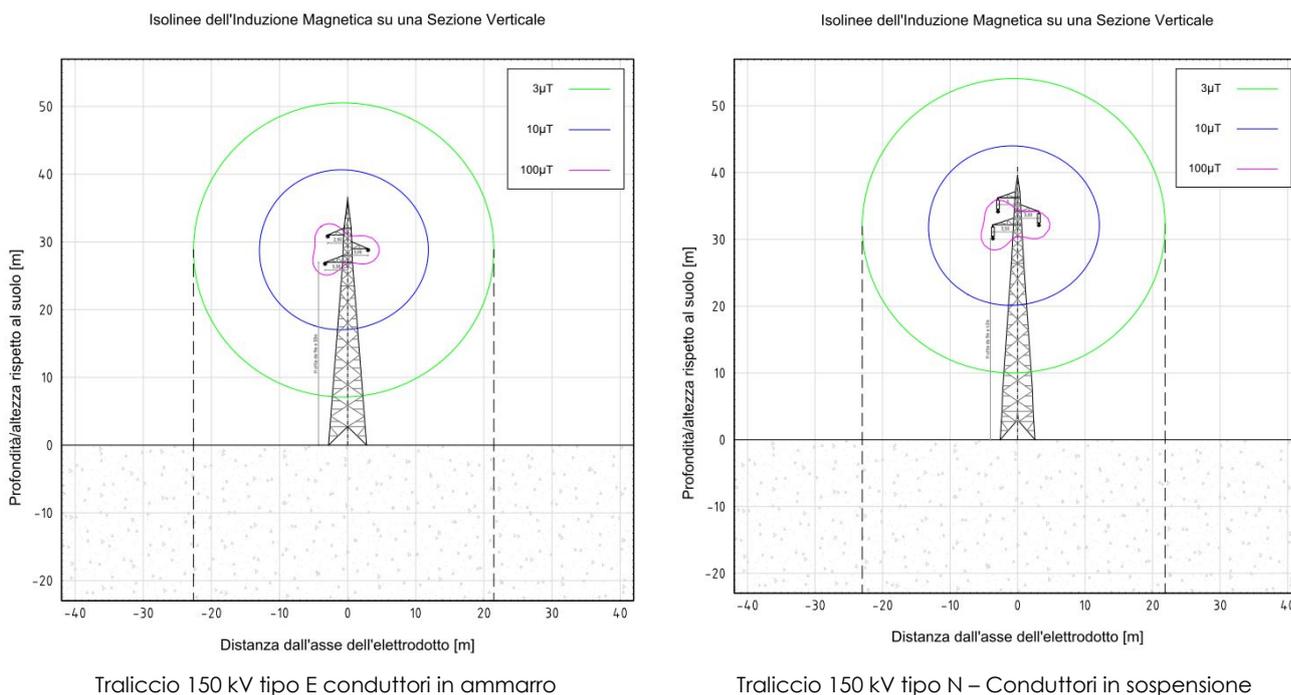


Figura 2 - Isolinee del campo magnetico B, valori: 100μT, 10μT e 3 μT alla quota testa tralicci -

PROGETTAZIONE: Tecnoprogetti Engineering & Consulting Ing. Marco Angelo Luigi Murru via Pietro Nenni, 11- 09042 – Monserato (CA)	CLIENTE: QUEQUEG RENEWABLES, LTD Unit 3.21, 1110 Great West Road - TW80GP London (UK) Ecoenergy Project 2 S.r.l. via Alessandro Manzoni, 30 - 20121 MILANO (MI)	DOCUMENTO: 2332E 10070 Rev. 00 del 02/10/2023
OGGETTO: IMPIANTI DI PRODUZIONE DI ENERGIA DA FONTI RINNOVABILI PROGETTO OPERE DI RETE: NUOVA PALIFICAZIONE CON CONDUTTORI 31,5 MM LINEA FLUMENDOSA- ARBATAX - RELAZIONE CALCOLO PREVISIONALE CAMPI ELETTROMAGNETICI -		Pag. 14 di 16

Nelle due simulazioni numeriche sopra rappresentate sono individuabili le DPA che derivano dalla valutazione del campo magnetico B, mentre schematicamente nella figura sottostante è rappresentato il campo B e le DPA sul piano trasversale all'asse linea in corrispondenza del franco minimo.

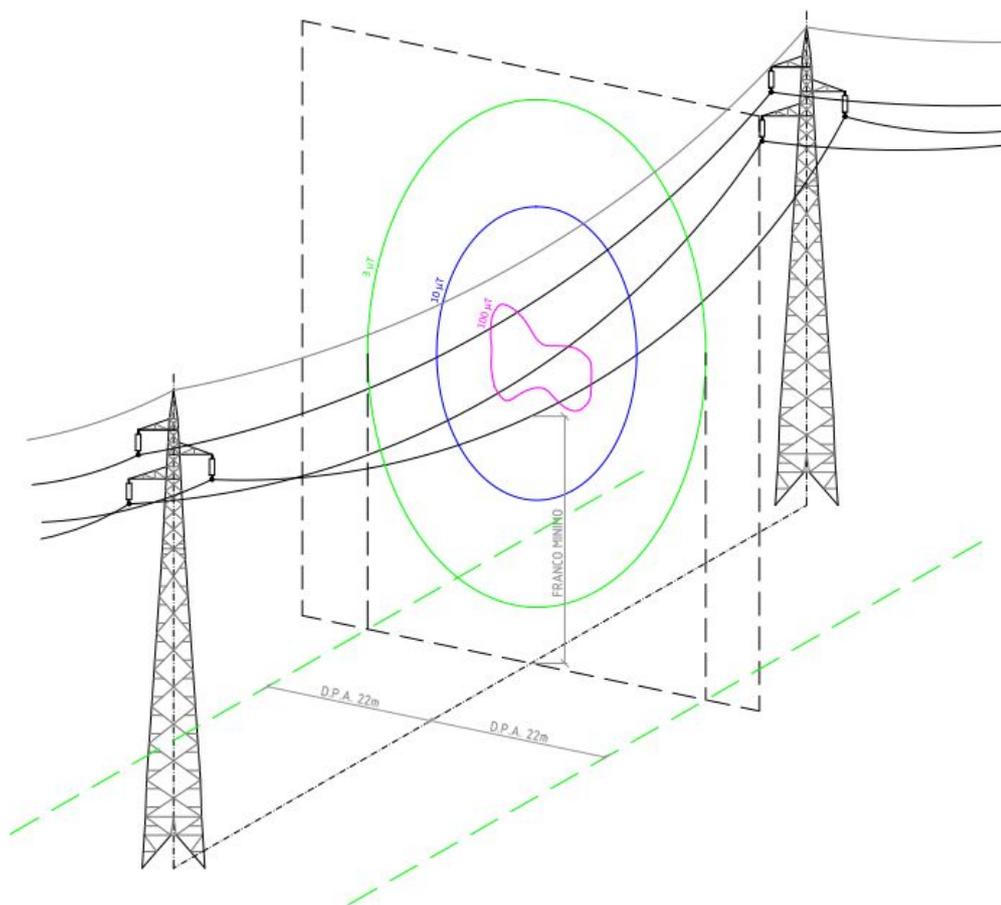


Figura 3 - Schematizzazione isolinee B: $100\mu T$, $10\mu T$ e $3\mu T$, in corrispondenza del franco minimo

Interpretazione dei risultati

Il riferimento della Norma CEI 11- 60 per le portate del conduttore di diametro 31,5 mm, indicano 870 A per la zona A e 675 A per la zona B, alle quali corrispondono DPA rispettive di 22 m e 20 m.

Nella simulazione eseguita con BECalc rappresentate nelle figure precedenti, per tener conto anche dei conduttori di nuova generazione si è ipotizzata una corrente di 1000 A, il calcolo conferma di fatto che non vengono superate le DPA dei riferimenti normativi previste.

Possiamo concludere che le DPA di 22 m sono confermate e sono sicuramente cautelative per le effettive correnti nominali delle linee in progetto.

PROGETTAZIONE: Tecnoprogetti Engineering & Consulting Ing. Marco Angelo Luigi Murru via Pietro Nenni, 11- 09042 – Monserato (CA)	CLIENTE: QUEEQUEG RENEWABLES, LTD Unit 3.21, 1110 Great West Road - TW80GP London (UK) Ecoenergy Project 2 S.r.l. via Alessandro Manzoni, 30 - 20121 MILANO (MI)	DOCUMENTO: 2332E 10070 Rev. 00 del 02/10/2023
OGGETTO: IMPIANTI DI PRODUZIONE DI ENERGIA DA FONTI RINNOVABILI PROGETTO OPERE DI RETE: NUOVA PALIFICAZIONE CON CONDUTTORI 31,5 MM LINEA FLUMENDOSA- ARBATAX - RELAZIONE CALCOLO PREVISIONALE CAMPI ELETTROMAGNETICI -		Pag. 15 di 16

5.3. Valutazione del campo elettrico linee aeree AT

Per quanto riguarda i campi elettrici generati dalle linee alle altezze di progetto, anche in un piano di sezione trasversale in corrispondenza al franco minimo, essi rientrano all'interno del valore normativo richiesto dei 5 kV/m, a conferma di questo si riporta il grafico estratto dalla CEI 211-6 - 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.

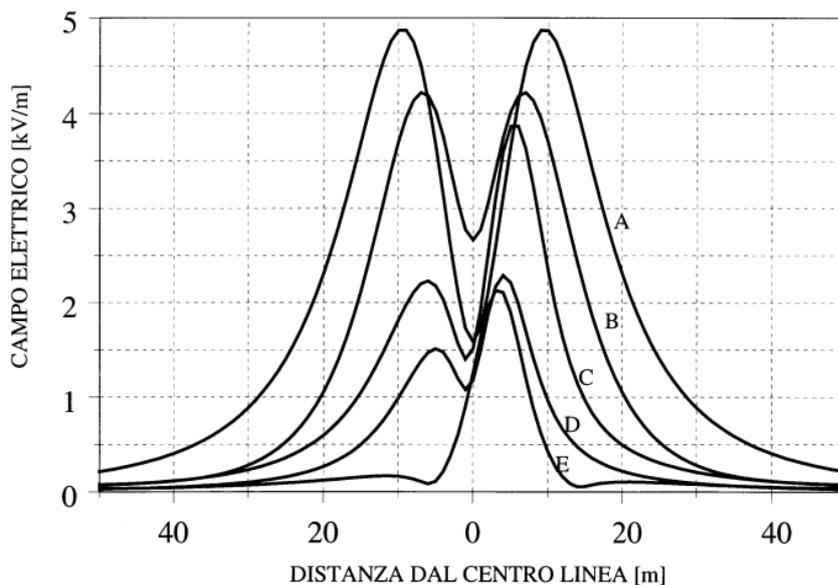


Figura 4 – Profili laterali del campo elettrico per i tralicci AT –

Essa rappresenta i profili laterali del campo elettrico, a 1 m da terra, calcolato per cinque tipiche configurazioni di linee ad alta tensione nella sezione corrispondente ai più gravosi franchi minimi stabiliti dalla legislazione vigente.

La configurazione rappresentativa del nostro caso è assimilabile alla curva **D**, e, pur se nella guida è di fatto riferita al 132 kV, si può osservare che il valore dei 5 kV/m è rispettato anche per il valore più elevato, la curva **A** che è riferita alla semplice terna a 380 kV, il parametro di tensione che determina il campo e che è ben oltre il doppio di quello della tensione dell'elettrodotto in progetto (a 150 kV). Dal grafico si evince che i valori di campo elettrico sono sempre inferiori al limite di 5 kV/m imposto dalla normativa vigente, questo ad 1 m dal suolo è sempre garantito ovunque, indipendentemente dalla distanza dei punti di misura dall'asse dell'elettrodotto, non è pertanto significativo eseguire simulazioni per la valutazione del campo elettrico.

PROGETTAZIONE: Tecnoprogetti Engineering & Consulting Ing. Marco Angelo Luigi Murru via Pietro Nenni, 11- 09042 – Monserato (CA)	CLIENTE: QUEEQUEG RENEWABLES, LTD Unit 3.21, 1110 Great West Road - TW80GP London (UK) Ecoenergy Project 2 S.r.l. via Alessandro Manzoni, 30 - 20121 MILANO (MI)	DOCUMENTO: 2332E 10070 Rev. 00 del 02/10/2023
OGGETTO: <i>IMPIANTI DI PRODUZIONE DI ENERGIA DA FONTI RINNOVABILI PROGETTO OPERE DI RETE: NUOVA PALIFICAZIONE CON CONDUTTORI 31,5 MM LINEA FLUMENDOSA- ARBATAX - RELAZIONE CALCOLO PREVISIONALE CAMPI ELETTROMAGNETICI -</i>		Pag. 16 di 16

6. Considerazioni conclusive dello studio previsionale

6.1. Campi magnetici

Per quanto evidenziato nei calcoli, i livelli d'induzione magnetica, corrispondenti ai valori di corrente presunte circolanti nei conduttori, confermano che i valori limite, fuori dalle fasce di rispetto convenzionalmente accettate, sono tutte al di sotto delle soglie dei riferimenti legislativi per tutte le categorie di tensione: I, II e III.

Si fa presente inoltre che le previsioni dei limiti d'esposizione sono state effettuate con riferimento a condizioni cautelative prendendo in alcuni casi (ad esempio per le linee aeree AT) valori di corrente corrispondente alla portata dei conduttori che, invece lavoreranno con valori nettamente al di sotto di quello nominale.

In conclusione, per quanto concerne la valutazione dei campi al suolo, comprendendo anche le linee MT interrate e le cabine di trasformazione, nelle zone potenzialmente accessibili a persone comuni, non vengono mai superati i limiti massimi consentiti di campo magnetico (10 μ T).

Per quanto riguarda il valore obiettivo di qualità dell'induzione magnetica pari a 3 μ T, come limite in luoghi con permanenze di persone di almeno 4 ore giornaliere (valore di attenzione), è sempre verificato a distanze, dall'asse linea AT, maggiori delle DPA definita in base ai criteri del DPCM 29.05.08.

6.2. Campi elettrici

Per i campi elettrici, la disposizione dei conduttori ad elevata altezza per le linee AT, gli schermi dei cavi delle linee interrate MT, le canale metalliche per i cavi BT, delle varie parti presenti nelle zone dell'impianto delle stazioni, confermano, come dai modelli disponibili in letteratura tecnica, che non vengono superati i valori limite di 5kV/m, nelle zone accessibili alle persone comuni, sono stati comunque rappresentati i grafici derivanti dai calcoli per le condizioni più significative (sbarre AT).

6.3. Effetti cumulativi dei campi elettromagnetici

L'analisi delle DPA per i diversi livelli di tensione, la disposizione e la distanza mutua tra le diverse opere, siano esse stazioni di smistamento AT, o linee aeree AT, mostra che i campi magnetici ed elettrici non determinano significativi effetti cumulativi con quelli degli impianti di produzione.

Per le opere di rete i valori più elevati dei campi elettromagnetici rimangono comunque all'interno delle rispettive recinzioni delle stazioni, che sono sotto la esclusiva gestione del personale dedicato ai lavori elettrici, per i quali valgono altri riferimenti legislativi tipici della sicurezza sul lavoro, regolamentati dal DLgs 81/08.