



# REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA PROVINCIA DEL SUD SARDEGNA

Comuni di:



Armungia



Burcei



San Vito



Villasalto

## IMPIANTI DI GENERAZIONE ELETTRICA DA FONTI RINNOVABILI

Codici Rintracciabilità Terna: 201900807 - 201900878 - 201901210

## PROGETTO OPERE DI RETE PIANO TECNICO DELLE OPERE

TITOLO

### VALUTAZIONE PREVISIONALE DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI STAZIONE ELETTRICA ARMUNGIA

COMMITTENTE



**Queequeg Renewables, ltd**

Unit 3.21, 1110 Great West Road  
TW80GP London (UK)

Company number: 111780524



**Econergy Project 2**

via Alessandro Manzoni 30,  
20121, Milano (MI)

PROGETTAZIONE



**tecnoprogetti**  
engineering & consulting

**Ing. Marco A. L. Murru**

Via Pietro Nenni, 11  
09042 Monserrato (CA)  
tel+39(0)70/5740021

## GRUPPO DI LAVORO

TIMBRI

Ing. Marco A. L. 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.	n. Documento	Fg/Fgg	Scala	Redatto	Verificato	Approvato	Data
01	2332C 20120	1/15	NA	Redattori vari	Valentina Pisu	Marco A. L. Murru	OTT 2023

<b>PROGETTAZIONE:</b> <b>Tecnoprogetti Engineering &amp; Consulting</b> Ing. Marco Angelo Luigi Murru via Pietro Nenni, 11- 09042 – Monserrato (CA)	<b>CLIENTE:</b> <b>QUEEQUEG RENEWABLES, LTD</b> Unit 3.21, 1110 Great West Road - TW80GP London (UK) <b>BIOENERGY 3 S.r.l.s.</b> via G.B. Zappella 15 24050 Cividate al Piano (BG)	<b>DOCUMENTO:</b> 2332E 10120 Rev. 00 del 08/02/2020
<b>OGGETTO:</b> IMPIANTI DI PRODUZIONE DI ENERGIA DA FONTI RINNOVABILI PROGETTO OPERE DI RETE - NUOVA STAZIONE TERNA DI ARMUNGIA - - RELAZIONE CALCOLO PREVISIONALE CAMPI ELETTROMAGNETICI -		Pag. 2 di 15

## 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.	NUOVA STAZIONE ELETTRICA DI ARMUNGIA.....	9
4.1.1.	Nuova Stazione Elettrica di smistamento 150 kV ARMUNGIA.....	9
5.	VALUTAZIONE DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI.....	10
5.1.	VALUTAZIONE CAMPI ELETTROMAGNETICI ALL'INTERNO DELLE STAZIONI.....	10
5.1.1.	DPA area stazione valutazioni generali.....	10
5.1.1.	Valutazioni Previsionali tramite SW.....	11
5.1.1.1.	Sbarre AT in aria.....	11
6.	OPERE CON TENSIONI DI II E I CATEGORIA AL SERVIZIO DELLE STAZIONI AT.....	12
6.1.	LINEE INTERRATE MT.....	12
6.2.	LINEE IN CAVO INTERRATO CON PIÙ TERNE MT.....	12
6.3.	LOCALI TRASFORMATORI MT/BT.....	14
7.	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE DELLO STUDIO PREVISIONALE.....	15
7.1.	CAMPI MAGNETICI.....	15
7.2.	CAMPI ELETTRICI.....	15
7.3.	EFFETTI CUMULATIVI DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI.....	15

<b>PROGETTAZIONE:</b> <b>Tecnoprogetti Engineering &amp; Consulting</b> Ing. Marco Angelo Luigi Murru via Pietro Nenni, 11- 09042 – Monserrato (CA)	<b>CLIENTE:</b> <b>QUEEQUEG RENEWABLES, LTD</b> Unit 3.21, 1110 Great West Road - TW80GP London (UK) <b>BIOENERGY 3 S.r.l.s.</b> via G.B. Zappella 15 24050 Cividate al Piano (BG)	<b>DOCUMENTO:</b> 2332E 10120 Rev. 00 del 08/02/2020
<b>OGGETTO:</b> IMPIANTI DI PRODUZIONE DI ENERGIA DA FONTI RINNOVABILI PROGETTO OPERE DI RETE - NUOVA STAZIONE TERNA DI ARMUNGIA - - RELAZIONE CALCOLO PREVISIONALE CAMPI ELETTROMAGNETICI -		Pag. 3 di 15

## 1. Oggetto e scopo.

Oggetto della seguente relazione è il progetto definitivo per le opere di rete necessarie alla connessione di 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.

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 mezionate:

- 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 del presente documento è quello di effettuare la valutazione, tramite modelli di calcolo, dei livelli del campo elettrico e dell'induzione magnetica, generati dagli impianti di I, II e III categoria, indagando eventualmente in maniera più dettagliata ove si ritiene elevata la permanenza di personale.**

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

<b>PROGETTAZIONE:</b> <b>Tecnoprogetti Engineering &amp; Consulting</b> Ing. Marco Angelo Luigi Murru via Pietro Nenni, 11- 09042 – Monserrato (CA)	<b>CLIENTE:</b> <b>QUEEQUEG RENEWABLES, LTD</b> Unit 3.21, 1110 Great West Road - TW80GP London (UK) <b>BIOENERGY 3 S.r.l.s.</b> via G.B. Zappella 15 24050 Cividate al Piano (BG)	<b>DOCUMENTO:</b> 2332E 10120 Rev. 00 del 08/02/2020
<b>OGGETTO:</b> IMPIANTI DI PRODUZIONE DI ENERGIA DA FONTI RINNOVABILI PROGETTO OPERE DI RETE - NUOVA STAZIONE TERNA DI ARMUNGIA - - RELAZIONE CALCOLO PREVISIONALE CAMPI ELETTROMAGNETICI -		Pag. 4 di 15

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
- 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)

<b>PROGETTAZIONE:</b> <b>Tecnoprogetti Engineering &amp; Consulting</b> Ing. Marco Angelo Luigi Murru via Pietro Nenni, 11- 09042 – Monserrato (CA)	<b>CLIENTE:</b> <b>QUEEQUEG RENEWABLES, LTD</b> Unit 3.21, 1110 Great West Road - TW80GP London (UK) <b>BIOENERGY 3 S.r.l.s.</b> via G.B. Zappella 15 24050 Cividate al Piano (BG)	<b>DOCUMENTO:</b> 2332E 10120 Rev. 00 del 08/02/2020
<b>OGGETTO:</b> IMPIANTI DI PRODUZIONE DI ENERGIA DA FONTI RINNOVABILI PROGETTO OPERE DI RETE - NUOVA STAZIONE TERNA DI ARMUNGIA - - RELAZIONE CALCOLO PREVISIONALE CAMPI ELETTROMAGNETICI -		Pag. 5 di 15

## 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).

<b>PROGETTAZIONE:</b> <b>Tecnoprogetti Engineering &amp; Consulting</b> Ing. Marco Angelo Luigi Murru via Pietro Nenni, 11- 09042 – Monserrato (CA)	<b>CLIENTE:</b> <b>QUEEQUEG RENEWABLES, LTD</b> Unit 3.21, 1110 Great West Road - TW80GP London (UK) <b>BIOENERGY 3 S.r.l.s.</b> via G.B. Zappella 15 24050 Cividate al Piano (BG)	<b>DOCUMENTO:</b> 2332E 10120 Rev. 00 del 08/02/2020
<b>OGGETTO:</b> IMPIANTI DI PRODUZIONE DI ENERGIA DA FONTI RINNOVABILI PROGETTO OPERE DI RETE - NUOVA STAZIONE TERNA DI ARMUNGIA - - RELAZIONE CALCOLO PREVISIONALE CAMPI ELETTROMAGNETICI -		Pag. 6 di 15

### 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 <sup>1</sup>;

**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

<b>PROGETTAZIONE:</b> <b>Tecnoprogetti Engineering &amp; Consulting</b> Ing. Marco Angelo Luigi Murru via Pietro Nenni, 11- 09042 – Monserrato (CA)	<b>CLIENTE:</b> <b>QUEEQUEG RENEWABLES, LTD</b> Unit 3.21, 1110 Great West Road - TW80GP London (UK) <b>BIOENERGY 3 S.r.l.s.</b> via G.B. Zappella 15 24050 Cividate al Piano (BG)	<b>DOCUMENTO:</b> 2332E 10120 Rev. 00 del 08/02/2020
<b>OGGETTO:</b> IMPIANTI DI PRODUZIONE DI ENERGIA DA FONTI RINNOVABILI PROGETTO OPERE DI RETE - NUOVA STAZIONE TERNA DI ARMUNGIA - - RELAZIONE CALCOLO PREVISIONALE CAMPI ELETTROMAGNETICI -		Pag. 7 di 15

requisiti di cui sopra.

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

**Fascia di rispetto:** è lo spazio circostante un elettrodotto, 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 ( $3 \mu\text{T}$ ).

*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;

**SAR<sup>2</sup>**, 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.**

<sup>1</sup> 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.

<sup>2</sup> 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.

<b>PROGETTAZIONE:</b> <b>Tecnoprogetti Engineering &amp; Consulting</b> Ing. Marco Angelo Luigi Murru via Pietro Nenni, 11- 09042 – Monserrato (CA)	<b>CLIENTE:</b> <b>QUEEQUEG RENEWABLES, LTD</b> Unit 3.21, 1110 Great West Road - TW80GP London (UK) <b>BIOENERGY 3 S.r.l.s.</b> via G.B. Zappella 15 24050 Cividate al Piano (BG)	<b>DOCUMENTO:</b> 2332E 10120
		Rev. 00 del 08/02/2020
<b>OGGETTO:</b> IMPIANTI DI PRODUZIONE DI ENERGIA DA FONTI RINNOVABILI PROGETTO OPERE DI RETE - NUOVA STAZIONE TERNA DI ARMUNGIA - - RELAZIONE CALCOLO PREVISIONALE CAMPI ELETTROMAGNETICI -		Pag. 8 di 15

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 µT** (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 comprensione 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:

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

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.

PROGETTAZIONE: <b>Tecnoprogetti Engineering &amp; Consulting</b> Ing. Marco Angelo Luigi Murru via Pietro Nenni, 11- 09042 – Monserrato (CA)	CLIENTE: <b>QUEEQUEG RENEWABLES, LTD</b> Unit 3.21, 1110 Great West Road - TW80GP London (UK) <b>BIOENERGY 3 S.r.l.s.</b> via G.B. Zappella 15 24050 Cividate al Piano (BG)	DOCUMENTO: 2332E 10120 Rev. 00 del 08/02/2020
OGGETTO: IMPIANTI DI PRODUZIONE DI ENERGIA DA FONTI RINNOVABILI PROGETTO OPERE DI RETE - NUOVA STAZIONE TERNA DI ARMUNGIA - - RELAZIONE CALCOLO PREVISIONALE CAMPI ELETTROMAGNETICI -		Pag. 9 di 15

Le distanze per il rispetto dei limiti sono determinate singolarmente.

### 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. Nuova Stazione Elettrica di Armungia

Per la connessione delle fonti rinnovabili in oggetto e di altre eventuali future, è necessaria la costruzione di una nuova stazione Terna sul ramo **CP Goni - EAF Armungia** che verrà inserita nelle Opere di Rete, ricadente in territorio del Comune di Armungia, chiamata in questo documento **SE Armungia**. Di seguito la sua configurazione di base.

#### 4.1.1. Nuova Stazione Elettrica di smistamento 150 kV ARMUNGIA

Configurazione elettromeccanica:

- Doppia Sbarra
- Isolamento AIS
- 2 Stalli per congiuntore sbarre
- 2 predisposizioni, disponibili per futuri stalli;
- 2 stalli linea in entra-esci, per il taglio linea CP Goni – SE EAF Armungia
- 1 stallo arrivo in cavo per un produttore
- 1 stallo linea verso nuova stazione SE Burcei

PROGETTAZIONE: <b>Tecnoprogetti Engineering &amp; Consulting</b> Ing. Marco Angelo Luigi Murru via Pietro Nenni, 11- 09042 – Monserrato (CA)	CLIENTE: <b>QUEEQUEG RENEWABLES, LTD</b> Unit 3.21, 1110 Great West Road - TW80GP London (UK) <b>BIOENERGY 3 S.r.l.s.</b> via G.B. Zappella 15 24050 Cividate al Piano (BG)	DOCUMENTO: 2332E 10120
		Rev. 00 del 08/02/2020
OGGETTO: IMPIANTI DI PRODUZIONE DI ENERGIA DA FONTI RINNOVABILI PROGETTO OPERE DI RETE - NUOVA STAZIONE TERNA DI ARMUNGIA - - RELAZIONE CALCOLO PREVISIONALE CAMPI ELETTROMAGNETICI -		Pag. 10 di 15

## 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 delle stazioni e della linea aerea.

### 5.1. Valutazione campi elettromagnetici all'interno delle stazioni

#### 5.1.1. DPA area stazione valutazioni generali

Per la parte AT della stazione le DPA, si possono considerare in maniera generale, in funzione delle configurazioni tipiche, valutate per le cabine Primarie, come indicato nel documento ENEL, “**Distanza di prima approssimazione (DPA) da linee e cabine elettriche**”, Linea Guida per l'applicazione del § 5.1.3 dell'Allegato al DM 29.05.08, le cui considerazioni possono essere di riferimento (con risultati cautelativi) per la stazione Terna.

Tutti i documenti citati, tengono conto delle indicazioni Normative (documenti CEI e IEC) e delle Legislative nazionali e comunitarie.

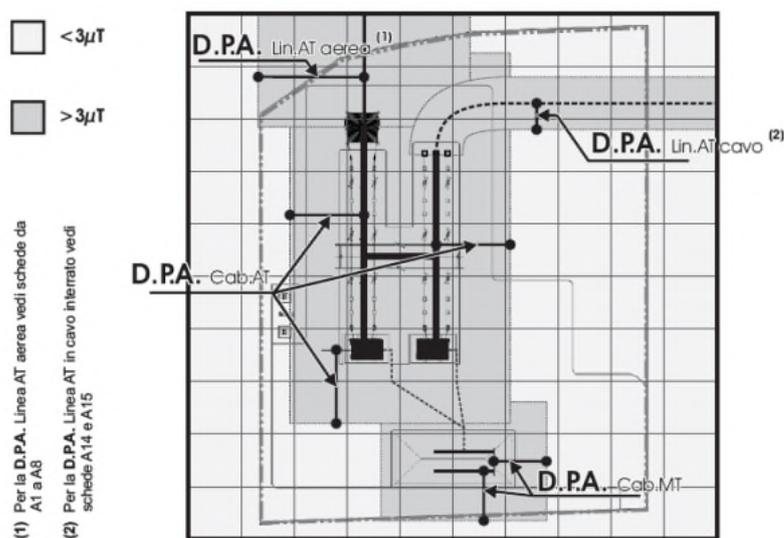


Figura 1 - Rappresentazione grafica DPA in CP AT/MT (da Guida ENEL)

Tipologia trasformatore [MVA]	CABINA PRIMARIA						
	D.P.A. Cab. da centro sbarre AT	Distanza tra le fasi AT	Corrente	D.P.A. Cab. da centro sbarre MT	Distanza tra le fasi MT	Corrente	Riferimento
	m	m	A	m	m	A	
63	14	2.20	870	7	0.38	2332	A16

Figura 2 - Valori DPA CP AT/MT (da Guida ENEL)

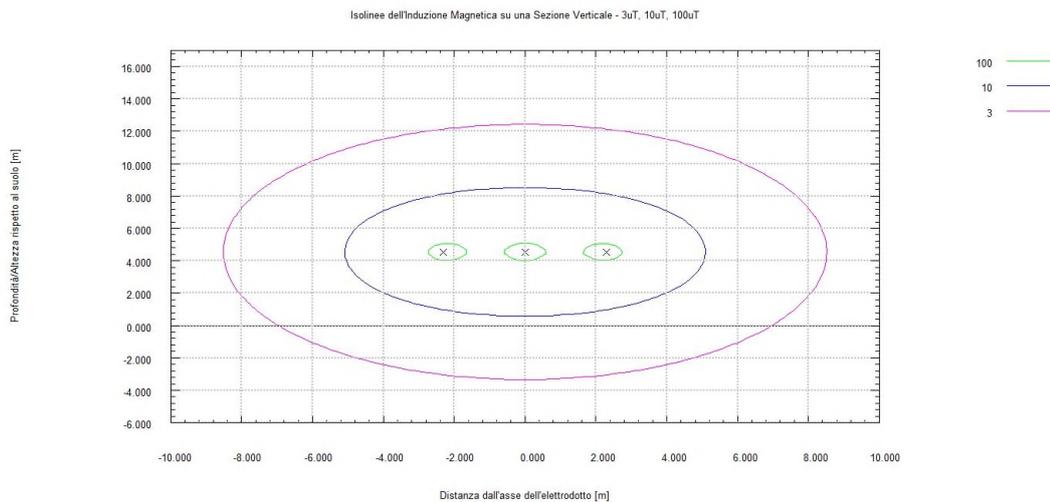
<b>PROGETTAZIONE:</b> <b>Tecnoprogetti Engineering &amp; Consulting</b> Ing. Marco Angelo Luigi Murru via Pietro Nenni, 11- 09042 – Monserrato (CA)	<b>CLIENTE:</b> <b>QUEEQUEG RENEWABLES, LTD</b> Unit 3.21, 1110 Great West Road - TW80GP London (UK) <b>BIOENERGY 3 S.r.l.s.</b> via G.B. Zappella 15 24050 Cividate al Piano (BG)	<b>DOCUMENTO:</b> 2332E 10120
		Rev. 00 del 08/02/2020
<b>OGGETTO:</b> IMPIANTI DI PRODUZIONE DI ENERGIA DA FONTI RINNOVABILI PROGETTO OPERE DI RETE - NUOVA STAZIONE TERNA DI ARMUNGIA - - RELAZIONE CALCOLO PREVISIONALE CAMPI ELETTROMAGNETICI -		Pag. 11 di 15

### 5.1.1. Valutazioni Previsionali tramite SW

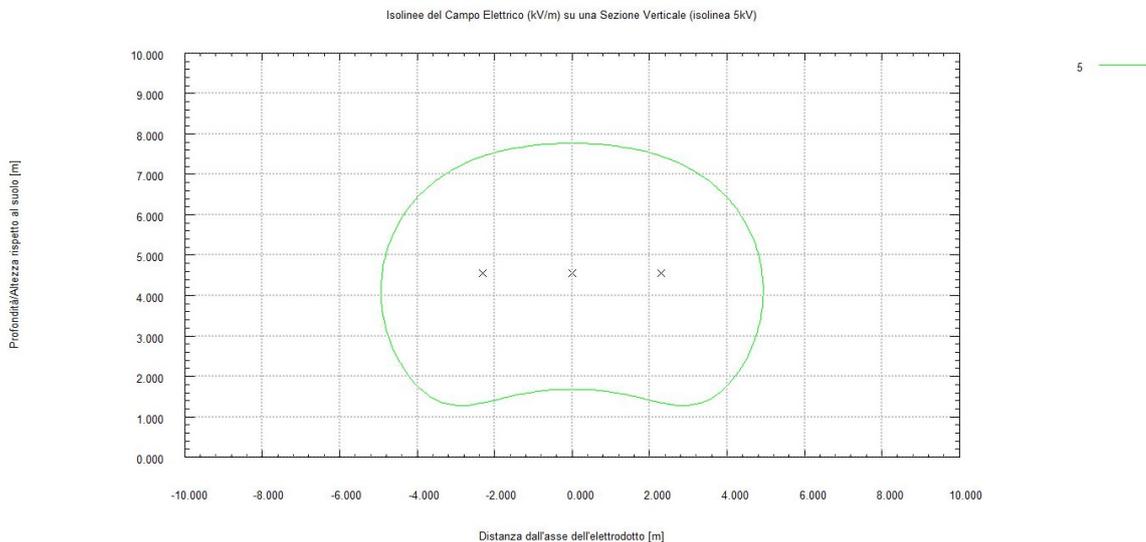
Tramite il SW dedicato, BECALC, inserendo la corrente di progetto dagli standard Terna, si può verificare in maniera più precisa, in termini previsionali, la regione in cui l'induzione magnetica sarà inferiore ai 3  $\mu\text{T}$ , individuata dall'involuppo della dell'isolinea corrispondente, proiettata sul piano di riferimento (suolo), considerando anche la conformazione geometrica della specifica stazione.

#### 5.1.1.1. Sbarre AT in aria

Di seguito vengono rappresentati calcoli per la parte in aria, 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 che devono essere eseguite dai rispettivi Datori di Lavoro.



**Figura 3 - Sbarre AT in aria - Isolinee induzione magnetica 3, 10 e 100  $\mu\text{T}$**



**Figura 4 - Sbarre AT in aria - Isolinea campo elettrico 5 kV/m**

<b>PROGETTAZIONE:</b> <b>Tecnoprogetti Engineering &amp; Consulting</b> Ing. Marco Angelo Luigi Murru via Pietro Nenni, 11- 09042 – Monserrato (CA)	<b>CLIENTE:</b> <b>QUEQUEG RENEWABLES, LTD</b> Unit 3.21, 1110 Great West Road - TW80GP London (UK) <b>BIOENERGY 3 S.r.l.s.</b> via G.B. Zappella 15 24050 Cividate al Piano (BG)	<b>DOCUMENTO:</b> 2332E 10120
		Rev. 00 del 08/02/2020
<b>OGGETTO:</b> IMPIANTI DI PRODUZIONE DI ENERGIA DA FONTI RINNOVABILI PROGETTO OPERE DI RETE - NUOVA STAZIONE TERNA DI ARMUNGIA - - RELAZIONE CALCOLO PREVISIONALE CAMPI ELETTROMAGNETICI -		Pag. 12 di 15

## 6. Opere con tensioni di II e I Categoria al servizio delle Stazioni AT

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.

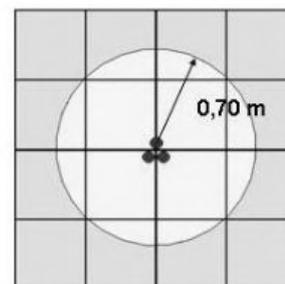
### 6.1. Linee interrate MT

Le linee per l'alimentazione dei servizi ausiliari di cui sopra hanno le caratteristiche essenziali ai fini del calcolo del campo magnetico di seguito elencate.

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

Caratteristiche

Materiale:	Alluminio o Rame;
Diametro nominale indicativo (valore max)	18,3 [mm];
Sezione totale, massima (singola fase):	185 [mm <sup>2</sup> ];
Portata nominale:	572 [A];
Corrente di impiego (e di calcolo):	324 [A];
DPA tabella da Guida e-distribuzione:	1 [m] (approssimata)



**Figura 5 – Da Linea Guida Enel applicazione del § 5.1.3 Allegato al DM 29.05.08**

A conferma del fatto dei calcoli cautelativi, si può osservare inoltre che, per il cavo interrato ad almeno 1 metro 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 (nettamente inferiore ad un terzo del valore cui corrisponde una DPA di 0,7 m).

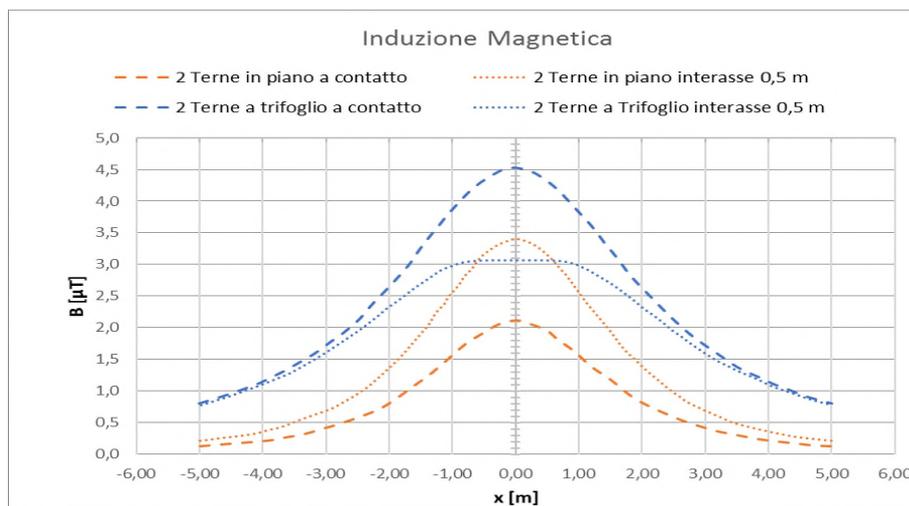
### 6.2. Linee in cavo interrato con più terne MT

Le due linee MT per l'alimentazione dei servizi ausiliari delle stazioni Terna devono essere indipendenti, possibilmente anche nel loro percorso interrato, tuttavia se ipotizziamo che in alcuni tratti debbano essere posate in un unico scavo, possiamo considerare due terne MT affiancate per verificarne gli effetti cumulativi.

Per questa tipologia di posa, non sono fornite formule approssimate, ritenendole non sufficientemente affidabili o comunque troppo complicate, essendo molte le variabili geometriche ed elettriche che entrano in gioco. Si ricorre esclusivamente al modello standardizzato previsto dalla CEI 211-4 o a software di calcolo dedicato. È interessante il confronto grafico in figura 10, esso riproduce il grafico contenuto nella Norma CEI 106-11, che illustra l'andamento dell'induzione magnetica B, per due terne posate in piano (accostate o ad una certa distanza fra loro) oppure a trifoglio (sempre con le due

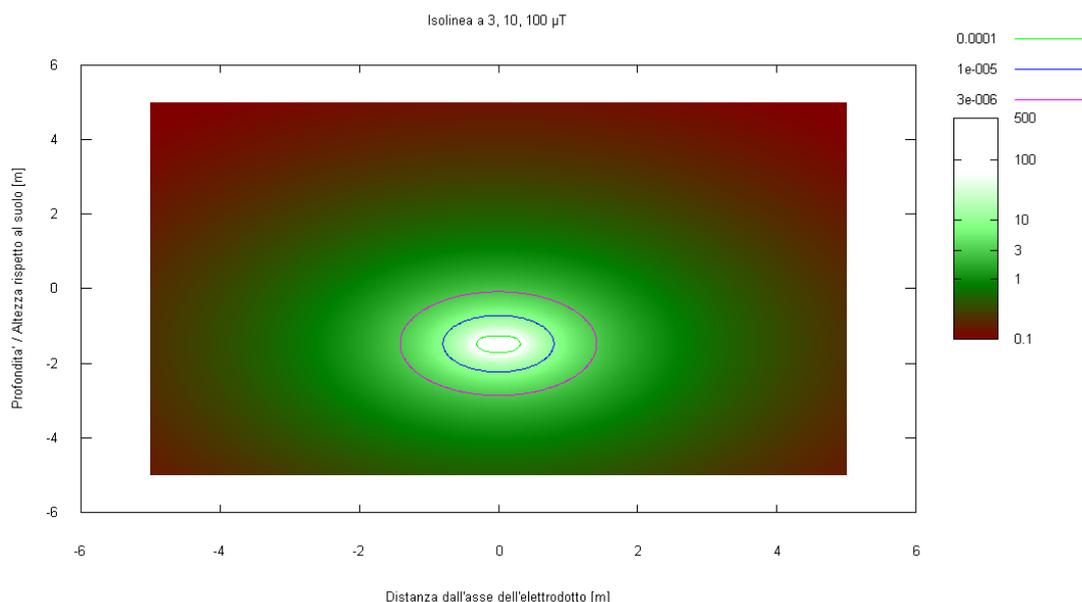
<b>PROGETTAZIONE:</b> <b>Tecnoprogetti Engineering &amp; Consulting</b> Ing. Marco Angelo Luigi Murru via Pietro Nenni, 11- 09042 – Monserrato (CA)	<b>CLIENTE:</b> <b>QUEEQUEG RENEWABLES, LTD</b> Unit 3.21, 1110 Great West Road - TW80GP London (UK) <b>BIOENERGY 3 S.r.l.s.</b> via G.B. Zappella 15 24050 Cividate al Piano (BG)	<b>DOCUMENTO:</b> 2332E 10120
		Rev. 00 del 08/02/2020
<b>OGGETTO:</b> IMPIANTI DI PRODUZIONE DI ENERGIA DA FONTI RINNOVABILI PROGETTO OPERE DI RETE - NUOVA STAZIONE TERNA DI ARMUNGIA - - RELAZIONE CALCOLO PREVISIONALE CAMPI ELETTROMAGNETICI -		Pag. 13 di 15

modalità: accostate o ad una certa distanza fra loro); la soluzione che minimizza il valore è quella delle due terne in piano a contatto (con la sequenza RST - TRS).



**Figura 6 – Confronto induzione magnetica a 1 metro da terra di due terne (RST-TRS) posate: a trifoglio e in piano,  $I = 1000$  A, diametro cavi 100 millimetri (rif. norma CEI 106-11)**

A scopo di verifica, se eseguiamo una simulazione con il SW Becalc, per due terne MT, con correnti anche di linee da 240 mm<sup>2</sup>, possiamo verificare di fatto quanto sopra riportato.



**Figura 7 – Isolinee 3, 10 e 100 µT per una doppia terna interrata.**

Con le condizioni elencate, per l'induzione magnetica, in tutte le configurazioni presenti nell'impianto, non vi sono superamenti del limite dei 3 µT al di fuori di una fascia di larghezza 2 m dall'asse linea.

<b>PROGETTAZIONE:</b> <b>Tecnoprogetti Engineering &amp; Consulting</b> Ing. Marco Angelo Luigi Murru via Pietro Nenni, 11- 09042 – Monserrato (CA)	<b>CLIENTE:</b> <b>QUEEQUEG RENEWABLES, LTD</b> Unit 3.21, 1110 Great West Road - TW80GP London (UK) <b>BIOENERGY 3 S.r.l.s.</b> via G.B. Zappella 15 24050 Cividate al Piano (BG)	<b>DOCUMENTO:</b> 2332E 10120
		Rev. 00 del 08/02/2020
<b>OGGETTO:</b> IMPIANTI DI PRODUZIONE DI ENERGIA DA FONTI RINNOVABILI PROGETTO OPERE DI RETE - NUOVA STAZIONE TERNA DI ARMUNGIA - - RELAZIONE CALCOLO PREVISIONALE CAMPI ELETTROMAGNETICI -		Pag. 14 di 15

In particolare, con riferimento al nostro caso, l'obiettivo di qualità è sempre rispettato, al di fuori di questa fascia, sia per le singole terne (di sezione e correnti elevate), sia con due terne MT da 240 mm<sup>2</sup>, anche nel caso in cui la profondità sia di solo 1 m dal piano di calpestio.

### 6.3. 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 2 - Distanze di Prima Approssimazione per Trasformatori con tensione secondaria 400 V**

Per il locale dei servizi ausiliari delle stazioni AT, che contengono il trasformatore MT/BT da 250 kVA, la DPA è da considerarsi pari a 1,5 m.

<b>PROGETTAZIONE:</b> <b>Tecnoprogetti Engineering &amp; Consulting</b> Ing. Marco Angelo Luigi Murru via Pietro Nenni, 11- 09042 – Monserrato (CA)	<b>CLIENTE:</b> <b>QUEEQUEG RENEWABLES, LTD</b> Unit 3.21, 1110 Great West Road - TW80GP London (UK) <b>BIOENERGY 3 S.r.l.s.</b> via G.B. Zappella 15 24050 Cividate al Piano (BG)	<b>DOCUMENTO:</b> 2332E 10120 Rev. 00 del 08/02/2020
<b>OGGETTO:</b> IMPIANTI DI PRODUZIONE DI ENERGIA DA FONTI RINNOVABILI PROGETTO OPERE DI RETE - NUOVA STAZIONE TERNA DI ARMUNGIA - - RELAZIONE CALCOLO PREVISIONALE CAMPI ELETTROMAGNETICI -		Pag. 15 di 15

## 7. Considerazioni conclusive dello studio previsionale

### 7.1. 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 i valori di corrente nominale delle apparecchiature 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 $\mu$ T).

Per quanto riguarda il valore obiettivo di qualità dell'induzione magnetica pari a 3  $\mu$ 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 MT, maggiori delle DPA definita in base ai criteri del DPCM 29.05.08.

### 7.2. Campi elettrici

Per i campi elettrici, la disposizione dei conduttori ad elevata altezza per le sbarre 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).

### 7.3. 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.