



REGIONE SARDEGNA
COMUNE DI NORAGUGUME
Provincia Di Nuoro



Titolo del Progetto

PROGETTO DEFINITIVO
PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO CON SISTEMA
INNOVATIVO DI CUI ALLE LINEE GUIDA DEL M.A.S.E.
IMPIANTO DENOMINATO "GREEN AND BLUE SA PALA E SU CHERCU"
POTENZA DI 120 130.500 kW
IN LOCALITÀ "SA PALA E SU CHERCU" NEL COMUNE DI NORAGUGUME

Identificativo Documento

REL_SP_07_EMG

ID Progetto	GBSPC	Tipologia	R	Formato	A4	Disciplina	AMB
-------------	-------	-----------	---	---------	----	------------	-----

Titolo

RELAZIONE CAMPI ELETTROMAGNETICI E DPA

FILE: REL_SP_07_EMG .pdf

IL PROGETTISTA
Arch. Andrea Casula



GRUPPO DI PROGETTAZIONE
Arch. Andrea Casula
Geom. Fernando Porcu
Dott. in Arch. J. Alessia Manunza
Geom. Vanessa Porcu
Dott. Agronomo Giuseppe Vacca
Archeologo Marco Cabras
Geol. Marta Camba
Ing. Antonio Dedoni

COMMITTENTE

DREN SOLARE 14 SRL

Rev.	Data Revisione	Descrizione Revisione	Redatto	Controllato	Approvato
Rev.	Febbraio 2024	Prima Emissione	Blue Island Energy	Dren Solare 14 Srl	Dren Solare 14 Srl

PROCEDURA

Valutazione di Impatto Ambientale ai sensi dell'art.23 del D.Lgs.152/2006

BLUE ISLAND ENERGY SAS
Via S.Mele, N 12 - 09170 Oristano
tel&fax(+39) 0783 211692-3932619836
email: blueislandsas@gmail.com

NOTA LEGALE: Il presente documento non può tassativamente essere diffuso o copiato su qualsiasi formato e tramite qualsiasi mezzo senza preventiva autorizzazione formale da parte di Blue Island Energy SaS



Provincia Nuoro

COMUNE DI NORAGUGUME

*PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO
AGRIVOLTAICO CON SISTEMA INNOVATIVO DI CUI ALLE LINEE*

GUIDA DEL M.A.S.E

DENOMINATO "GREEN AND BLUE SA PALA E SU CHERCU"

*DELLA POTENZA DI **120 130.500 kW***

*IN LOCALITÀ "SA PALA 'E SU CHERCU" NEL COMUNE DI
NORAGUGUME*

RELAZIONE CAMPI ELETTROMAGNETICI E D.P.A.

INDICE

1.	OGGETTO E SCOPO.....	3
2.	RIFERIMENTI NORMATIVI E DEFINIZIONI.....	3
2.1.	NORME TECNICHE DI RIFERIMENTO	3
2.2.	NORME LEGISLATIVE E GUIDE.	4
2.3.	DEFINIZIONI	5
2.4.	VALORI LIMITE DI ESPOSIZIONE E VALORI DI AZIONE	7
2.5.	EFFETTI NON TERMICI	8
2.6.	LIMITI DI RIFERIMENTO DPCM 8 LUGLIO 2003	8
2.6.1.	CAMPI ELETTRICI.....	9
2.6.2.	CAMPI MAGNETICI.....	9
3.	CALCOLO DELLE FASCE DI RISPETTO.....	10
3.1.	FASCIA DI RISPETTO	10
3.2.	DISTANZA DI PRIMA APPROSSIMAZIONE (DPA)	10
3.3.	LINEE ELETTRICHE IN CORRENTE ALTERNATA	11
1.	SORGENTI DI CEM NEL PROGETTO.....	12
3.4.	LINEE ELETTRICHE IN CORRENTE ALTERNATA IN ALTA TENSIONE	12
3.5.	ALTRI CAVI	15
3.6.	ANALISI DEI RISULTATI OTTENUTI	15
4.	CALCOLO DELLE FASCE DI RISPETTO PER LE CABINE DI CAMPO.....	16
4.1.	CALCOLO DISTANZA DI PRIMA APPROSSIMAZIONE PER LE CABINE MT/BT DI CAMPO	16
4.1.1.	CABINE MT/BT TRAFI PER I SERVIZI AUSILIARI.....	16
4.1.	CABINE MT/BT DA 2 X 2500 KVA	17
	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE DELLO STUDIO PREVISIONALE.....	19

1. Oggetto e scopo.

Oggetto della seguente relazione è la Valutazione Previsionale dei Campi Elettromagnetici nelle aree dell'impianto agro-fotovoltaico denominato denominato "Green and Blue Sa Pala 'e su Chercu" di produzione di energia elettrica da fonte fotovoltaica della potenza di **120 130.500 kW nel territorio del Comune di Noragugume (NU), in località "Sa Pala 'e su Chercu"** e delle relative opere connessione alla rete elettrica nazionale.

Oltre le linee inerenti il sistema di produzione di Energia Rinnovabile della Società in oggetto, ci sono già altre linee elettriche in categoria II e III, afferenti alla zona, per le quali verranno fatte le valutazioni e definite le zone di rispetto dai rispettivi proprietari, in particolare per la stazione AT del Gestore della Rete Nazionale, in questo documento si valuteranno i campi elettrico e magnetico determinati dalle nuove opere oggetto dei lavori.

Lo scopo è quello di effettuare la valutazione, tramite riferimenti di letteratura tecnica e modelli di calcolo, dei livelli del campo elettrico e dell'induzione magnetica, 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 del 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)

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).

2.3. 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;
- **rischio propulsivo** di oggetti ferromagnetici all'interno di campi magnetici statici;
- **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.

2.4. 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].
- **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 [W/m²].
- **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 [W/kg].

Il SAR 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, possono essere misurate direttamente 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 .

2.5. Effetti non termici

Valori Limite di Esposizione VLE

Il VLE relativo agli effetti sensoriali è il VLE 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.

2.6. Limiti di riferimento DPCM 8 luglio 2003

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 in-

duzione 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

I limiti di esposizione, i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità non si applicano ai lavoratori esposti per ragioni professionali. L'impatto magnetico dovuto alle linee elettriche aeree percorse da corrente è determinato dai seguenti fattori:

- 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.

2.6.1. 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.

2.6.2. 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).

3. Calcolo delle fasce di rispetto

3.1. 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 μT).

3.2. 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 μT ; tale zona può essere vista in sezione come una ellisse o un cerchio a seconda della disposizione geometrica dei conduttori.

Per il calcolo delle 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, indefinitamente¹

¹ Nel senso che la dimensione trasversale del conduttore è trascurabile rispetto a quella longitudinale.

lunghe e paralleli fra loro; che le correnti siano considerate concentrate negli assi centrali dei conduttori.

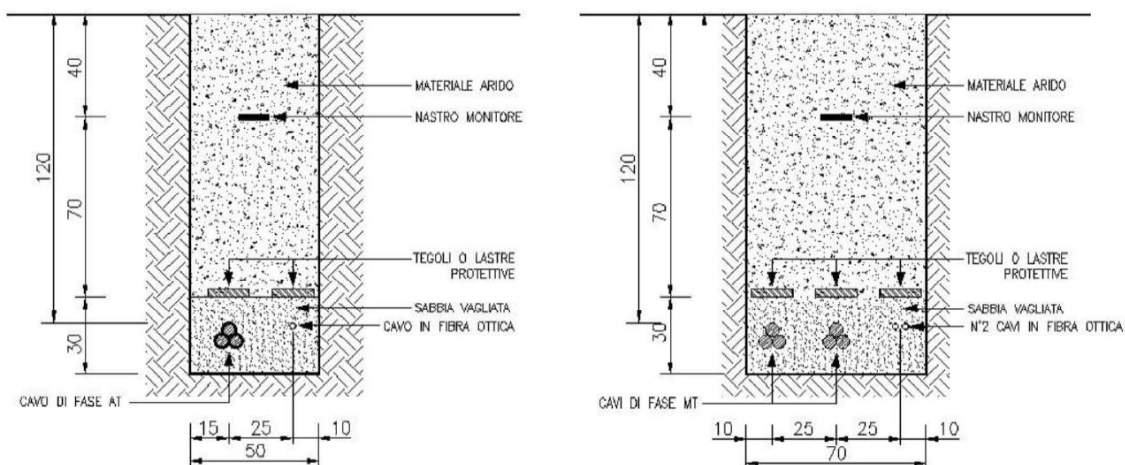
Non sono prese in considerazione le correnti indotte negli schermi (linee in cavo interrato), e viene assunto che il suolo sia perfettamente trasparente dal punto di vista magnetico. Per le varie tipologie di elettrodotto possono essere utilizzate le formule approssimate indicate nella Norma CEI 106-11, 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 $B = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2}$

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

3.3. LINEE ELETTRICHE IN CORRENTE ALTERNATA

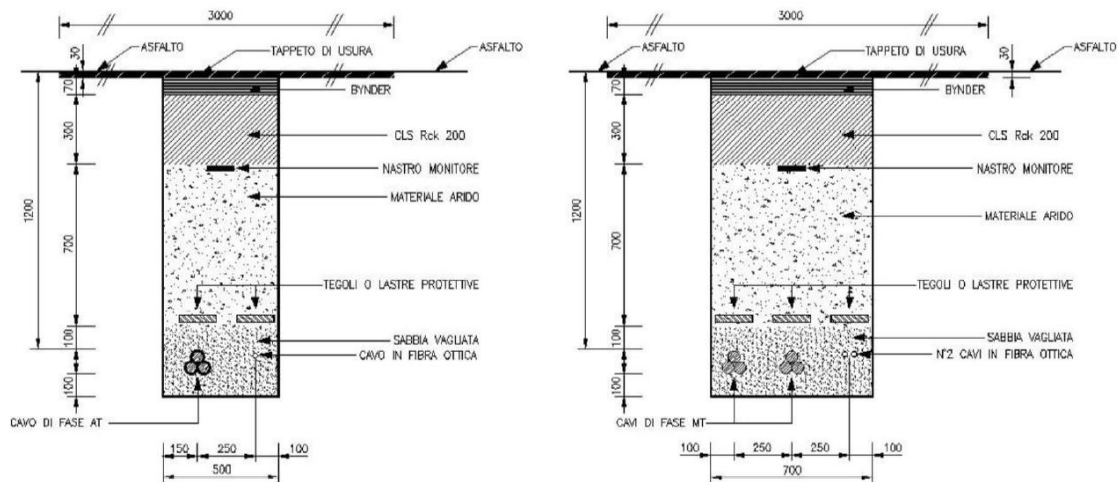
Per quanto riguarda il rispetto delle distanze da ambienti presidiati ai fini dei campi elettrici e magnetici, si è tenuto conto del limite di qualità dei campi magnetici, fissato dalla suddetta legislazione a 3 μT , anche se per la particolarità dell'impianto le aree al suo interno sono da classificare ai sensi della normativa come luoghi di lavoro, e quindi con livelli di riferimento maggiori rispetto a questi ultimi. La tipologia dei cavidotti presenti nell'impianto prevede all'interno del campo fotovoltaico l'utilizzo prevalente di cavi posati a trifoglio, per i quali vale quanto riportato nella norma CEI 106-11 e nella norma CEI 11-17. Le linee condividono alcune tratte del loro tracciato, pertanto ne risultano le tipologie di posa illustrate nelle figure seguenti.



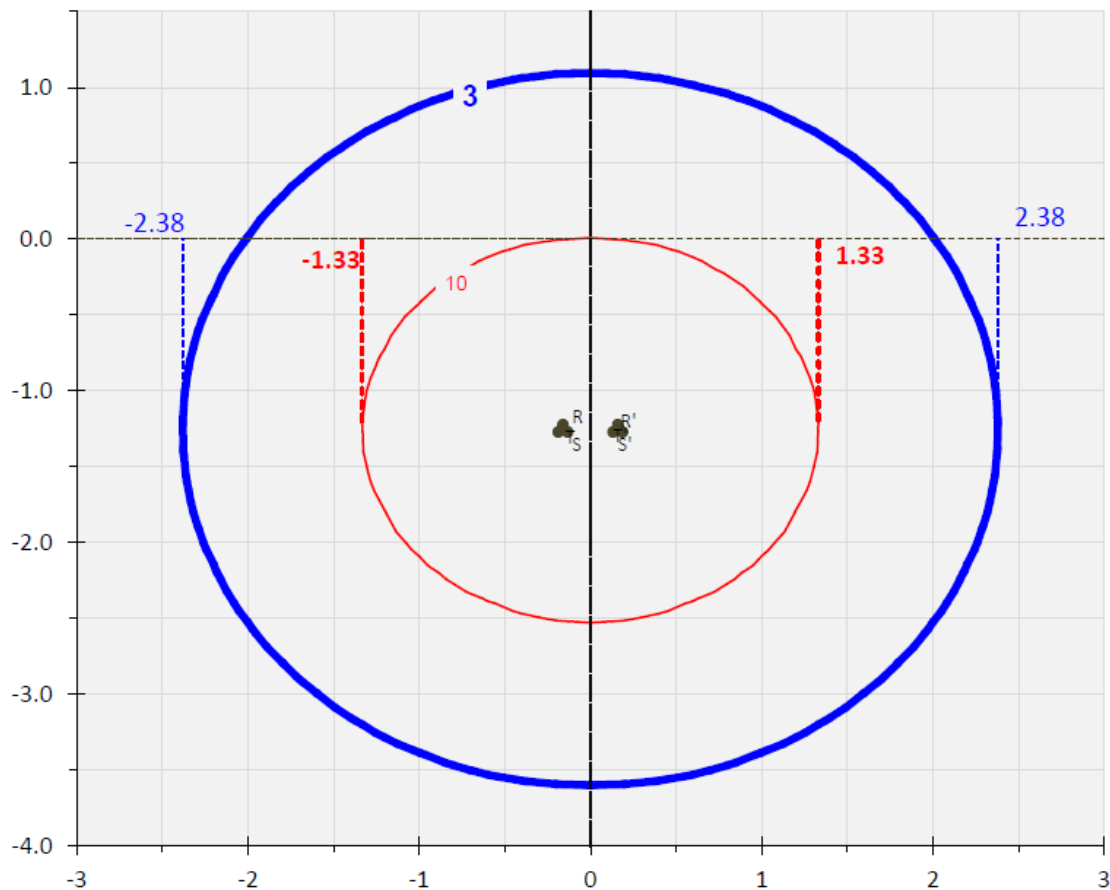
1. SORGENTI DI CEM NEL PROGETTO

Il progetto proposto consta nella realizzazione di un impianto per la produzione di energia

TIPICI DI POSA CAVI MT (DESTRA) E AT (SINISTRA) SU STRADE STERRATE

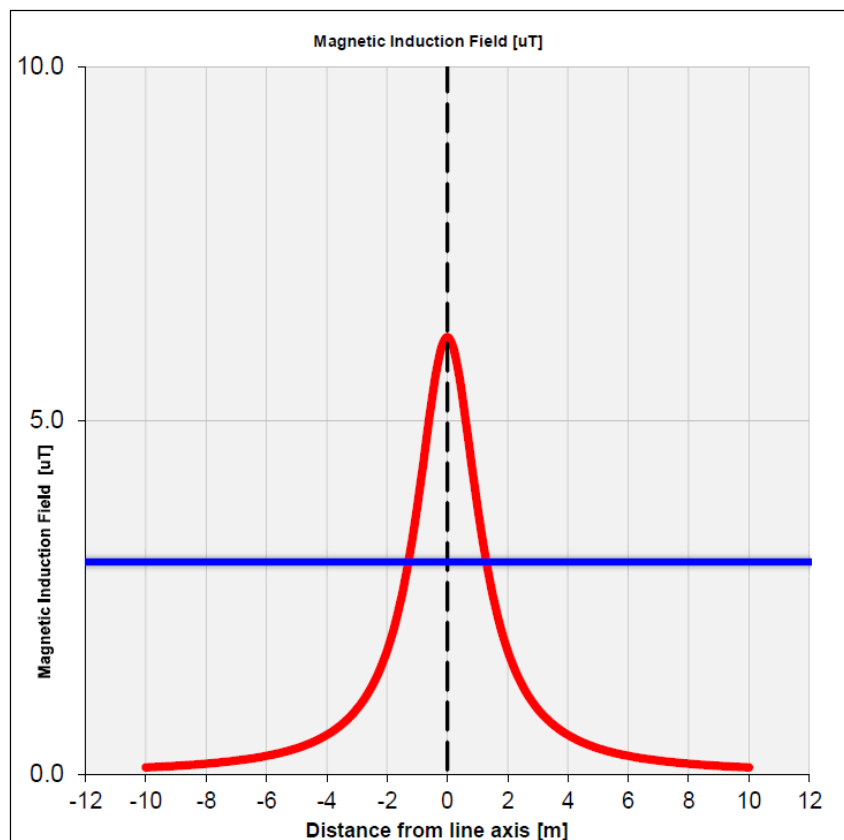


TIPICI DI POSA CAVI MT (DESTRA) E AT (SINISTRA) SU STRADE ASFALTATE



a 36 kV, della lunghezza di circa 400 m, costituita da una terna in alluminio di sezione pari a 630 mm² (3x1x630) mm² tamponato, schermo semiconduttivo sul conduttore, isolamento in polietilene reticolato (XLPE), schermo semiconduttivo dell'isolamento, nastri in materiale igroespandente guaina in alluminio longitudinalmente saldata, rivestimento in polietilene con grafitatura esterna.

Nel calcolo essendo il valore dell'induzione magnetica proporzionale alla corrente transitata nella linea, è stata presa in considerazione la portata massima: adottando la posa dei cavi a trifoglio ad una profondità di 1,2 m e considerando una resistività termica del terreno di 1,5 K m/W, il valore di portata è pari a circa 710 A, valore adottato per il calcolo. Si è inoltre considerato la configurazione dell'elettrodotto in assenza di schermature, con il campo magnetico calcolato al suolo.



Andamento dell'induzione magnetica prodotta dalla linea in cavo AT calcolata a livello del suolo

Come mostrato in figura 6, il limite di 3 microT al suolo si raggiunge nel caso peggiore ad una distanza dall'asse linea di circa 1,8 m.

Il tracciato di posa dei cavi è tale per cui intorno ad esso non vi sono ricettori sensibili (zone in cui si prevede una permanenza di persone per più di 4 ore nella giornata) per distanze molto più elevate di quelle calcolate.

Non è rappresentato il calcolo del campo elettrico prodotto dalla linea in cavo, poiché in un cavo schermato il campo elettrico esterno allo schermo è nullo.

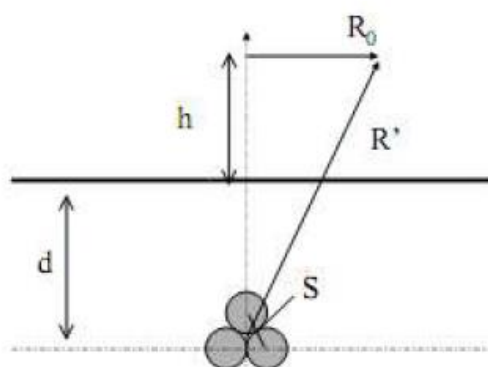
Secondo quanto riportato nel DM del MATTM del 29.05.2008, il calcolo delle fasce di rispetto può essere effettuato usando le formule della norma CEI 106-11, che prevedono l'applicazione dei modelli semplificati della norma CEI 211-4

Pertanto, il calcolo della fascia di rispetto si può intendere in via cautelativa pari al raggio della circonferenza che rappresenta il luogo dei punti aventi induzione magnetica pari a 3 T.

La formula da applicare è la seguente, in quanto si considera la posa dei conduttori a trifoglio:

$$R' = 0,286 \cdot \sqrt{S \cdot I} \quad [m]$$

Con il significato dei simboli di figura seguente:



Pertanto, ponendo:

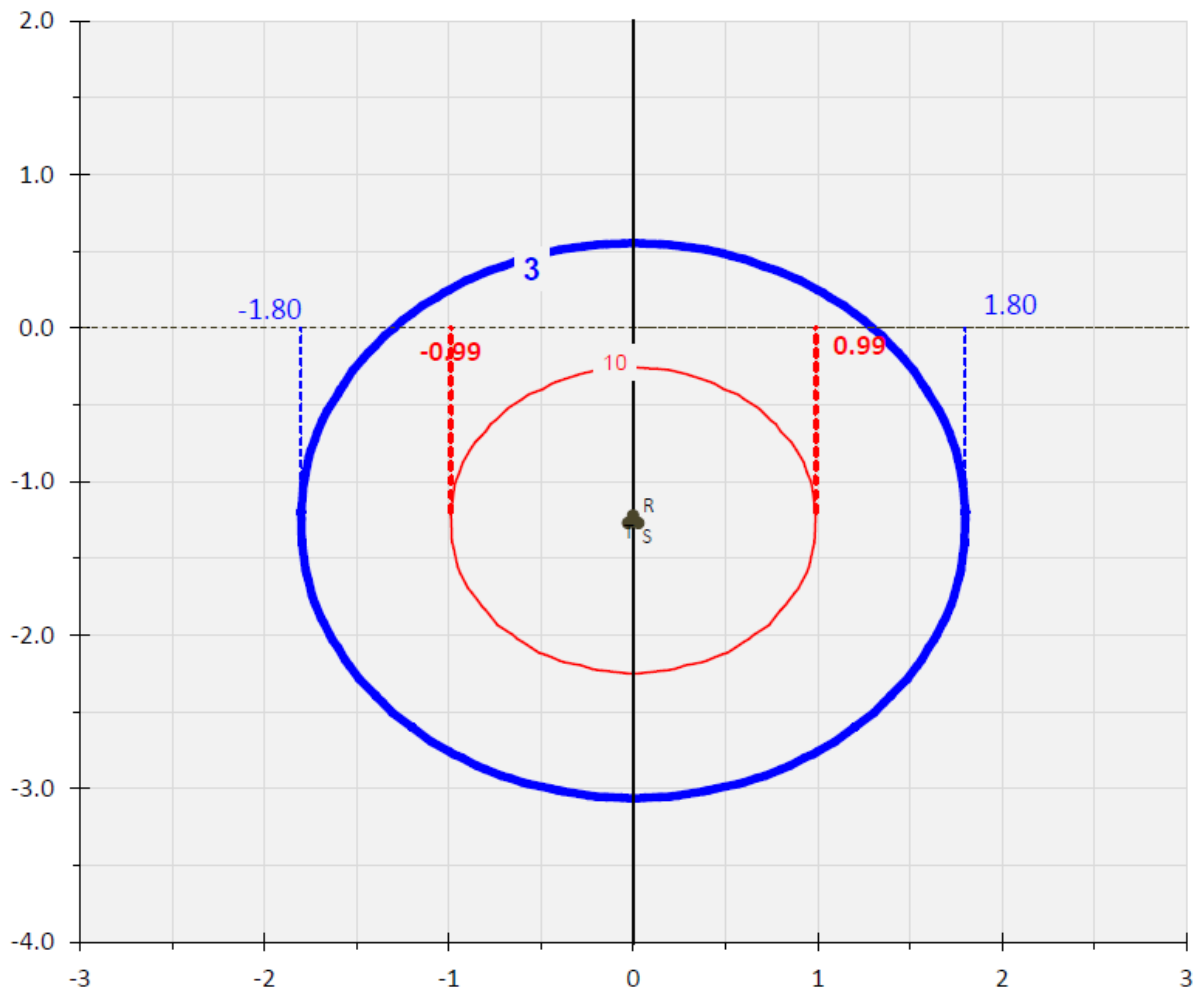
$S = 0.054 \text{ m}$ (uguale al diametro esterno del cavo pari a 54 mm) $I = 710 \text{ A}$

Si ottiene:

$R' = 1.83 \text{ m}$

che arrotondato al metro, fornisce un valore della fascia di rispetto pari a 2 m per parte rispetto all'asse del cavidotto. Come anticipato non si ravvisano ricettori all'interno della suddetta fascia.

Tale valore è ulteriormente confermato dal calcolo numerico, che fornisce la curva isolivello a 3 microT riportata nella seguente figura.



Curve isolivello dell'induzione magnetica prodotta dalla line cavo AT

3.5. *Altri cavi*

Altri campi elettromagnetici dovuti al monitoraggio e alla trasmissione dati possono essere trascurati, essendo le linee dati realizzate normalmente in cavo schermato.

3.6. *ANALISI DEI RISULTATI OTTENUTI*

Come mostrato nelle tabelle e figure dei paragrafi precedenti le azioni di progetto fanno sì che sia possibile riscontrare intensità del campo di induzione magnetica superiore al valore di 3 μT , sia in corrispondenza della cabina di trasformazione che in corrispondenza dei cavidotti esterni; D stato dimostrato come la fascia entro cui tale limite viene superato è circoscritto intorno alle opere suddette, gran parte delle quali si trovano interamente su percorso stradale e quindi si può certamente escludere la presenza continuativa di recettori sensibili, entro le predette fasce, venendo qui soddisfatto l'obiettivo di qualità da conseguire nella realizzazione di nuovi elettrodotti fissato dal DPCM 8 Luglio 2003.

La relativa DPA ha una ampiezza di 3 m dalla mezzeria del cavidotto.

La stessa considerazione può ritenersi certamente valida per le aree attorno alla cabina di trasformazione.

4. Calcolo delle fasce di rispetto per le cabine di campo

4.1. Calcolo distanza di prima approssimazione per le cabine MT/BT di campo

La valutazione deve essere eseguita nel rispetto delle norme legislative e tecniche nello specifico il DM 29/05/08, mentre ci sono metodologie di calcolo semplificato, già validate per le cabine standard di distribuzione assimilabili a quelle dei produttori per potenze fino a 630 kVA, per potenze superiori non ci sono valori tabulati, occorrono pertanto dei calcoli dedicati, come meglio specificato di seguito.

4.1.1. Cabine MT/BT trafo per i servizi ausiliari.

Per le cabine della distribuzione secondaria MT/BT il Gestore e-distribuzione ha utilizzato la metodologia ai sensi del DPCM 08 luglio 2003, si tratta di 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

Il procedimento su esposto, richiamato dal DM 29/05/08, è stato applicato e validato solo a cabine box con trasformatori con potenza apparente di 250 - 400 - 630 kVA, di fatto alle cabine di distribuzione dei gestori di rete (es. e-distribuzione), esso è utilizzabile per i trasformatori ausiliari previsti da 100 kVA e quelli al servizio delle singole cabine da 5 kVA, ma non è adattabile alle cabine di potenza del produttore, che hanno configurazioni variegate e nel nostro caso potenze molto superiori, pertanto si procederà con calcoli dedicati relativi alle cabine di campo con potenza 5 MVA.

4.1. Cabine MT/BT da 2 x 2500 kVA

E' necessario eseguire un calcolo con metodi noti in letteratura tecnica e riconosciuti normativamente, che permettano di valutare le distanze oltre le quali l'induzione magnetica B sia inferiore a 3 μ T.

La norma CEI che più si occupa dell'argomento (oltre quelle generali sui campi magnetici) è la CEI 106-12.

Mentre per le spire di raggio R, inerenti gli avvolgimenti del trasformatore, il campo magnetico decresce in maniera inversamente proporzionale al cubo della distanza D (ove $D \gg R$) e si riduce ad 10^{-3} del valore iniziale (di fatto annullandosi), per $D=10 R$, ciò non può dirsi per i cavi o i condotti sbarre prefabbricati.

Le formule a cui fare riferimento sono quelle del paragrafo 4.2 della CEI 106-12, sintetizzate nella figura sottostante.

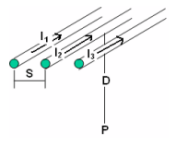
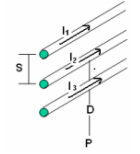
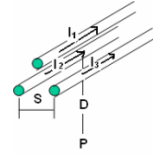
a) Terna trifase di conduttori in piano	b) Terna trifase di conduttori in verticale	c) Terna trifase di conduttori a triangolo
		
$B(\mu T) = 0,2 \cdot \sqrt{3} \cdot \frac{I \cdot S}{D \cdot D}$		$B(\mu T) = 0,1 \cdot \sqrt{6} \cdot \frac{I \cdot S}{D \cdot D}$

Figura 1 - Calcolo approssimato dell'induzione B in terne equilibrate e simmetriche (CEI 106-12)

Attenzione, come si vede dalla figura la norma utilizza (scelta poco appropriata), S come distanza fra i conduttori e D come distanza alla quale valutare l'induzione.

Sia per le linee bifasi che trifasi, il campo magnetico è inversamente proporzionale al quadrato della distanza dalla sorgente ed è direttamente proporzionale alla distanza S tra i singoli conduttori di fase; a parità di distanza dalla sorgente il campo cresce in modo proporzionale con il rapporto S/D.

La taglia del trasformatore prevista nelle cabine dell'impianto agro-fotovoltaico è quella da 5'000 kVA (costituita da 2 trasformatori da 2500 kVA ciascuno, con potenza effettiva in ingresso al trasformatore è pari a 2'273 kVA), con una tensione secondaria nominale di 800V, ciascun trasformatore ha una corrente nominale (valore conservativo rispetto alla corrente effettiva) BT a 800 V al secondario trafo di 1'804 A.

Il collegamento lato 800 V dal trasformatore al quadro è il punto in cui la corrente è più elevata, invece di 4 terne cavi da 240 in parallelo, si può utilizzare un condotto sbarre prefabbricato che, oltre alle caratteristiche elettromeccaniche superiori (tenuta al corto circuito e diminuzione delle sollecitazioni elettrodinamiche sugli attacchi al trasformatore ed al quadro BT), con l'involucro metallico delle sbarre conduttrici e le dimensioni compatte riducono in maniera sostanziale i campi elettrico e magnetico rispettando di fatto l'obiettivo qualità del DPCM.

Il condotto sbarre prefabbricato considerato nel calcolo è il Canalis KTC 2'500², che ha le sbarre (2x120x6 per fase), in rame isolate con dei setti in poliestere, confinate entro involucro in acciaio, con altezza 244 mm e larghezza complessiva di soli 140 mm.

² Caratteristiche costruttore Schneider Electric. Dati ufficiali di catalogo del costruttore indicano, intorno al condotto sbarre prefabbricate da 2'500 A, valori dell'induzione magnetica B pari a 1,5 μT a distanza di 1 m

Per completezza calcoliamo il valore dell'induzione considerando anche l'opzione di 4 cavi in parallelo per ciascuna fase, utilizzeremo le caratteristiche geometriche del cavo individuato, per il calcolo della DPA, che risulta ricavando D dalla formula **a** (o anche **b**) della precedente Fig. 7.

$$D = \sqrt{\frac{0,2 \cdot I \cdot S}{\sqrt{3}}}$$

Il risultato, con i dati suddetti è il seguente:

D = 4,73 m che possiamo approssimare cautelativamente a 5 m.

La Distanza di Prima Approssimazione per la cabina da **5'000 kVA** (2 x 2500 kVA), compartimentata come da descrizione precedente va pertanto considerata: **DPA = 5 m** (valore cautelativo).

La zona intorno alle cabine BT/MT va intesa di transito e non di permanenza di persone comuni, essa potrà essere invece occasionalmente occupata da personale tecnico elettrico nei momenti di controllo, manutenzione ed attività specialistiche, eseguite comunque nel rispetto dei programmi di sicurezza, valutata nella globalità dei rischi professionali delle aziende di manutenzione.

Lo spazio ove i valori sono notoriamente più elevati di 3 μ T (es. immediate vicinanze dei cavi BT in risalita verso il quadro BT di parallelo inverter), è riservato esclusivamente al personale specializzato elettrico, per i quali i tempi di esposizione devono sempre essere definiti nei rispettivi documenti di valutazione dei rischi aziendali (DVR).

Considerazioni conclusive dello studio previsionale

Le uniche radiazioni associabili a questo tipo di impianti sono le radiazioni non ionizzanti costituite da campi elettrici e magnetici a bassa frequenza (50 Hz), prodotti rispettivamente dalla tensione di esercizio degli elettrodotti e dalla corrente che li percorre. I valori di riferimento, per l'esposizione ai campi elettrici e magnetici, sono stabiliti dalla Legge n° 36 del 22/02/2001 e dal 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 di 50 Hz degli elettrodotti.

In generale per quanto riguarda il campo elettrico in media tensione esso è notevolmente inferiore a 5kV/m (valore imposto dalla normativa).

Mentre per quel che riguarda il campo di induzione magnetica il calcolo nelle varie sezioni di impianto ha dimostrato come non ci siano fattori di rischio per la salute umana a causa delle azioni di progetto, poiché è esclusa la presenza di ricettori sensibili entro le fasce per le quali i valori di induzione magnetica attesa non sono inferiori agli obiettivi di qualità fissati per legge; mentre il campo magnetico generato è nullo a causa dello schermo dei cavi o assolutamente trascurabile negli altri casi per distanze superiori a qualche cm dalle parti in tensione. Infatti, per quanto riguarda il campo magnetico, relativamente ai cavidotti MT, in tutti i tratti interni realizzati mediante l'uso di cavi elicordati, si può che l'ampiezza della semi fascia di rispetto sia pari a 1 m., a cavallo dell'asse del cavidotto, pertanto uguale alla fascia di asservimento della linea.

Per quanto concerne i tratti esterni, realizzati mediante l'uso di cavi unipolari posati a trifoglio, è stata calcolata un'ampiezza di semi fascia di rispetto pari a ml. 4,00 e , sulla base della scelta del tracciato, si esclude la presenza di luoghi adibiti alla permanenza di persone per durate non inferiori alle 4 ore al giorno.

Per ciò che riguarda le cabine di trasformazione l'unica sorgente di emissione è rappresentata dal trasformatore MT/AT, quindi in riferimento al DPCM del 08 Luglio 2003 e al DM del MATTM del 29/05/2008, l'obiettivo di qualità si raggiunge, nel caso peggiore (trasformatore da 1259 kVA), già a circa 4 ml. (DPA) della cabina stessa.

Per quanto riguarda la cabina di impianto, vista la presenza del solo trasformatore per l'alimentazione dei servizi ausiliari in BT e l'entità delle correnti circolanti nei quadri MT l'obiettivo di qualità si raggiunge a 2 (DPA) dalla cabina stessa. Considerando comunque che nelle cabine di trasformazione e nelle cabine d'impianto non è prevista la presenza di persone per più di quattro ore al giorno e che l'intera area dell'impianto fotovoltaico sarà racchiusa all'interno di una recinzione metallica che impedisce l'ingresso di personale non autorizzato, si può escludere pericolo per la salute umana. L'impatto elettromagnetico può pertanto essere considerato non significativo.