

PROPONENTE: **AME ENERGY S.r.l.**

-Via Pietro Cossa, 5 20122 Milano (MI) - ameenergysrl@legalmail.it - PIVA 12779110969

REGIONE BASILICATA
PROVINCIA DI POTENZA
COMUNE DI MASCHITO

Titolo del Progetto:

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO EVOLUTO DENOMINATO "PANE DAL SOLE" PER LA PRODUZIONE DI PRODOTTI ALIMENTARI DI FILIERA CORTA A DIABETE ZERO, REALIZZATI CON GRANI ANTICHI BIOLOGICI MACINATI A PIETRA. IMPIANTO AGRIVOLTAICO UBICATO NEL COMUNE DI MASCHITO (PZ) IN LOCALITA' "ORIFICICCHIO" CON POTENZA DI PICCO PARI A 19.9 MWp.

Documento:

PROGETTO DEFINITIVO

N° Documento:

MASPV-T022

ID PROGETTO:	201	DISCIPLINA:	PD	TIPOLOGIA:	R	FORMATO:	A4
--------------	------------	-------------	-----------	------------	----------	----------	-----------

Elaborato:

RELAZIONE SULL'ELETTROMAGNETISMO (D.P.C.M. 08-07-03 E D.M. 29-05-08)

FOGLIO:	32	SCALA:	-	Nome file:	MASPV-T022.docx
---------	-----------	--------	----------	------------	------------------------

Progettazione:

IPROJECT S.R.L.



**Consulenza, Progettazione e Sviluppo Impianti
ad Energia Rinnovabile**

Sede Legale: Via Del Vecchio Politecnico, 9 - 20121 Milano (MI)

P.IVA 11092870960-PEC: i-project@legalmail.it

Sede Operativa: Via Bisceglie n° 17 - 84044 Albanella (SA)

-mail: a.manco@iprojectsrl.com

Cell: 3384117245

Progettista: Arch. Antonio Manco



Rev:	Data Revisione	Descrizione Revisione	Redatto	Controllato	Approvato
0	19/06/2023	Prima emissione	Ing. Vincenzo Oliveto	Arch. Antonio Manco	Arch. Antonio Manco

INDICE

1	INTRODUZIONE	2
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	7
3	INQUADRAMENTO TERRITORIALE.....	9
4	DESCRIZIONE DELL'OPERA	10
4.1	Impianto fotovoltaico	10
4.2	Cavidotto AT	10
4.2.1	Cavidotto AT interno parco	10
4.2.2	Cavidotto AT esterno parco.....	13
5	DESCRIZIONE DELLE SORGENTI ELETTROMAGNETICHE CHE SI ANDRANNO AD INSERIRE NELL'AMBIENTE IN ESAME	15
6	IL DECRETO DEL PRESIDENTE DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI DELL'8 LUGLIO 2003 E LA LEGGE QUADRO DEL 22 GENNAIO 2001 N. 36	18
7	METODOLOGIA DI CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI GENERATI DAL CAVIDOTTO 23	
7.1	Verifica fascia di rispetto e DPA moduli fotovoltaici	26
7.2	Verifica fascia di rispetto e DPA cabine in AT	27
7.2.1	Calcolo del campo di induzione magnetica generato dalle cabine di trasformazione.....	29
7.2.2	Calcolo della fascia di rispetto attorno la cabina di trasformazione secondo il DM 29/05/2008...	30
8	CONCLUSIONI	32

1 INTRODUZIONE

L'inquinamento da campi elettromagnetici, fenomeno conosciuto con il nome di elettrosmog, è motivo d'interesse da parte della popolazione ed è comprensibile per il fatto che la diffusione di sorgenti elettromagnetiche aumentano a dismisura e ciò provoca dei rischi potenziali per la salute delle persone direttamente esposte.

Gli enti principali preposti al controllo sanitario e ambientale, attualmente, sono: ANPA, ARPA, Regioni, ISPESL, ISS, Ministeri dell'Ambiente, Sanità e Telecomunicazioni.

Il monitoraggio continuo dei campi elettromagnetici da parte di questi enti, al quale sarà sottoposto anche il parco agrivoltaico di Maschito (PZ) che si andrà a realizzare, permette di:

- informare i cittadini;
- garantire la salute delle persone;
- ottimizzare le scelte progettuali dei fornitori di energia elettrica;
- facilitare il compito per il controllo ambientale nell'assunzione di decisioni di tipo tecnico/amministrativo;
- attuare regolamenti in materia di protezione e tutela ambientale;
- superare la diffidenza dei cittadini nei confronti dell'installazione dei parchi eolici.

Il termine "radiazione" è utilizzato per indicare generalmente qualunque propagazione di energia da un punto all'altro dello spazio che non abbia necessità di un contatto diretto o del trasferimento di energia a un mezzo interposto.

Rientrano in questa definizione i campi elettromagnetici alle varie frequenze, (ionizzanti e non ionizzanti), e le particelle, (elettroni, protoni, neutroni etc...), che rappresentano i costituenti elementari della materia: entrambi, infatti, si propagano anche nel vuoto. Non rientra invece in questa definizione il rumore, che per propagarsi ha bisogno di un mezzo.

La natura della radiazione elettromagnetica varia a seconda della frequenza (f) d'oscillazione del campo elettrico e magnetico.

Essenzialmente i campi elettromagnetici possono essere distinti in due classi principali: radiazioni ionizzanti e non ionizzanti, secondo la capacità o meno dell'onda di provocare ionizzazione in un atomo o in una molecola.

Le radiazioni ionizzanti sono tutte quelle forme di radiazione elettromagnetica che superano i 12 eV circa di energia (E) e che hanno quindi la proprietà di ionizzare atomi o molecole, ovvero romperne i legami interni.

Le radiazioni non ionizzanti (NIR, Non Ionizing Radiation) sono tutte quelle forme di radiazioni elettromagnetiche la cui energia (E) è talmente bassa, inferiore a 12 eV, che non sono in grado di ionizzare la materia.

$$E = h \times f$$

dove h è la costante di M. Planck e vale 4.13570×10^{-15} eVs, e f è la frequenza (Hz=1/s).

Le radiazioni ionizzanti comprendono i raggi x e i raggi g, anche i raggi cosmici, che pur non essendo onde elettromagnetiche, sono in grado di ionizzare la materia.

Denominazione	Sigla	Frequenza [f]	Lunghezza d'onda [l]	
Extremely Low Frequency	ELF	0 Hz ÷ 3 kHz	> 100 km	
Very Low Frequency (onde lunghissime)	VLF	3 ÷ 30 kHz	100 ÷ 10 km	
RADIOFREQUENZE	Low Frequency (onde lunghe)	LF	30 ÷ 300 kHz	10 ÷ 1 km
	Medium Frequency (onde medie)	MF	300 ÷ 3000 kHz	1 km ÷ 100 m
	High Frequency (onde corte)	HF	3 ÷ 30 MHz	100 ÷ 10 m
	Very High Frequency (onde metriche)	VHF	30 ÷ 300 MHz	10 ÷ 1 m
MICROONDE	Ultra High Frequency (onde decimetriche)	UHF	300 ÷ 3000 MHz	1000 ÷ 100 mm
	Super High Frequency (centimetriche)	SHF	3 ÷ 30 GHz	100 ÷ 10 mm
	Extremely High Frequency (onde millimetriche)	EHF	30 ÷ 300 GHz	10 ÷ 1 mm
INFRAROSSO	IR	0.30 ÷ 385 THz	1000 ÷ 0.78 µm	
LUCE VISIBILE		385 ÷ 750 THz	780 ÷ 400 nm	
ULTRA VIOLETTO	UV	750 ÷ 3000 THz	400 ÷ 100 nm	
RAGGI X		3 ÷ 3000 PHz	100 ÷ 0.10 nm	
RAGGI		Oltre 3 EHz	< 0.10 nm	

Classificazione delle onde elettromagnetiche

Le radiazioni non ionizzanti comprendono l'ultravioletto (UV), il visibile e l'infrarosso (IR), le microonde (EHF, SHF, UHF), le radiofrequenze (RF), fino ad arrivare al campo elettrico e magnetico a bassissime frequenze (ELF).

I campi elettromagnetici sono una componente fondamentale della nostra vita; la luce visibile, la radiazione ultravioletta, le onde radio, le microonde sono tutti esempi di radiazioni di campi elettromagnetici con diverse energie. Gli scambi di energia tra le varie componenti dell'atomo e tra atomi diversi sono anch'essi governati da campi elettromagnetici di diverse frequenze.

Sciami di particelle elementari raggiungono la Terra dagli spazi cosmici, come residuo delle reazioni termonucleari che hanno luogo nelle stelle e in particolar modo nel Sole.

La crosta terrestre stessa è ricca di elementi radioattivi, la cui disintegrazione produce particelle elementari, (radiazione alfa e beta), e campi elettromagnetici sotto forma di radiazione gamma.

Tutti gli esseri viventi utilizzano, in maniera diretta o indiretta, la componente visibile del campo elettromagnetico, la luce, senza la quale non sarebbe possibile la vita sulla terra; tutti si sono perlomeno adattati, anche senza utilizzarle, alle altre componenti dello spettro di radiazioni emesso dal Sole e alle radiazioni cosmiche.

Nell'ultimo secolo alle radiazioni naturali si sono aggiunte quelle prodotte dalle attività umane, utilizzate per gli scopi più vari nelle attività produttive, in medicina, nello scambio d'informazioni e, massicciamente, nella vita domestica; se inquinamento significa brusca variazione antropogenica dello stato "normale" della natura, indipendentemente dall'esistenza di effetti nocivi per la specie umana o per altre specie, allora ha sicuramente senso parlare d'inquinamento da radiazioni in tutte le aree antropizzate della Terra.

Le radiazioni che si andranno a immettere nell'ambiente dopo la costruzione del parco fotovoltaico sono di tipo non ionizzanti. Con il termine radiazioni non ionizzanti, come sopra precisato, è considerata tutta la gamma di frequenze del campo elettromagnetico che va da zero, (campi elettrici e magnetici statici), fino a 12 eV, (elettronvolt), e che comprende le radiazioni a bassissima frequenza generate dalla rete di distribuzione dell'energia elettrica, dalle radioonde, dalle microonde e dalla radiazione visibile e ultravioletta.

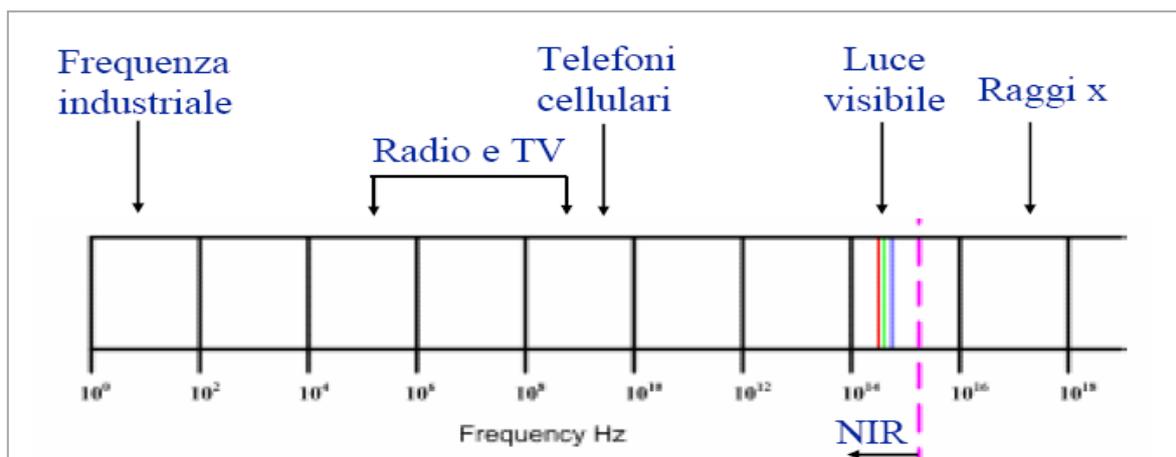


Figura 1: Radiazioni generate dalle attività umane a varie frequenze

Le radiazioni non ionizzanti com'è implicito nella definizione, sono radiazioni che non possiedono l'energia sufficiente a ionizzare un atomo o una molecola.

I loro effetti sui materiali cambiano moltissimo al cambiare della frequenza: per i campi statici e di bassissima frequenza gli effetti sono legati allo spostamento delle cariche elementari e alle correnti indotte, per le radiofrequenze gli effetti sono prevalentemente associati all'assorbimento di energia da parte delle strutture molecolari e al suo rilascio sotto forma di calore, per la luce visibile e ancor di più per l'ultravioletto è possibile l'eccitazione degli elettroni più esterni degli atomi, e il conseguente riassetto con emissione di energia.

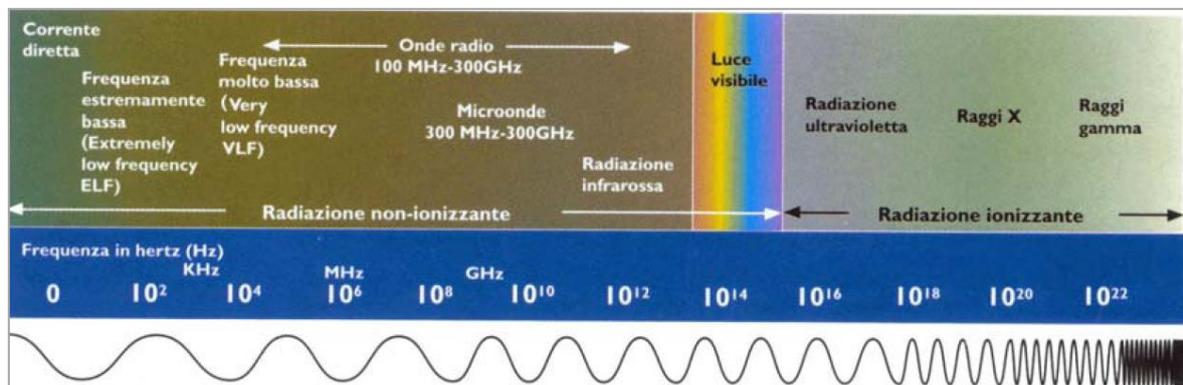


Figura 2: Spettro del campo elettromagnetico

Gli effetti delle radiazioni non ionizzanti sull'organismo umano sono ancora più variati: per la radiazione visibile e ultravioletta sono da sempre noti gli effetti sul sistema visivo e sulla cute, e sono attualmente studiati gli effetti modulanti della luce alle varie frequenze sull'attività dell'intero organismo. Per le radiofrequenze sono ben noti e studiati i danni provocati dall'assorbimento di calore, danni possibili solo al di sopra di una certa soglia, mentre non c'è ancora accordo sull'esistenza e sull'entità di danni risultanti da effetti di tipo non termico, (conclusioni di uno studio effettuato dall'ICNIRP - International Commission for Non Ionizing Radiation Protection).

A differenza delle radiazioni ionizzanti, per le radiazioni non ionizzanti l'apporto delle radiazioni generate artificialmente dall'uomo è notevole: infatti, l'intensità dei campi elettromagnetici di origine naturale nelle frequenze da 0 a 300 GHz è parecchie migliaia di volte inferiore a quella rilevabile mediamente negli ambienti antropizzati. È a questa componente del campo elettromagnetico che ci si riferisce quando si parla d'*inquinamento elettromagnetico*.

Il calcolo del campo elettromagnetico che sarà generato dagli elettrodotti nel sito individuato per l'installazione del parco fotovoltaico è stato effettuato con riferimento alle leggi vigenti in materia

come sarà dettagliatamente precisato nella presente trattazione che ha assunto come elemento fondamentale e non di dettaglio o marginale la tutela dell'ambiente e la salute pubblica.

Lo studio dello stato di fatto e i sopralluoghi effettuati per accertare l'esistenza di campi elettromagnetici nei luoghi d'installazione del parco fotovoltaico hanno portato alla conclusione che l'area interessata non presenta sorgenti elettromagnetiche a bassa frequenza pari a 50 Hz (ELF - Extra Low Frequency) e neanche sorgenti a Radiofrequenze (RF - Radio Frequency) comprese tra 300 kHz e 300 MHz.

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Gli impianti ed i singoli componenti saranno realizzati a regola d'arte (Decreto Ministeriale 22 gennaio 2008, n. 37). Le caratteristiche degli impianti e dei relativi componenti devono corrispondere alla normativa ed alla legislazione vigente alla data del contratto; tale conformità si intende riferita alle norme tecniche emanate dal C.E.I., dall'U.N.I., nonché nel rispetto della legislazione attualmente in vigore.

Per quanto riguarda l'aspetto tecnico, le linee elettriche devono essere progettate, costruite ed esercite secondo le norme elaborate dal Comitato Tecnico 11 del Comitato Elettrotecnico Italiano le quali costituiscono disposizioni di legge. I riferimenti legislativi sono:

- *Norma CEI 11-17 luglio 1997: "Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione di energia elettrica - linee interrate".*
- *Norme del Ministero dell'Interno per quanto attiene le disposizioni di sicurezza antincendio.*
- *Decreto Legislativo 22 febbraio 2001, n. 36: "Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici".*
- *Norma CEI 11-8 dicembre 1989: "Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione di energia elettrica – impianti di terra e successive varianti".*
- *Norma CEI 103-6 dicembre 1997: "Protezione delle linee di telecomunicazioni dagli effetti dell'induzione elettromagnetica provocata dalle linee elettriche vicine in caso di guasto".*
- *Norma CEI 0-16 luglio 2007: "Regola tecnica di riferimento per la connessione di Utenti attivi e passivi alle reti AT ed MT delle imprese distributrici di energia elettrica".*
- *Specifiche tecniche E-DISTRIBUZIONE DG2092 ed. 3.*
- *Norma 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".*
- *Norma 211-4: "Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee e da stazioni elettriche".*

-
- *Norma 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".*

Quanto altro previsto dalla vigente normativa di legge, ove applicabile.

3 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Il parco agrivoltaico sarà realizzato nel Comune di Maschito (PZ) con opere connesse ricadenti nei Comuni di Maschito (PZ), Palazzo San Gervasio (PZ), Venosa (PZ) e di Montemilone (PZ) ed è diviso in cinque sottocampi. L'estensione dell'impianto agrivoltaico è di circa 38 ettari e per ulteriori dettagli si rimanda agli elaborati progettuali.

Sul terreno non sono presenti vincoli che impediscono la realizzazione dell'impianto. L'area è ad uso agricolo. Le aree interessate sono raggiungibili percorrendo strade provinciali, comunali e vicinali.

Il terreno non presenta vincoli paesaggistici, si è comunque progettato l'impianto in modo da ridurre il più possibile l'impatto visivo, utilizzando strutture di sostegno a bassa visibilità ed idonea fascia di piantumazione perimetrale.

Le aree interessate all'installazione dei pannelli fotovoltaici presentano una morfologia ondulata con lievi pendenze e i terreni sono prevalentemente coltivati a seminativo non irriguo.

4 DESCRIZIONE DELL'OPERA

4.1 IMPIANTO FOTOVOLTAICO

Tenuto conto della superficie disponibile e della tecnologia ad oggi disponibile sul mercato, si stima una potenza installabile di circa 19,9 MWp.

I moduli saranno organizzati in stringhe al fine di ottimizzare sia la disposizione dei moduli, sia la struttura metallica di sostegno degli stessi. Le stringhe convoglieranno in inverter di stringa. Le uscite degli inverter saranno poi canalizzate in cabine di trasformazione che porteranno la tensione dell'impianto da 800 V a 36 kV.

Data l'estensione dell'impianto, le cabine di trasformazione saranno dislocate nei cinque sottocampi in cui è diviso l'impianto. In ogni cabina di trasformazione sarà presente un quadro di bt che raccoglierà i cavi provenienti dagli inverter di stringa del sottocampo, un trasformatore in olio bt/AT 0,8/36 kV di potenza variabile tra 3500 kVA e 5000 kVA, un Quadro AT con relè di protezione elettronico con protezioni implementate 50, 51, 51N. Le cabine di trasformazione saranno collegate all'interno delle diverse aree tra di loro in entra-esce. Le suddette cabine afferiranno ad una cabina Utente che si attesterà direttamente nella sezione a 36 kV della SE RTN "Montemilone" di TERNA. Per ulteriori dettagli e per una visione generale del sistema elettrico si rimanda allo schema unifilare generale.

4.2 CAVIDOTTO AT

4.2.1 Cavidotto AT interno parco

Il parco agrivoltaico, attraverso un cavidotto interrato costituito da linee in alta tensione 26/45 kV verrà connesso con le cabine Utente e da quest'ultima ad una sezione a 36 kV di futura realizzazione presso la Stazione Elettrica AAT/AT della RTN ubicata nel Comune di Montemilone (PZ).

Il tracciato della linea è stato studiato in armonia con quanto dettato dall'art.121 del T.U. 11-12-1933 n.1775, comparando le esigenze di pubblica utilità dell'opera con gli interessi sia pubblici che privati.

Nella definizione dell'opera sono stati adottati i seguenti criteri progettuali:

- contenere per quanto possibile la lunghezza del tracciato per occupare la minor porzione possibile di territorio;
- mantenere il tracciato del cavo il più possibile all'interno delle strade esistenti, soprattutto in corrispondenza dell'attraversamento di nuclei e centri abitati, tenendo conto di eventuali trasformazioni ed espansioni urbane future;
- evitare per quanto possibile di interessare case sparse e isolate, rispettando le distanze minime prescritte dalla normativa vigente;
- minimizzare l'interferenza con le eventuali zone di pregio naturalistico, paesaggistico e archeologico;

Inoltre, per quanto riguarda l'esposizione ai campi magnetici, in linea con il dettato dell'art. 4 del DPCM 08-07-2003 di cui alla Legge. n. 36 del 22/02/2001, nello studio del tracciato si è tenuto conto dell'obiettivo di qualità di $3 \mu\text{T}$.

Le linee elettriche di alta tensione all'interno del parco agrivoltaico saranno realizzate in cavo interrato ad una profondità di posa non inferiore a 1,2 m. Si svilupperanno all'interno di una trincea di scavo larga circa 0.6 m e profonda 1,2 m, secondo il percorso indicato nelle tavole di progetto.

I cavi saranno posati direttamente nel terreno (posa diretta), previa realizzazione di un sottofondo di posa con terreno vagliato e/o sabbia, al fine di ridurre eventuali asperità che potrebbero danneggiare gli stessi. All'interno della trincea di scavo sarà prevista la posa di un tritubo, di un eventuale corda di rame nudo e la posa di un nastro di segnalazione con la dicitura cavi elettrici a circa 20÷30 cm al di sopra dei cavi.

La realizzazione dei cavidotti AT sarà effettuata tenendo conto della presenza degli eventuali altri servizi interrati lungo il tracciato (sistema idrico, rete di distribuzione del metano, reti TLC etc.). In fase esecutiva, si prenderanno accordi con gli Esercenti di tali servizi al fine di assicurare il rispetto delle prescrizioni della norma CEI 11-17 e del DM 24.11.1984.

Le linee elettriche sono state dimensionate in funzione della potenza da trasmettere, assumendo condizioni di posa di seguito indicate:

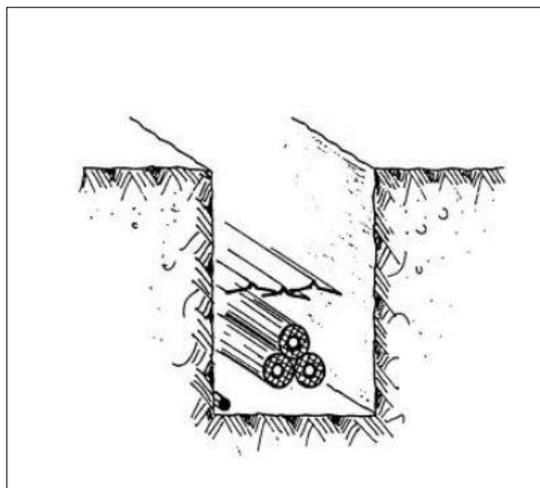


Figura 3: Esempio di posa cavo MT

- profondità di posa pari a 1,2 m;
- resistività termica del terreno pari a 1° C m/W;
- temperatura di posa pari a 30°C;

Il dimensionamento è stato eseguito applicando il criterio termico, tenendo conto della potenza da trasmettere, e la sezione scelta è stata verificata con il criterio della l'energia specifica passante (K^2S^2) tollerabile dal conduttore.

La tipologia di cavo scelto per la realizzazione delle linee di media tensione è di seguito riportata.

Tipo di Cavo	RG7H1R 26/45 kV
Conduttore	Rame
Isolante	Gomma HEPR di qualità G7
Tensione Isolamento	26/45 kV
Circuito	RST
Temperatura Funzionamento	90 °C
Temperatura Corto Circuito	250 °C
Categoria	A
Profondità di Posa	1.2 m
Distanza Circuiti Adiacenti	7 cm o 25 cm
Tipo di Posa	Direttamente interrato in terra umida
Codice Posa	62
Temperatura Ambiente	30 °C

Lungo lo sviluppo della linea è prevista la realizzazione di giunti dielettrici di alta tensione di collegamento tra le varie pezzature di cavo.

Essi saranno costituiti da materiali simili o comunque compatibili con quelli del cavo stesso su cui saranno installati, e provvederanno:

- alla connessione dei conduttori di due pezzature di cavo mediante manicotti metallici chiamati connettori;
- all'isolamento del conduttore ed al ripristino dei vari elementi di cavo;
- al mantenimento della continuità elettrica tra eventuali schermi metallici dei cavi;

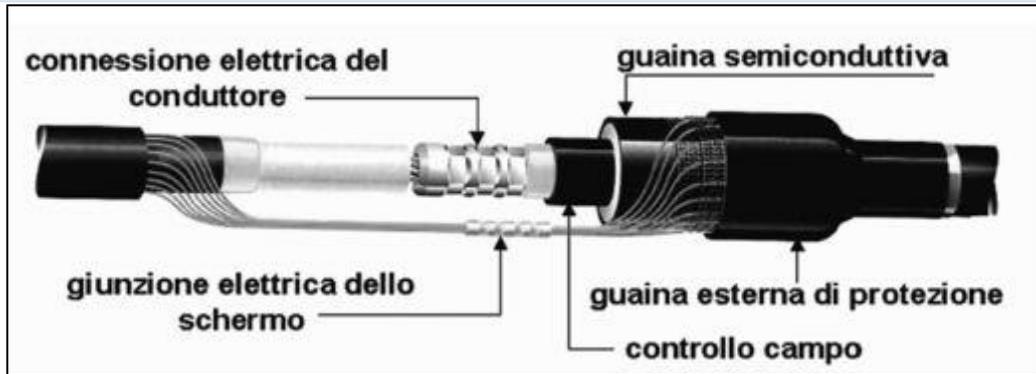


Figura 4: Giunto AT

I terminali, che costituiranno le estremità del cavo, provvederanno:

- alla connessione dei conduttori con le apparecchiature;
- al controllo del campo elettrico;
- alla sigillatura del cavo contro l'eventuale penetrazione di acqua o umidità.

Nella tabella sottostante si riportano le caratteristiche delle linee AT con le relative cadute di tensione.

DIMENSIONAMENTO LINEE - CAVIDOTTO MT INTERNO CAMPO									
Linea	Tipo di cavo	Numero terre	Lunghezza Linea	Lunghezza Cavi MT	Potenza	Sezione	Portata	Corrente	ΔU_n
			[m]	[m]	[kW]	[mm ²]	[A]	[A]	[%]
Linea CT1_CT2	RG7H1R 26/45 kV	1	217	651	4768,4	70	235,70	84,97	0,03
Linea CT2_CT4	RG7H1R 26/45 kV	1	551	1653	9136,4	70	235,70	162,81	0,14
Linea CT4_CT3	RG7H1R 26/45 kV	1	190	570	12794,6	70	230,79	227,99	0,07
Linea CT3_CU	RG7H1R 26/45 kV	1	305	915	15615,6	95	281,23	278,26	0,11
Linea CT5_CU	RG7H1R 26/45 kV	1	877	2631	4368	70	230,79	46,88	0,06
DIMENSIONAMENTO LINEE - CAVIDOTTO MT ESTERNO CAMPO									
Linea	Tipo di cavo	Numero terre	Lunghezza Linea	Lunghezza Cavi MT	Potenza	Sezione	Portata	Corrente	ΔU_n
			[m]	[m]	[kW]	[mm ²]	[A]	[A]	[%]
Linea CU_SE	RG7H1R 26/45 kV	2	14225	85350	19947,2	240	2x464,26	356,10	1,80

4.2.2 Cavidotto AT esterno parco

Il cavidotto AT esterno parco in progetto si estende dalla cabina utente in prossimità dell'impianto fotovoltaico nel Comune di Maschito (PZ) fino alla sezione a 36 kV della SE RTN "Montemilone" di Terna nel Comune di Montemilone (PZ).

I cavi saranno interrati a una profondità di 1.50 m all'estradosso in modo che venga garantita la profondità minima di posa che sarà maggiore di 1 m, con fornitura di materiale fine/sabbia sul tubo e sul fondo dello scavo che sarà piatto e privo di asperità onde evitare danneggiamenti delle tubazioni. Al di sopra dei cavidotti ad almeno 0,2 m dall'estradosso del tubo stesso, sarà collocato il

nastro monitore (uno almeno per ogni coppia di tubi); nelle strade pubbliche si eviterà la collocazione del nastro immediatamente al di sotto della pavimentazione, onde evitare che successivi rifacimenti della stessa possano determinarne la rimozione.

Nella posa dei tubi le curve saranno limitate al minimo necessario e comunque avranno un raggio non inferiore a 1,50 m. In particolare il profilo della tubazione AT sarà quanto più lineare possibile evitando in particolare le "strozzature" nei casi di incrocio con altre opere o per la eventuale presenza di ostacoli.

Il cavo previsto sarà di tipo RG7H1R 26/45 kV 2x(3x1x240) mm² con anima in rame e con isolamento in gomma HEPR di qualità G7.

5 DESCRIZIONE DELLE SORGENTI ELETTROMAGNETICHE CHE SI ANDRANNO AD INSERIRE NELL'AMBIENTE IN ESAME

La realizzazione degli elettrodotti con frequenza di esercizio a 50 Hz andrà a creare una sorgente elettromagnetica; che nel caso in esame è classificata come una sorgente non ionizzante, NIR, (Non Ionizing Radiation), a bassa frequenza ELF, (Extra Low Frequency), la cui energia non è tale da creare il fenomeno della ionizzazione e interagire con la materia apportando modifiche termiche, meccaniche e bioelettriche.

Alla frequenza di 50 Hz il campo elettrico e il campo magnetico sono separati tra loro e in particolare il campo elettrico prodotto da un sistema polifase di conduttori posti entro uno spazio imperturbato, può essere rappresentato geometricamente come un vettore che ruota in un piano descrivendo un'ellisse, quindi è associato alle cariche in gioco e alle tensioni, ed è presente quando la linea è posta in tensione, trattandosi inoltre di una grandezza variabile nel tempo, occorre distinguere tra il suo valore massimo, medio ed efficace, ricordando che la normativa fa solitamente riferimento ai valori efficaci, (gli studi epidemiologici considerano talvolta anche i valori medi o quelli di picco).

Nel nostro caso l'elettrodotto è interrato e il campo elettrico generato dalle terne trifasi è drasticamente ridotto grazie alla vicinanza dei conduttori, all'isolamento, allo sfasamento della corrente circolante nei cavi a -120° , 0° , $+120^\circ$, alla schermatura metallica che costituisce l'armatura dei cavi e al terreno in cui sono immersi i cavi.

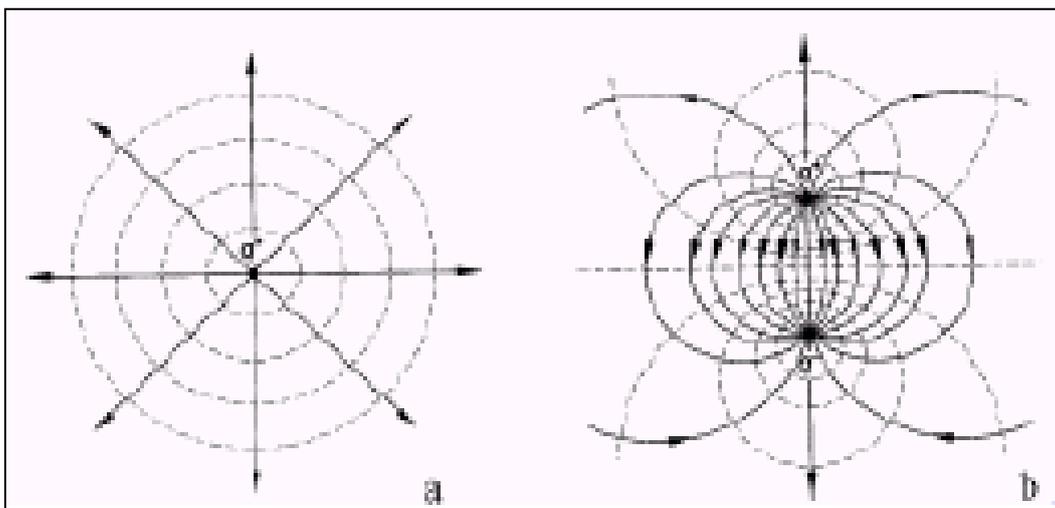


Figura 5: Linee di forza del campo elettrico

Il campo magnetico, al contrario, è associato alla corrente trasportata dalla linea: esso scompare quando la linea è solo "in tensione" e non trasporta energia, anche il campo magnetico è una grandezza vettoriale e nel caso di un sistema polifase in corrente alternata, il vettore campo magnetico nasce dalla composizione dei contributi di tutte le correnti circolanti nei conduttori e, come per il campo elettrico, ruota su un piano descrivendo un'ellisse: le norme fanno riferimento al valore efficace invece gli studi epidemiologici, come per i campi magnetici, si riferiscono anche a valori medi e di picco.

Il campo magnetico, al contrario del campo elettrico, non può essere schermato da materiali comuni ma solo con materiali ferromagnetici, per tale motivo bisogna calcolare il campo magnetico generato dal sistema polifase del cavo dritto in ottemperanza della normativa vigente in materia.

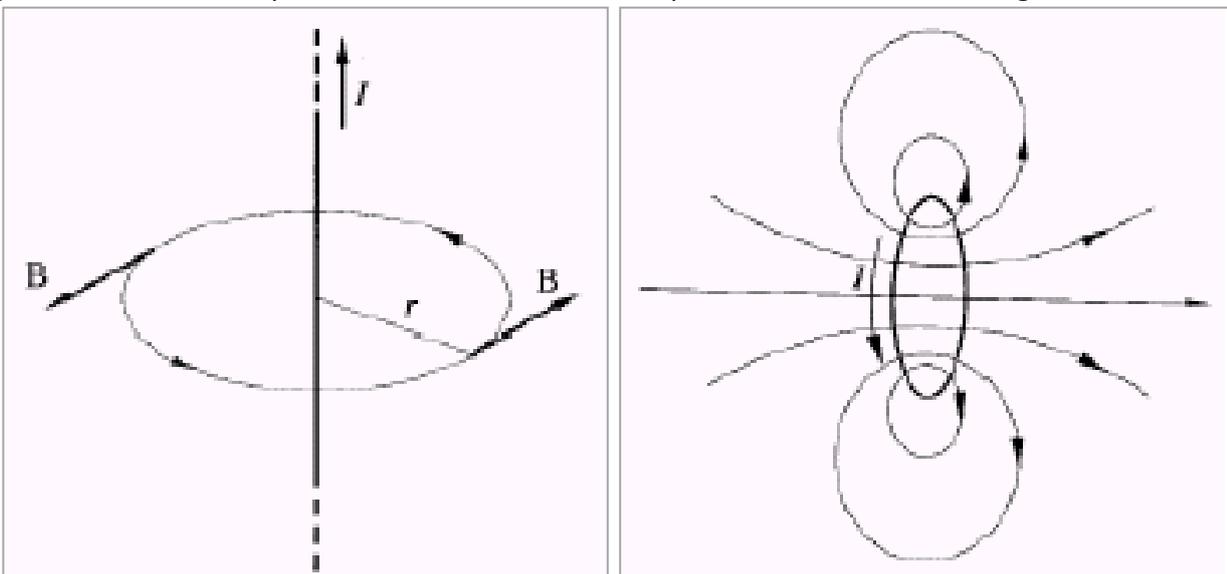


Figura 6: Linee di forza del campo magnetico

Il campo elettromagnetico si ha quando le cariche elettriche sono in movimento e danno luogo a una densità di corrente J che diventa sorgente di un campo magnetico B .

Il fatto che le cariche siano ferme o si muovano è relativo, pertanto è relativo anche il fatto che si abbia a che fare con un campo elettrico o con un campo magnetico.

Un campo elettrico variabile nel tempo genera un campo magnetico variabile nel tempo, in direzione perpendicolare a esso, e a sua volta quest'ultimo produce un nuovo campo elettrico variabile. La propagazione concatenata di questi campi produce il campo elettromagnetico.

Visivamente possiamo immaginarli come due onde perpendicolari fra loro, una magnetica e un'elettrica che viaggiano alla velocità della luce ($c = 2.98 \times 10^8$ m/s), e che sono chiamate onde elettromagnetiche.

Le onde elettromagnetiche trasportano energia e si propagano autogenerandosi anche quando la carica ha smesso di muoversi.

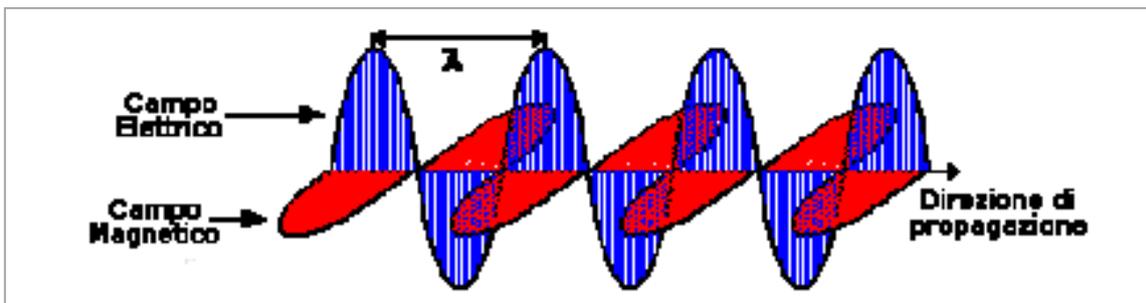


Figura 7: Rappresentazione del campo elettromagnetico

I simboli utilizzati per la denotazione del vettore campo elettrico e vettore magnetico sono di seguito riportati:

Simbolo	Denominazione
\vec{F}	Vettore forza elettrostatica
\vec{E}	Vettore campo elettrico
\vec{B}	Vettore campo magnetico nel vuoto
\vec{H}	Vettore campo magnetico in un materiale
\vec{J}	Vettore densità di corrente

Le principali unità di misura del Sistema Internazionale, (SI), utilizzate per grandezze elettriche sono riportate nella tabella che segue:

Grandezza Elettrica	Nome unità di misura	Simbolo unità di misura	Unità di misura equivalenti
Corrente	Ampère (unità fondamentale SI)	A	$A = W/V = C/s$
Carica elettrica, Quantità di elettricità	Coulomb	C	A·s
Differenza di potenziale	Volt	V	$J/C = kg \cdot m^2 \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
Resistenza, Impedenza, Reattanza	Ohm	Ω	$V/A = kg \cdot m^2 \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$
Resistività	Ohm Metro	$\Omega \cdot m$	$kg \cdot m^3 \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$
Potenza elettrica	Watt	W	$V \cdot A = VAR = kg \cdot m^2 \cdot s^{-3}$
Capacità elettrica	Farad	F	$C/V = kg^{-1} \cdot m^{-2} \cdot A^2 \cdot s^4$
Elastanza elettrica	Reciproco Del Farad	F^{-1}	$V/C = kg \cdot m^2 \cdot A^{-2} \cdot s^{-4}$
Permittività elettrica	Farad su Metro	F/m	$kg^{-1} \cdot m^{-3} \cdot A^2 \cdot s^4$
Suscettività elettrica	Adimensionale	/	/
Conduttanza elettrica, Ammettenza, Suscettanza	Siemens	S	$\Omega^{-1} = kg^{-1} \cdot m^{-2} \cdot s^3 \cdot A^2$
Conduttività	Siemens su Metro	S/m	$kg^{-1} \cdot m^{-3} \cdot s^3 \cdot A^2$
Campo magnetico, Intensità di campo magnetico	Ampère su Metro	A/m	$A \cdot m^{-1}$
Flusso magnetico	Weber	Wb	$V \cdot s = kg \cdot m^2 \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
Densità di flusso magnetico, induzione magnetica, forza del campo magnetico	Tesla	T	$Wb/m^2 = kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
Frequenza	Hertz	f	Hz = s^{-1}

Principali unità di misura elettriche del Sistema Internazionale (SI)

6 IL DECRETO DEL PRESIDENTE DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI DELL'8 LUGLIO 2003 E LA LEGGE QUADRO DEL 22 GENNAIO 2001 N. 36

La legge da rispettare per la progettazione di un elettrodotto a media tensione è il Decreto Del Presidente Del consiglio Dei Ministri dell'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 (*GU n. 200 del 29-8-2003*).

Il contenuto del DPCM 08/07/2003 è di seguito riportato:

Art. 1 - Campo di applicazione

1. Le disposizioni del presente decreto fissano i limiti di esposizione e valori di attenzione, per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) connessi al funzionamento e all'esercizio degli elettrodotti. Nel medesimo ambito, il presente decreto stabilisce anche un obiettivo di qualità per il campo magnetico, ai fini della progressiva minimizzazione delle esposizioni.
2. I limiti di esposizione, i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità di cui al presente decreto non si applicano ai lavoratori esposti per ragioni professionali.
3. A tutela delle esposizioni a campi a frequenze comprese tra 0 Hz e 100 kHz, generati da sorgenti non riconducibili agli elettrodotti, si applica l'insieme completo delle restrizioni stabilite nella raccomandazione del Consiglio dell'Unione europea del 12 luglio 1999, pubblicata nella G.U.C.E. n. 199 del 30 luglio 1999.
4. Ai sensi dell'art. 1, comma 2, della legge 22 febbraio 2001, n. 36, le regioni a statuto speciale e le province autonome di Trento e Bolzano provvedono alle finalità del presente decreto nell'ambito delle competenze a esse spettanti ai sensi degli statuti e delle relative norme di attuazione e secondo quanto disposto dai rispettivi ordinamenti.

Art. 2 - Definizioni

1. Ferme restando le definizioni di cui All'art. 3 della legge 22 febbraio 2001, n. 36, ai fini del presente decreto le definizioni delle grandezze fisiche citate sono riportate nell'allegato A che costituisce parte integrante del decreto stesso.

Art. 3 - Limiti di esposizione e valori di attenzione

1. Nel caso di esposizione a campi elettrici e magnetici alla frequenza di 50 Hz generati da elettrodotti, non deve essere superato il limite di esposizione di 100 μ T per l'induzione magnetica e 5 kV/m per il campo elettrico, intesi come valori efficaci.
2. 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 μ T, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.

Art. 4 - Obiettivi di qualità

1. Nella progettazione di nuovi elettrodotti in corrispondenza di aree gioco per l'infanzia, di ambienti abitativi, di ambienti scolastici e di luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore e nella progettazione dei nuovi insediamenti e delle nuove aree di cui sopra in prossimità di linee e installazioni elettriche già presenti nel territorio, ai fini della progressiva minimizzazione dell'esposizione ai campi elettrici e magnetici generati dagli elettrodotti operanti alla frequenza di 50 Hz, è fissato l'obiettivo di qualità di 3 μ T per il valore dell'induzione magnetica, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.

Art. 5 - Tecniche di misurazione e di determinazione dei livelli d'esposizione

1. Le tecniche di misurazione da adottare sono quelle indicate dalla norma CEI 211-6 data pubblicazione 2001-01, classificazione 211-6 prima edizione, «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» e successivi aggiornamenti.
2. Per la determinazione del valore d'induzione magnetica utile ai fini della verifica del non superamento del valore di attenzione e dell'obiettivo di qualità il sistema di agenzia APAT-ARPA dovrà determinare le relative procedure di misura e valutazione, con l'approvazione del Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio.
3. Per la verifica del rispetto delle disposizioni di cui agli articoli 3 e 4, oltre alle misurazioni e determinazioni di cui ai commi 1 e 2, il sistema di agenzia APAT-ARPA può avvalersi di metodologie di calcolo basate su dati tecnici e storici dell'elettrodotto.
4. Per gli elettrodotti con tensione di esercizio non inferiore a 132 kV, gli esercenti devono fornire agli organi di controllo, secondo modalità fornite dagli stessi, con frequenza trimestrale, 12 valori

per ciascun giorno, corrispondenti ai valori medi delle correnti registrate ogni 2 ore nelle normali condizioni di esercizio.

Art. 6 - Parametri per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti

1. Per la determinazione delle fasce di rispetto si dovrà fare riferimento all'obiettivo di qualità di cui all'art. 4 e alla portata in corrente in servizio normale dell'elettrodotto, come definita dalla norma CEI 11-60, che deve essere dichiarata dal gestore al Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio, per gli elettrodotti con tensione superiore a 150 kV e alle regioni, per gli elettrodotti con tensione non superiore a 150 kV. I gestori comunicano i dati per il calcolo e l'ampiezza delle fasce di rispetto ai fini delle verifiche delle autorità competenti.

2. L'APAT, sentite le ARPA, definirà la metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto con l'approvazione del Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio.

Art. 7 - Aggiornamento delle conoscenze

1. Il Comitato interministeriale di cui All'art. 6 della legge quadro n. 36/2001 procede, nei successivi tre anni dalla data di entrata in vigore del presente decreto, all'aggiornamento dello stato delle conoscenze, conseguenti alle ricerche scientifiche prodotte a livello nazionale e internazionale, in materia dei possibili rischi sulla salute originati dai campi elettromagnetici.

Allegato A -Definizioni

Campo elettrico: così come definito nella norma CEI 211-6 data pubblicazione 2001-01, classificazione 211-6, prima edizione, 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.

Campo magnetico: così come definito nella norma CEI 211-6 data pubblicazione 2001-01, classificazione 211-6, prima edizione, «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».

Campo d'induzione magnetica: così come definito nella norma CEI 211-6 data pubblicazione 2001-01, classificazione 211-6, prima edizione «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».

Frequenza: così come definita nella norma CEI 211-6 data pubblicazione 2001-01, classificazione 211-6, prima edizione, «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».

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

Limite di esposizione: è il valore di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, considerato come valore d'immissione, definito ai fini della tutela della salute da effetti acuti, che non deve essere superato in alcuna condizione di esposizione dalla popolazione e dei lavoratori per le finalità di cui all'articolo 1, comma 1, lettera a) della Legge Quadro;

Valore di attenzione: è il valore di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, considerato come valore d'immissione, che non deve essere superato negli ambienti abitativi, scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze prolungate per le finalità di cui all'articolo 1, comma 1, lettere b) e c). Esso costituisce misura di cautela ai fini della protezione da possibili effetti a lungo termine e deve essere raggiunto nei tempi e nei modi previsti dalla legge;

Obiettivi di qualità: sono i criteri localizzativi, gli standard urbanistici, le prescrizioni e le incentivazioni per l'utilizzo delle migliori tecnologie disponibili, indicati dalle leggi regionali secondo le competenze definite dall'articolo 8 della Legge Quadro; sono i valori di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, definiti dallo Stato secondo le previsioni di cui all'articolo 4, comma 1, lettera a), ai fini della progressiva mitigazione dell'esposizione ai campi medesimi.

In definitiva la seguente tabella riassume i valori limiti di esposizione ai campi elettrici e magnetici:

Limiti di esposizione FREQUENZA f (MHz)	Intensità di campo elettrico E (V/m)	Intensità di campo magnetico H (A/m)
$0,1 < f \leq 3$ MHz	60	0.2
$3 \text{ MHz} < f \leq 3000$ MHz	20	0.05
$3000 \text{ MHz} < f \leq 300$ GHz	40	0.01
Valori di attenzione $0,1 \text{ MHz} < f \leq 300$ GHz	6	0.016
Obiettivi di qualità $0,1 \text{ MHz} < f \leq 300$ GHz	6	0.016

alla frequenza di 50 Hz, ha stabilito quanto segue: 100 μ T per l'induzione magnetica e 5 kV/m per il campo elettrico, intesi come valori efficaci.

A titolo di misura cautelativa per la protezione da possibili effetti a lungo termine, eventualmente connessi con l'esposizione ai campi magnetici generati alla frequenza di rete (50Hz), nelle aree gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenza non inferiori a quattro ore giornaliere, si assume per l'induzione magnetica il valore di attenzione di 10 μ T, da intendersi come media dei valori nell'arco di 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.

Nella progettazione di nuovi elettrodotti in corrispondenza di aree di gioco per l'infanzia, di ambienti abitativi, di ambienti scolastici e di luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore e nella progettazione dei nuovi insediamenti e delle nuove aree di cui sopra in prossimità di linee e

installazioni elettriche già presenti nel territorio, ai fini della progressiva minimizzazione dell'esposizione ai campi elettrici e magnetici generati dagli elettrodotti operanti alla frequenza di 50 Hz, è fissato l'obiettivo di qualità di 3 µT per il valore dell'induzione magnetica, da intendersi come media dei valori nell'arco di 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.

Nel caso di esposizione a impianti che generano campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici con frequenza compresa tra 100 kHz e 300 GHz, non devono essere superati i limiti di esposizione indicati nella tabella, intesi come valori efficaci; a titolo di misura cautelativa per la protezione da possibili effetti a lungo termine eventualmente connessi con le esposizioni ai campi generati alle suddette frequenze all'interno di edifici adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere, e loro pertinenze esterne, che siano fruibili come ambienti abitativi quali balconi, terrazzi e cortili esclusi i lastrici solari, si assumono i valori di attenzione indicati nella tabella.

Ai fini della progressiva minimizzazione dell'esposizione ai campi elettromagnetici, i valori dei campi oggetto del DPCM, calcolati o misurati all'aperto nelle aree intensamente frequentate, non devono superare i valori di obiettivi di qualità indicati così come di seguito indicato:

Intervallo di frequenza	Intensità campo elettrico (V/m)	Intensità campo magnetico (A/m)	Intensità magnetica (µT)	Densità di potenza (W/m²)
0 ÷ 1 Hz	-	3.2×10^4	4×10^4	-
1 ÷ 8 Hz	10000	$3.2 \times 10^4 f^2$	$4 \times 10^4 f^2$	-
8 ÷ 25 Hz	10000	$4000/f$	$5000/f$	-
0.025 ÷ 0.8 kHz	$250/f$	$4/f$	$5/f$	-
0.8 ÷ 3 kHz	$250/f$	5	6.25	-
3 ÷ 150 kHz	87	5	6.25	-
0.15 ÷ 1 MHz	87	$0.73/f$	$0.92/f$	-
1 ÷ 10 MHz	$87/f^{1/2}$	$0.73/f$	$0.92/f$	-
10 ÷ 400 MHz	28	0.073	0.092	2
400 ÷ 2000 MHz	$1.375 f^{1/2}$	$0.0037 f^{1/2}$	$0.0046 f^{1/2}$	$f/200$
2 ÷ 300	61	0.16	0.2	10

Normativa internazionale – livelli ICNIRP
(ripresa dalla normativa europea, raccomandazione 1999/512/CE)

Limite di esposizione	Campo elettrico (V/m)	Campo d'induzione magnetica (µT)
50 Hz	5000	100
Valore di attenzione (media sulle 24 ore)	Campo elettrico (V/m)	Campo d'induzione magnetica (µT)
50 Hz	-----	10
Obiettivi di qualità (media sulle 24 ore)	Campo elettrico (V/m)	Campo d'induzione magnetica (µT)
50 Hz	-----	3

DPCM 8 luglio 2003. Bassa frequenza – 50 Hz – Elettrodotti

7 METODOLOGIA DI CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI GENERATI DAL CAVIDOTTO

Per quanto riguarda il rispetto delle distanze da ambienti presidiati ai fini dei campi elettrici e magnetici, si è considerato il limite di qualità dei campi magnetici, fissato dalla suddetta legislazione a $3 \mu\text{T}$.

Ai fini del calcolo si assume che la linea venga schematizzata come un insieme di conduttori fra loro paralleli di lunghezza infinita e disposti parallelamente al terreno (schematizzato come un piano di estensione infinita).

Il calcolo dell'induzione magnetica generata da una linea elettrica ha come punto di partenza la legge di Biot-Savart che consente di calcolare in un generico punto dello spazio il valore dell'induzione magnetica prodotta da un conduttore rettilineo percorso dalla corrente I:

$$B = \frac{\mu I}{2\pi d} \vec{u} \otimes \vec{r}$$

dove:

$\mu = \mu_0 = 4\pi * 10^{-7}$ (permeabilità magnetica del vuoto)

d è la distanza tra il conduttore e il punto di calcolo

$\vec{u} \otimes \vec{r}$ sono i versori della corrente e la relativa normale e ne indica il prodotto vettoriale

Il calcolo del campo elettrico di base sulla seguente formula:

$$E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 d} \vec{u}$$

dove:

λ è la densità di carica sul conduttore assunta costante

$\epsilon_0 = 8,85 * 10^{-12}$ è la permeabilità nel vuoto

d è la distanza tra il conduttore e il calcolo

\vec{u} è il versore unitario con direzione radiale rispetto al conduttore

Per il calcolo del cavidotto AT interno parco, i dati assunti per la simulazione sono i seguenti:

- I conduttori attivi sono 6 e rappresentano un sistema trifase ad alta tensione; la differenza di potenziale tra le fasi è di 36 kV e sono percorsi da una corrente massima di 280 A. Lo sfasamento tra le fasi R, S e T è da considerarsi pari a 120° derivante dal trasformatore posto a monte dell'elettrodotto interrato.

- I conduttori sono direttamente interrati ad una profondità di 1,2 m e posizionati a trifoglio
- I calcoli sono stati eseguiti su diverse sezioni orizzontali, da -1,20 m (quota di posa dei conduttori) fino alla quota di calpestio (quota campagna).
- Il passo di scansione del calcolo è stato scelto pari ad 100 cm in direzione orizzontale e a 20 cm in direzione verticale.

Il campo magnetico è calcolato in funzione della corrente circolante nei cavidotti in esame e dalla disposizione geometrica dei conduttori. La situazione più significativa e peggiorativa è quella relativa alla linea che va dalla cabina CT3 alla cabina Utente.

Nel progetto in questione si tratta di linee interrate, quindi il valore del campo elettrico a quota campagna è praticamente inesistente. Questo è dovuto al fatto che il campo elettrico risente fortemente della schermatura prodotta dal terreno e dalla guaina dei conduttori.

Verranno pertanto trattati i risultati del solo calcolo del campo magnetico.

Il diagramma successivo mostra i valori dell'induzione magnetica calcolata al piano campagna.

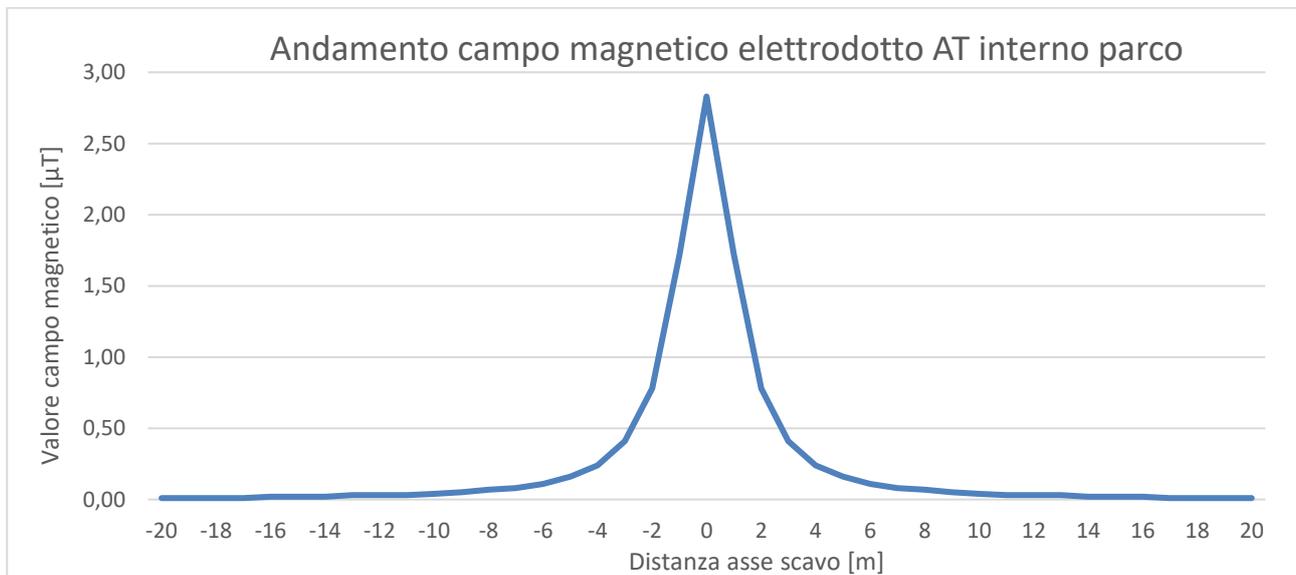


Figura 8: Induzione magnetica rispetto all'asse del cavidotto

Il grafico mostra l'andamento della induzione magnetica al piano campagna rispetto alla distanza dall'asse del cavidotto interrato posto nel punto 0.

Si nota immediatamente che il massimo valore dell'induzione magnetica al piano di calpestio si ha in corrispondenza della posizione dei conduttori.

L'obiettivo di qualità di cui all'art. 4 del D.P.C.M. 08/07/2003 è pari a 3 μ T, pertanto la fascia di rispetto del cavidotto non è rappresentabile in quanto il valore massimo del campo è al di sotto della soglia minima.

Per il calcolo del cavidotto AT esterno parco, i dati assunti per la simulazione sono i seguenti:

- I conduttori attivi sono 6 e rappresentano un sistema trifase a media tensione; la differenza di potenziale tra le fasi è di 36 kV e sono percorsi da una corrente massima di 360 A. Lo sfasamento tra le fasi R, S e T è da considerarsi pari a 120° derivante dal trasformatore posto a monte dell'elettrodotta interrato.
- I conduttori sono direttamente interrati ad una profondità di 1,5 m e posizionati a trifoglio
- I calcoli sono stati eseguiti su diverse sezioni orizzontali, da -1,50 m (quota di posa dei conduttori) fino alla quota di calpestio (quota campagna).
- Il passo di scansione del calcolo è stato scelto pari ad 100 cm in direzione orizzontale e a 30 cm in direzione verticale.

Il campo magnetico è calcolato in funzione della corrente circolante nei cavidotti in esame e della disposizione geometrica dei conduttori. Il tratto oggetto di calcolo va dalla cabina Utente alla sezione a 36 kV della SE AAT/AT RTN "Montemilone" che è il punto di connessione dell'impianto.

Nel progetto in questione si tratta di linee interrate, quindi il valore del campo elettrico a quota campagna è praticamente inesistente. Questo è dovuto al fatto che il campo elettrico risente fortemente della schermatura prodotta dal terreno e dalla guaina dei conduttori.

Verranno pertanto trattati i risultati del solo calcolo del campo magnetico.

Il diagramma successivo mostra i valori dell'induzione magnetica calcolata al piano campagna.

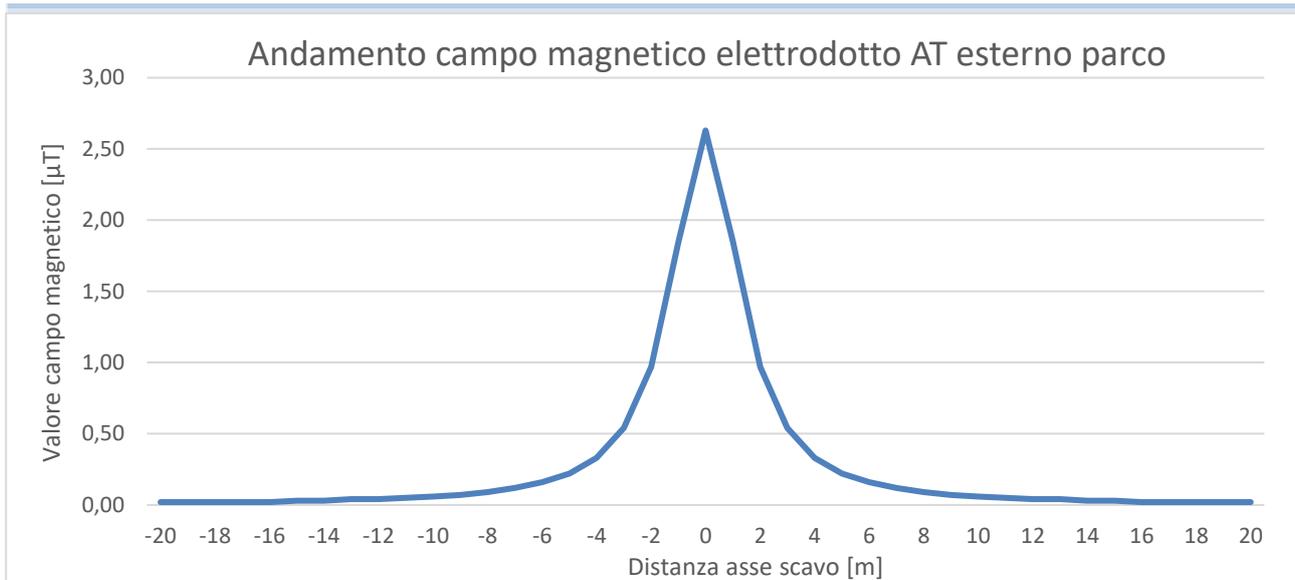


Figura 9: Induzione magnetica rispetto all'asse del cavidotto

Il grafico mostra l'andamento della induzione magnetica al piano campagna rispetto alla distanza dall'asse del cavidotto interrato posto nel punto 0.

Si nota immediatamente che il massimo valore dell'induzione magnetica al piano di calpestio si ha in corrispondenza della posizione dei conduttori.

L'obiettivo di qualità di cui all'art. 4 del D.P.C.M. 08/07/2003 è pari a 3 µT, pertanto la fascia di rispetto del cavidotto è non rappresentabile in quanto il valore massimo del campo è al di sotto della soglia minima.

7.1 VERIFICA FASCIA DI RISPETTO E DPA MODULI FOTOVOLTAICI

Come riscontrabile dallo schema elettrico unifilare dell'impianto i moduli fotovoltaici verranno collegati in serie per formare stringhe fotovoltaiche da 26 elementi.

Considerando che la corrente generata dalle stringhe in condizioni STC (irraggiamento pari a 1000 W/m², temperatura ambiente pari a 25°C, Air Mass 1,5) risulta inferiore a 100 A, ai sensi della "Guida non vincolante di buona prassi per l'attuazione della direttiva 2013/35/UE -Campi Elettromagnetici" la valutazione dei campi elettromagnetici non è richiesta per nessuna tipologia di lavoratori (lavoratori non esposti a particolari rischi, lavoratori esposti a particolari rischi esclusi quelli con dispositivi impiantati attivi, lavoratori con dispositivi impiantati attivi).

7.2 VERIFICA FASCIA DI RISPETTO E DPA CABINE IN AT

Il D.P.C.M. 8 luglio 2003, in attuazione della Legge 36/01 (articolo 4 comma 1 lettera h), introduce la metodologia di calcolo delle fasce di rispetto, definita nell'allegato al Decreto 29 maggio 2008.

Detta fascia, comprende tutti i punti nei quali, in normali condizioni di esercizio, il valore di induzione magnetica può essere maggiore o uguale all'obiettivo di qualità.

Al fine di agevolare/semplificare l'iter autorizzativo relativo alla costruzione ed esercizio di linee e cabine elettriche, la metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto, prevede una procedura semplificata di valutazione, con l'introduzione della Distanza di Prima Approssimazione (DPA)¹, la quale permette, nella maggior parte delle situazioni, una valutazione esaustiva dall'esposizione ai campi magnetici.

Nella presente relazione tecnica, applicando la procedura semplificata, vengono calcolate le fasce di rispetto e le DPA delle cabine oggetto di progettazione, ai fini della valutazione dell'esposizione umana ai campi elettrici e magnetici.

Come riscontrabile dalle tavole di progetto, è prevista la realizzazione di cinque cabine di trasformazione containerizzate, ciascuna delle quali sarà equipaggiata con un trasformatore di potenza con avvolgimenti inglobati sottovuoto da 4480 kVA.

L'indagine del campo magnetico generato all'interno e nelle immediate vicinanze delle cabine di trasformazione esula dagli scopi della presente relazione, trattandosi di siti interclusi alla libera circolazione e nei quali il tempo di permanenza agli addetti ai lavori è tale da non costituire significativo rischio per la salute. Ciò nonostante, se ne riporta uno studio in condizioni di portata di corrente in servizio normale, intesa, ai sensi della Norma CEI 11-60, come la corrente che può essere sopportata da un conduttore per il 100% del tempo con limiti accettabili del rischio di scarica sugli oggetti mobili e sulle opere attraversate e dell'invecchiamento, in quanto, ai sensi dell'art. 6 del D.P.C.M. 8 luglio 2008, i proprietari devono comunicare non solo l'ampiezza delle fasce di rispetto ma anche i dati per il calcolo delle stesse ai fini delle verifiche delle Autorità Competenti.

All'interno delle cabine elettriche di trasformazione, le principali sorgenti di emissione sono quelle di seguito elencate:

- trasformatori di potenza;

¹Per le linee elettriche 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 suolo, da tutte le pareti della cabina stessa che garantisce i requisiti di cui sopra.

- vie cavi o condotti sbarre in bassa tensione.

Per quanto riguarda i trasformatori, la maggior parte delle emissioni di campo magnetico attorno al trasformatore sono dovute alle correnti che percorrono gli avvolgimenti. Esse generano flussi magnetici le cui linee di forza si richiudono prevalentemente attraverso il nucleo magnetico (flusso utile) e all'esterno del nucleo magnetico (flusso disperso). Il contributo del trasformatore al campo magnetico di cabina è dovuto al flusso disperso che genera un campo magnetico definito vagante. Per distanze dal trasformatore comprese tra 1 m e 10 m, l'induzione magnetica prodotta durante l'esercizio può essere calcolata con la seguente formula:

$$B = \frac{5}{6} u_{cc} \sqrt{\frac{S_r}{630}} \left(\frac{3}{a}\right)^{2,8}$$

dove:

u_{cc} è la tensione di cortocircuito percentuale;

S_r è la potenza apparente nominale (kVA);

a è la distanza dal trasformatore (m).

Il contributo maggiore al campo magnetico vagante, essendo proporzionale alla corrente, è dovuto ai cavi o condotti sbarre bt. Ai fini della valutazione previsionale del campo magnetico generato, è possibile avvalersi delle formule riportate nella Norma CEI 106-12 "Guida pratica ai metodi e criteri di riduzione dei campi magnetici prodotti dalle cabine elettriche":

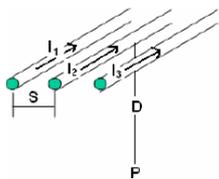
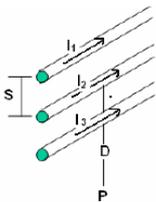
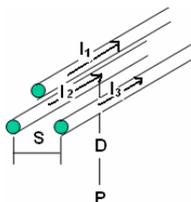
a) Terna trifase di conduttori in piano	b) Terna trifase di conduttori in verticale	c) Terna trifase di conduttori a triangolo
		
$B(\mu T) = 0,2 \cdot \sqrt{3} \cdot \frac{I S}{D D}$		$B(\mu T) = 0,1 \cdot \sqrt{6} \cdot \frac{I S}{D D}$

Figura 10: formule approssimate per il calcolo dell'induzione magnetica prodotta da un sistema trifase di conduttori

7.2.1 Calcolo del campo di induzione magnetica generato dalle cabine di trasformazione

I trasformatori di potenza bt/AT scelti in fase di progettazione definitiva, sono del tipo a olio con avvolgimenti inglobati sotto vuoto, hanno una potenza nominale di 4480 kVA ed una tensione di cortocircuito percentuale pari al 6%. Applicando la formula di calcolo esposta precedentemente, è stata determinata l'induzione magnetica all'interno del locale cabina (a 2 m di distanza dal trasformatore) e all'esterno del locale cabina (a 8 m di distanza dal trasformatore), ottenendo i risultati di seguito riportati:

$$B_1 (2 \text{ m}) = 42,0 \mu\text{T}$$

$$B_2 (8 \text{ m}) = 0,87 \mu\text{T}$$

All'interno del locale cabina, a 2 m di distanza dal trasformatore, l'induzione magnetica risulta superiore all'obiettivo di qualità di 3 μT fissato dal D.P.C.M. 8 luglio 2003. Tuttavia, bisogna considerare che le cabine elettriche non saranno presidiate e che gli interventi di manutenzione ordinaria/straordinaria verranno eseguiti ad impianto fermo. Diversamente, all'esterno del locale cabina, l'induzione magnetica risulta inferiore all'obiettivo di qualità di 3 μT .

Tenendo conto del numero di conduttori costituenti ciascuna fase di bassa tensione, della loro sezione e disposizione, applicando le formule di calcolo proposte dalla Norma CEI 106-12, è stata calcolata l'induzione magnetica all'interno e all'esterno del locale cabina (2 m e 8 m rispettivamente), ottenendo i risultati di seguito riportati:

$$B_1 (2 \text{ m}) = 30 \mu\text{T}$$

$$B_2 (8 \text{ m}) = 1,92 \mu\text{T}$$

All'interno del locale cabina, a 2 m di distanza dalle vie cavi, l'induzione magnetica risulta superiore all'obiettivo di qualità di 3 μT fissato dal D.P.C.M. 8 luglio 2003. Tuttavia, bisogna considerare che le cabine elettriche non saranno presidiate e che gli interventi di manutenzione ordinaria/straordinaria verranno eseguiti ad impianto fermo. Diversamente, all'esterno del locale cabina, l'induzione magnetica risulta inferiore all'obiettivo di qualità di 3 μT .

Per il calcolo del campo magnetico generato dalle cabine di trasformazione, è stato applicato il principio di sovrapposizione degli effetti, tenendo conto dei contributi offerti delle due diverse tipologie di sorgenti di emissione. Sommando, cautelativamente, i valori efficaci di campo, si ottengono i seguenti risultati:

$$B_{1,tot}(2 \text{ m}) = 72 \mu\text{T}$$

$$B_{2,tot}(8\text{ m}) = 2,79\ \mu\text{T}$$

All'interno delle cabine, l'induzione magnetica risulta superiore all'obiettivo di qualità fissato dal D.P.C.M. 8 luglio 2003. Tuttavia, bisogna considerare, che le cabine non saranno presidiate e gli interventi di manutenzione verranno effettuati ad impianto fermo. Diversamente, all'esterno delle cabine, il valore di campo risulta inferiore al valore limite stabilito dalla Normativa vigente in materia, pertanto non si configurano rischi di esposizione per la popolazione.

7.2.2 Calcolo della fascia di rispetto attorno la cabina di trasformazione secondo il DM 29/05/2008

Nonostante le cabine elettriche di trasformazione scelte in fase di progettazione definitiva non siano classificabili come standard (box con dimensioni mediamente di 4 x 2,4 m e altezze di 2,4 e 2,7 m equipaggiati con trasformatore da 250-400-630 kVA), poiché la disposizione delle apparecchiature ivi contenute è analoga a quella delle cabine elettriche di Distribuzione di proprietà di E-distribuzione, è stata determinata la Distanza di Prima Approssimazione applicando la procedura di calcolo definita dal Decreto Ministeriale 29 maggio 2008. Attualmente infatti il calcolo della DPA per le cabine fuori standard rimane un problema aperto.

La struttura semplificata sulla base della quale viene calcolata la DPA, intesa come distanza da ciascuna delle pareti (tetto, pavimento e pareti laterali), è un sistema trifase, percorso da una corrente pari alla corrente nominale dell'avvolgimento di bassa tensione del trasformatore e con distanza tra le fasi pari al diametro dei cavi reali in uscita dal trasformatore stesso.

Sotto queste ipotesi, l'espressione che consente di determinare la DPA è quella di seguito riportata:

$$\frac{DPA}{\sqrt{I}} = 0,40942X^{0,5241}$$

dove:

DPA è la distanza di prima approssimazione [m];

I è la corrente nominale dell'avvolgimento di bassa tensione del trasformatore [A];

X è il diametro dei cavi BT del trasformatore [m].

Come riscontrabile dallo schema elettrico unifilare dell'impianto, ciascuna cabina elettrica di trasformazione risulta equipaggiata con un trasformatore da 4480 kVA avente un rapporto di trasformazione nominale pari a 0,8 kV/36 kV. Pertanto, le correnti nominali degli avvolgimenti di

bassa tensione da prendere in considerazione ai fini del calcolo della DPA, secondo la procedura prevista dal DM 19 maggio 2008, valgono:

$$I_{bt} = 3557 \text{ A}$$

Considerando che ciascuna fase bt sarà costituita da 6 cavi unipolari da 300 mm² in parallelo, utilizzando le schede tecniche dei cavi, è stato determinato il diametro equivalente del cavo da prendere in considerazione ai fini dell'applicazione della formula per il calcolo della Distanza di Prima Approssimazione:

Tenendo conto del diametro del singolo cavo e del numero di cavi costituenti ciascuna fase BT, si ricava un diametro equivalente del fascio di cavi del singolo trasformatore di circa 192 mm, pertanto, applicando la formula, si ottiene una DPA, arrotondata al mezzo metro superiore, pari a:

$$DPA = 9 \text{ m}$$

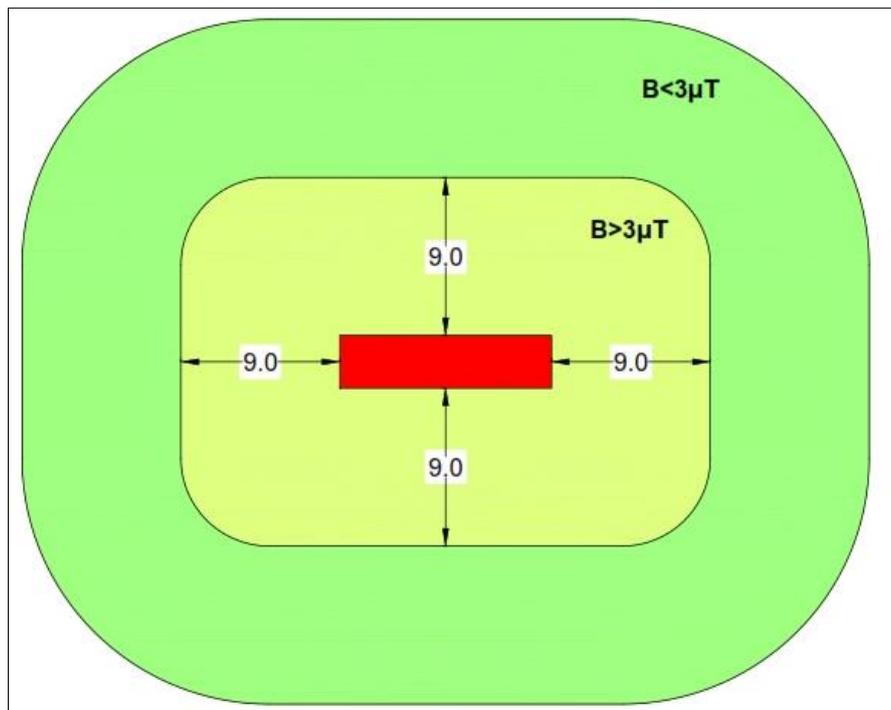


Figura 11: indicazione della DPA delle cabine elettriche di trasformazione dell'energia elettrica prodotta valutata applicando la procedura prevista dal DM 29 maggio 2008

8 CONCLUSIONI

Alla luce dei calcoli eseguiti, non si riscontrano problematiche relative all'impatto elettromagnetico generato dalle infrastrutture elettriche costituenti l'impianto di produzione, infatti:

- i moduli fotovoltaici non generano campi variabili nel tempo, di conseguenza non sono applicabili le prescrizioni del D.P.C.M. 8 luglio 2003;
- le DPA delle cabine di conversione e trasformazione rientrano nei confini di pertinenza dell'impianto fotovoltaico;
- l'induzione magnetica generata dalla linea a 36 kV interna al campo risulta inferiore all'obiettivo di qualità;
- l'induzione magnetica generata dalla dorsale a 36 kV di collegamento con la Stazione Elettrica Terna, risulta inferiore all'obiettivo di qualità.

Ciò nonostante, a lavori ultimati si potranno eseguire delle prove in sito che dimostrino l'esattezza dei calcoli e delle assunzioni fatte ed adottare opportuni interventi di mitigazione qualora i livelli di emissione dovessero risultare superiori agli obiettivi di qualità fissati dal D.P.C.M. 8 luglio 2003.