

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

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

REGIONE CAMPANIA
PROVINCIA DI SALERNO
COMUNE DI CAGGIANO

Titolo del Progetto:

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO UBICATO NEL COMUNE DI CAGGIANO (SA) IN LOCALITA' "TEMPA DEL VENTO", CON POTENZA NOMINALE PARI A 46.2 MW

Documento:

PROGETTO DEFINITIVO

N° Documento:

CAGEO-T021

ID PROGETTO:	105	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:	CAGEO-T021.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	15/07/2023	Prima emissione	Ing. Vincenzo Oliveto	Ing. Vincenzo Oliveto	Arch. Antonio Manco

INDICE

1	INTRODUZIONE	2
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	7
3	INQUADRAMENTO TERRITORIALE	9
4	DESCRIZIONE DELL'OPERA	10
4.1	Descrizione dei carichi	10
4.1.1	Specifiche tecniche aerogeneratore.....	10
4.2	Cavidotto MT	11
4.3	Cavidotto AT	13
5	DESCRIZIONE DELLE SORGENTI ELETTROMAGNETICHE CHE SI ANDRANNO AD INSERIRE NELL'AMBIENTE IN ESAME	16
6	IL DECRETO DEL PRESIDENTE DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI DELL'8 LUGLIO 2003 E LA LEGGE QUADRO DEL 22 GENNAIO 2001 N. 36	19
7	METODOLOGIA DI CALCOLO DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI GENERATI DAL CAVIDOTTO 24	
7.1	Verifica fascia di rispetto e DPA cabine in MT degli aerogeneratori.....	26
7.1.1	Calcolo del campo di induzione magnetica generato dalle cabine di trasformazione.....	28
7.1.2	Calcolo della fascia di rispetto attorno la cabina di trasformazione secondo il DM 29/05/2008...	29
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 eolico di Caggiano (SA) 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
	Medium Frequency (onde medie)	MF	300 ÷ 3000 kHz
	High Frequency (onde corte)	HF	3 ÷ 30 MHz
	Very High Frequency (onde metriche)	VHF	30 ÷ 300 MHz
MICROONDE	Ultra High Frequency (onde decimetriche)	UHF	300 ÷ 3000 MHz
	Super High Frequency (centimetriche)	SHF	3 ÷ 30 GHz
	Extremely High Frequency (onde millimetriche)	EHF	30 ÷ 300 GHz
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 eolico 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.

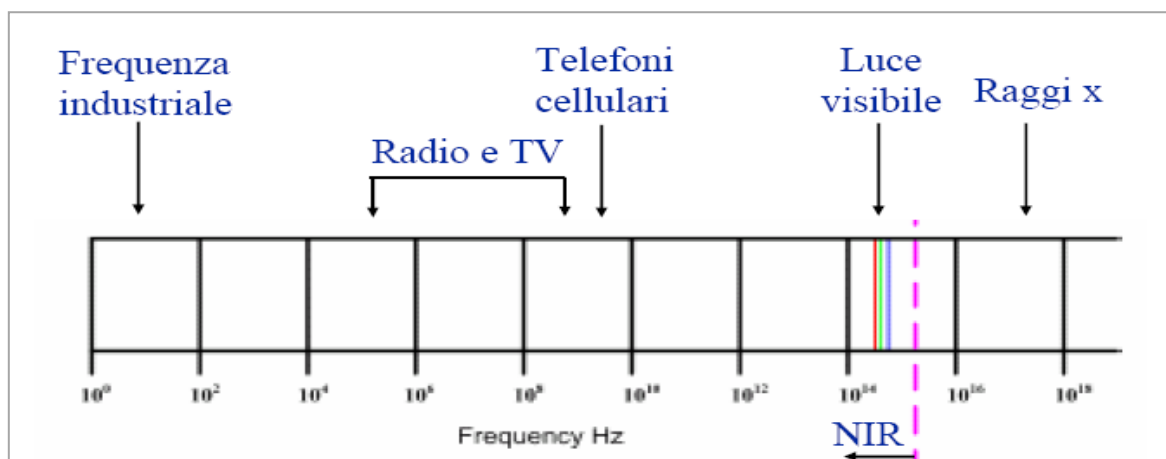


Figura 1: Radiazioni generate dalle attività umane a varie frequenze

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.

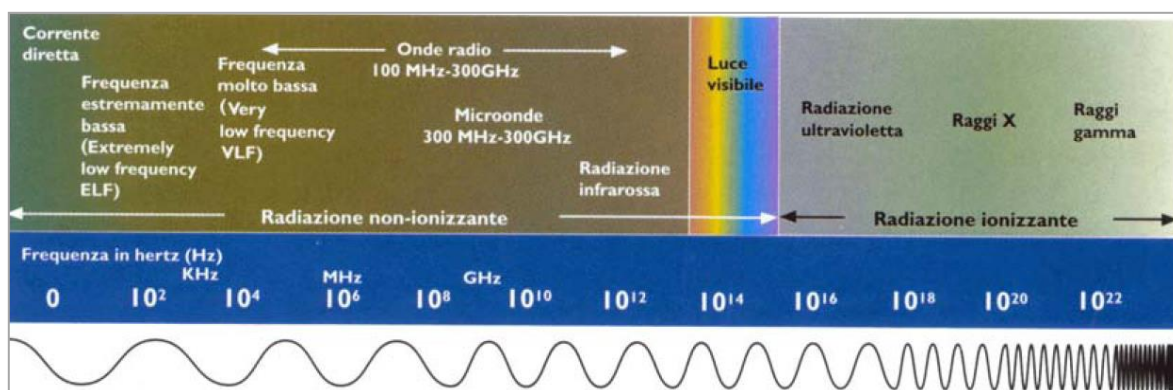


Figura 2: Spettro del campo elettromagnetico

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 eolico 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 eolico 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 sito individuato per la realizzazione dell'impianto eolico è ubicato in Campania nel Comune di Caggiano (SA).

La localizzazione e la strutturazione dell'impianto eolico è stata individuata attraverso un'analisi condotta sulla bontà del livello di ventosità e sulle caratteristiche antropiche e ambientali del territorio di Caggiano. Prioritario, già in fase di studio, è stato l'impegno per la massima attenzione al rispetto dei criteri di inserimento dell'impianto nel contesto paesaggistico, armonizzando l'installazione con la valorizzazione ambientale e sociale del territorio che lo ospiterà.

La zona del parco è caratterizzata da morfologie montane e pedemontane. In particolare il parco sarà collocato sui crinali e su morfologie a bassa pendenza e stabili con altimetria media di circa 1100 m s.l.m.

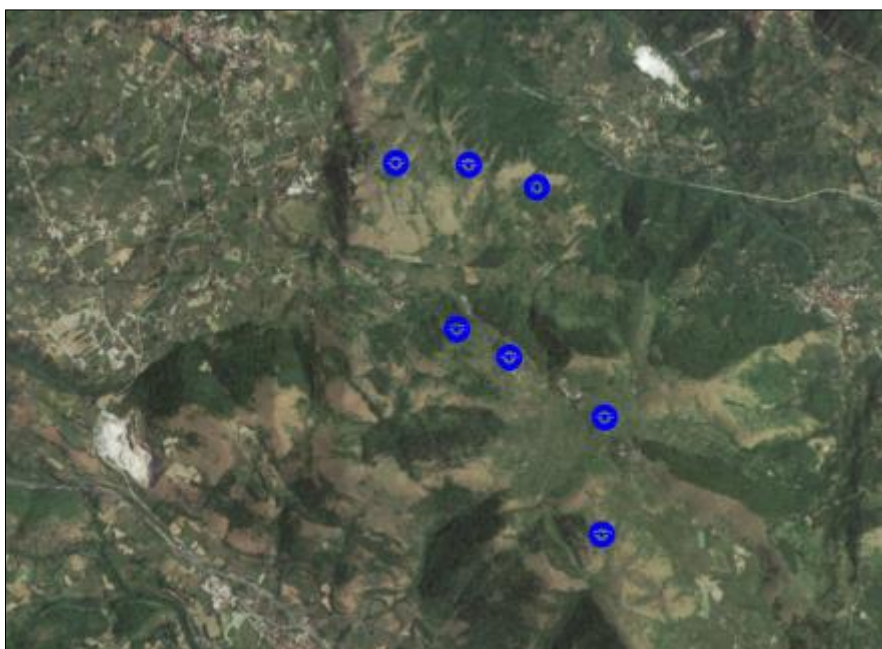


Figura 3: Ortofoto dell'impianto di progetto

La posizione delle torri del parco eolico che sarà realizzato è di seguito individuata:

ID TORRE	COMUNE	RIFERIMENTI CATASTALI		COORDINATE GEOGRAFICHE (GAUSS-BOAGA)		ALTEZZA al mozzo [m]	TIPO
		FOGLIO	PARTICELLA	EST	NORD		
1	CAGGIANO	23	54	2563477	4489746	120	SG 6.6 Siemens Gamesa
2	CAGGIANO	24	148-147	2564114	4489730	120	SG 6.6 Siemens Gamesa
3	CAGGIANO	25	53	2564708	4489534	120	SG 6.6 Siemens Gamesa
4	CAGGIANO	27	89	2564012	4488293	120	SG 6.6 Siemens Gamesa
5	CAGGIANO	26	136	2564405	4487890	120	SG 6.6 Siemens Gamesa
6	CAGGIANO	32	10	2565238	4487719	120	SG 6.6 Siemens Gamesa
7	CAGGIANO	33	143	2565307	4486580	120	SG 6.6 Siemens Gamesa

4 DESCRIZIONE DELL'OPERA

L'opera consisterà nella realizzazione di un parco eolico composto da sette torri eoliche della potenza ognuna di 6.6 MW, quindi una potenza complessiva di 46.2 MW

La struttura generale dell'impianto elettrico parte dalla sottostazione MT/AT e collega le cabine di smistamento che raccolgono l'energia prodotta dagli aerogeneratori secondo il seguente schema.

Linea 1

Collega in entra-esce gli aerogeneratori 1, 2 e 3 con la cabina di smistamento.

Linea 2

Collega in entra-esce gli aerogeneratori 7, 6, 5 e 4 con la cabina di smistamento.

Linea 3

Collega la cabina di smistamento con la sottostazione Utente MT/AT.

Per ulteriori dettagli e per una visione generale del sistema elettrico si rimanda allo schema unifilare generale.

4.1 DESCRIZIONE DEI CARICHI

Gli aerogeneratori scelti per l'inserimento nel parco eolico sono del tipo Siemens_Gamesa SG 6.6 da 6.6 MW con torri in tubolare di acciaio, trasformatori delle turbine all'interno degli aerogeneratori e rotore a forma tripala ad asse orizzontale, orientazione del rotore automatica in direzione del vento con sistema di controllo di potenza.

4.1.1 Specifiche tecniche aerogeneratore

Le principali specifiche tecniche dell'aerogeneratore di progetto sono di seguito riportate:

Technical specifications

SG 6.6-155		SG 6.6-170	SG 7.0-170
General details			
Rated power	6.6 MW		7.0 MW
IEC class	IIB (25 years lifetime) IIA (20 years lifetime) IA (25 years lifetime)	S/IIIB (25 years lifetime) IIIA (20 years lifetime)	IIA (25 years lifetime)
Flexible power rating	5.6 MW-6.6 MW	6.0 MW-6.6 MW	Up to 7.0 MW
Control	Pitch and variable speed		
Rotor			
Diameter	155 m	170 m	
Swept area	18,869 m ²	22,697 m ²	
Tower			
Height	90, 102.5, 107.5, 122.5, 165 and site-specific	100, 110.5, 115, 135, 145, 150, 155, 165, 185 and site-specific	115, 135, 155, 165, 185 m and site-specific
Technology			
Type	Geared		
First prototype			
Date	2021		TBD



4.2 CAVIDOTTO MT

I cavi unipolari per la media tensione scelti per la realizzazione dell'impianto eolico rispondono alle norme CEI 20-13. Il conduttore è in alluminio e l'isolante è costituito da polietilene reticolato XLPE rispondente alle norme CEI 20-11; tra il conduttore e l'isolante e tra l'isolante e lo schermo metallico sono applicati strati di materiale elastomerico semiconduttore: in particolare lo strato semiconduttore esterno è facilmente asportabile con o senza apporto di calore.

Lo schermo metallico esterno è costituito da fili di rame ricotto non stagnati disposti secondo un'elica unidirezionale o a senso periodicamente invertito.

La posa in opera dei cavi è direttamente nel terreno alla profondità di 1.5 m, con temperatura del terreno pari a 20 °C e resistività termica del terreno di 1 °C m/W, come previsto dalle norme CEI 11-17, che riportano le modalità da seguire durante le operazioni di posa dei cavi, che non dovranno essere soggetti a raggi di curvatura inferiori a 1.8 m. Durante la posa dei cavi sono assolutamente

da evitare concentrazioni di sforzi di torsione e prima della messa in servizio del cavo deve essere effettuato il controllo dell'impianto, teso ad assicurare che il montaggio degli accessori sia stato eseguito a regola d'arte e che i cavi non abbiano subito deterioramenti durante la posa e la prova

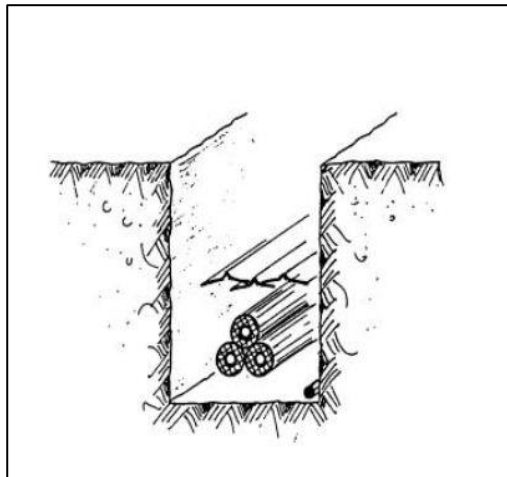


Figura 4: Posa cavidotti MT

di tensione.

I giunti del cavo saranno del tipo unipolare, dritto, sezionato e consisteranno essenzialmente in un manicotto elastico prefabbricato in un unico pezzo, con funzione isolante, inglobante la schermatura della connessione. Saranno corredati di uno schermo metallico, da collegare allo schermo dei cavi, realizzato in due metà e provvisto di idonea separazione elettrica e completati con un involucro esterno di protezione, con funzione isolante ed

anticorrosiva.

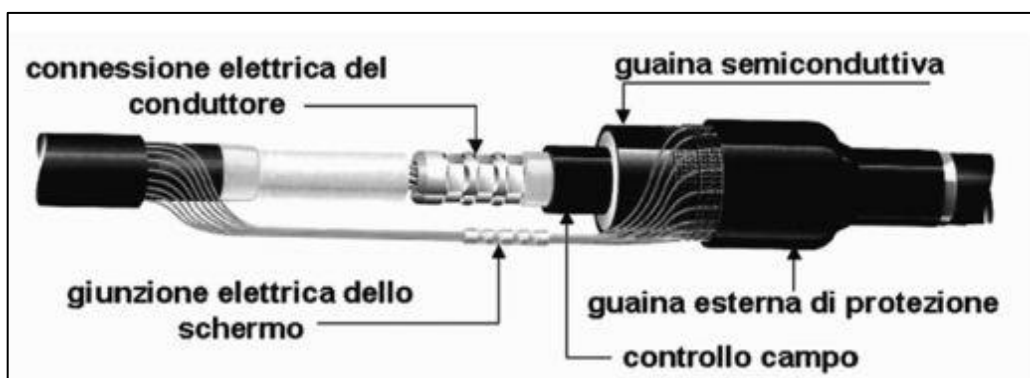


Figura 5: Giunto MT

Tipo di Cavo	ARE4H1R 18/30 kV
Conduttore	Alluminio
Isolante	Polietilene reticolato XLPE
Tensione Isolamento	18/30 kV
Circuito	RST
Temperatura Funzionamento	105 °C
Temperatura Corto Circuito	300 °C
Categoria	A
Profondità di Posa	1.5 m
Distanza Circuiti Adiacenti	7 cm o 25 cm
Tipo di Posa	Direttamente interrato in terra umida
Protezione Meccanica	Elementi rettangolari in materiale composito a matrice di resina
Codice Posa	63
Temperatura Ambiente	20 °C

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

DIMENSIONAMENTO LINEE - CAVIDOTTO MT INTERNO CAMPO										
ID Linea	Linea	Tipo di cavo	Numero terne	Lunghezza Linea	Lunghezza Cavi MT	Potenza	Sezione	Portata	Corrente	ΔU_n
				[m]	[m]	[kW]	[mm ²]	[A]	[A]	[%]
Linea 1	Linea AE1_AE2	ARE4H1R 18/30 kV	1	915	2745	6600	50	152,00	133,70	0,39
	Linea AE2_AE3	ARE4H1R 18/30 kV	1	1307	3921	13200	150	281,00	267,40	0,43
	Linea AE3_CS	ARE4H1R 18/30 kV	1	1921	5763	19800	400	470,00	401,11	0,51
Linea 2	Linea AE7_AE6	ARE4H1R 18/30 kV	1	1308	3924	6600	50	152,00	113,70	0,56
	Linea AE6_AE5	ARE4H1R 18/30 kV	1	2121	6363	13200	150	281,00	267,40	0,70
	Linea AE5_AE4	ARE4H1R 18/30 kV	1	747	2241	19800	400	470,00	401,11	0,17
	Linea AE4_CS	ARE4H1R 18/30 kV	1	857	2571	26400	500	550,00	534,81	0,23
DIMENSIONAMENTO LINEE - CAVIDOTTO MT ESTERNO CAMPO										
Linea	Linea	Tipo di cavo	Numero terne	Lunghezza Linea	Lunghezza Cavi MT	Potenza	Sezione	Portata	Corrente	ΔU_n
				[m]	[m]	[kW]	[mm ²]	[A]	[A]	[%]
Linea 3	Linea CS_SE	ARE4H1R 18/30 kV	2	6040	36240	46200	500	2x550	2x467,96	1,82

4.3 CAVIDOTTO AT

Il collegamento dovrà essere in grado di trasportare la potenza massima prevista dallo stallo della futura stazione RTN. Se si considera una potenza massima di 250 MW, si ha:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} V \cos \varphi} = \frac{250 * 10^6}{\sqrt{3} * 150000 * 0.95} = 1014.0 \text{ A}$$

Dalla tabella dei cavi, per un cavo di sezione pari a 1200 mm² e per le condizioni standard da

XDRCU-ALT Single-core Cable 220/127 (245) kV									
with Copper wire screen and Aluminium laminated sheath									
Construction									
- Aluminium conductor, round stranded or segmented, optionally with longitudinal water barrier - Inner semi-conductive layer firmly bonded to the XLPE insulation - XLPE main insulation, cross-linked - Outer semi-conductive layer firmly bonded to the XLPE insulation - Copper wire screen with semi-conductive swelling tapes above and below as longitudinal water barrier - Aluminium foil, overlapped and glued as radial diffusion barrier bonded to the oversheath - Thermoplastic oversheath as mechanical protection, optionally with semi-conductive and/or flame-retardant layer									
Remarks									
The inner semi-conductive layer, the XLPE main insulation and the outer semi-conductive layer are extruded in a single operation applying a dry curing and a water or nitrogen cooling method.									
Features									
- Very low weight - Low losses - Low cost - Internationally proven design - Suitable for most applications									
Standards									
IEC 62067 IEC 61881-720 AIEC CS9-06									
Technical data									
Conductor cross-section	Outer diameter (approx.)	Cable weight (approx.)	AC resistance	AC resistance	Reactance	Reactance	Capacitance	Min. bending radius	Max. pulling force
mm ²	mm	kg/m	mΩ/km	mΩ/km	mΩ/km	mΩ/km	μf/km	mm	kN
400	97	10	101.0	101.0	147	232	0.126	2000	12
500	97	10	78.9	78.7	141	227	0.136	2000	15
630	98	10	62.0	61.5	132	217	0.158	2000	19
800	101	11	49.5	48.8	125	209	0.173	2100	24
1000	103	12	40.5	39.5	121	203	0.190	2100	30
1200	106	13	35.5	34.3	117	197	0.208	2200	36
1400	111	14	27.5	27.5	111	188	0.239	2300	42
1600	115	15	24.4	24.2	110	185	0.248	2300	48
2000	119	16	19.8	19.5	107	180	0.263	2400	60
2500	126	18	17.1	16.8	104	173	0.285	2600	75
Capacity									
Installation	30 °C		30 °C		30 °C		30 °C		
Amb. temp.	1.0		1.0		0.7		0.7		
Soil resist.	A		A		A		A		
Load factor	A		A		A		A		
Cross-section	mm ²		mm ²		mm ²		mm ²		
400	531		581		629		674		
500	606		665		720		774		
630	694		757		831		900		
800	785		873		945		1030		
1000	876		982		1060		1165		
1200	944		1065		1148		1270		
1400	1079		1207		1320		1449		
1600	1153		1293		1412		1555		
2000	1283		1450		1577		1776		
2500	1369		1579		1716		1919		

Figura 6: Data Sheet cavo AT

di cavi unipolari AT) della sezione nominale di 400 mm² per il collegamento in parallelo delle terre dei terminali al fine

di evitare pericolosi valori di tensione di passo e di contatto.

La posa sarà effettuata con la disposizione "in piano" principalmente sul fondo di una trincea scavata ad una profondità di 150 cm.

I cavi saranno terminati nelle sottostazioni di partenza/arrivo con terminali montati su apposite strutture di sostegno (una per ciascun cavo).

Le dimensioni nominali della trincea di posa per semplice terna saranno di 90 cm di larghezza per 150 cm (minimo) di profondità. Nei tratti in trincea il cavo sarà posato con disposizione in piano, su di un letto di posa dello spessore di 10 cm costituito da sabbia o cemento; il tutto sarà poi ricoperto da un ulteriore strato dello spessore di 50 cm di cemento magro.

Verrà inoltre posata, a quota di 20 cm al di sopra del bauletto in cemento, una rete di segnalazione in materiale plastico di colore rosso-arancio con applicato sulla faccia superiore un nastro con la scritta "CAVI a 150.000 Volt" (o equivalente).

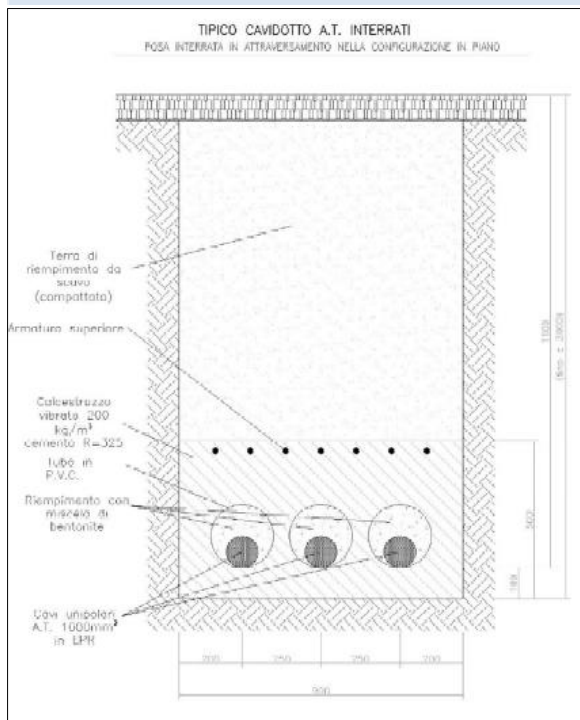


Figura 7: Posa tipo cavo AT

Laddove necessario verrà inoltre posata una palina con targa monitoria, piantata sul terreno a margine del tracciato del cavidotto.

Gli scavi verranno reinterrati con inerti di caratteristiche adeguate; per i tratti asfaltati dovrà essere ricostruito il sottofondo pre-bitumato per uno spessore di 30 cm ed un tappeto d'usura per uno spessore minimo di 3 cm.

In corrispondenza degli attraversamenti stradali la posa sarà effettuata in tubo. Tale operazione potrà avvenire con il sistema spingi tubo tradizionale. In casi particolari potrà essere utilizzato il sistema di perforazione teleguidata, consistente nell'esecuzione di un foro di attraversamento nel

quale verranno infilati tubi in PVC a protezione di ogni cavo componente la terna.

I cavi in progetto, con isolamento in XLPE e conduttore in alluminio sono formati secondo il seguente schema costruttivo (tabella tecnica TERNA UX LK101):

- conduttore a corda rigida rotonda, compatta e tamponata di alluminio;
- schermo semiconduttore;
- isolante costituito da uno strato di polietilene reticolato estruso insieme ai due strati semiconduttivi;
- schermo semiconduttore;
- dispositivo di tamponamento longitudinale dell'acqua;
- schermo metallico, in piombo o alluminio, o a fili di rame ricotto o a fili di alluminio non stagnati opportunamente tamponati, o in una loro combinazione e deve contribuire ad assicurare la protezione meccanica del cavo, assicurare la tenuta ermetica radiale, consentire il passaggio delle correnti di corto circuito;
- rivestimento protettivo esterno costituito da un a guaina di PE nera grafitata.

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.

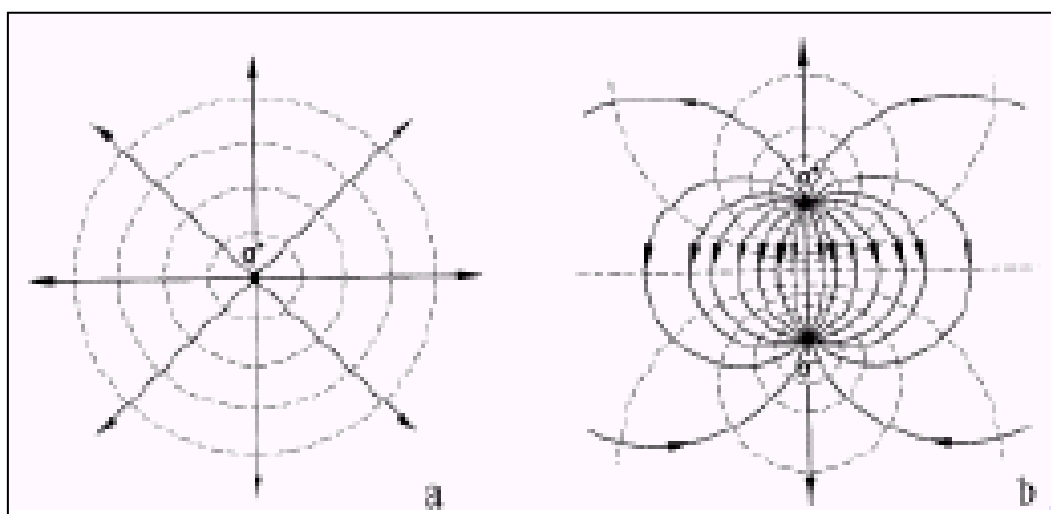


Figura 8: Linee di forza del campo elettrico

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.

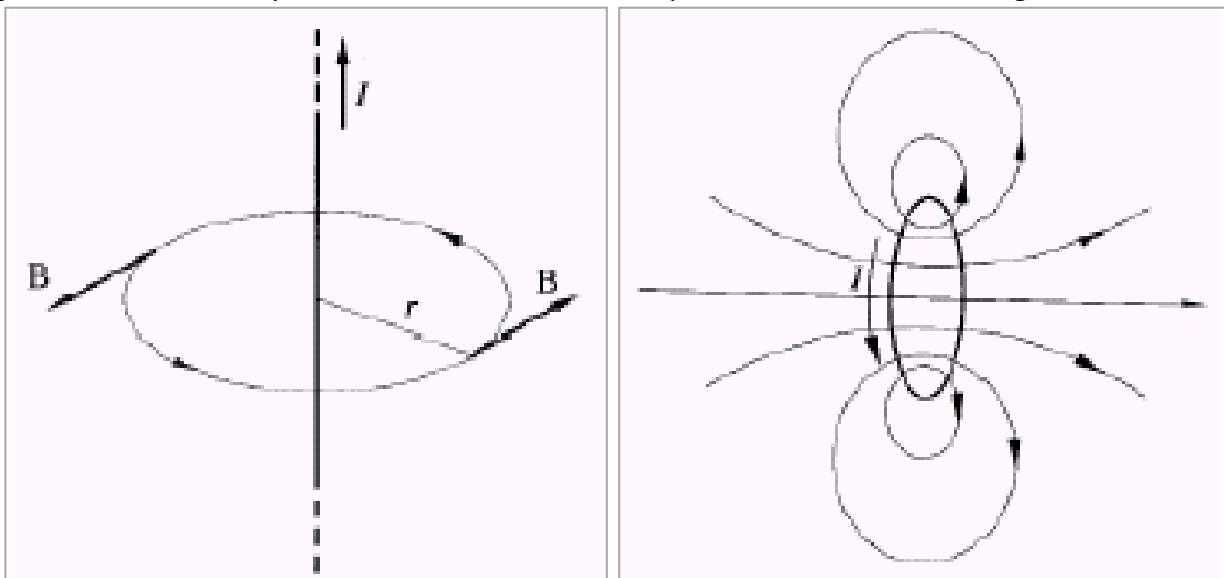


Figura 9: Linee di forza del campo magnetico

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.

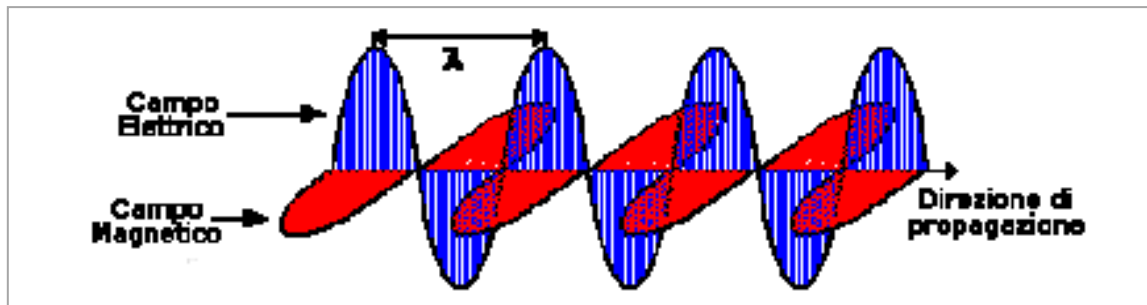


Figura 10: Rappresentazione del campo elettromagnetico

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	$A \cdot s$
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
$3 \text{ MHz} < f \leq 3000 \text{ MHz}$	20	0.05
$3000 \text{ MHz} < f \leq 300 \text{ GHz}$	40	0.01
Valori di attenzione $0,1 \text{ MHz} < f \leq 300 \text{ GHz}$	6	0.016
Obiettivi di qualità $0,1 \text{ MHz} < f \leq 300 \text{ GHz}$	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 elettrodomesti 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 μ T 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 (μ T)	Densità di potenza (W/m ²)
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 (μ T)
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 μT .

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 basa 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 MT interno parco, i dati assunti per la simulazione sono i seguenti:

- I conduttori attivi sono 9 e rappresentano un sistema trifase a media tensione; la differenza di potenziale tra le fasi è di 30 kV e sono percorsi, una terna da una corrente massima di 410 A e le restanti due terne da una corrente massima di 470 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 1,5 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 dalla disposizione geometrica dei conduttori. La situazione più significativa e peggiorativa è quella relativa alla linea che va dall'aerogeneratore 4 alla sottostazione.

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.

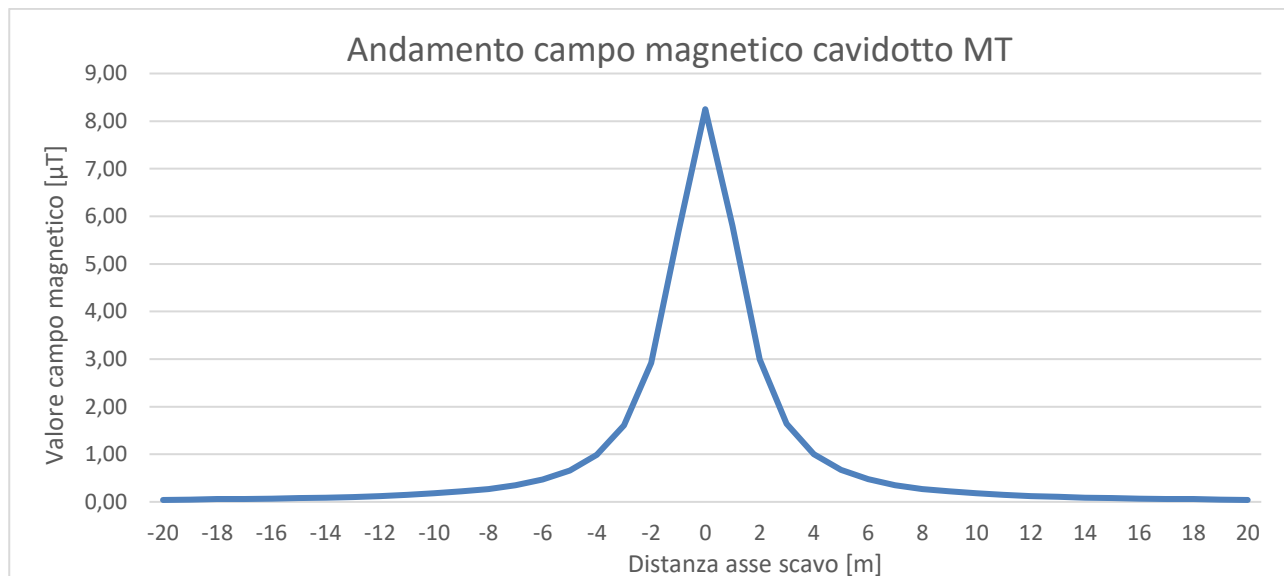


Figura 11: Induzione magnetica rispetto all'asse del cavidotto

Tabella valori campo magnetico																				
Valori campo magnetico [µT]																				
0.18	0.22	0.27	0.35	0.47	0.66	0.99	1.61	2.92	5.67	8.25	5.80	2.99	1.64	1.00	0.67	0.48	0.35	0.27	0.22	0.18
Distanza asse di scavo [m]																				
10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

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 è pari a 2 m.

7.1 VERIFICA FASCIA DI RISPETTO E DPA CABINE IN MT DEGLI AEROGENERATORI

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 degli aerogeneratori, ai fini della valutazione dell'esposizione umana ai campi elettrici e magnetici.

Per ogni aerogeneratore è previsto un locale cabina di trasformazione che si trova posizionato alla base della torre eolica e sarà equipaggiato con un trasformatore di potenza con avvolgimenti inglobati sottovuoto da 6900 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

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.

soportata 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;
- 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":

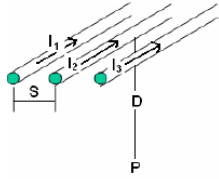
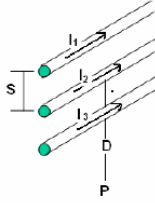
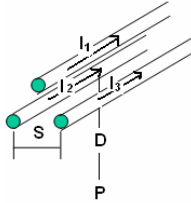
a) Terna trifase di conduttori in piano	b) Terna trifase di conduttori in verticale	c) Terna trifase di conduttori a triangolo
		
$B(\mu T) = 0,2 \cdot \sqrt{3} \cdot \frac{I \cdot S}{D \cdot D}$		$B(\mu T) = 0,1 \cdot \sqrt{6} \cdot \frac{I \cdot S}{D \cdot D}$

Figura 12: formule approssimate per il calcolo dell'induzione magnetica prodotta da un sistema trifase di conduttori

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

I trasformatori di potenza bt/MT scelti in fase di progettazione definitiva, sono del tipo a secco con avvolgimenti inglobati sotto vuoto, hanno una potenza nominale di 6900 kVA ed una tensione di cortocircuito percentuale pari al 6%. Applicando la formula di calcolo esposta precedentemente, è stata determinata l'induzione magnetica a 2 m di distanza dal trasformatore e a 8 m di distanza dal trasformatore, ottenendo i risultati di seguito riportati:

$$B_1 (2 \text{ m}) = 51,3 \mu T$$

$$B_2 (8 \text{ m}) = 0,99 \mu T$$

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:

$$B_1 (2 \text{ m}) = 21.5 \mu T$$

$$B_2 (8 \text{ m}) = 1,35 \mu\text{T}$$

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:

$$B_{1,\text{tot}}(2 \text{ m}) = 72.8 \mu\text{T}$$

$$B_{2,\text{tot}}(8 \text{ m}) = 2,34 \mu\text{T}$$

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.

7.1.2 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].

Ciascuna cabina elettrica di trasformazione risulta equipaggiata con un trasformatore da 6900 kVA avente un rapporto di trasformazione nominale pari a 1 kV/30 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:

$$I_{bt} = 4193 \text{ A}$$

Considerando che ciascuna fase bt sarà costituita da 6 cavi unipolari da 630 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 300 mm, pertanto, applicando la formula, si ottiene una DPA, arrotondata al mezzo metro superiore, pari a:

$$DPA = 14 \text{ m}$$

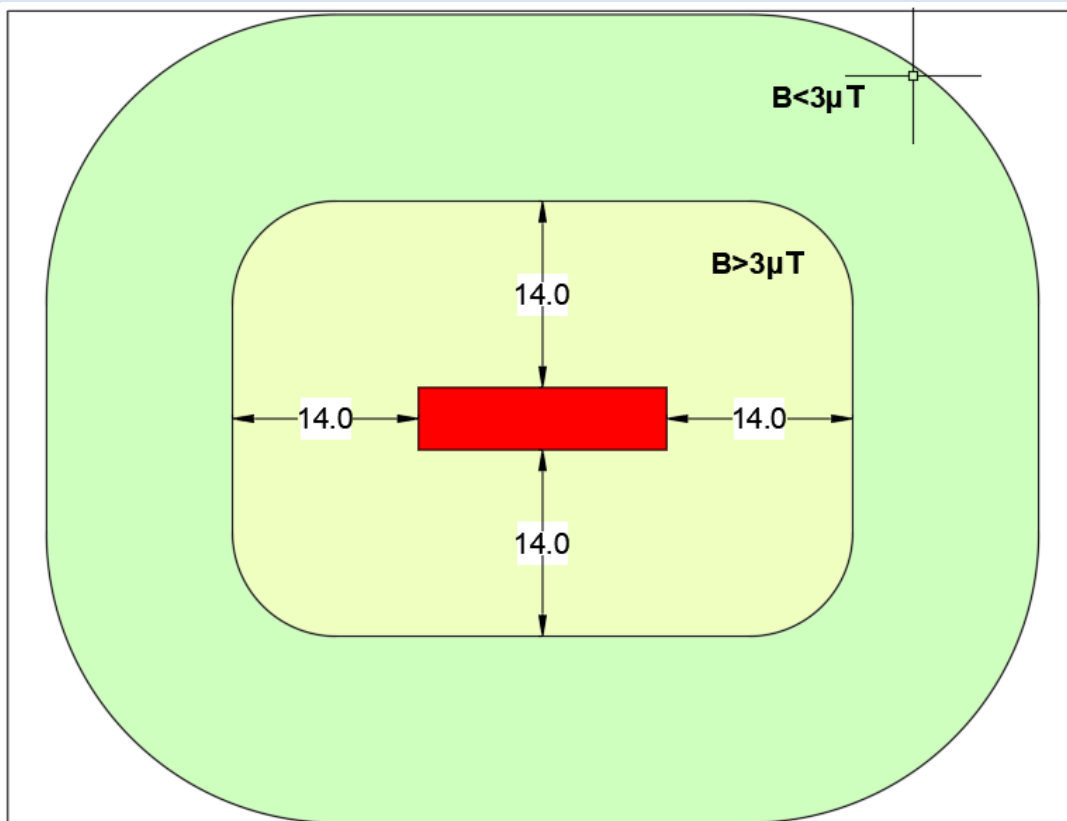


Figura 13: indicazione della DPA delle cabine elettriche di trasformazione dell'energia elettrica prodotta valutata applicando la procedura prevista dal DM 29 maggio 2008

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 eolico;
- 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.