



COD. SAMBU.CZ.IT.SIA.10.PRELE.00.

**ENERGIA LEVANTE S.R.L.**



FILE TIPO D

## PROCEDURA DI VALUTAZIONE IMPATTO AMBIENTALE

### PROGETTO DEFINITIVO

**IMPIANTO EOLICO "SAMBUCELLO" DI POTENZA 50 MW DA REALIZZARE NEL TERRITORIO DEI COMUNI DI MARCELLINARA, MAIDA E CARAFFA DI CATANZARO IN PROVNCIA DI CATANZARO**



Titolo Elaborato:

**RELAZIONE ESPOSIZIONE AI CAMPI ELETTRICI E MAGNETICI**

Formato

Scala

**A4**

-

Codice Elaborato:

Identificativo	Provincia	Nazione	Procedura	Settore	Tipo Elaborato	Revisione	Numero Progressivo
<b>SAMBU.</b>	<b>CZ.</b>	<b>IT.</b>	<b>SIA.</b>	<b>10.</b>	<b>PRELE.</b>	<b>00.</b>	<b>117</b>

Committente:

**ENERGIA LEVANTE S.R.L.**



Via L. Gaurico n°9/11 - Regus Eur - 4° piano - 00143 Roma (Italia)  
P.IVA 10240591007 - REA RM1219825 - Tel. (+39) 0654832107  
E-Mail: sserenewables.com - PEC: energialevantesrl@legalmail.it

Progettazione:



via Don Minzoni 95 87036 Rende (CS)  
Pec: e.cosrl@legalmail.it

Consulenza Specialistica:

Ing. Antonello Galiano

Codice Progetto

N° Revisione

Data revisione

Redazione Interna

Redazione Esterna

CZ\_22\_03/AU-VIA

00

luglio 2023

E.co Srl

Ing. Galiano

## SOMMARIO

1. PREMESSA .....	2
2. DEFINIZIONI .....	5
2.1 Campo elettromagnetico .....	5
2.2 Campo elettrico .....	6
2.3 Campo Magnetico .....	7
2.4 Definizioni di Fascia di rispetto e distanza di prima approssimazione (dpa) .....	8
2.5 DPCM 08/07/2003 e riferimenti.....	8
2.6 D. Lgs 159/2016 e riferimenti.....	9
3. VALUTAZIONE PREVENTIVA DEI CAMPI ELETTRICI E MAGNETICI NELL’AREA DI IMPIANTO .....	11
3.1 Campi Elettrici .....	11
3.2 Campi Magnetici.....	11
3.2.1 Sezione corrente continua .....	11
3.2.2 Sezione corrente alternata.....	11
3.2.3 Aerogeneratore .....	12
3.2.4 Distribuzione in Media Tensione.....	12
3.3 Risultanze di calcolo .....	13

## INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 – Vista cavidotto su ortofoto.....	2
Figura 2 – Schema a blocchi e tabella con caratteristiche tecniche cavidotto .....	3

## INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 - Spettro elettromagnetico .....	6
Tabella 2 - Risultanze di calcolo.....	13

## 1. PREMESSA

La presente relazione ha lo scopo di evidenziare l'ottemperanza alla normativa vigente in merito ai campi elettrici e magnetici relativamente all'impianto eolico "Sambucello" della società Energia Levante Srl che presenta cavidotto interrato in MT, per il collegamento aerogeneratori cabina utente di trasformazione, e successivo collegamento in antenna a 150 kV in cavo interrato alla esistente S.E. RTN Maida 380/220/150 kV".

L'impianto prevede l'installazione di 10 aerogeneratori, nei Comuni di Marcellinara, Caraffa di Catanzaro e Maida, ognuno della potenza nominale di 5 MW per una potenza complessiva d'impianto pari a 50 MW.

In particolare il cavidotto in MT 30 kV collega con modalità entra-esce gli aerogeneratori e, mediante sezionamento in uno Switching Center, viene addotto alla cabina elettrica utente di trasformazione 30/150 kV.

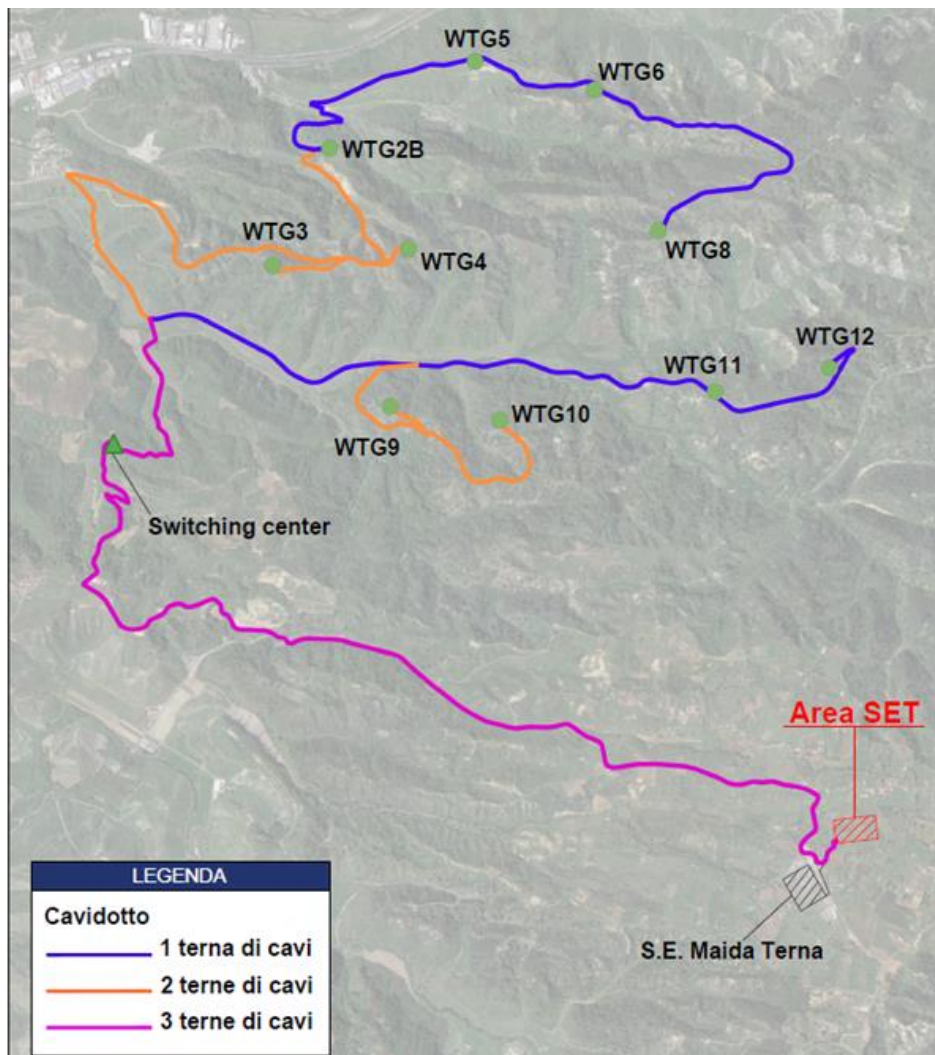


Figura 1 – Vista cavidotto su ortofoto

Per il collegamento degli aerogeneratori sono stati ipotizzati n.3 circuiti secondo il seguente schema a blocchi:

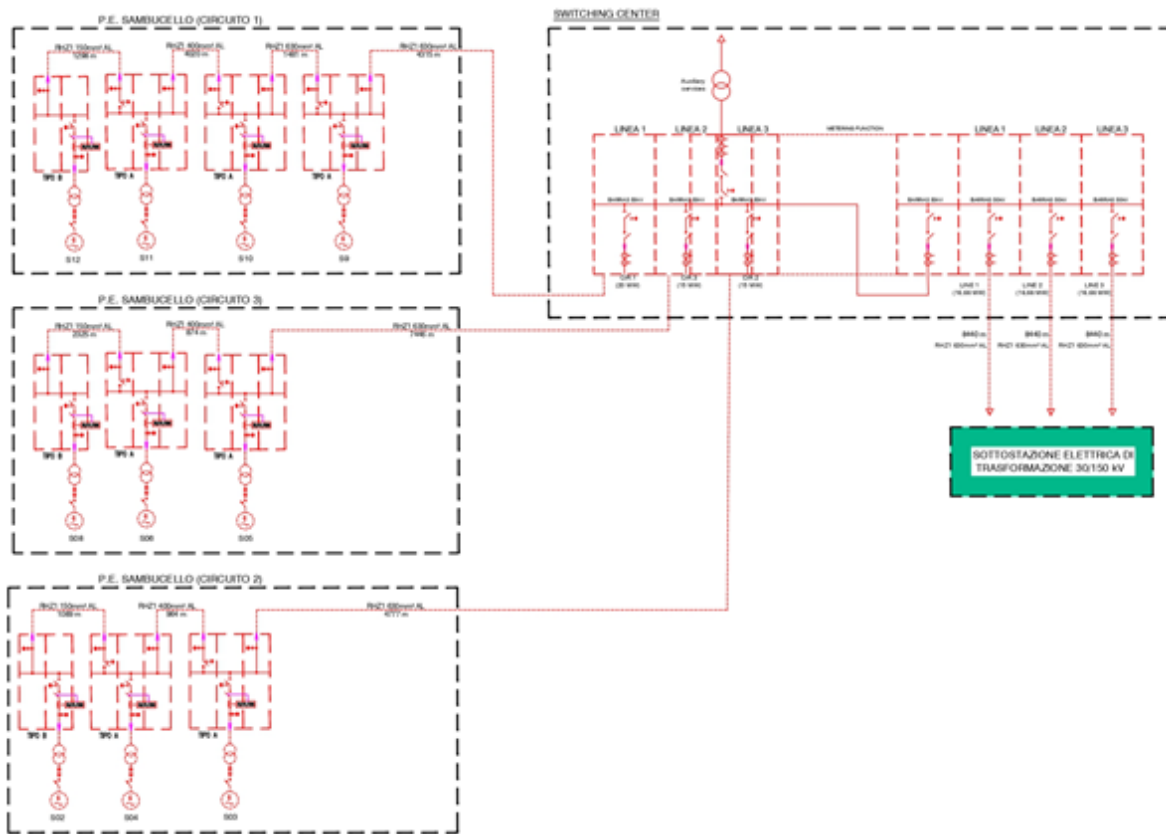


Figura 2 – Schema a blocchi e tabella con caratteristiche tecniche cavidotto

**CIRCUITO 1**

da	a	voltaggio	potenza	potenza totale circuito	lunghezza scavo	5% incremento per curve e pendende	incremento per entrata set	lunghezza	n° terne di cavi	corrente per ogni terna	corrente con fattore di sicurezza	sezione
		(kV)	(kVA)	(kVA)	(m)	(m)	(m)	(m)	(A)	(-)	(mm <sup>2</sup> )	
WT12	WT11	30	6098	6098	1198	60	40	1298	1	117	117	3x1x150
WT11	WT10	30	6098	12195	3790	190	40	4020	1	235	235	3x1x400
WT10	WT09	30	6098	18293	1372	69	40	1481	1	352	352	3x1x630
WTG9	CS	30	6098	24390	4071	204	40	4315	1	469	469	3x1x630

**CIRCUITO 2**

da	a	voltaggio	potenza	potenza totale circuito	lunghezza scavo	5% incremento per curve e pendende	incremento per entrata set	lunghezza	n° terne di cavi	corrente per ogni terna	corrente con fattore di sicurezza	sezione
		(kV)	(kVA)	(kVA)	(m)	(m)	(m)	(m)	(A)	(-)	(mm <sup>2</sup> )	
WTG2B	WTG04	30	6098	6098	1000	50	39	1089	1	117	117	3x1x150
WTG04	WTG03	30	6098	12195	880	44	40	964	1	235	235	3x1x400
WTG03	CS	30	6098	18293	4511	226	40	4777	1	352	352	3x1x630

**CIRCUITO 3**

da	a	voltaggio	potenza	potenza totale circuito	lunghezza scavo	5% incremento per curve e pendende	incremento per entrata set	lunghezza	n° terne di cavi	corrente per ogni terna	corrente con fattore di sicurezza	sezione
		(kV)	(kVA)	(kVA)	(m)	(m)	(m)	(m)	(A)	(-)	(mm <sup>2</sup> )	
WTG08	WTG06	30	6098	6098	2176	109	40	2325	1	117	117	3x1x150
WTG06	WTG05	30	6098	12195	794	40	40	874	1	235	235	3x1x400
WTG05	CS	30	6098	18293	7053	353	40	7446	1	352	352	3x1x630

**CS - SET**

da	a	voltaggio	potenza	potenza totale circuito	lunghezza scavo	5% incremento per curve e pendende	incremento per entrata set	lunghezza	n° terne di cavi	corrente per ogni terna	corrente con fattore di sicurezza	sezione
		(kV)	(kVA)	(kVA)	(m)	(m)	(m)	(m)	(A)	(-)	(mm <sup>2</sup> )	
CS	SET	30	54348	54348	8000	400	40	8440	3	349	349	3x1x630

Circuito n.1 di connessione tra gli aerogeneratori WTG12-WTG11 (n.1 terna di cavi tipo RHZ1 150 mm<sup>2</sup>AL lunghezza 1.298 mt), tra WTG11-WTG10 (n.1 terna di cavi tipo RHZ1 400 mm<sup>2</sup>AL lunghezza 4.020 mt), tra WTG10-WTG09 (n.1 terna di cavo tipo RHZ1 630 mm<sup>2</sup>AL lunghezza 1.481 mt) con uscita del circuito da WTG09 fino allo switching center con n.1 terna cavi tipo RHZ1 630 mm<sup>2</sup>AL di lunghezza 4.315 mt.

Circuito n.2 di connessione tra gli aerogeneratori WTG02B-WTG04 (n.1 terna di cavi tipo RHZ1 150 mm<sup>2</sup>AL lunghezza 1.089 mt), tra WTG04-WTG03 (n.1 terna di cavi tipo RHZ1 400 mm<sup>2</sup>AL lunghezza 964 mt), con uscita del circuito da WTG03 fino allo switching center con n.1 terna cavi tipo RHZ1 630 mm<sup>2</sup>AL di lunghezza 4.777 mt.

Circuito n.3 di connessione tra gli aerogeneratori WTG08-WTG06 (n.1 terna di cavi tipo RHZ1 150 mm<sup>2</sup>AL lunghezza 2.325 mt), tra WTG06-WTG05 (n.1 terna di cavi tipo RHZ1 400 mm<sup>2</sup>AL lunghezza 874 mt), con uscita del circuito da WTG05 fino allo switching center con n.1 terna cavi tipo RHZ1 630 mm<sup>2</sup>AL di lunghezza 7.446 mt.

La verifica è stata condotta nel rispetto nel rispetto della seguente normativa di settore:

- Legge Quadro n. 36 del 22/02/01 e relativo DPCM 08-07-2003 sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici.
- Decreto del Presidente del Consiglio dei ministri 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.
- Decreto Ministeriale 29 maggio 2008: Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti.
- Decreto Ministeriale del 21 marzo 1988 n. 449 "Approvazione delle norme tecniche per la progettazione, l'esecuzione e l'esercizio delle linee elettriche aeree esterne".
- D. Lgs 81/2008 del 9/4/2008 "Testo unico sulla sicurezza".
- Norma CEI 106-11: "Guida per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti secondo le disposizioni del DPCM 8 luglio 2003".
- Guida CEI 211-4 "Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee e da stazioni elettriche".
- Guida CEI CLC/TR 50453 "Valutazione dei campi elettromagnetici attorno ai trasformatori di potenza".
- Norma CEI EN 61936-1, "Impianti elettrici con tensione superiore a 1 kV in c.a. Parte 1: Prescrizioni comuni.
- CEI 11-60, "Portata al limite termico delle linee elettriche aeree esterne con tensione maggiore di 100 kV".
- CEI 11-17, "Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione pubblica di energia elettrica - Linee in cavo".
- CEI IEC 602878, "Cavi elettrici - Calcolo della portata di corrente Parte1-1: Equazioni per il calcolo della portata di corrente (fattore di carico 100 %) e calcolo delle perdite - Generalità".
- D. Lgs 159/2016 "requisiti minimi per la protezione dei lavoratori contro i rischi per la salute e la sicurezza derivanti dall'esposizione ai campi elettromagnetici".

## 2. DEFINIZIONI

### 2.1 CAMPO ELETTROMAGNETICO

I campi elettromagnetici sono un insieme di grandezze fisiche misurabili, introdotte per caratterizzare un insieme di fenomeni osservabili indotti senza contatto diretto tra sorgente ed oggetto del fenomeno, vale a dire fenomeni in cui è presente un'azione a distanza attraverso lo spazio.

E' composto in generale da campi vettoriali quali il campo elettrico, il campo magnetico. Ciò significa che i vettori che caratterizzano il campo elettromagnetico hanno ciascuno un valore definito in ciascun punto del tempo e dello spazio.

I vettori che modellizzano le grandezze introdotte nella definizione del modello fisico dei campi elettromagnetici sono quindi: E. Campo elettrico, B. Campo di induzione magnetica, D. spostamento elettrico o induzione dielettrica, H. Campo magnetico.

L'esposizione umana ai campi elettromagnetici è una problematica relativamente recente che assume notevole interesse con l'introduzione massiccia dei sistemi di telecomunicazione e dei sistemi di trasmissione e distribuzione dell'energia elettrica. In realtà anche in assenza di tali sistemi siamo costantemente immersi nei campi elettromagnetici per tutti quei fenomeni naturali riconducibili alla natura elettromagnetica, primo su tutti l'irraggiamento solare.

Per quanto concerne i fenomeni elettrici si fa riferimento al campo elettrico, il quale può essere definito come una perturbazione di una certa regione spaziale determinata dalla presenza nell'intorno di una distribuzione di carica elettrica.

Per i fenomeni di natura magnetica si fa riferimento ad una caratterizzazione dell'esposizione ai campi magnetici, non in termini del vettore campo magnetico, ma in termini di induzione magnetica, che tiene conto dell'interazione con ambiente ed i mezzi materiali in cui il campo si propaga.

Dal punto di vista macroscopico ogni fenomeno elettromagnetismo è descritto dall'insieme delle equazioni di Maxwell.

La normativa attualmente in vigore disciplina in modo differente i valori ammissibili di campo elettromagnetico, distinguendo così i "campi elettromagnetici quasi statici" ed i "campi elettromagnetici a radio frequenza". Nel caso dei campi quasi statici, campi generate dell'impianto a 50Hz, ha senso ragionare separatamente sui fenomeni elettrici e magnetici e ha quindi anche senso imporre separatamente dei limiti normativi alle intensità del campo elettrico e dell'induzione magnetica.

Il modello quasi statico è applicato per il caso concreto della distribuzione di energia, in relazione alla frequenza di distribuzione dell'energia della rete che è pari a 50Hz. In generale gli elettrodotti dedicati alla trasmissione e distribuzione di energia elettrica sono percorsi da correnti elettriche di intensità diversa, ma tutte alla frequenza di 50Hz, e quindi tutti i fenomeni elettromagnetici che li vedono come sorgenti possono essere studiati correttamente con il modello per campi quasi statici.

Gli impianti per la produzione e la distribuzione dell'energia elettrica alla frequenza di 50 Hz, costituiscono una sorgente di campi elettromagnetici nell'intervallo 30-300 Hz.

A seguire si riporta la tabella di sintesi dello spettro elettromagnetico.

Tabella 1 - Spettro elettromagnetico

DENOMINAZIONE		SIGLA	FREQUENZA	LUNGHEZZA D'ONDA
FREQUENZE ESTREMAMENTE BASSE		ELF	0 - 3kHz	> 100Km
FREQUENZE BASSISSIME		VLF	3 - 30kHz	100 - 10Km
RADIOFREQUENZE	FREQUENZE BASSE (ONDE LUNGHE)	LF	30 - 300kHz	10 - 1Km
	MEDIE FREQUENZE (ONDE MEDIE)	MF	300kHz - 3MHz	1Km - 100m
	ALTE FREQUENZE	HF	3 - 30MHz	100 - 10m
	FREQUENZE ALTISSIME (ONDE METRICHE)	VHF	30 - 300MHz	10 - 1m
MICROONDE	ONDE DECIMETRICHE	UHF	300MHz - 3GHz	1m - 10cm
	ONDE CENTIMETRICHE	SHF	3 - 30GHz	10 - 1cm
	ONDE MILLIMETRICHE	EHF	30 - 300GHz	1cm - 1mm
INFRAROSSO		IR	0,3 - 385THz	1000 - 0,78mm
LUCE VISIBILE			385 - 750THz	780 - 400nm
ULTRAVIOLETTO		UV	750 - 3000THz	400 - 100nm
RADIAZIONI IONIZZANTI		X	> 3000THz	< 100nm

## 2.2 CAMPO ELETTRICO

Il campo elettrico è legato in maniera direttamente proporzionale alla tensione della sorgente; esso si attenua, allontanandosi da un elettrodotto, come l'inverso della distanza dai conduttori.

I valori efficaci delle tensioni di linea variano debolmente con le correnti che le attraversano; l'intensità del campo elettrico può considerarsi, in prima approssimazione, costante.

La presenza di alberi, oggetti conduttori o edifici in prossimità delle linee riduce l'intensità del campo elettrico, e in particolare all'interno degli edifici, si possono misurare intensità di campo fino a 10 (anche 100) volte inferiori a quelle rilevabili all'esterno.

L'andamento ed il valore massimo delle intensità dei campi dipenderanno significativamente dalla disposizione dei conduttori. In generale l'intensità del campo elettrico è inversamente proporzionale dalla sorgente di cariche.

Nell'ambito della media tensione in corrente alternata gli strati di isolamento dei cavi, la disposizione dei cavi e la loro modalità di posa, attenuano considerevolmente il campo elettrico. Inoltre, in aggiunta ai punti precedenti, il campo elettrico risulta ulteriormente ridotto per l'effetto combinato dovuto alla speciale guaina metallica schermante del cavo MT ed alla presenza del terreno che presenta una conducibilità elevata.

I precedenti accorgimenti consentono il rispetto della normativa, in particolare per i cavidotti MT realizzati con cavi MT schermati aventi struttura elicoidale ed interrati ad un metro di profondità, per la frequenza di 50 Hz, risultano attraverso prove sperimentali praticamente nulli.

È da precisare che il campo elettrico generato dall'impianto eolico è anche dipendente dal funzionamento dell'impianto stesso ovvero dalle ore di produzione, ragion per cui in corrispondenza degli aerogeneratori è estremamente variabile nell'arco della giornata.

## 2.3 CAMPO MAGNETICO

L'intensità del campo magnetico generato in corrispondenza di un elettrodotto dipende dall'intensità della corrente circolante nel conduttore, con andamento inversamente proporzionale alla distanza dalla linea. È da precisare che il campo magnetico generato dall'impianto eolico è strettamente connesso alle ore di produzione, ragion per cui è estremamente variabile nell'arco della giornata e dei mesi di produzione dell'impianto.

Il campo magnetico non subisce significative modifiche da parte di materiali diamagnetici e paramagnetici, per cui non c'è alcun effetto schermante nei confronti dei campi magnetici da parte di edifici, alberi o altri oggetti vicini alla linea. All'interno di eventuali edifici privi di schermatura magnetica si può misurare un campo magnetico di intensità comparabile a quello riscontrabile all'esterno.

Il campo magnetico subisce significative modifiche da parte di materiali ferromagnetici (ferro, nichel, cobalto, alcuni metalli di transizione e loro leghe).

Le grandezze che determinano l'intensità del campo magnetico circostante un elettrodotto sono principalmente:

1. distanza dalle sorgenti (conduttori);
2. intensità delle sorgenti (correnti di linea);
3. disposizione e distanza tra sorgenti (distanza mutua tra i conduttori di fase);
4. presenza di sorgenti compensatrici;
5. suddivisione delle sorgenti (terne multiple).

I metodi di controllo del campo magnetico si basano principalmente sulla riduzione della distanza tra le fasi, sull'installazione di circuiti addizionali nei quali circolano correnti di schermo, sull'utilizzazione di circuiti in doppia terna a fasi incrociate e sull'utilizzazione di linee in cavo.

Alcuni metodi con i quali ridurre i valori di intensità di campo elettrico e magnetico per cavidotti possono essere quelli di usare "linee compatte", dove i cavi vengono avvicinati tra di loro con disposizione piana o con disposizione triangolare (trifoglio). In tal caso per effetto della reciproca vicinanza dei cavi, la compensazione delle componenti vettoriali associate alle diverse fasi conduce ad una rapida attenuazione del campo magnetico.

In merito alla fascia di rispetto per cavi interrati la norma CEI 106-11 riporta:

"Per i cavi interrati, le differenze sostanziali rispetto alle linee aeree sono:

- che essi non si dispongono secondo una catenaria ma si mantengono in pratica sempre paralleli alla superficie del terreno;
- che la distanza tra i conduttori  $P$  è decisamente ridotta. Questo comporta distanze  $R$  contenute rispetto al caso aereo. In relazione a ciò bisogna quindi valutare se relazioni approssimate del tipo di quelle utilizzate per le linee aeree in conduttori nudi siano ancora applicabili con un ragionevole grado di accuratezza.

Nel caso di cavi AT, la situazione impiantistica più diffusa è rappresentata da una terna di cavi unipolari posati ad una profondità di circa 1.2-1.8 m. I cavi possono essere posati in piano distanziati di circa 0.15-0.25 m, ovvero a contatto in piano o ai vertici di un triangolo equilatero (posa a "trifoglio"). Nel caso invece di cavi MT, la situazione impiantistica più diffusa è rappresentata da cavi unipolari posati ad una profondità di circa 0.8-1.2 m e disposti prevalentemente a "trifoglio" o in piano, a contatto o distanziati di circa 0.1 m."



## 2.4 DEFINIZIONI DI FASCIA DI RISPETTO E DISTANZA DI PRIMA APPROSSIMAZIONE (DPA)

La fascia di rispetto così come definita dalla norma CEI 106-11 coerentemente con quanto dichiarato nell'allegato al DM 29/05/2008, è lo spazio circostante i conduttori di una linea elettrica aerea, o in cavo interrato, che comprende tutti i punti, al di sopra e al di sotto del livello del suolo, caratterizzati da induzione magnetica di intensità maggiore o uguale a un valore prefissato, in particolare all'obiettivo di qualità.

La distanza di prima approssimazione (DPA) è la distanza, in pianta sul livello del suolo, della proiezione del centro linea che garantisce che ogni punto la cui proiezione al suolo disti dalla proiezione del centro linea più di DPA si trovi all'esterno delle fasce di rispetto. Tale definizione è riportata nell'allegato al DM 29/05/2008.

## 2.5 DPCM 08/07/2003 E RIFERIMENTI

Il D.P.C.M. 8 luglio 2003 fissa 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 ed all'esercizio degli elettrodotti, in particolare:

- **Art. 3 comma 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  $\mu$ T per l'induzione magnetica e 5 kV/m per il campo elettrico, intesi come valori efficaci.*
- **Art. 3 comma 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  $\mu$ T, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.*
- **Art. 4 comma 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 ed 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  $\mu$ T per il valore dell'induzione magnetica, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.*
- **Art. 6 comma 1:** *per la determinazione delle fasce di rispetto si dovrà fare riferimento all'obiettivo di qualità di cui all'art. 4 ed 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 provvedono a comunicare i dati per il calcolo e l'ampiezza delle fasce di rispetto ai fini delle verifiche delle autorità competenti.*

La IEC 60287 descrive il metodo analitico per il calcolo della portata in corrente di un cavo AC a qualsiasi tensione, a partire da dati termici, elettrici e perdite del cavo stesso.

È importante sottolineare che, nel datasheet del cavo scelto, è espresso il dato di portata in corrente calcolato secondo la IEC 60287, che diventerà la base di calcolo delle simulazioni a seguire.

Ai fini del calcolo della fascia di rispetto si omettono verifiche del campo elettrico, in quanto nella pratica questo determinerebbe una fascia (basata sul limite di esposizione, nonché valore di attenzione pari a 5kV/m) che è sempre inferiore a quella fornita dal calcolo dell'induzione magnetica. Pertanto, obiettivo dei paragrafi successivi sarà quello di calcolare le fasce di rispetto dagli elettrodotti del progetto in esame, facendo riferimento alla normativa vigente ed in particolare al limite di qualità di 3 $\mu$ T.

## 2.6 D. Lgs 159/2016 E RIFERIMENTI

Il D. Lgs. 159/2016 riguarda l'attuazione della direttiva 2013/35/UE sulle disposizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti da agenti fisici (campi elettromagnetici) e che abroga la direttiva 2004/40/CE. In particolare, il decreto arreca modifiche ad alcuni articoli del D. Lgs 81/2008, che già prevedeva le disposizioni di salute e sicurezza dei lavoratori anche in relazione ai campi elettromagnetici.

Come stabilito dall'art. 206 del D. Lgs 81/008, così come modificato dal D. Lgs 159/2016, il campo di applicazione è riferito alla determinazione dei "requisiti minimi per la protezione dei lavoratori contro i rischi per la salute e la sicurezza derivanti dall'esposizione ai campi elettromagnetici (da 0 Hz a 300GHz), come definiti dall'articolo 207, durante il lavoro. Le disposizioni riguardano la protezione dai rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori dovuti agli effetti biofisici diretti e agli effetti indiretti noti provocati dai campi elettromagnetici."

Il decreto definisce tra gli altri parametri:

- *"Valori limite di esposizione (VLE), valori stabiliti sulla base di considerazioni biofisiche e biologiche, in particolare sulla base degli effetti diretti acuti e a breve termine scientificamente accertati, ossia gli effetti termici e la stimolazione elettrica dei tessuti"*
- *"Valori di azione (VA), livelli operativi stabiliti per semplificare il processo di dimostrazione della conformità ai pertinenti VLE e, ove appropriato, per prendere le opportune misure di protezione o prevenzione specificate"* (n.d.a. sempre nel medesimo capo del D. Lgs.)

Come riportato all'articolo 208 (Valori limite di esposizione e valori di azione):

1. *Le grandezze fisiche relative all'esposizione ai campi elettromagnetici sono indicate nell'allegato XXXVI, parte I. I VLE relativi agli effetti sanitari, I VLE relativi agli effetti sensoriali e I VA sono riportati nell'articolo XXXVI parti II e III.*
2. *Il datore di lavoro assicura che l'esposizione dei lavoratori ai campi elettromagnetici non superi i VLE relativi agli effetti sanitari e I VLE relativi agli effetti sensoriali di cui all'allegato XXXVI, parte II per gli effetti non termici e di cui all'allegato XXXVI, parte III per gli effetti termici. Il rispetto dei VLE relativi agli effetti sanitari e dei VLE relativi agli effetti sensoriali deve essere dimostrato ricorrendo alle procedure di valutazione dell'esposizione di cui all'articolo 209. Qualora l'esposizione dei lavoratori ai campi elettromagnetici superi uno o qualsiasi dei VLE, il datore di lavoro adotta misure immediate in conformità dell'articolo 210, comma 7. [...]"*.

L'articolo prosegue indicando le condizioni in cui si considera che i VLE sono rispettati e le condizioni in cui è possibile superare i valori di esposizione (adottando specifiche misure/condizioni operative).

In ogni caso tutti i rischi per i lavoratori derivanti dai campi elettromagnetici sul luogo di lavoro dovranno essere opportunamente valutati dal datore di lavoro nell'ambito della valutazione dei rischi di cui all'art. 181 del D. Lgs 81/2008, ed in caso si rendesse necessario, il datore di lavoro dovrà provvedere alla misura o al calcolo dei livelli dei campi

elettromagnetici a cui i lavoratori sono esposti, tenendo conto (come indicato nell'art. 209 del D. Lgs 81/2008 e ss.mm.ii.) anche delle guide pratiche della Commissione Europea, delle norme tecniche europee e di quelle del comitato tecnico italiano (CEI), nonché delle buone prassi individuate o emanate dalla Commissione consultiva permanente di cui all'art. 6 del D. Lgs 81/2008, delle informazioni reperibili presso le banche dati dell'INAIL o delle Regioni.

In generale, sia per la fase di cantiere relativa alla costruzione dell'impianto, sia per la fase di esercizio e dunque per le operazioni di gestione, controllo e manutenzione dell'impianto e delle opere connesse, dovranno essere rispettati i disposti del D. Lgs 81/2008 e ss.mm.ii. (pertanto anche relativamente alle modifiche sull'esposizione ai campi elettromagnetici introdotte con il D. Lgs 159/2016) ed i rischi di esposizione per i lavoratori, nonché le relative misure di prevenzione e protezione, dovranno essere attentamente valutate nell'ambito della valutazione dei rischi e riportati nel Documento di Valutazione dei Rischi (DVR) e nel Documento Unico di Valutazione dei Rischi Interferenziali (DUVRI).

### 3. VALUTAZIONE PREVENTIVA DEI CAMPI ELETTRICI E MAGNETICI NELL'AREA DI IMPIANTO

#### 3.1 CAMPI ELETTRICI

Nella valutazione dei campi elettrici vanno fatte alcune considerazioni: i campi elettrici sono schermati dal suolo, dalle recinzioni che saranno realizzate, dalle murature delle cabine, dagli alberi, dalle strutture metalliche, dalle guaine metalliche dei cavi a media tensione, ecc.

In virtù di tali considerazioni si può trascurare completamente la valutazione dei campi elettrici che, si ricorda, sono generati dalla tensione elettrica. In particolare, è stato più volte dimostrato da misure sperimentali condotte in tutta Italia dal sistema agenziale ARPA sulle cabine MT/BT della distribuzione della rete pubblica, che i campi elettrici all'esterno delle cabine di Media Tensione risultano essere abbondantemente inferiori ai limiti di legge.

Si osserva inoltre che il campo elettrico al suolo in prossimità di elettrodotti a tensione uguale o inferiore a 150 kV, come da misure e valutazioni, non supera mai il limite di esposizione per la popolazione di 5 kV/m stabilito dal DPCM 8 luglio 2003 (Linee Guida per l'applicazione del § 5.1.3 dell'Allegato al DM 29.05.08 - ENEL). In generale, nel caso delle sorgenti in esame, i valori del campo elettrico sono trascurabili.

#### 3.2 CAMPI MAGNETICI

Per quanto concerne invece i campi magnetici si identificano nell'impianto le possibili sorgenti emmissive e le loro caratteristiche.

##### 3.2.1 SEZIONE CORRENTE CONTINUA

Considerando che:

- tale sezione di impianto è tutta esercita in corrente continua (0 Hz) in bassa tensione;
- buona esecuzione vuole che i cavi di diversa polarizzazione (+ e -) viaggino sempre a contatto, annullando reciprocamente quasi del tutto i campi magnetici statici prodotti in un punto esterno (tale precauzione viene in genere presa soprattutto al fine della protezione dalle sovratensioni limitando al massimo l'area della spira che si viene a creare tra il cavo positivo e il cavo negativo);
- i cavi di dorsale che partono dal generatore eolico e arrivano fino al raddrizzatore e inverter, che comunque non trasportano correnti in valore significativo, si trovano all'interno della torre eolica, e da questa sono schermati;
- per la frequenza 0-1 Hz il limite di riferimento per induzione magnetica che non deve essere superato è di 40.000 pT, valore 400 volte più alto dell'equivalente per la corrente a 50 Hz;

si può certamente escludere il superamento dei limiti di riferimento dei valori di campo magnetico statico dovuti alla sezione in corrente continua, già a pochissimi metri dalla fonte, per cui eventuali apparati posti anche a piccola distanza non possono avere alcun disturbo da parte di questi elementi.

##### 3.2.2 SEZIONE CORRENTE ALTERNATA

Per quanto concerne la sezione in corrente alternata le principali sorgenti emmissive sono raddrizzatori e inverter, le sbarre di bassa tensione dei quadri generali BT, i trasformatori elevatori e gli elettrodotti in media e bassa tensione.

Si fanno alcune considerazioni:

- il valore di campo magnetico generato da un sistema elettrico trifase simmetrico ed equilibrato in un punto dello spazio è estremamente dipendente dalla distanza esistente tra gli assi dei conduttori delle tre fasi. Per assurdo, infatti, se i tre conduttori coincidessero nello spazio il campo magnetico esterno risulterebbe nullo per qualsiasi valore della corrente circolante nei conduttori. Per questo motivo il problema dei campi magnetici è poco sentito nelle reti di bassa e media tensione in cavo dove gli spessori degli isolanti sono molto contenuti permettendo alle tre fasi di essere estremamente ravvicinate tra loro se non addirittura inserite nello stesso cavo multipolare (bassa tensione);
- riguardo gli inverter, raddrizzatori, eventuali sistemi di controllo dell'aerogeneratore a PLC, essi sono certificati CE e pertanto rispetteranno tutte le norme nazionali ed europee in materia di compatibilità elettromagnetica.

### 3.2.3 AEROGENERATORE

Nel complesso la torre eolica ha due fonti primarie di campi elettromagnetici, rappresentate dal generatore elettrico e dai cavi schermati dalle pareti della torre ai cavi posti al suo interno. Pertanto i contributi di questi elementi sono trascurabili, rispetto a quelli degli altri componenti elettrici.

### 3.2.4 DISTRIBUZIONE IN MEDIA TENSIONE

Nel caso di un sistema trifase quale quello nei cavidotti di impianto, per la determinazione del campo magnetico generato da cavi percorsi da corrente si può fare riferimento alla norma CEI 106-12 che propone una serie di formule analitiche approssimate, applicabili senza l'uso di software, che permettono il calcolo immediato dell'induzione magnetica ad una data distanza dal baricentro dei conduttori della linea elettrica. Risultano formule molto utili per effettuare analisi approssimate (ma piuttosto precise) e soprattutto immediate delle fasce di rispetto.

Formula per la terna di cavi trifase con conduttori posti su un piano orizzontale o verticale:

$$B(\mu T) = 0,2 \times \sqrt{3} \times \frac{I}{D} \times \frac{S}{D}$$

Formula per la terna di cavi trifase con conduttori posti a triangolo (o trifoglio):

$$B(\mu T) = 0,1 \times \sqrt{6} \times \frac{I}{D} \times \frac{S}{D}$$

dove:

B = induzione magnetica [ $\mu T$ ];

I = corrente che percorre i conduttori [A];

S = distanza fra le fasi (i conduttori) [m];

D = distanza dal baricentro dei conduttori alla quale calcolare l'induzione magnetica [m].

Le predette formule valgono per i cavi aerei ma sono applicabili anche agli interrati. Occorre ricordare però le principali differenze rispetto alle linee aeree: i cavi non formano una catenaria ma si mantengono sempre paralleli alla superficie del terreno e le distanze fra i conduttori sono molto inferiori il che implica distanze di rispetto molto più contenute rispetto alle situazioni delle linee aeree.

Le situazioni più comuni di posa trattano cavi unipolari, in piano o a triangolo, nel caso AT ad una profondità di circa 1,2 - 1,8 m con distanza fra i cavi di circa 0,15 - 0,25 m, mentre nel caso MT ad una profondità di circa 0,8 - 1,2 m con distanza fra i cavi di circa 0,10 m.

Rovesciando la logica, è anche possibile calcolare la distanza  $R'$  dal baricentro dei conduttori, alla quale l'induzione magnetica si riduce al valore dell'obiettivo di qualità di 3  $\mu T$ .

In questo caso la formula per cavi trifase con conduttori posti su un piano orizzontale o verticale:

$$R'(m) = 0,34 \times \sqrt{(S \times I)}$$

Formula per cavi trifase con conduttori posti a triangolo (o trifoglio):

$$R'(m) = 0,286 \times \sqrt{(S \times I)}$$

### 3.3 RISULTANZE DI CALCOLO

Premettendo che nella posa dei cavi le fasi saranno disposte in modo tale da ridurre l'induzione magnetica al piano campagna pertanto sarà: RST, STR nel caso di due terne nello stesso scavo e RST, TSR, SRT per trincea con tre terne, la distanza tra le terne sarà di almeno 0.2 m mentre la profondità di posa sarà di 1,0 m rispetto al piano campagna.

Relativamente alla corrente che attraversa i cavi per i calcoli si considera, a favore di sicurezza, la massima ammissibile. Con tale presupposto, il cavo da 150 mm<sup>2</sup> avrà una portata in corrente in servizio nominale pari a 260A, il cavo da 400 mm<sup>2</sup> avrà portata nominale pari a 438A mentre per il cavo da 630 mm<sup>2</sup> si assumerà il valore di 572A.

Tabella 2 - Risultanze di calcolo

Collegamento		Numero Terne	Sezione (mmq)	Corrente Nominale I (A)	B ( $\mu T$ ) Conduttori orizzontali o verticali	B ( $\mu T$ ) Conduttori a triangolo
da	a					
WT12	WT11	1	3x1x150	260	4,50	3,18
WT11	WT10	1	3x1x400	438	7,59	5,36
WT10	WT09	1	3x1x630	572	9,91	7,01
WTG9	CS	1	3x1x630	572	9,91	7,01
WTG2B	WTG04	1	3x1x150	260	4,50	3,18
WTG04	WTG03	1	3x1x400	438	7,59	5,36
WTG03	CS	1	3x1x630	572	9,91	7,01
WTG08	WTG06	1	3x1x150	260	4,50	3,18
WTG06	WTG05	1	3x1x400	438	7,59	5,36
WTG05	CS	1	3x1x630	572	9,91	7,01
CS	SET	3	3x1x630	572	9,91	7,01
<b>S</b>	<b>0,05</b>					
<b>D</b>	<b>1</b>					
<i>B</i>	<i>induzione magnetica [<math>\mu T</math>]</i>					
<i>I</i>	<i>corrente che percorre i conduttori [A]</i>					
<i>S</i>	<i>distanza fra le fasi (i conduttori) [m]</i>					

<i>D</i>	<i>distanza dal baricentro dei conduttori alla quale calcolare l'induzione magnetica [m]</i>
----------	--

Sulla base delle considerazioni e dei calcoli presentati, i fenomeni elettromagnetici a piano campagna (1 metro di profondità) assumono valori rientranti nei limiti della normativa vigente.

L'induzione magnetica non supera infatti il limite di esposizione di 100  $\mu\text{T}$  sia nel caso (meno favorevole) di conduttori posati orizzontalmente in trincea, sia in quello di conduttori posati a triangolo (o trifoglio).

Tutti i valori rientrano anche nel limite di attenzione posto a 10  $\mu\text{T}$  e per i conduttori di sezione minore, dunque percorsi da corrente più bassa, si avvicinano all'obiettivo di qualità fissato a 3  $\mu\text{T}$ .

Considerato che non si è nelle vicinanze di aree gioco per l'infanzia, di ambienti abitativi o di ambienti scolastici le emissioni magnetiche, per come calcolate, non possono creare interferenze a impianti elettrici, elettronici, di trasmissione o produrre effetti nocivi alle persone a causa di esposizioni a campi elettrici e magnetici.