

REGIONE SICILIA  
LIBERO CONSORZIO COMUNALE DI TRAPANI  
COMUNE DI MARSALA

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO  
DI POTENZA PARI A 33,465 MW, SU TERRENO AGRICOLO  
NEL COMUNE DI MARSALA (TP) IN C.DA MESSINELLO  
IDENTIFICATO AL N.C.T. AL FG. 137 P.LLA 4, 182, FG. 138 P.LLA 109, 112, 115, 160, 161,  
173, 174, 175, 207 E ALTRE AFFERENTI ALLE OPERE DI RETE

Timbro e firma del progettista

**Capital Engineering snc**  
Ing. Vincenzo Massaro



Timbri autorizzativi

**Capital Engineering snc**  
Ing. Salvatore Li Vigni



## RELAZIONE CAMPI ELETTROMAGNETICI

### IDENTIFICAZIONE ELABORATO

Livello prog.	ID Terna	Tipo Elabor.	N.ro Elabor.	Project ID	NOME FILE	DATA	SCALA
PDef	201900883	Relazione	18	MESSINELLO	MESSINELLO Rel.18 Campi Elettrom. del 13 04 2022.docx	20.04.2022	-

### REVISIONI

VERSIONE	DATA	DESCRIZIONE	ESEGUITO	VERIFICATO	APPROVATO
Rev.00	15.12.2020	Prima emissione	GR	MTM	VM
Rev.01	02.09.2021	Seconda emissione	GR	MTM	VM
Rev.02	20.04.2022	Terza emissione: Adeguamento a nuova STMG a 36 kV	MC	MTM	VM

IL PROPONENTE

# Messinello Wind S.r.L.

Messinello Wind S.r.L.  
Corso di Porta Vittoria n. 9 - 20122 - Milano  
P.IVA: 11426630965  
PEC: messinellowind@mailcertificata.net

PROGETTO DI



Capital Engineering S.n.c.  
Sede legale: Via Trinacria, 52 - 90144 - Palermo  
e-mail: info@capitalengineering.it

SU INCARICO DI

# Coolbine

Grounded Clean Ventures

Coolbine S.r.L.  
Sede legale: Via Trinacria, 52 - 90144 - Palermo  
e-mail: progettazione@coolbine.it



## Sommario

1. Premessa.....	2
2. Riferimenti normativi.....	4
3. Definizioni.....	6
3.1 Campo elettrico .....	6
3.2 Campo magnetico.....	6
4. Generalità sui CEM e classificazione dei potenziali effetti sul corpo umano.....	8
4.1 Esposizione di carattere professionale e non professionale ai CEM.....	9
4.1.1 Limiti per l'esposizione di carattere professionale - Effetti non termici.....	10
4.1.2 Limiti per l'esposizione di carattere professionale - Effetti termici.....	13
4.1.3 Limiti per l'esposizione di carattere non professionale.....	15
5. Valutazione del rischio CEM .....	18
6. Metodologie di calcolo delle fasce di rispetto/D.P.A. ....	19
7. Valutazione dei CEM e calcolo delle DPA.....	24
7.1 Aerogeneratori.....	25
7.1.1 Classificazione delle zone.....	32
7.1.2 Misure di protezione da adottare .....	33
7.2 Linee elettriche di media tensione.....	34
7.3 Cabina di trasformazione Utente 30/36 kV .....	39
7.4 Cavidotto AT interrato di collegamento Cabina di trasformazione Utente – Stazione Elettrica “Partanna” .....	40
8. Conclusioni.....	43
Appendice: ulteriori misure di prevenzione e protezione.....	46

## 1. Premessa

La presente relazione tecnica è stata predisposta al fine di valutare l'esposizione ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici (CEM) e il calcolo delle distanze di prima approssimazione (DPA) dalle infrastrutture elettriche descritte nella relazione di progetto per la realizzazione di un parco eolico nel comune di Marsala (TP), durante l'esercizio e il rischio derivante dall'esposizione nei luoghi di lavoro.

Il parco eolico in esame, avente come proponente la società Messinello Wind S.r.L., è composto da n.6 aerogeneratori, di cui 5 aventi una potenza nominale di 6,00 MW ciascuno (nel seguito WTGB) e uno avente una potenza nominale di 3,465 MW (nel seguito WTGA), per una potenza complessiva di 33,465 MW.

Si specifica che, in linea con la nuova versione dell'Allegato A.2 al Codice di rete proposta da Terna S.p.A. deliberata in data 18 ottobre 2021, che prevede l'introduzione di un nuovo standard di connessione alla Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) a 36 kV per gli impianti di potenza fino a 100 MW, la società proponente Messinello Wind S.r.L., valutato che tale nuovo standard di connessione alla RTN persegue soluzioni tecniche finalizzate alla promozione dell'efficienza sia dal punto di vista elettrico che dal punto di vista ambientale, ha presentato a Terna S.p.A. richiesta di modifica del preventivo di connessione ricevuto ed accettato in precedenza, scegliendo la soluzione tecnica minima generale (STMG) in virtù del nuovo standard di connessione alla RTN a 36 kV, al fine di cogliere l'opportunità ed i vantaggi che tale nuovo standard offre.

**Nella presente Relazione Campi Elettromagnetici si valuta l'esposizione ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici e si calcolano le distanze di prima approssimazione dalle infrastrutture elettriche dell'impianto eolico Messinello considerando la STMG conforme al nuovo standard di connessione alla RTN a 36 kV ricevuta in data 20/12/2021 con Codice Pratica 201900883, e accettata formalmente dalla società proponente Messinello Wind S.r.L. in data 26/01/2022 (si vedano gli elaborati di progetto "Rel.01 Relazione Generale" e "Rel.10 Preventivo di connessione e accettazione soluzione tecnica di allaccio").**

Si riassume che, da un punto di vista tecnico, la modifica sostanziale dovuta all'adeguamento del progetto al nuovo standard di connessione alla RTN a 36 kV riguarda l'impianto di utenza a cura del proponente, che non prevedrà più la realizzazione della Sotto Stazione Elettrica Utente, poiché la nuova soluzione standard di connessione prevede che l'impianto di produzione venga connesso direttamente ad uno stallo a 36 kV; piuttosto si parlerà di "Cabina di trasformazione utente" in cui avverrà la trasformazione 30 kV (tensione di progetto)/36 kV (tensione di connessione alla RTN).

Questa variante progettuale, come sarà descritto in maniera più approfondita nei successivi paragrafi, comporta una valutazione dei CEM e delle DPA che differisce da quella condotta per la prima STMG in corrispondenza della sezione di trasformazione 30kV/36kV (Cabina di trasformazione utente) e del nuovo

tratto di linea elettrica interrato a 36kV di collegamento tra la cabina di trasformazione utente e la nuova Stazione Elettrica (SE) 220 kV, denominata "Partanna 2".

Le posizioni della cabina di raccolta utente, del cavo interrato in MT 30 kV, della Cabina di trasformazione utente con trasformatore 30 kV/36 kV e del cavo interrato 36 kV risultano dagli allegati progettuali.

Tale valutazione è condotta, ai sensi del Titolo VIII, Capo IV del D. Lgs. 81/2008 e s.m.i. "**Testo Unico in materia di salute e sicurezza sul lavoro**", **come modificato e integrato dal D. Lgs. 159/2016, che attua la Direttiva 2013/35/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio, del 26 giugno 2013, sulle disposizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici) e che abroga la direttiva 2004/40/CE.**

Considerando che l'art. 209 del Testo Unico sulla Sicurezza individua le Norme tecniche del Comitato Elettrotecnico Italiano (CEI) come riferimento per l'identificazione dell'esposizione ai CEM nel campo di frequenza tra 0 Hz e 300 GHz e nella valutazione dei rischi derivanti dall'esposizione ai CEM nei luoghi di lavoro, il suddetto comitato ha pubblicato in data 01/2021 la "**Guida alla valutazione dei rischi per la salute e la sicurezza derivante dall'esposizione ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici (CEM) fra 0 Hz e 300 GHz nei luoghi di lavoro**", la quale integra i contenuti della Norma CEI EN 50499 "Procedura per la valutazione dell'esposizione dei lavoratori ai campi elettromagnetici" e la disciplina sulla protezione dalle esposizioni ai CEM ai sensi della legislazione nazionale vigente, proponendo un approccio operativo semplificato per la valutazione dei rischi derivanti dall'esposizione ai CEM da parte di tutti i soggetti, interni ed esterni, coinvolti nell'organizzazione e gestione della salute e sicurezza nei luoghi di lavoro, a cui si è fatto riferimento per la redazione del presente elaborato.

La presente relazione è stata redatta tenendo conto dei su elencati documenti e della normativa di riferimento di cui al paragrafo successivo.

## 2. Riferimenti normativi

I principali riferimenti Normativi e Legislativi a cui si è fatto riferimento per la redazione del presente elaborato sono quelli di seguito riportati:

- Raccomandazione del Consiglio del 12 luglio 1999 relativa alla limitazione dell'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici da 0 Hz a 300 GHz (1999/519/CE).
- Direttiva 2013/35/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 26 giugno 2013 sulle disposizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici) (ventesima direttiva particolare ai sensi dell'Art. 16, par. 1, della direttiva 89/391/CEE) e che abroga la direttiva 2004/40/CE.
- Testo coordinato con il D.Lgs. 3 agosto 2009, n. 106 – Attuazione dell'Art.1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro.
- Attuazione della Direttiva 2013/35/UE sulle disposizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici) e che abroga la Direttiva 2004/40/CE.
- Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici.
- D.Lgs. 159/2016: Attuazione della direttiva 2013/35/UE sulle disposizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici) e che abroga la direttiva 2004/40/CE.
- D.P.C.M. 8 luglio 2003: Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici generati a frequenze comprese tra 100 kHz e 300 GHz.
- D.P.C.M. 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.
- D.M. 29 maggio 2008, GU n.156 del 5 luglio 2008: Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti.
- CEI 11-17: Impianti di produzione, trasmissione, distribuzione pubblica di energia elettrica – Linee in cavo.
- CEI 20-21: Calcolo della portata di corrente (IEC 60287).
- 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 I.
- CEI 106-12: Guida pratica ai metodi e criteri di riduzione dei campi magnetici prodotti dalle cabine elettriche MT/BT.
- Linea Guida per l'applicazione del § 5.1.3 dell'Allegato al DM 29.05.08: Distanza di prima approssimazione (DPA) da linee e cabine elettriche.

- Norma CEI 211-6: Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettrici e magnetici nell'intervallo di frequenza 0 Hz – 10 kHz, con riferimento all'esposizione umana.
- Norma CEI 211-7: Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettromagnetici nell'intervallo di frequenza 10 kHz – 300 GHz, con riferimento all'esposizione umana.
- Norma CEI EN 50499: Procedura per la valutazione dell'esposizione dei lavoratori ai campi elettromagnetici.
- Guida alla valutazione dei rischi per la salute e la sicurezza derivante dall'esposizione ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici (CEM) fra 0 Hz e 300 GHz nei luoghi di lavoro.
- CEI EN 62226-1: Esposizione ai campi elettrici e magnetici nell'intervallo delle frequenze basse e intermedie – Metodi di calcolo della densità di corrente e del campo elettrico interno indotti nel corpo umano -Parte 1: Aspetti generali.
- CEI EN 62226-2-1: Esposizione ai campi elettrici e magnetici nell'intervallo delle frequenze basse e intermedie – Metodi di calcolo della densità di corrente e del campo elettrico interno indotti nel corpo umano -Parte 2-1: Esposizione ai campi magnetici- Modelli 2D.
- CEI EN 62226-3-1: Esposizione ai campi elettrici e magnetici nell'intervallo delle frequenze basse e intermedie – Metodi di calcolo della densità di corrente e del campo elettrico interno indotti nel corpo umano -Parte 3-1: Esposizione ai campi elettrici – Modelli analitici e numerici 2D;
- CEI EN IEC 62311: Valutazione degli apparecchi elettronici ed elettrici in relazione alle restrizioni per l'esposizione umana ai campi elettromagnetici (0 Hz – 300 GHz).
- Linea Guida ICNIRP: Guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz).
- Linea Guida ICNIRP: Guidelines for limiting exposure to electric fields induced by movement of the human body in a static magnetic field and by time varying magnetic fields below 1 Hz.
- Linea Guida ICNIRP: Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz).
- Linea Guida ICNIRP: Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields.
- Linea Guida ICNIRP: Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz).

### 3. Definizioni

Per quanto riguarda le definizioni che vengono di seguito riportate si fa riferimento, ove possibile, al documento CEI 111-2 (CENELEC ENV 50166-1).

#### 3.1 Campo elettrico

Il campo elettrico  $E$  creato in vicinanza di un conduttore in tensione è un vettore la cui intensità rappresenta la forza esercitata dal campo stesso su una carica unitaria e si misura in volt al metro [V/m].

Nel caso di campi alternati sinusoidali, il vettore oscilla lungo un asse fisso (sorgente monofase) oppure ruota su un piano descrivendo un'ellisse (sorgenti polifase o sorgenti multiple sincronizzate).

Il campo elettrico in ciascun punto dello spazio è dunque un vettore dipendente dal tempo e descritto mediante le sue componenti spaziali lungo tre assi ortogonali:

$$\vec{E}(t) = E_x(t) \cdot \vec{u}_x + E_y(t) \cdot \vec{u}_y + E_z(t) \cdot \vec{u}_z$$

Nel caso particolare di campi alternati sinusoidali le singole componenti spaziali possono essere rappresentate ciascuna mediante un numero complesso o fasore.

Tenendo conto che il campo elettrico in vicinanza di oggetti conduttori (persone incluse) viene generalmente perturbato dagli oggetti stessi, per caratterizzare le condizioni di esposizione si usa il valore del "campo elettrico imperturbato" (cioè il valore del campo che esisterebbe in assenza di oggetti e persone).

#### 3.2 Campo magnetico

Il campo magnetico è una grandezza vettoriale. Come nel caso del campo elettrico, in presenza di grandezze sinusoidali, questo vettore oscilla lungo un asse fisso (sorgente monofase) oppure ruota su un piano descrivendo un'ellisse (sorgenti polifase o multiple sincronizzate). L'intensità del campo magnetico,  $H$ , si esprime in ampere al metro [A/m].

Spesso il campo magnetico viene espresso in termini di densità di flusso magnetico,  $B$ , grandezza anche nota come induzione magnetica. La densità di flusso magnetico è definita in termini di forza esercitata su una carica in movimento nel campo e ha come unità di misura il Tesla [T].

L'induzione magnetica è legata all'intensità del campo magnetico a mezzo della relazione costitutiva del campo magnetico:

$$B = \mu \cdot H$$



dove:

- $\mu = \mu_0 \mu_r$  è la permeabilità del mezzo ( $\mu_0$  è il valore della permeabilità assoluta del vuoto e  $\mu_r$  è il valore della permeabilità relativa);
- $H$  è l'intensità del campo magnetico, in A/m.

Analogamente al campo elettrico, anche il campo induzione magnetica può essere descritto mediante le sue componenti spaziali lungo tre assi simultaneamente ortogonali:

$$\vec{B}(t) = B_x(t) \cdot \vec{u}_x + B_y(t) \cdot \vec{u}_y + B_z(t) \cdot \vec{u}_z$$

e, nel caso di campi alternati sinusoidali, ciascuna componente spaziale può essere rappresentata mediante un fasore.

#### 4. Generalità sui CEM e classificazione dei potenziali effetti sul corpo umano

I Campi Elettromagnetici nei luoghi di lavoro possono essere di origine naturale o antropica.

Le caratteristiche dei CEM e le relative interazioni con i soggetti esposti variano in base alla frequenza. Nella gamma di frequenze comprese tra 0 Hz e 300 GHz, l'energia associata al campo magnetico non è in grado di causare ionizzazione, ovvero l'alterazione dei legami chimici e delle strutture atomiche, di atomi e molecole nei sistemi biologici; pertanto, i CEM rientrano tra gli agenti fisici identificati come "**radiazioni non ionizzanti**".

Secondo la classificazione in funzione della frequenza adottata dalla International Commission on Non-ionizing Radiation Protection (ICNIRP) si possono definire:

- Campi statici e campi variabili nel tempo fino a 1 Hz (campi quasi statici);
- Campi a bassa frequenza (1 Hz -100 kHz);
- Campi a frequenze intermedie (100 kHz -10 MHz);
- Campi ad alta frequenza (10 MHz – 300 GHz).

Tale classificazione è strettamente connessa ai meccanismi di interazione dei CEM con il corpo umano e ai relativi effetti, anch'essi dipendenti dall'intervallo di frequenze di esposizione.

Gli effetti scientificamente accertati associati all'esposizione ai CEM sono gli **effetti acuti** per i quali è ben definito il meccanismo d'interazione e in relazione a cui è possibile individuare soglie di insorgenza. Pertanto, l'ICNIRP definisce i limiti solo per gli effetti accertati.

Gli **effetti acuti** si distinguono in **effetti di tipo diretto**, derivanti dall'interazione diretta del campo con i tessuti biologici, ed **effetti di tipo indiretto**, provocati dalla presenza di un oggetto in un campo elettromagnetico, che potrebbero essere causa di un pericolo per la salute e sicurezza (quali l'interferenza con attrezzature e dispositivi medici elettronici, compresi stimolatori cardiaci e altri impianti o dispositivi medici portati sul corpo; il rischio propulsivo di oggetti ferromagnetici all'interno di campi magnetici statici; l'innescio di dispositivi elettro-esplosivi; gli incendi e le esplosioni dovuti all'accensione di materiali infiammabili a causa di scintille prodotte da campi indotti, correnti di contatto o scariche elettriche; le correnti di contatto IC).

Pertanto, i soggetti portatori di dispositivi medici o inclusi metallici, insieme ad altre tipologie di lavoratori (ad esempio donne in gravidanza e minori), rientrano nella categoria dei **lavoratori particolarmente sensibili al rischio CEM**, per la quale deve essere condotta una valutazione specifica del rischio e devono essere attuate specifiche misure di prevenzione e protezione nonché di sorveglianza sanitaria.

Gli effetti di tipo diretto che i Campi Elettromagnetici, a livello biologico, possono indurre in un soggetto a causa dell'esposizione, dipendono dalle modalità di esposizione, dalla frequenza e dall'intensità del campo, e possono essere classificati in due differenti categorie:

- **effetti sanitari**, ovvero effetti che possono comportare un rischio per la salute;
- **effetti sensoriali**, che di per sé non comportano un rischio per la salute ma possono generare disturbi temporanei e influenzare le capacità cognitive o altre funzioni cerebrali o muscolari.

Nel campo delle basse frequenze ( $f < 100$  kHz), gli effetti diretti associati all'esposizione ai CEM sono relativi alla possibile stimolazione degli organi sensoriali, nervi e muscoli (**effetti non termici**). Nel campo delle alte frequenze ( $f > 10$  MHz) gli effetti diretti sono relativi alla possibile generazione di fenomeni di riscaldamento dei tessuti (**effetti termici**). Alle frequenze intermedie (100 kHz – 10 MHz) si associano sia effetti di stimolazione sia effetti di tipo termico.

In relazione all'esposizione ai campi elettrici statici, gli unici effetti accertati sono riconducibili a fenomeni di microscariche, mentre l'esposizione ai campi magnetici statici, per campi di induzione magnetica di intensità superiore a 2 T (due tesla), può determinare stimolazioni degli organi sensoriali e del sistema nervoso centrale (SNC) e periferico (SNP) simili a quelli generati dai campi a bassa frequenza nel caso in cui l'individuo si muova all'interno del campo. Campi statici con induzione magnetica superiore a 7-8 T, possono esercitare forze sulle cariche elettriche ioniche in movimento del sangue.

La **Direttiva 2013/35/UE** recepita nel Testo Unico sulla Sicurezza attraverso il D. Lgs. 159/2016, fa riferimento esclusivamente agli **effetti acuti** associati all'esposizione ai CEM *poiché attualmente non si dispone di prove scientifiche accertate dell'esistenza di un nesso causale fra l'esposizione ai CEM ed i possibili effetti a lungo termine, compresi i possibili effetti cancerogeni*.

È tuttavia da rilevare che, in ambito nazionale, la Legge 36/2001 (LQ) e i relativi decreti attuativi (DPCM 8/7/2003), modificati dalla Legge 221/2012, recepiscono l'insieme completo delle restrizioni stabilite dalla Raccomandazione Europea 1999/519/CE. Gli stessi fissano misure di cautela ai fini della protezione da possibili effetti a lungo termine e della progressiva minimizzazione dell'esposizione che, in ambito lavorativo, si applicano alle esposizioni di tipo non professionale.

#### 4.1 Esposizione di carattere professionale e non professionale ai CEM

La Legge Quadro n° 36 del 2001 sulla protezione dei lavoratori e della popolazione dall'esposizione ai CEM, definisce come:

- a) esposizione dei lavoratori e delle lavoratrici: ogni tipo di esposizione dei lavoratori e delle lavoratrici che, per la loro specifica attività lavorativa, sono esposti a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici (n.d.r. esposizioni di carattere professionale);
- b) esposizione della popolazione: ogni tipo di esposizione ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici, ad eccezione dell'esposizione intenzionale per scopi diagnostici o terapeutici;

A tutte le categorie di lavoratori si applicano le disposizioni generali del Testo Unico, mentre i limiti di esposizione da adottare dipendono dalla tipologia di esposizione.

Come stabilito dalla Legge Quadro sopra menzionata, si deve intendere come esposizione di carattere professionale al rischio CEM quella relativa alla specifica attività lavorativa che preveda, per esigenze correlate e necessarie alle finalità del processo produttivo, la possibilità di esposizione a livelli di CEM superiori ai limiti per la popolazione fissati dalla Normativa Nazionale vigente.

In relazione alle tipologie di esposizione individuate dalla LQ, si distinguono i seguenti due casi a cui si applicano limiti di esposizione differenti:

- 1) **esposizioni di carattere professionale**, quelle cui sono soggetti i lavoratori durante le attività per le quali il rischio CEM rappresenta un rischio specifico, a cui si applicano le disposizioni specifiche ed i limiti di esposizione stabiliti dal TUS;
- 2) **esposizioni di carattere non professionale**, quelle cui sono soggetti i lavoratori durante le attività per le quali il rischio CEM non rappresenta un rischio specifico. A queste si applicano oltre alle disposizioni generali del Testo Unico, anche i limiti fissati dalla legislazione nazionale vigente (DPCM 8/7/2003 per l'esposizione della popolazione, ulteriormente modificati dalla Legge 221/2012 che recepisce l'insieme completo delle restrizioni stabilite dalla Raccomandazione Europea 1999/519/CE e fissa specifici *limiti di esposizione* nonché ulteriori restrizioni (*valori di attenzione e obiettivi di qualità*) in relazione al tempo di permanenza e/o a luoghi specifici per due specifiche categorie di sorgenti CEM riconducibili agli elettrodotti operanti alla frequenza di rete (50 Hz) e ai sistemi fissi delle telecomunicazioni e radiotelevisivi (100 kHz – 300 GHz) (Cfr. 8.2).

La tipologia di esposizione è, pertanto, determinata dalla specifica attività svolta dal lavoratore in relazione alla finalità del processo produttivo. Ne consegue che, in funzione dell'attività svolta, a uno stesso lavoratore potranno applicarsi i limiti di esposizione stabiliti dal Testo Unico oppure i limiti per la popolazione.

#### **4.1.1 Limiti per l'esposizione di carattere professionale - Effetti non termici**

I limiti per l'esposizione dei lavoratori ai CEM stabiliti dal TUS nel Titolo VIII (Agenti Fisici), Capo IV (Campi elettromagnetici) e nell'Allegato XXXVI si articolano in due categorie:

- valori limite di esposizione (VLE), i quali garantiscono la tutela del lavoratore da possibili rischi per la salute e la sicurezza derivante dall'esposizione ai CEM;
- valori di azione (VA), il cui rispetto garantisce il rispetto dei pertinenti VLE. Il superamento dei VA non implica necessariamente il superamento dei VLE; tuttavia, implica l'obbligo di adottare le pertinenti misure tecniche ed organizzative di prevenzione e protezione.

Nell'allegato XXXVI parte II del Testo Unico sulla Sicurezza, vengono definiti i valori limite di esposizione e i valori di azione relativi agli effetti non termici di tipo sanitario e sensoriale, di seguito riportati per comodità:

**Tabella 3 – VALORI LIMITE DI ESPOSIZIONE (VLE) – EFFETTI NON TERMICI**

TABELLE ALLEGATO XXXVI PARTE II	INTERVALLO DI FREQUENZA	GRANDEZZA FISICA		TIPO DI EFFETTO		CONDIZIONE DI ESPOSIZIONE	SIGNIFICATO PROTEZIONISTICO/NOTE
				SENSORIALE	SANITARIO		
A1	0 – 1 Hz	Induzione magnetica esterna $B_e$ [T]	I VLE per le frequenze inferiori a 1 Hz sono limiti per il campo magnetico statico la cui misurazione non è influenzata dalla presenza del soggetto esposto.	2		Condizioni di lavoro normali	I VLE relativi agli effetti sensoriali sono connessi a disturbi dell'organo di equilibrio umano (vertigini e altri effetti fisiologici) risultanti principalmente da movimenti in un campo magnetico statico.
				8		Esposizione localizzata degli arti	
					8	Condizioni di lavoro controllate	Il VLE relativo agli effetti sanitari è applicabile su base temporanea durante il turno di lavoro, ove giustificato dalla prassi o dal processo. Le condizioni di lavoro controllate prevedono l'adozione di misure di protezione specifiche quali il controllo dei movimenti al fine di prevenire possibili effetti sensoriali e l'informazione dei lavoratori.
A2	1 Hz ≤ f < 3 kHz	Campo elettrico interno ( <i>in situ</i> )			1,1		I VLE relativi agli effetti sanitari sono correlati alla stimolazione elettrica di tutti i tessuti del sistema nervoso centrale e periferico all'interno del corpo, compresa la testa. I VLE relativi agli effetti sensoriali sono correlati agli effetti del campo elettrico sul sistema nervoso centrale nella testa, cioè fosfeni retinici e modifiche minori e transitorie di talune funzioni cerebrali. f è la frequenza espressa in Hertz [Hz].
	3 kHz ≤ f ≤ 10 MHz	$E_{int}$ [V/m]			$3,8 \times 10^{-4} f$		
A3	1 Hz ≤ f < 10 Hz	Campo elettrico interno ( <i>in situ</i> ) $E_{int}$ [V/m]		0,7 / f			I VLE sono valori di picco in termini temporali che sono pari ai valori efficaci moltiplicati per $\sqrt{2}$ per i campi sinusoidali. Nel caso di campi non sinusoidali, la valutazione dell'esposizione si basa di norma sul metodo del picco ponderato. Possono essere applicate procedure di valutazione alternative scientificamente provate e convalidate purché conducano a risultati comparabili.

**Tabella 1: Valori limite di esposizione (VLE) - Effetti non termici**

**Tabella 4 – VALORI DI AZIONE (VA) – EFFETTI NON TERMICI**

Per i lavoratori particolarmente sensibili al rischio si applicano ulteriori restrizioni (Cfr. Art. 7 e Allegato A)						
TABELLE ALLEGATO XXXV PARTE II	INTERVALLO DI FREQUENZA	GRANDEZZA FISICA (CAMPI AMBIENTALI)	VA <sub>INF</sub> (VALORI EFFICACI)	VA <sub>SUP</sub> (VALORI EFFICACI)	VA ESPOSIZIONE LOCALIZZATA DEGLI ARTI (VALORI EFFICACI)	SIGNIFICATO PROTEZIONISTICO / NOTE
B1	1 Hz ≤ f < 25 Hz	Intensità di campo elettrico E [V/m]	2,0 × 10 <sup>4</sup>	2,0 × 10 <sup>4</sup>		Il rispetto dei VA <sub>ART</sub> (E) garantisce il rispetto dei VLE sanitari e sensoriali e permette di prevenire le scariche elettriche nel luogo di lavoro;  Il rispetto dei VA <sub>SUP</sub> (E) garantisce il rispetto dei VLE sanitari e sensoriali ma non assicura la prevenzione delle scariche elettriche nel luogo di lavoro.  f è la frequenza espressa in Hertz [Hz]. I VA sono valori efficaci (RMS) che sono pari ai valori di picco divisi per √2 per i campi sinusoidali. Nel caso di campi non sinusoidali, la valutazione dell'esposizione si basa di norma sul metodo del picco ponderato. Possono essere applicate procedure di valutazione alternative scientificamente provate e convalidate, purché conducano a risultati comparabili.
	25 Hz ≤ f < 50 Hz		5,0 × 10 <sup>5</sup> /f	2,0 × 10 <sup>4</sup>		
	50 Hz ≤ f < 1,64 kHz		5,0 × 10 <sup>5</sup> /f	1,0 × 10 <sup>5</sup> /f		
	1,64 kHz ≤ f < 3 kHz		5,0 × 10 <sup>5</sup> /f	6,1 × 10 <sup>2</sup>		
	3 kHz ≤ f ≤ 10 MHz		1,7 × 10 <sup>2</sup>	6,1 × 10 <sup>2</sup>		
B2	1 Hz ≤ f < 8 Hz	Induzione magnetica B [μT]	2,0 × 10 <sup>5</sup> /f <sup>2</sup>	3,0 × 10 <sup>5</sup> /f	9,0 × 10 <sup>5</sup> /f	Il rispetto dei VA <sub>ART</sub> (B) nell'intervallo di frequenza 1 Hz – 400 Hz garantisce il rispetto dei pertinenti VLE <sub>ART</sub> ; al di sopra dei 400 Hz, coincidendo con i VA <sub>SUP</sub> (B), garantisce il rispetto dei pertinenti VLE <sub>SUP</sub> .  Il rispetto dei VA <sub>SUP</sub> (B) garantisce il rispetto dei VLE sanitari, ma non di quelli sensoriali;  I VA <sub>ART</sub> (B) garantiscono il rispetto dei VLE sanitari relativi alla stimolazione elettrica dei tessuti limitatamente agli arti, tenuto conto del fatto che il campo magnetico presenta un accoppiamento più debole negli arti che nel corpo. Questi valori possono essere utilizzati in caso di esposizione strettamente confinata agli arti, restando ferma la necessità di valutare il rispetto dei VA su tutto il corpo del lavoratore.

VA – CORRENTI DI CONTATTO I <sub>c</sub> (valori efficaci)					
B3	fino a 2,5 kHz	Corrente di contatto stazionaria I <sub>c</sub> [mA]	1,0		Tali correnti derivano dal contatto con un oggetto conduttore (per es. una struttura metallica) che, pur non essendo direttamente in tensione, in presenza di un campo elettrico si trova a una tensione diversa dal corpo del lavoratore.
	2,5 kHz ≤ f < 100 kHz		0,4 × f [kHz]		
	100 kHz ≤ f ≤ 10 000 kHz		40		
VA - INDUZIONE MAGNETICA DI CAMPI MAGNETICI STATICI					
B4	0 Hz – 1 Hz	Induzione magnetica esterna B <sub>0</sub> [mT]	0,5		Valore di azione per prevenire il rischio di interferenza con dispositivi medici impiantati attivi, ad esempio stimolatori cardiaci.
			3		Valore di azione per prevenire il rischio di attrazione e propulsivo nel campo periferico di sorgenti di campo magnetico statico ad alta intensità (> 100 mT). Si applica a dispositivi medici impiantati passivi o inclusi metallici se contenenti materiali ferromagnetici o conduttivi (per es. piercing, schegge, ecc.) al fine di prevenire il rischio di torsioni o spostamenti.

**Tabella 2: Valori limite di azione (VA) - Effetti non termici**



#### 4.1.2 Limiti per l'esposizione di carattere professionale - Effetti termici

Nell'allegato XXXVI, parte III del Testo Unico sono definiti i valori limite di esposizione e i valori di azione relativi agli effetti termici:

**Tabella 6 – VALORI DI AZIONE (VA) – EFFETTI TERMICI**

*Per i lavoratori particolarmente sensibili al rischio si applicano ulteriori restrizioni (Cfr. Art. 7 e Allegato A)*

TABELLE ALL. XXXVI PARTE III	INTERVALLO DI FREQUENZA	GRANDEZZA FISICA					SIGNIFICATO PROTEZIONISTICO / NOTE
		CAMPI AMBIENTALI			VA (I <sub>c</sub> ) per la corrente di contatto stazionaria [mA] (valore efficace)	VA (I <sub>c</sub> ) per la corrente indotta in qualsiasi arto [mA] (valore efficace)	
		VA (E) per l'intensità del campo elettrico [V/m] (valore efficace)	VA (B) per l'induzione magnetica [μT] (valore efficace)	VA (S) per la densità di potenza [W/m <sup>2</sup> ]			
B2	100 kHz ≤ f < 1 MHz	810	2,0 × 10 <sup>9</sup> / f	50	40	100	
	1 MHz ≤ f < 10 MHz	8,1 × 10 <sup>8</sup> / f					
	10 MHz ≤ f ≤ 100 MHz	81	0,2				
	100 MHz ≤ f ≤ 110 MHz						
	110 MHz ≤ f < 400 MHz						
B1	400 MHz ≤ f < 2 GHz	3 × 10 <sup>-3</sup> f <sup>1/2</sup>	1,0 × 10 <sup>-5</sup> f <sup>1/2</sup>	50	40	100	
	2 GHz ≤ f < 8 GHz	140	0,45				
	8 GHz ≤ f ≤ 300 GHz						

*Note:*  
 I VA(E) e VA(B) derivano dai VLE relativi al SAR e dalla densità di potenza. Il VA(S) viene a coincidere con il corrispondente VLE.  
 I [VA(E)]<sup>2</sup>, [VA(B)]<sup>2</sup> e [VA(I<sub>c</sub>)]<sup>2</sup> devono essere mediati per ogni periodo di 8 minuti.  
 I VA(S) sono relativi a valori mediati su intervalli temporali diversi in funzione della frequenza: tra 8 GHz e 10 GHz sono mediati su periodi di 8 minuti, al di sopra di 10 GHz sono mediati su periodi di 88 / f<sup>0,9</sup> minuti (dove f è la frequenza in GHz) per tenere conto della graduale diminuzione della profondità di penetrazione con l'aumento della frequenza.  
 I VA(E) e VA(B) corrispondono ai valori del campo imperturbati e sono intesi come valori massimi calcolati o misurati sul posto di lavoro nello spazio occupato dal corpo o da parti del corpo del lavoratore. In specifiche condizioni di esposizione non uniforme possono essere utilizzati criteri relativi alla media spaziale dei campi misurati.  
 Il rispetto del VA(S) deve essere garantito in termini di valore medio per ogni superficie corporea esposta di 20 cm<sup>2</sup>, con la condizione aggiuntiva che la densità di potenza mediata su ogni superficie di 1 cm<sup>2</sup> non superi il valore di 1000 W/m<sup>2</sup>.  
 Nel caso di segnali impulsivi a radiofrequenza, la densità di potenza di picco mediata sull'ampiezza dell'impulso non deve superare di 1000 volte il rispettivo VA(S).  
 Per campi a frequenze multiple (campi non sinusoidali) l'analisi è basata sulla sommatoria dei contributi, descritta nelle norme tecniche di riferimento (Guida CEM, Allegato C).  
 In caso di esposizione a una sorgente molto localizzata, distante pochi cm dal corpo, il campo elettrico interno (in situ) e la conformità al VLE possono essere determinati caso per caso mediante dosimetria (Cfr. Art. 9).

**Tabella 3: Valori limite di azione (VA) -Effetti termici**

Tabella 5 – VALORI LIMITE DI ESPOSIZIONE (VLE) – EFFETTI TERMICI

TABELLE ALLEGATO XXVI PARTE III	INTERVALLO DI FREQUENZA	GRANDEZZA FISICA	TIPO DI EFFETTO		CONDIZIONE DI ESPOSIZIONE	SIGNIFICATO PROTEZIONISTICO / NOTE
			SENSORIALE	SANITARIO		
A1	100 kHz ≤ f < 6 GHz	Tasso di assorbimento specifico SAR [W/kg]		0,4	Esposizione a corpo intero	I VLE <sub>lim</sub> proteggono dal riscaldamento termico dei tessuti od organi derivante dall'esposizione a campi elettromagnetici.
				10	Esposizione localizzata di testa e tronco	I VLE <sub>lim</sub> riferiti al SAR (potenza assorbita per unità di massa di tessuto corporeo) sono relativi a valori mediati per ogni periodo di sei minuti.
				20	Esposizione localizzata degli arti	Il rispetto dei VLE <sub>lim</sub> sul SAR per l'esposizione localizzata deve essere assicurato in termini di valore medio su ogni elemento di massa pari a 10 g di tessuto contiguo con proprietà elettriche approssimativamente omogenee; il massimo valore di SAR così ricavato deve essere impiegato per la verifica di conformità con il pertinente VLE.
A2	0,3 GHz ≤ f ≤ 6 GHz	Assorbimento specifico locale di energia SA [mJ/kg]	10		Esposizione della testa a campi elettromagnetici pulsati	Il VLE <sub>lim</sub> è finalizzato alla prevenzione degli effetti uditivi provocati dall'esposizione della testa a microonde pulsate. Esso è riferito all'energia assorbita per ogni massa di 10 g di tessuto all'interno della testa.
A3	6 GHz ≤ f ≤ 300 GHz	Densità di potenza incidente sulla superficie corporea S [W/m <sup>2</sup> ]		50		I VLE <sub>lim</sub> proteggono dal riscaldamento termico dei tessuti od organi derivante dall'esposizione a campi elettromagnetici. I VLE <sub>lim</sub> riferiti alla densità di potenza S sono relativi a valori mediati su intervalli temporali diversi in funzione della frequenza: tra 6 GHz e 10 sono mediati per ogni periodo di sei minuti, al di sopra di 10 GHz sono mediati su periodi di 68/f <sup>0,69</sup> minuti (dove f è la frequenza in GHz) per tenere conto della graduale diminuzione della profondità di penetrazione con l'aumento della frequenza. Il rispetto del VLE su S deve essere garantito in termini di valore medio per ogni superficie corporea esposta di 20 cm <sup>2</sup> con la condizione aggiuntiva che la densità di potenza mediata su ogni superficie di 1 cm <sup>2</sup> non superi il valore di 1000 W/m <sup>2</sup> .

Tabella 4: Valori limite di esposizione (VLE) - Effetti termici

Con riferimento agli effetti termici, i VLE relativi agli effetti sanitari per esposizione a campi elettromagnetici a frequenze comprese tra 100 kHz e 300 GHz proteggono dal riscaldamento termico dei tessuti o organi.

Per lo stesso intervallo di frequenza, è definito un valore di azione relativo alla densità di potenza ambientale. Questo valore di soglia, viene a coincidere con il corrispondente valore limite di esposizione essendo espresso nella medesima unità di misura, sebbene quest'ultimo, in quanto grandezza dosimetrica, sia relativo alla densità di potenza incidente sulla superficie corporea.

I VA(E) e VA(B) consentono una valutazione semplificata della conformità ai pertinenti VLE. A seguito della valutazione dell'esposizione, qualora risulti che i VA sono superati, il DL, a meno che la valutazione dimostri che i pertinenti VLE non sono superati e che possono essere esclusi rischi relativi alla sicurezza, elabora ed applica un programma d'azione che comprenda misure tecniche e organizzative intese a prevenire esposizioni superiori ai VLE relativi agli effetti sensoriali e ai VLE relativi agli effetti sanitari. In caso di esposizione a una sorgente molto localizzata, distante pochi cm dal corpo, il campo elettrico interno (*in situ*) e la conformità ai VLE possono essere determinati, caso per caso, mediante dosimetria.



#### 4.1.3 Limiti per l'esposizione di carattere non professionale

Alle esposizioni non professionali si applicano le disposizioni generali del TUS e i limiti per la popolazione fissati dalla legislazione nazionale vigente.

Nel caso di esposizioni a campi multisorgente o esposizioni a campi multifrequenza (campi non sinusoidali, ovvero campi caratterizzati da molteplici armoniche in frequenza), la valutazione dell'esposizione si basa di norma sul **metodo della somma spettrale**, come indicato nell'Allegato IV alla Raccomandazione Europea 1999/519/CE. Il metodo conduce alla determinazione di un indice adimensionale, il cui valore deve essere inferiore ad 1 o a 100 se espresso in percentuale, al fine di garantire il rispetto delle prescrizioni normative.

Il metodo della somma spettrale non considera le relazioni di fase delle diverse componenti spettrali che tuttavia assumono rilevanza nel caso del regime degli effetti non termici. In questi casi la valutazione basata sul metodo della somma spettrale fornisce risultati estremamente conservativi. Ai fini di una valutazione più realistica si potrebbe considerare la possibilità di adottare il metodo del picco ponderato anche per le esposizioni di carattere non professionale alle basse frequenze.

Essendo la tipologia di esposizione determinata dalla specifica attività svolta dal lavoratore, ne consegue che a uno stesso lavoratore, in funzione dell'attività svolta, potranno applicarsi i limiti di esposizione stabiliti dal TUS piuttosto che i limiti per la popolazione.

Per i **lavoratori particolarmente sensibili al rischio CEM** si applicano ulteriori restrizioni e si richiede una valutazione specifica del rischio.

I limiti per l'esposizione della popolazione e per le esposizioni non professionali sono definiti dalla **Legge 22 febbraio 2001 n. 36** "Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici" e dai relativi decreti attuativi:

- **DPCM 8 luglio 2003** "Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti" (di seguito richiamato come DPCM BF);
- **DPCM 8 luglio 2003** "Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici generati a frequenze comprese tra 100 kHz e 300 GHz" (di seguito richiamato come DPCM AF).

I due DPCM **recepiscono** (rispettivamente negli artt. 3 e 4) l'insieme delle restrizioni per la popolazione definite dalla **Raccomandazione 1999/519/CE**, che si articolano in limiti di base (LB) e livelli di riferimento (LR), **fatta eccezione per le categorie di sorgenti** riconducibili agli elettrodotti operanti alla frequenza di rete (50 Hz) e ai sistemi fissi delle telecomunicazioni e radiotelevisivi (100 kHz - 300 GHz). Per le suddette categorie di sorgenti, i medesimi DPCM fissano specifiche restrizioni in termini di:

- **limite di esposizione**, valore di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, considerato come valore di immissione, definito ai fini della tutela della salute da effetti acuti, che non deve essere superato in alcuna condizione di esposizione;
- **valore di attenzione**, valore di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, considerato come valore di immissione, che non deve essere superato negli ambienti abitativi, scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere; esso costituisce misura di cautela ai fini della protezione da possibili effetti a lungo termine.
- **obiettivi di qualità**, sono criteri localizzativi, standard urbanistici, prescrizioni e incentivazioni per l'utilizzo delle migliori tecnologie disponibili, indicati dalle leggi regionali, nonché valori di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico definiti ai fini della progressiva minimizzazione dell'esposizione ai CEM.

**Tabella 7 – Articolazione dei limiti per l'esposizione della popolazione e per le esposizioni di carattere non professionali applicabili ai sensi della legislazione nazionale vigente**

*Per i lavoratori particolarmente sensibili al rischio si applicano ulteriori restrizioni (Cfr. Art. 7 e Allegato A)*

SORGENTI	INTERVALLO DI FREQUENZA	CAMPO ELETTRICO (valore efficace)	CAMPO MAGNETICO (valore efficace)	DENSITÀ DI POTENZA (valore efficace)	SIGNIFICATO PROTEZIONISTICO / NOTE
SORGENTI NON RICONDUCEBILI ALLE CATEGORIE DI CUI SOTTO (Rif. RACC.1999/519/CE)	0 Hz – 300 GHz	TABELLA 8 – Limiti di Base (LB) TABELLA 9 – Livelli di Riferimento (LR)			
<b>ELETTRODOTTI</b> (Rif. DPCM BF e s.m.l.)	50 Hz	5 [kV/m]	100 [μT] valore di induzione magnetica		<b>Limite di esposizione</b> Valore di campo elettrico e campo magnetico, considerato come valore di immissione definito ai fini della tutela della salute da effetti acuti. Il limite non deve essere superato in alcuna condizione di esposizione.
			10 [μT] valore di induzione magnetica mediana su 24 h per permanenze ≥ 4 h		<b>Valore di attenzione</b> Valore di immissione, definito 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). Si applica nelle aree gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a 4 ore giornaliere. Il valore è da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.
			3 [μT] valore di induzione magnetica mediana su 24 h per permanenze ≥ 4 h		<b>Obiettivo di qualità</b> Valore definito ai fini della progressiva minimizzazione dell'esposizione ai campi elettrici e magnetici generati dagli elettrodotti operanti alla frequenza di rete (50 Hz). Si applica 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 giornaliere e nella progettazione di nuovi insediamenti e delle nuove aree di cui sopra in prossimità di linee ed installazioni elettriche già presenti nel territorio. Il valore è da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.

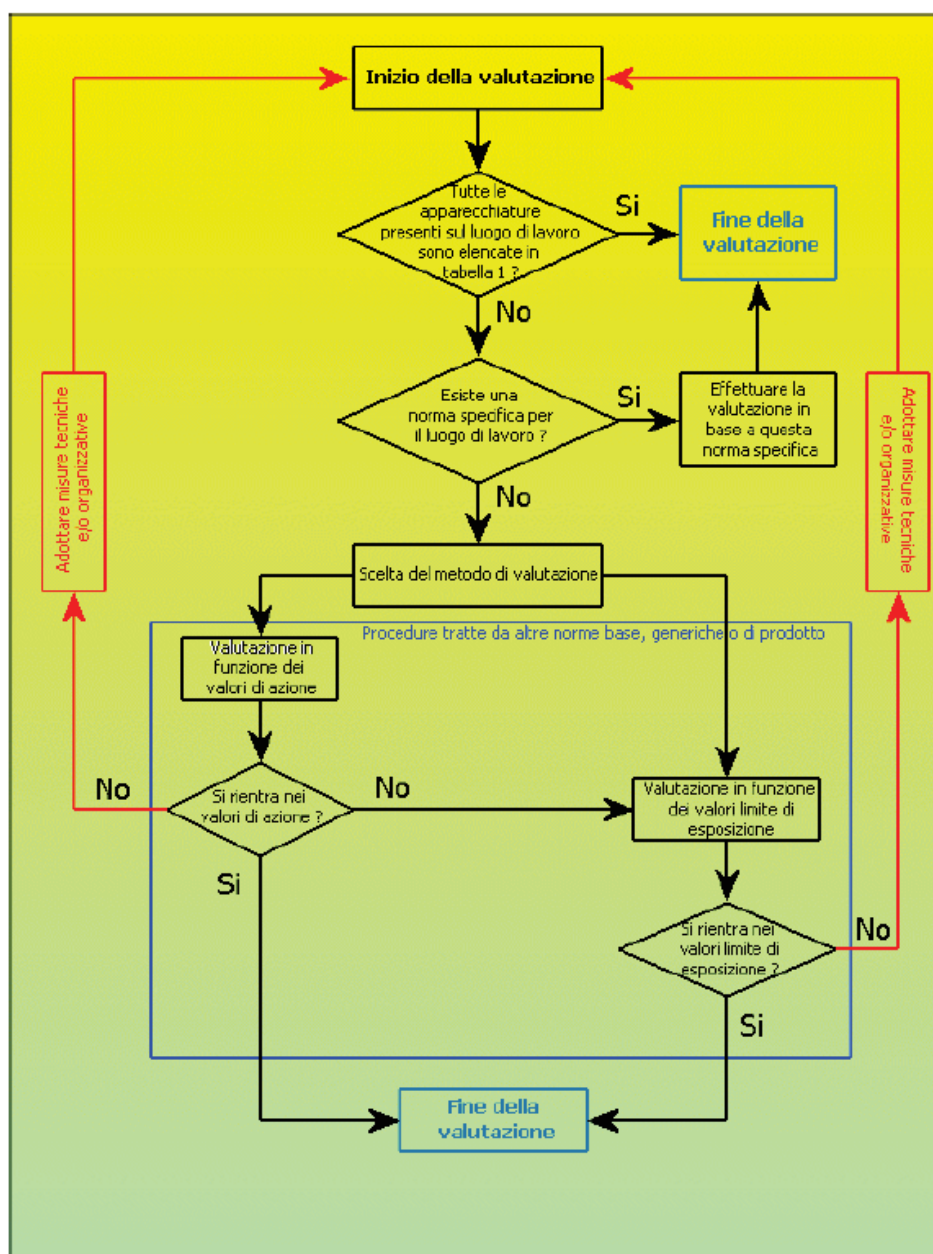
**Tabella 5: Articolazione dei limiti per l'esposizione della popolazione e per le esposizioni di carattere non professionali applicabili ai sensi della legislazione nazionale vigente (D.P.C.M. 8 luglio 2003 B.F.)**

SORGENTI	INTERVALLO DI FREQUENZA	Campo ELETTRICO (valore efficace)	CAMPO MAGNETICO (valore efficace)	DENSITÀ DI POTENZA (valore efficace)	SIGNIFICATO PROTEZIONISTICO / NOTE
<b>SISTEMI FISSI DELLE TELECOMUNICAZIONI                      E RADIOTELEVISIVI</b> (Rif. DPCM AF e s.m.l.)	$(0,1 < f \leq 3)$ MHz	60 [V/m]	0,2 [A/m]		<b>Limiti di esposizione</b> Valori di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, considerati come valore di immissione, definiti ai fini della tutela della salute da effetti acuti, che non devono essere superati in alcuna condizione di esposizione. Sono da intendersi come valori rilevati ad un'altezza di 1,5 m sul piano di calpestio e mediati su qualsiasi intervallo di sei minuti.
	$(3 < f \leq 3000)$ MHz	20 [V/m]	0,05 [A/m]	1 [W/m <sup>2</sup> ]	
	$(3 < f \leq 300)$ GHz	40 [V/m]	0,01 [A/m]	4 [W/m <sup>2</sup> ]	
	100 kHz < f ≤ 300 GHz	6 [V/m]	0,016 [A/m]	0,10 [W/m <sup>2</sup> ] (3 MHz – 300 GHz)	<b>Valori di attenzione</b> Si assumono a titolo di misura di cautela per la protezione da possibili effetti a lungo termine per le esposizioni ai campi elettromagnetici generati da sorgenti fisse con frequenza compresa tra 100 kHz e 300 GHz all'interno di edifici adibiti a permanenze non inferiori alle 4 ore giornaliere e nelle pertinenze esterne utilizzate come luoghi abitabili quali balconi, terrazzi e cortili, esclusi i lastrici solari. Sono da intendersi come valori rilevati a un'altezza di 1,5 m dal piano di calpestio come media dei valori nell'arco delle 24 ore.
6 [V/m]		0,016 [A/m]	0,10 [W/m <sup>2</sup> ] (3 MHz – 300 GHz)	<b>Obiettivi di qualità</b> Definiti come valori di immissione, calcolati o misurati all'aperto nelle aree intensamente frequentate, ai fini della progressiva minimizzazione delle esposizioni ai campi elettromagnetici generati da sorgenti fisse con frequenza compresa tra 100 kHz e 300 GHz. Sono da intendersi come valori rilevati a un'altezza di 1,5 m dal piano di calpestio come media dei valori nell'arco delle 24 ore.	

**Tabella 6: Articolazione dei limiti per l'esposizione della popolazione e per le esposizioni di carattere non professionali applicabili ai sensi della legislazione nazionale vigente (D.P.C.M. 8 luglio 2003 A.F.)**

### 5. Valutazione del rischio CEM

La procedura applicata ai fini della valutazione del rischio elettromagnetico viene sinteticamente rappresentata nel diagramma di flusso di seguito riportato:



**Figura 1: diagramma di flusso del processo di valutazione del rischio elettromagnetico (CEI EN 50499)**

dove la tabella 1 è quella riportata nella Norma CEI EN 50499 "Procedura per la valutazione dell'esposizione dei lavoratori ai campi elettromagnetici".

## 6. Metodologie di calcolo delle fasce di rispetto/D.P.A.

Il D.P.C.M. 8 luglio 2003, all'art. 6, prevede che il proprietario/gestore dell'elettrodotto comunichi alle autorità competenti l'ampiezza delle fasce di rispetto ed i dati utilizzati per il calcolo dell'induzione magnetica, che va eseguito, ai sensi del 5.1.2 dell'allegato al Decreto 29 maggio 2008 (G.U. n. 156 del 5 luglio 2008), sulla base delle caratteristiche geometriche, meccaniche ed elettriche della linea, tenendo conto della presenza di eventuali altri elettrodotti.

Detto calcolo delle fasce di rispetto va eseguito utilizzando modelli:

- bidimensionali (2D), se sono rispettate le condizioni di cui al § 6.1 della norma CEI 106-11 Parte I;
- tridimensionali (3D), in tutti gli altri casi.

Le dimensioni delle fasce di rispetto devono essere fornite con una approssimazione non superiore a 1,00 m. Al fine di agevolare la gestione territoriale ed il calcolo delle fasce di rispetto, il Decreto introduce una procedura semplificata (§ 5.1.3), per il calcolo della D.P.A. ai sensi della CEI 106-11 che fa riferimento ad un modello bidimensionale semplificato, valido per conduttori orizzontali paralleli, secondo il quale il proprietario/gestore deve:

- calcolare la fascia di rispetto combinando la configurazione dei conduttori, geometrica e di fase, e la portata in corrente in servizio normale che forniscono il risultato più cautelativo sull'intero tronco di linea;
- proiettare al suolo verticalmente tale fascia;
- comunicare l'estensione rispetto alla proiezione al centro linea: tale distanza (D.P.A.) sarà adottata in modo costante lungo il tronco.

Al fine di calcolare la fascia di rispetto, combinando la configurazione dei conduttori, geometrica e di fase, e la portata in servizio nominale si adotterà il modello normalizzato per il calcolo dell'induzione magnetica prodotta in una sezione trasversale di una linea elettrica descritto nella norma CEI 211-4, che viene considerato applicabile anche alle linee in cavo interrato. Si tratta di un modello bidimensionale che applica la Legge di Biot-Savart per determinare l'induzione magnetica dovuta a ciascun conduttore percorso da corrente e quindi la legge di sovrapposizione degli effetti per determinare l'induzione magnetica totale, tenendo ovviamente conto delle fasi delle correnti, supposte simmetriche ed equilibrate.

Vengono assunte le seguenti schematizzazioni della linea:

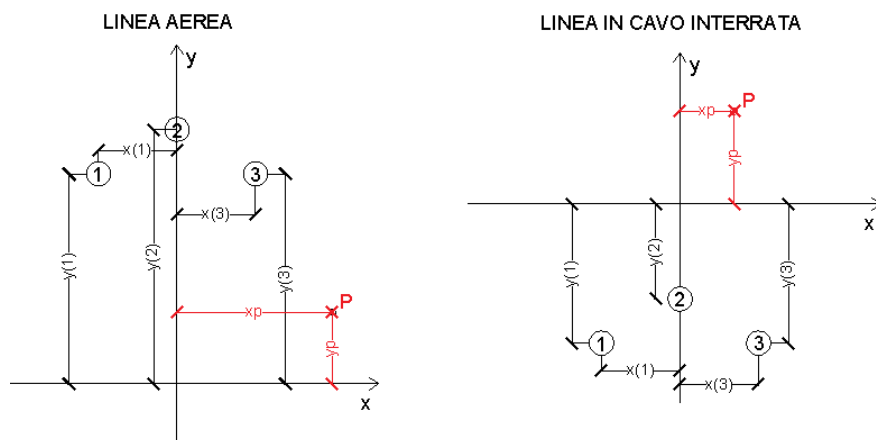
- tutti i conduttori sono considerati rettilinei, orizzontali, di lunghezza infinita e paralleli tra di loro;
- le correnti sono considerate concentrate negli assi centrali dei conduttori aerei o dei cavi interrati e, nel caso dei conduttori a fascio, negli assi centrali dei fasci, cioè negli assi dei cilindri aventi come generatrici gli assi dei subconduttori dei fasci;



- per le linee aeree non vengono considerate le correnti indotte nelle funi di guardia in quanto il loro effetto sull'induzione magnetica è ritenuto trascurabile; analogamente per le linee in cavo interrato non si tiene conto delle correnti indotte negli schermi;
- il suolo è considerato perfettamente trasparente dal punto di vista magnetico e quindi si trascurano le immagini dei conduttori rispetto al suolo, che alla frequenza industriale risultano a profondità molto elevate.

Il modello bidimensionale considerato, con le schematizzazioni sopra elencate, fornisce risultati del tutto accettabili per la maggior parte delle situazioni riscontrabili per le linee aeree e in cavo interrate. In alcuni casi particolari (per esempio zone della campata in vicinanza dei sostegni, configurazioni particolari di linee, presenze di più linee con percorsi non paralleli) può risultare appropriato eseguire valutazioni con metodi più completi di tipo tridimensionale, assai più complessi, ma già sviluppati e trattati dalla letteratura tecnica. L'algoritmo di calcolo, implementabile con codici relativamente semplici, considera in sintesi i seguenti passi:

- i valori efficaci e le fasi delle correnti sinusoidali sui conduttori sono rappresentati attraverso fasori (numeri complessi):  $I_i$  è il fasore della corrente  $i$ ; sul conduttore  $i$ ;
- con riferimento ad un generico punto di coordinate  $(x_p, y_p)$  sul piano ortogonale ai conduttori si calcolano i fasori delle componenti spaziali dell'induzione magnetica totale  $B_x$  e  $B_y$  attraverso le formule riportate nella Figura 2, nella quale è anche illustrato il significato dei simboli usati nelle formule stesse, con riferimento alle linee aeree e a quelle in cavo interrato; per queste ultime la profondità di posa dei cavi (coordinata del centro geometrico di ciascun cavo) va introdotta con il segno negativo; per semplicità e maggior chiarezza, gli schemi riportati si riferiscono a linee a semplice terna, ma ovviamente le formule sotto riportate valgono per linee a doppia terna, introducendo opportunamente i fasori delle correnti in modo da rappresentare la disposizione delle fasi;
- il valore efficace dell'induzione  $B$  magnetica viene ottenuto con la formula già sopra illustrata.



$$B_x = \frac{\mu_0}{2\pi} \sum_i I_i \left[ \frac{y_i - y_p}{(x_p - x_i)^2 + (y_p - y_i)^2} \right]$$

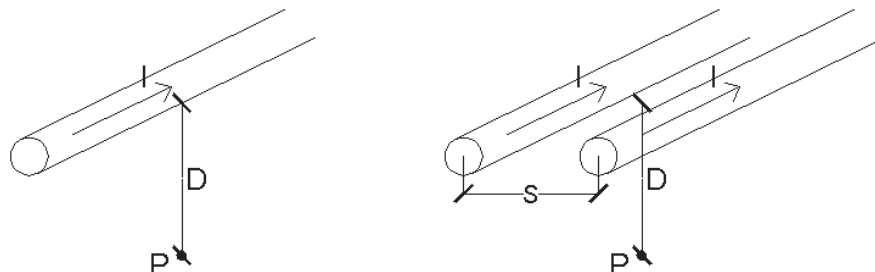
$$B_y = \frac{\mu_0}{2\pi} \sum_i I_i \left[ \frac{x_p - x_i}{(x_p - x_i)^2 + (y_p - y_i)^2} \right]$$

$$B_z = 0$$

**Fig. 2 - Formule per il calcolo dell'induzione magnetica**

In alternativa all'utilizzazione del modello di calcolo normalizzato sopra descritto, che richiede l'uso di codici di calcolo, seppur relativamente semplici, si può ricorrere a formule analitiche approssimate, che permettono il calcolo immediato dell'induzione magnetica ad una data distanza dal centro geometrico dei conduttori della linea elettrica. Tali formule derivano dalla considerazione che l'induzione magnetica generata da un sistema di conduttori di lunghezza infinita e tra di loro paralleli può essere espresso dalla scomposizione in serie della legge di Biot-Savart e che, per punti relativamente lontani dai conduttori, quali quelli di interesse per la valutazione delle fasce di rispetto a 3  $\mu\text{T}$ , lo sviluppo in serie può essere troncato al primo termine con un'approssimazione tanto più accettabile tanto più è elevata la distanza dai conduttori.

Le possibili sorgenti formate da linee elettriche rettilinee, possono essere di diversa natura: linee unifilari, linee bifilari e linee trifase, quest'ultime con disposizioni differenti dei conduttori. Si faccia attenzione al fatto che nelle formule che seguono, l'induzione magnetica B viene misurata in microtesla ( $\mu\text{T}$ ). In Figura 3 vengono riportate una linea unifilare (che rappresenta il caso di un conduttore a grande distanza dal conduttore di ritorno della corrente) e una linea bifilare (ad esempio linea di distribuzione fase-fase o fase-neutro).



**Fig. 3 - Linea Unifilare e Bifilare**

Per la linea unifilare l'induzione magnetica generata nel punto P sarà data da:

$$B_{(\mu T)} = 0,2 \times \frac{I}{D}$$

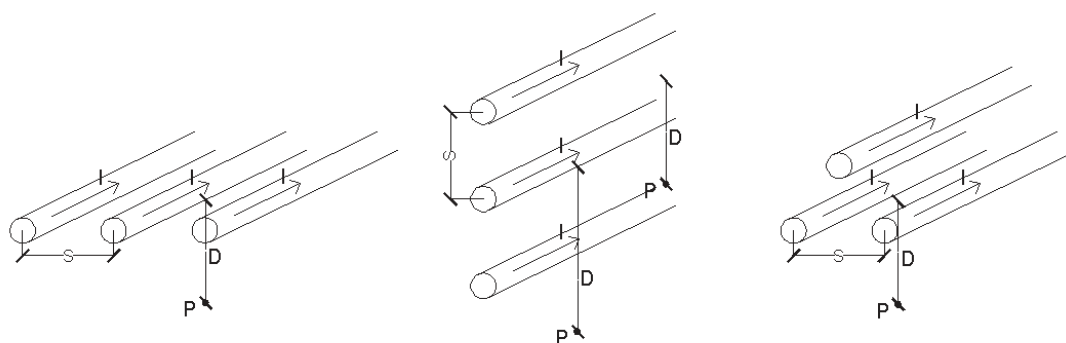
Per la linea bifilare invece il campo di induzione magnetica generato nel punto P varrà:

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

Si nota che il campo magnetico generato dalle linee bifilari è inferiore a quello delle linee unifilari, a causa dell'effetto di riduzione del campo causato dalla presenza di conduttori vicini percorsi da correnti con fasi diverse.

Nel caso della linea unifilare, il campo magnetico decresce solo linearmente con la distanza D dalla sorgente; nel caso della linea bifilare, percorsa da correnti di intensità uguali, ma versi opposti, il decremento del campo è proporzionale al quadrato della distanza D, mentre cresce proporzionalmente al rapporto S/D, a parità di distanza dalla sorgente (S è la distanza fra i conduttori). In Figura 4 vengono riportati gli schemi dei sistemi trifase composti da conduttori rettilinei disposti tra di loro parallelamente e percorsi da una terna di correnti simmetrica ed equilibrata.





**Fig. 2.3 - Schemi dei sistemi trifase (conduttori in piano, in verticale, a triangolo)**

Per le terne trifase di conduttori in piano e di conduttori in verticale il campo di induzione magnetica nel punto P vale:

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

Per le terne trifase di conduttori a triangolo l'induzione magnetica nel punto P è data da:

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

Si fa notare che la disposizione dei conduttori ai vertici di un triangolo equilatero è quella che, a parità di altre condizioni, minimizza il campo magnetico.

Per l'intero percorso della linea interrata, il calcolo verrà condotto utilizzando cautelativamente la modellizzazione di conduttori localmente rettilinei, orizzontali e paralleli, di forma cilindrica con diametro costante per ogni tratto descritto nello schema unifilare. Sempre a titolo cautelativo il calcolo della perturbazione elettromagnetica indotta dal tracciato interrato verrà effettuato trascurando qualsiasi tipo di schermatura elettromagnetica prodotta dai cavi stessi. Dal punto di vista magnetico il terreno verrà considerato perfettamente trasparente, mentre dal punto di vista elettrico risulta essere uno schermo tale da poter ritenere il campo elettrico quasi nullo.

Il calcolo del campo di induzione magnetica verrà eseguito considerando cautelativamente una intensità di corrente pari alla massima corrente di impiego, ovvero la massima corrente che può interessare la linea di trasporto nelle normali condizioni di utilizzo. Tuttavia, è opportuno sottolineare che gli impianti di produzione di energia da fonte eolica sono caratterizzati da produzione variabile in funzione della velocità del vento e quindi la potenza prodotta e di conseguenza la corrente che transita nelle linee, varia nel corso del normale funzionamento.

Nel caso di cabine elettriche, ai sensi del § 5.2 dell'allegato al Decreto 29 maggio 2008 (G.U. n. 156 del 5 luglio 2008), la fascia di rispetto deve essere calcolata come segue:

Cabine Primarie: generalmente la D.P.A. rientra nel perimetro dell'impianto in quanto non vi sono livelli di emissione sensibili oltre detto perimetro.

Cabine Secondarie: nel caso di cabine di tipo box (con dimensioni mediamente di 4,0 m x 2,4 m, altezze di 2,4 m e 2,7 m ed unico trasformatore) o similari, la D.P.A., intesa come distanza da ciascuna delle pareti (tetto, pavimento e pareti laterali) della CS, va calcolata simulando una linea trifase, con cavi paralleli, percorsa dalla corrente nominale BT in uscita dal trasformatore (I) e con distanza tra le fasi pari al diametro reale (conduttore + isolante) del cavo (X) applicando la seguente relazione:

$$D.P.A. = 0,40942 * \chi^{0,5241} * \sqrt{I}$$

Per Cabine Secondarie differenti dallo standard "box" o similare sarà previsto il calcolo puntuale, da applicarsi caso per caso. Per Cabine Secondarie di sola consegna MT la D.P.A. da considerare è quella della linea MT entrante/uscente; qualora sia presente anche un trasformatore e la cabina sia assimilabile ad una "box", la D.P.A. va calcolata con la formula di cui sopra (§ 5.2.1. del D.M. 29 maggio 2008). Nel caso di più cavi per ciascuna fase in uscita dal trasformatore va considerato il cavo unipolare di diametro maggiore.

I risultati delle calcolazioni, di seguito riassunte in appositi grafici e tabelle, sono stati ottenuti per mezzo di apposito foglio di calcolo predisposto dal tecnico sottoscrittore della presente relazione.

## 7. Valutazione dei CEM e calcolo delle DPA

La società Messinello Wind S.r.l. intende realizzare nel comune di Marsala (TP), alla località "Messinello", un parco eolico per la produzione di energia elettrica da fonte eolica costituito da n. 6 aerogeneratori ad asse orizzontale di grande taglia; l'energia elettrica prodotta da ciascun aerogeneratore viene trasformata da bassa a media tensione per mezzo del trasformatore installato a bordo navicella e, quindi, trasferita al quadro MT posto a base torre e sito all'interno della struttura di sostegno tubolare. Gli aerogeneratori del parco eolico sono tra loro collegati mediante una rete di cavidotti, alla tensione di 30 kV.

Il dimensionamento di massima per la sezione dei cavi è stato effettuato sulla base delle caratteristiche dei cavi unipolari del tipo ARE4H1R 18/30 kV con conduttore di alluminio, con isolamento XPLE, per posa interrata in piano ed adottando un opportuno fattore di sicurezza. Le terne di cavi elettrici saranno posate in scavo (cavidotti interrati) secondo le prescrizioni CEI che prevedono, nel caso di una singola terna di cavi, uno scavo di circa 1,20 m di profondità per una larghezza di circa 0,60 m.

L'energia elettrica prodotta dall'intero parco eolico confluisce nella cabina di trasformazione utente, dove tramite il trasformatore 30 kV/36 kV, verrà innalzata al livello di tensione di 36 kV. Successivamente, dalla

cabina di trasformazione utente, tramite semplice terna di cavi interrati disposti a trifoglio a 36 kV, si ha il collegamento alla rete di trasmissione nazionale in corrispondenza dello stallo a 36 kV nella nuova Stazione Elettrica 220 kV denominata "Partanna 2".

Quindi in riferimento al progetto in oggetto si analizza il calcolo delle DPA dei seguenti elementi dell'impianto:

- Aerogeneratori;
- Trasformatori MT/BT (nelle navicelle);
- Cavidotti MT omogenei di connessione per i collegamenti tra gli aerogeneratori e la cabina di trasformazione utente;
- Trasformatore 30 kV/36 kV (cabina di trasformazione utente);
- Cavidotto 36 kV in cavo.

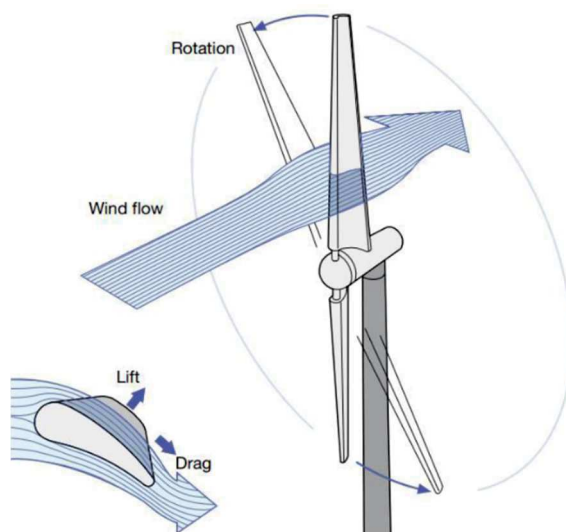
Nel proseguo della presente relazione, per ciascuna delle apparecchiature/infrastrutture elencate, verranno calcolate le distanze di prima approssimazione e le emissioni elettromagnetiche generate e confrontate con i livelli massimi ammissibili stabiliti dalla Normativa Vigente per la protezione della Popolazione e dei Lavoratori dai rischi di esposizione ai campi elettromagnetici.

Verranno altresì indicate le misure di prevenzione e protezione adottabili, al fine di garantire il rispetto dei limiti sopra menzionati.

Per la struttura dell'impianto in oggetto e per i dettagli sulla componentistica impiegata si faccia riferimento agli elaborati progettuali.

## **7.1 Aerogeneratori**

Un aerogeneratore trasforma l'energia cinetica posseduta dal vento in energia elettrica senza l'utilizzo di alcun combustibile e passando attraverso lo stadio di conversione in energia meccanica di rotazione effettuato dalle pale. Nella fattispecie, gli aerogeneratori in questione sono del tipo a portanza ad asse orizzontale, come riportato in figura 5.

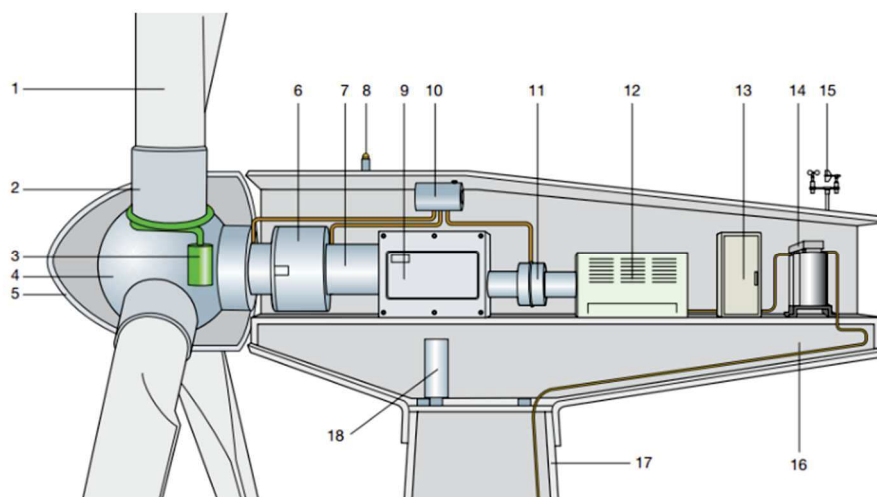


**Figura 5: portanza aerodinamica sulle pale di un aerogeneratore**

Al fine di sfruttare l'energia cinetica contenuta nel vento, convertendola in energia elettrica disponibile per l'immissione in rete o per l'alimentazione di carichi in parallelo, una turbina eolica utilizza diversi componenti sia meccanici che elettrici. I principali componenti che costituiscono un aerogeneratore ad asse orizzontale sono indicati nella figura 6 ed elencati di seguito:

1. pala,
2. supporto della pala,
3. attuatore dell'angolo di Pitch,
4. mozzo,
5. ogiva,
6. supporto principale,
7. albero principale,
8. luci di segnalazione aerea,
9. moltiplicatore di giri,
10. dispositivi idraulici di raffreddamento,
11. freni meccanici,
12. generatore,
13. convertitore di potenza e dispositivi elettrici di controllo, di protezione e sezionamento,
14. trasformatore,
15. anemometri,
16. struttura della navicella,
17. torre di sostegno,
18. organo di azionamento per l'imbardata.

La potenza elettrica in uscita dal generatore è generalmente in bassa tensione e deve essere convertita in media tensione attraverso un trasformatore per ridurre le perdite di trasmissione mediante l'allacciamento alla rete di distribuzione in media tensione.



**Figura 6: principali componenti di una turbina eolica**

In relazione all'esposizione dei lavoratori al campo elettrico generato dalle apparecchiature installate all'interno delle cabine di conversione e trasformazione dell'energia elettrica prodotta, vanno applicati i Valori Limite di Esposizione VLE relativi agli effetti sensoriali per il campo elettrico interno a frequenze comprese tra 1 Hz e 400 Hz e i Valori di Azione VA per i campi elettrici ambientali a frequenze comprese tra 1 Hz e 10 MHz:

VLE relativi agli effetti sensoriali per il campo elettrico interno a frequenze comprese tra 1 Hz e 400 Hz

Intervallo di frequenza	VLE relativi agli effetti sensoriali [ $Vm^{-1}$ ] (valore di picco)
$1 \text{ Hz} \leq f < 10 \text{ Hz}$	$0,7/f$
$10 \text{ Hz} \leq f < 25 \text{ Hz}$	0,07
$25 \text{ Hz} \leq f \leq 400 \text{ Hz}$	$0,0028 f$

**Tabella 7: VLE relativi agli effetti sensoriali per il campo elettrico interno a frequenze comprese tra 1 Hz e 400 Hz (D. Lgs. 159/2016)**

*VA per i campi elettrici ambientali a frequenze comprese tra 1 Hz e 10 MHz*

Intervallo di frequenza	VA (E) inferiori per l'intensità del campo elettrico [ $Vm^{-1}$ ] (valori RMS)	VA (E) superiori per l'intensità del campo elettrico [ $Vm^{-1}$ ] (valori RMS)
$1 \leq f < 25$ Hz	$2,0 \times 10^4$	$2,0 \times 10^4$
$25 \leq f < 50$ Hz	$5,0 \times 10^5 / f$	$2,0 \times 10^4$
$50 \text{ Hz} \leq f < 1,64$ kHz	$5,0 \times 10^5 / f$	$1,0 \times 10^6 / f$
$1,64 \leq f < 3$ kHz	$5,0 \times 10^5 / f$	$6,1 \times 10^2$
$3 \text{ kHz} \leq f \leq 10$ MHz	$1,7 \times 10^2$	$6,1 \times 10^2$

**Tabella 8: VA per i campi elettrici ambientali a frequenze comprese tra 1 Hz e 10 MHz**

Nota la frequenza di esercizio dell'impianto, pari a 50 Hz, si ottiene:

$$VLE_{sen} = 0,0028 \times 50 = 0,14 \text{ [V m}^{-1}\text{]}$$

$$VA_{inf} = 5,0 \times 10^5 / 50 = 10.000 \text{ [V m}^{-1}\text{]}$$

$$VA_{sup} = 1,0 \times 10^6 / 50 = 20.000 \text{ [V m}^{-1}\text{]}$$

**Tuttavia, poiché tutti i componenti dell'impianto presentano al loro interno schermature e parti metalliche collegate all'impianto di terra locale, i campi elettrici risultanti all'interno dei locali menzionati risultano trascurabili. In fase di collaudo verranno misurati i campi elettrici e laddove si dovessero riscontrare aree in cui gli effetti mitigatori delle schermature non dovessero risultare sufficienti, verranno adottate ulteriori idonee misure di protezione e prevenzione.**

Per quanto riguarda i trasformatori MT/BT, posti nelle navicelle degli aerogeneratori, per l'innalzamento del livello di tensione, si determina la Distanza di Prima Approssimazione utilizzando la formula di Siemens che consente il calcolo del campo di induzione magnetica B prodotto da un trasformatore MT/BT in funzione della distanza dal trasformatore:

$$B = 0,72 v_{cc} \% \frac{\sqrt{S_n}}{d^{2,8}}$$

Dove:

- $v_{cc}$  è la tensione di cortocircuito in valore percentuale del trasformatore;
- $S_n$  è la potenza apparente nominale del trasformatore in kVA;
- $d$  è la distanza dal trasformatore espressa in m.

Per i trasformatori in oggetto, i valori sono i seguenti:

- $S_n = 7111 \text{ kVA}$ ;
- $v_{cc} = 6\%$ .

Inserendo tali valori nella relazione precedentemente riportata, in funzione della distanza  $d$  dal trasformatore si ottiene la seguente tabella di valori di induzione magnetica  $B$ :




D [m]	B [ $\mu$ T]
1	364
1,5	116,9
2	52,3
2,5	27,9
3	16,8
3,5	10,9
4	7,5
4,5	5,4
5	4
5,5	3
6	2,4

Dalla tabella si può notare come già ad una distanza superiore ai 5 metri dal trasformatore, il valore di induzione magnetica scende al di sotto del valore di  $3 \mu$ T. Inoltre, considerando che dall'applicazione della formula utilizzata per il calcolo si ottengono valori del campo di induzione magnetica sovrastimati, si può assumere, in modo cautelativo, che il valore della DPA sia misurata a partire dalle pareti esterne degli aerogeneratori e risulta  $DPA=6m$ .

**Dato che i trasformatori vengono contenuti all'interno di un sito intercluso alla libera circolazione, si può affermare che i livelli di emissione non costituiscono pericoli per la popolazione.**



Ai fini della protezione dei lavoratori dal rischio di esposizione, si è fatto riferimento alla Scheda S.1 della Guida CEI 106-45:

TIPOLOGIA SORGENTE - APPARATO	LUOGHI DI LAVORO	CARATTERISTICHE E DESCRIZIONE
<p><b>ELETTRODOTTI</b></p> <p>OPERANTI ALLA FREQUENZA DI RETE (50 Hz)</p>   	<p><b>A. LUOGHI ACCESSIBILI ESCLUSIVAMENTE A LAVORATORI ADDETTI</b></p> <p><i>(esposizione di carattere professionale)</i></p>	<p>Rientrano nella fattispecie degli <b>elettrodotti</b> i seguenti impianti: <b>linee elettriche, sottostazioni e cabine di trasformazione</b> (Legge 22 febbraio 2001, n.36 [3])</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Luoghi accessibili esclusivamente a lavoratori esposti per motivi professionali, ad es. addetti che debbano svolgere specifiche attività lavorative (ad esempio attività di controllo e manutenzione impianti) e solo in relazione allo svolgimento delle stesse.</li> <li>• L'esposizione può superare i limiti di esposizione per la popolazione di cui al DPCM 8/7/2003 BF [5] (Cfr. 8.2).</li> <li>• Devono essere rispettati i limiti stabiliti nel TUS, Allegato XXXVI, Parte II [1] (Cfr. Tabella 3 e Tabella 4 della presente Guida CEM).</li> </ul> <p>I lavoratori esposti ai CEM per motivi di carattere professionale, in relazione allo svolgimento di specifiche attività lavorative, devono essere sottoposti a sorveglianza sanitaria e ricevere una formazione ed eventuale addestramento in relazione al rischio specifico.</p>
	<p><b>B. LUOGHI ACCESSIBILI AL PUBBLICO</b></p> <p><i>(esposizione di carattere NON professionale)</i></p>	<p>Luoghi accessibili anche a lavoratori non esposti per ragioni di carattere professionale o a visitatori esterni (<b>popolazione</b>). L'esposizione deve essere contenuta entro le restrizioni per l'esposizione della popolazione fissate dalla legislazione nazionale vigente (DPCM 8/7/2003 BF) (Cfr. 8.2).</p> <p><b>PERMANENZE &lt; 4 ORE</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• L'esposizione deve essere contenuta entro il limite di esposizione per la popolazione fissato dal DPCM 8/7/2003 BF, ma può superare il valore di attenzione e l'obiettivo di qualità.</li> </ul> <p><b>PERMANENZE ≥ 4 ORE</b></p> <p>In un luogo adibito a permanenze non inferiori alle 4 ore giornaliere di pubblico o lavoratori non esposti per motivi di carattere professionale, in base alle definizioni del DPCM 8/7/2003 BF, si possono verificare le seguenti situazioni:</p> <p><b>EDIFICIO O ELETTRODOTTI PRECEDENTI alla data del 08.07.2003:</b> l'esposizione deve essere contenuta entro il limite di esposizione e il valore di attenzione fissati dal DPCM 8/7/2003 BF;</p> <p><b>EDIFICIO O ELETTRODOTTI SUCCESSIVI alla data del 08.07.2003:</b> l'esposizione deve essere contenuta entro il limite di esposizione e l'obiettivo di qualità fissati dal DPCM 8/7/2003 BF.</p>

Scheda S.1

**Tabella 9: Scheda S.1 Norma CEI 106-45 – Guida alla valutazione dei rischi per la salute e la sicurezza derivante dall'esposizione ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici (CEM) fra 0 Hz e 300 GHz nei luoghi di lavoro – Elettrodotti operanti a frequenza di rete**

Considerando che i trasformatori in oggetto insistono su luoghi accessibili esclusivamente agli addetti ai lavori, l'esposizione può superare i limiti per la popolazione di cui al DPCM 8 luglio 2003. Tuttavia, per la protezione dei lavoratori dal rischio di esposizione, è necessario rispettare i Limiti di Azione stabiliti dal D.Lgs 159/2016, di seguito riportati:



*VA per i campi magnetici ambientali a frequenze comprese tra 1 Hz e 10 MHz*

Intervallo di frequenza	VA (B) inferiori per l'induzione magnetica [ $\mu\text{T}$ ] (valori RMS)	VA (B) superiori per l'induzione magnetica [ $\mu\text{T}$ ] (valori RMS)	VA (B) per l'induzione magnetica per esposizione localizzata degli arti [ $\mu\text{T}$ ] (valori RMS)
$1 \leq f < 8 \text{ Hz}$	$2,0 \times 10^5 / f^2$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
$8 \leq f < 25 \text{ Hz}$	$2,5 \times 10^4 / f$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
$25 \leq f < 300 \text{ Hz}$	$1,0 \times 10^3$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
$300 \text{ Hz} \leq f < 3 \text{ kHz}$	$3,0 \times 10^5 / f$	$3,0 \times 10^5 / f$	$9,0 \times 10^5 / f$
$3 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$	$1,0 \times 10^2$	$1,0 \times 10^2$	$3,0 \times 10^2$

**Tabella 10: VA per i campi magnetici ambientali a frequenze comprese tra 1 Hz e 10 MHz (D.Lgs. 159/2016)**

Nota la frequenza di esercizio dell'impianto, pari a 50 Hz, si ottiene:

$$VA_{\text{inf}} = 1,0 \times 10^3 = 1.000 [\mu\text{T}]$$

$$VA_{\text{sup}} = 3,0 \times 10^5 / 50 = 6.000 [\mu\text{T}]$$

$$VA = 9,0 \times 10^5 / 50 = 18.000 [\mu\text{T}] \text{ (per esposizione localizzata degli arti)}$$

Cautelativamente, considerando che la principale fonte di emissione del campo magnetico è il trasformatore, è stato calcolato il valore di induzione magnetica generata ricorrendo nuovamente alla formula di Siemens di seguito riportata:

$$B = 0,72 v_{cc}\% \frac{\sqrt{S_n}}{d^{2,8}}$$

Considerando che i trasformatori hanno una potenza nominale di 7111 kVA e una  $V_{cc}\%$  pari al 6%, a distanza di 1 m dal centro si ottiene **un valore di B pari a circa 364  $\mu\text{T}$ , il quale risulta notevolmente inferiore ai limiti previsti dal D.Lgs. 159/2016.**

**In ogni caso, i lavoratori esposti ai CEM per motivi di carattere professionale, in relazione allo svolgimento di specifiche attività lavorative, verranno sottoposti a sorveglianza sanitaria e riceveranno una formazione ed addestramento in relazione al rischio specifico.**

Ai sensi della Legge 22 febbraio 2001 n.36, **le cabine elettriche di trasformazione rientrano nella fattispecie degli Elettrodotti.**

La principale misura di prevenzione che verrà adottata è la **zonizzazione**, che consiste nell'individuare e delimitare, le diverse zone in cui sono rispettate le restrizioni statuite dalla legge, come prescritto nella Norma CEI EN 50499. L'individuazione delle diverse zone di rispetto, ad accesso libero o controllato, andrà

fatta in relazione ai limiti di esposizione per la popolazione e per i lavoratori, tenendo conto dei casi di lavoratori particolarmente sensibili al rischio procedendo come sintetizzato nella figura seguente:

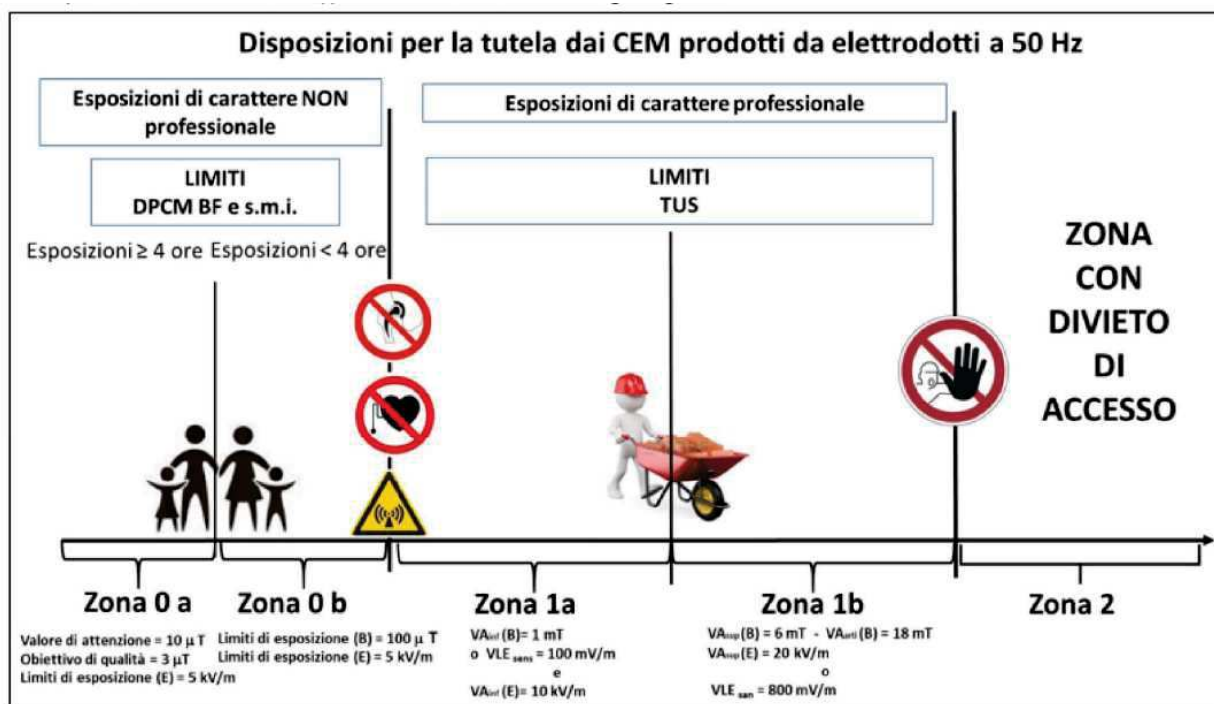


Figura 7: misure di prevenzione e protezione per la tutela dai CEM prodotti da elettrodotti a 50 Hz

### 7.1.1 Classificazione delle zone

**Zona 0 “Area accessibile al pubblico e ai lavoratori non esposti per motivi di carattere professionale”:** area nella quale le esposizioni sono conformi alle restrizioni per l’esposizione della popolazione (come definite dalla Legge Quadro 36/2001 e dal DPCM BF 8 luglio 2003); la Zona 0, in virtù della specifica legislazione italiana, verrà suddivisa in due ulteriori sottozone:

- **Zona 0a:** area in cui saranno rispettati sia i limiti di esposizione sia il valore di attenzione e l’obiettivo di qualità relativi all’esposizione della popolazione;
- **Zona 0b:** area in cui sono rispettati i limiti di esposizione ma in cui possono essere superati il valore di attenzione o l’obiettivo di qualità relativi all’esposizione della popolazione.

**Zona 1: “Area accessibile esclusivamente a lavoratori esposti per motivi professionali”** e solo in relazione allo svolgimento di specifiche attività. In conformità alla Norma CEI EN 50499, tale zona andrà suddivisa in due ulteriori sottozone:

- **Zona 1a:** area in cui le esposizioni possono essere superiori ai limiti per la popolazione ma conformi ai  $VA_{inf}$  o ai  $VLE_{sen}$ ;

- **Zona 1b:** area in cui le esposizioni sono conformi ai  $VA_{sup}$  o ai  $VLE_{san}$  ma possono superare i  $VA_{inf}$  o i  $VLE_{sen}$  in cui può essere necessario adottare misure di controllo specifiche.

**Zona 2: “Area di accesso vietato”**, in cui l’esposizione può superare i  $VLE_{san}$ .

### 7.1.2 Misure di protezione da adottare

**Zona 0:** la zona 0 non presenta alcun rischio in relazione all’esposizione ai CEM. Possono accedere anche la popolazione e i lavoratori appartenenti a gruppi particolarmente sensibili al rischio CEM. Qualora si configuri anche un’esposizione a campi magnetici statici, non deve essere superato il VA di 0,5 mT per l’induzione magnetica di campi magnetici statici per i rischi di interferenza con i DMIA. Per i portatori di DMIA devono essere rispettate le distanze di separazione dalle sorgenti giustificabili di CEM indicate nella tabella 1 della Norma CEI EN 50527-1.

**Zona 1:** nell’area 1 verranno adottate le seguenti misure di protezione:

- a) Verrà interdetto l’accesso al pubblico e ai lavoratori non addetti;
- b) Verrà vietato l’accesso ai lavoratori appartenenti a gruppi particolarmente sensibili al rischio CEM;
- c) Verrà delimitato l’accesso all’area con l’apposizione della pertinente segnaletica per i CEM ai sensi della normativa vigente;
- d) Verrà erogata specifica formazione ai lavoratori che vi accedono;
- e) In caso di superamento dei  $VLE_{sen}$ , lo stesso sarà temporaneo e verranno adottate misure di protezione specifiche, quali il controllo dei movimenti nel caso di esposizione a campi magnetici statici o quasi statici;
- f) Verranno adottate misure di protezione finalizzate a prevenire il rischio di microscariche.

**Zona 2:** verranno adottate procedure autorizzative per l’accesso. In tale zona nessuno potrà accedere, salvo ridurre temporaneamente l’esposizione fino a ricadere almeno nel caso della Zona 1. L’accesso alla Zona 2 verrà impedito a mezzo di ostacoli fisici o provvedimenti organizzativi.

**Le misure di prevenzione e protezione descritte, verranno adottate in fase di costruzione ed esercizio dell’impianto.**

## 7.2 Linee elettriche di media tensione

In relazione all'esposizione dei lavoratori ai campi elettrici generati dalle linee elettriche di media tensione elettrificate a 30 kV in corrente alternata a frequenza industriale, ai sensi della Norma CEI EN 50499 esse sono classificabili come **sorgenti giustificabili**, ovvero conformi a priori ai livelli di riferimento per l'esposizione della popolazione di cui alla Raccomandazione 1999/519/CE:

Luoghi e apparecchiature conformi a priori	
Tipo di apparecchiatura/luogo	Note
Luoghi di lavoro accessibili al pubblico	Sono ritenuti conformi i luoghi di lavoro aperti al pubblico che rispettano i limiti di esposizione indicati nella Raccomandazione del Consiglio Europeo 1999/519/EC (ad esempio a 50 Hz il limite di induzione magnetica è di 100 $\square$ T)
Uso di apparecchiature a bassa potenza (così come definite dalla norma EN 50371: con emissione di frequenza 10 MHz ÷ 300 GHz e potenza media trasmessa fino a 20 mW e 20 W di picco), anche in assenza di marcatura CE	Non sono comprese le attività di manutenzione
<p>Uso di apparecchiatura con marcatura CE valutata utilizzando le norme armonizzate per la protezione dai CEM. L'elenco delle norme, che è comunque in frequente aggiornamento, è indicato nell'allegato C della norma EN 50499:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ EN 50360: telefoni cellulari;</li> <li>▪ EN 50364: sistemi di identificazione (RFID) e antitaccheggio (EAS);</li> <li>▪ EN 50366: elettrodomestici;</li> <li>▪ EN 50371: norma generica per gli apparecchi elettrici ed elettronici di bassa potenza;</li> <li>▪ EN 50385: stazioni radio base e stazioni terminali fisse per sistemi di telecomunicazione senza fili;</li> <li>▪ EN 50401: apparecchiature fisse per trasmissione radio (110 MHz - 40 GHz) destinate a reti di telecomunicazione senza fili;</li> <li>▪ EN 60335-2-25: forni a microonde e forni combinati per uso domestico e similare;</li> <li>▪ EN 60335-2-90: forni a microonde per uso collettivo</li> </ul>	<p>L'apparecchiatura deve essere installata e utilizzata in conformità alle istruzioni del costruttore.</p> <p>Non sono comprese le attività di manutenzione che vanno valutate separatamente.</p> <p>Il datore di lavoro deve verificare sul libretto di uso e manutenzione che l'attrezzatura sia dichiarata conforme alla pertinente norma di prodotto.</p> <p>Non tutte le apparecchiature con marcatura CE sono però state valutate ai fini della protezione dai CEM, e può essere necessario raccogliere informazioni, ad esempio dal costruttore o dal fornitore, sulla valutazione dell'apparecchiatura.</p> <p>Non è comunque necessaria la valutazione rispetto alle norme per la protezione dai CEM per tutte le apparecchiature con la marcatura CE. Inoltre, per alcune apparecchiature e installazioni non è richiesta la marcatura CE.</p>



Uso di apparecchiatura immessa nel mercato europeo in conformità alla Raccomandazione Europea 1999/519/CE, che non richiede marcatura CE	Alcune apparecchiature immesse nel mercato europeo possono anche essere conformi alla Raccomandazione Europea 1999/519/EC pur non avendo ricevuto il marchio CE, per esempio, se fanno parte di un impianto (vedi punto precedente)
Apparecchiature di illuminazione (lampade)	Escluse le illuminazioni speciali alimentate in RF
Computer e apparecchiature IT	
Apparecchiature da ufficio	I dispositivi per la cancellazione in blocco di nastri magnetici possono necessitare di ulteriori valutazioni
Telefoni mobili (cellulari, ecc.) e cordless (DECT, ecc.)	
Radio ricetrasmittenti	Solo quelle con potenze medie inferiori a 20 mW
Basi per telefoni DECT e reti Wlan (es. Wi-Fi)	Limitatamente alle apparecchiature destinate all'utilizzo da parte della popolazione
Apparecchiature e reti di comunicazione escluse quelle wireless	
Apparecchi elettrici portatili e trasportabili	Ad esempio conformi alle EN 60745-1 e EN 61029-1 inerenti la sicurezza degli utensili a motore trasportabili
Apparecchiature portatili per riscaldamento (escluso il riscaldamento a induzione e dielettrico)	Ad esempio conformi alla EN 60335-2-45 (es. pistole per colla a caldo)
Caricabatterie	Trattati nel campo di applicazione della norma EN 60335-2-29 la quale tratta i caricabatteria per il normale uso domestico e quelli destinati all'utilizzo in garage, nei negozi, nell'industria leggera e nelle aziende agricole
Attrezzature elettriche per il giardinaggio	
Apparecchiature audio e video	Alcuni particolari modelli che fanno uso di trasmettitori radio nelle trasmissioni radio/TV possono necessitare di ulteriori valutazioni

<p>Apparecchiature portatili a batteria esclusi i trasmettitori a radiofrequenza</p>	
<p>Apparecchiature elettriche per il riscaldamento di locali</p>	<p>Esclusi i riscaldatori a microonde</p>
<p>Tutte le apparecchiature non elettriche e di conseguenza tutte le attività che si svolgono unicamente in ambienti privi di impianti e apparecchiature elettriche e di magneti permanenti</p>	
<p>Reti di alimentazione elettrica (50 Hz) nei luoghi di lavoro e circuiti di distribuzione e trasmissione dell'elettricità che attraversano o sorvolano il luogo di lavoro. Le esposizioni ai campi elettrici e magnetici vanno considerate separatamente.</p> <p>I seguenti elementi sono conformi per l'esposizione ai campi magnetici:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ tutte le installazioni elettriche con un valore nominale della corrente di fase non superiore a 100 A;</li> <li>▪ tutti i circuiti singoli all'interno di un'installazione, con un valore nominale della corrente di fase non superiore a 100 A;</li> <li>▪ tutti i circuiti i cui conduttori sono vicini e hanno una corrente netta non superiore a 100 A;</li> <li>▪ sono compresi tutti i componenti delle reti che soddisfano i criteri precedenti (inclusi i cablaggi, le apparecchiature di manovra, i trasformatori, ecc.);</li> <li>▪ tutti i conduttori aerei nudi.</li> </ul>	<p>I criteri qui riportati per dimostrare la conformità ai limiti di esposizione nel luogo di lavoro sono basati sulla dimostrazione che le esposizioni sono inferiori ai limiti minimi della Raccomandazione CE (1999) sulle esposizioni EMF per la popolazione. Tali criteri sono sufficienti a dimostrare la conformità per la maggior parte dei luoghi di lavoro.</p> <p>I criteri di valutazione basati direttamente sui limiti di esposizione della Direttiva CE per il luogo di lavoro, sono indicati nell'Allegato F (vedi capitolo 14) della norma EN 50499. Essi utilizzano 500 A al posto di 100 A, 200 kV invece di 100 kV e 250 kV invece di 125 kV. Le liste di controllo indicate nell'allegato F della norma (vedi capitolo 14) possono quindi essere utilizzate per dimostrare la conformità ai campi magnetici ed elettrici in qualsiasi luogo di lavoro.</p>
<p>I seguenti elementi sono conformi per l'esposizione ai campi elettrici:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ tutti i circuiti di cavi sotterranei o isolati, con qualsiasi tensione nominale</li> <li>▪ tutti i circuiti aerei nudi con tensione nominale non superiore a 100 kV, o le linee aeree non superiori a 125 kV che sorvolano il luogo di lavoro, o di qualsiasi</li> </ul>	

tensione se il luogo di lavoro è all'interno.	
Strumentazione e apparecchiature di misura e controllo	
Elettrodomestici	Sono inclusi anche gli elettrodomestici professionali, come piani cottura, lavabiancheria, forni a microonde, ecc., utilizzati in ristoranti, negozi, ecc.  I piani cottura professionali a induzione sono esclusi e necessitano di ulteriori valutazioni
Computer e terminali IT con comunicazioni wireless	Esempi sono: WLAN (es Wi-Fi), WMAN (es WIMAX), bluetooth e tecnologie analoghe, limitatamente all'utilizzo da parte della popolazione
Trasmettitori a batteria	Limitatamente alle apparecchiature destinate all'utilizzo da parte della popolazione
Antenne di stazioni radio base	Un'ulteriore valutazione è importante solo qualora i lavoratori possano avvicinarsi all'antenna più della distanza di sicurezza stabilita per l'esposizione del pubblico
Tutte le apparecchiature mediche che, nei luoghi di lavoro medici, non irradiano intenzionalmente con esposizione elettromagnetica o applicazione di correnti	
Tutti i luoghi di lavoro interessati dalle emissioni di sorgenti CEM autorizzate ai sensi della normativa nazionale per la protezione della popolazione, con esclusione delle operazioni di manutenzione o altre attività svolte a ridosso delle sorgenti o sulle sorgenti stesse	Il datore di lavoro deve verificare se è in possesso di autorizzazione in base alla legge 36/2001 e relativi decreti attuativi (DPCM 08/07/03) oppure richiedere  all'ente gestore una dichiarazione del rispetto della legislazione nazionale in materia

**Tabella 11: Elenco delle sorgenti giustificabili -Tabella 1 della Norma CEI EN 50499**

Le linee elettriche con correnti superiori a 100 A rientrano tra le sorgenti **non conformi a priori** ai sensi della Norma CEI EN 50499, per cui sono necessarie ulteriori misure o approfondimenti.

Con riferimento alle **esposizioni di carattere professionale**, ai fini della verifica della conformità ai VA stabiliti dal TUS, si è fatto riferimento alla norma CEI EN 50647.

Il rispetto dei  $VA_{inf}$  permette di prevenire le scariche elettriche nell'ambiente di lavoro.

Per i lavoratori particolarmente sensibili al rischio, in nessun caso l'esposizione dovrà superare i livelli di riferimento per l'esposizione della popolazione di cui al DPCM BF 8 luglio 2003.



Con riferimento alle **esposizioni di carattere non professionale**, sono state applicate le disposizioni contenute nel DPCM BF 8 luglio 2003.

Tutti i cavi di cui si farà utilizzo saranno di tipo unipolare a elica visibile; le sezioni adottate sono pari a 95 e 185 mm<sup>2</sup>. I cavi verranno interrati a una profondità di 1,20 m.

Come noto dalla normativa citata in materia, le particolarità costruttive di questi cavi, ossia la ridotta distanza tra le fasi e la loro continua trasposizione dovuta alla cordatura, fanno sì che il campo di induzione magnetica prodotto sia notevolmente inferiore a quello prodotto da cavi analoghi posati in piano o a trifoglio. In aggiunta a questa prima considerazione, si fa notare come le metodologie di calcolo suggerite dall'APAT (Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici), approvate dal D.M. 29/05/2008, fanno esplicito riferimento al caso in questione come un caso per il quale non è richiesto alcun calcolo delle fasce di rispetto.

Si riporta di seguito l'art. 3.2 "Oggetto e applicabilità" dell'allegato del suddetto decreto, con evidenziate le parti di interesse del presente paragrafo:

### 3.2 Oggetto e applicabilità

La presente metodologia, ai sensi dell'art. 6 comma 2 del DPCM 08.07:03, ha lo scopo di fornire la procedura da adottarsi per la determinazione delle fasce di rispetto pertinenti alle linee elettriche aeree e interrate, esistenti e in progetto.

I riferimenti contenuti nell'art. 6 del D.P.C.M. 8 luglio 2003 implicano che le *fasce di rispetto* debbano attribuirsi ove sia applicabile l'*obiettivo* di qualità: "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." (art. 4).

La presente metodologia di calcolo si applica, quindi, agli elettrodotti esistenti o in progetto, con linee aeree o interrate.

Sono escluse dall'applicazione della metodologia:

- le linee esercite a frequenze diverse da quella di rete (50 Hz);
- le linee definite di classe zero secondo il decreto interministeriale 21.03.88 n. 449;
- le linee definite di prima classe secondo il decreto interministeriale 21.03.88 n. 449;
- le linee in MT in cavo cordato ad elica (interrate o aeree);

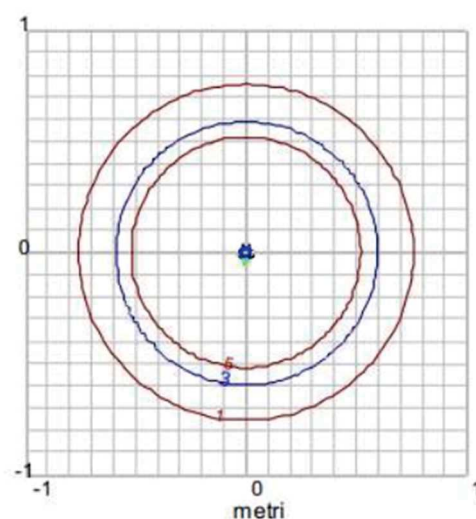
In tutti questi casi le fasce associabili hanno ampiezza ridotta, inferiori alle distanze previste dal Decreto Interministeriale n. 449/88 e dal decreto del Ministero dei Lavori Pubblici del 16 gennaio 1991.

**Figura 8: Elenco delle sorgenti giustificabili - Tabella 1 della Norma CEI EN 50499**



Trattandosi, pertanto, nei casi in questione di elettrodotti costituiti da linee MT in cavo cordato a elica, come evidenziato in precedenza, si ritiene non essere necessario alcuno studio circa i campi di induzione magnetica generati. Inoltre, ai paragrafi 7.1 e 7.1.1 della Norma CEI 106-11 “Fasce di rispetto per linee MT e BT in cavo cordato ad elica (aereo o sotterraneo)” si descrive che le linee in cavo sotterraneo di media tensione con cavo a elica visibile, raggiungono valori di induzione magnetica al suolo sulla verticale del cavo inferiori ai 3  $\mu$ T relativi all’obiettivo di qualità.

Si riporta di seguito l’immagine del calcolo presente nella suddetta Norma:



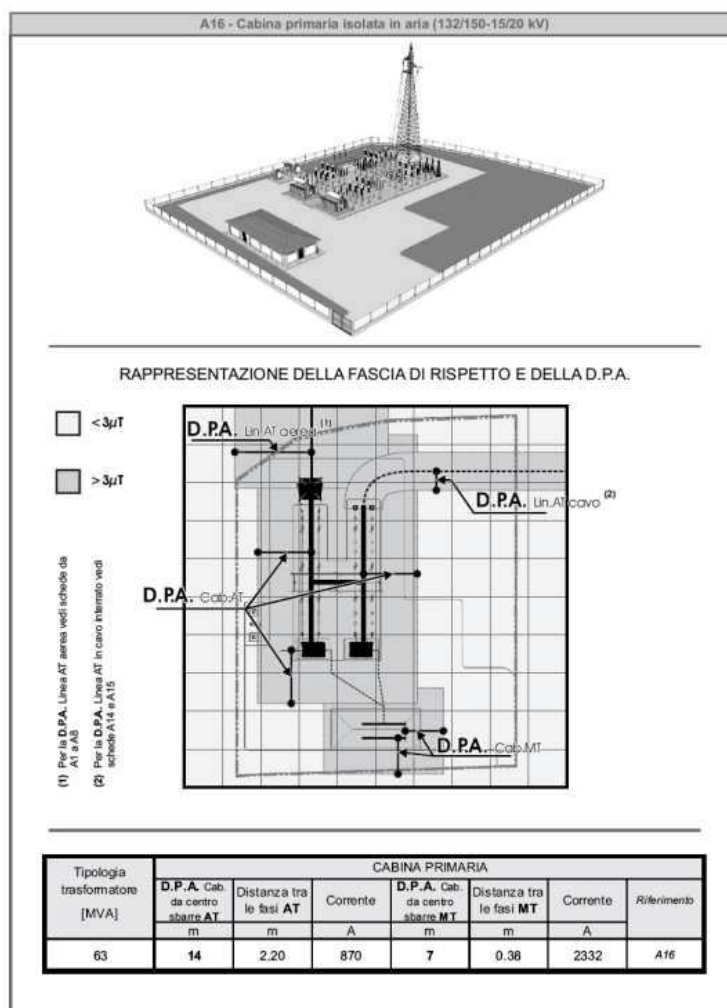
**Figura 9: Curve equilivello dell’induzione magnetica generata da cavi cordati ad elica – calcoli effettuati con un modello tridimensionale che tiene conto del passo d’elica.**

Per quanto riguarda il campo elettrico, trattandosi di cavi schermati con schermi continui e solidamente connessi tra di loro e a terra, il campo elettrico all’esterno del cavidotto può essere assunto sempre prossimo a zero e quindi al di sotto del limite di legge.

### 7.3 Cabina di trasformazione Utente 30/36 kV

Per la determinazione della DPA associata alla cabina di trasformazione utente, in cui è contenuto il trasformatore MT/AT, 36 kV/30 kV, si fa riferimento alla “Linea Guida per l’applicazione del § 5.1.3 dell’Allegato al DM 29.05.08: Distanza di prima approssimazione (DPA) da linee e cabine elettriche” (e-distribuzione S.p.A). In tale documento, vengono standardizzate le DPA per linee AT e cabine primarie in riferimento a determinati valori di corrente, tensione e taglie dei trasformatori.

Per l’impianto oggetto del presente elaborato, il trasformatore che verrà utilizzato per innalzare la tensione dell’energia prodotta dall’intero parco eolico, avrà una taglia ipotizzata di 40 MVA ed un rapporto di trasformazione di 30kV/36kV. Con riferimento alle grandezze secondarie del trasformatore si ha una corrente secondaria di circa 770A.



**Figura 10 - Scheda A16 - Dpa per cabina primaria**

Come si evince dalla figura 10, ricavata dalla scheda A16 del succitato documento, a fronte di una corrente di 2332 A, la DPA corrispondente è di 7m.

Dal momento che la corrente secondaria del trasformatore dell'impianto in esame è sensibilmente inferiore ai 2332 A considerati dalla Linea Guida, cautelativamente a favore della sicurezza, si assume una DPA pari a 7 m.

#### **7.4 Cavidotto 36 kV interrato di collegamento Cabina di trasformazione Utente - Stazione Elettrica 220 kV "Partanna 2"**

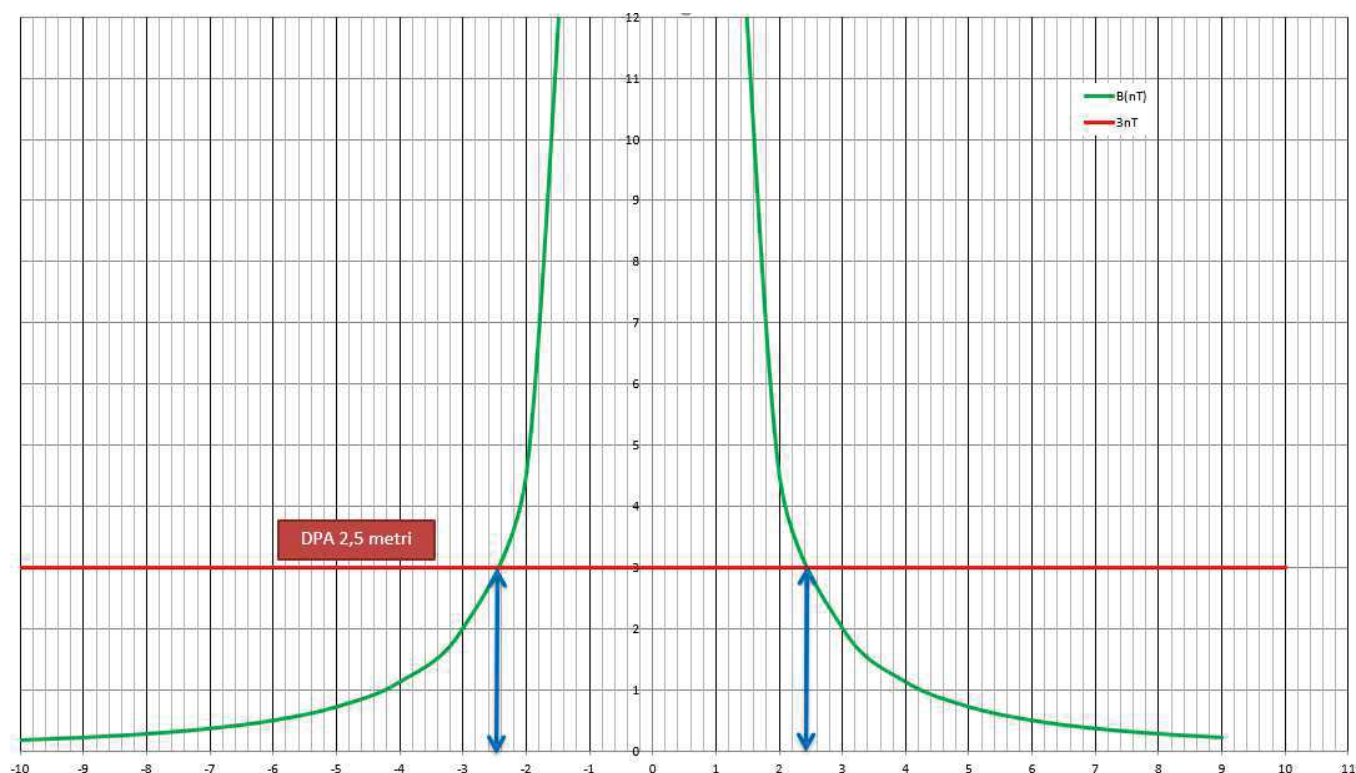
Per la realizzazione del cavidotto di collegamento in AT a 36 kV, tra la cabina di trasformazione Utente e la nuova Stazione Elettrica 220 kV "Partanna 2" (RTN), saranno considerati tutti gli accorgimenti che consentono la minimizzazione degli effetti elettrici e magnetici sull'ambiente e sulle persone.

In relazione all'esposizione dei lavoratori ai campi elettrici generati dalle linee elettriche di media tensione elettrificate a 36 kV in corrente alternata a frequenza industriale, ai sensi della Norma CEI EN 50499 esse sono classificabili come **sorgenti giustificabili**, ovvero conformi a priori ai livelli di riferimento per l'esposizione della popolazione di cui alla Raccomandazione 1999/519/CE (come si evince dalla Tab.9 - Elenco delle sorgenti giustificabili -Tabella 1 della Norma CEI EN 50499).

Inoltre, trattandosi di cavi schermati con schermi continui e solidamente connessi tra di loro e a terra, il campo elettrico all'esterno del cavidotto può essere assunto sempre prossimo a zero e quindi al di sotto del limite di legge.

Per quanto riguarda l'esposizione al campo magnetico generato dal cavidotto AT interrato, nel caso in questione, l'elettrodotto in cavo è lungo circa 400 m. La simulazione condotta prevede la posa dei cavi a trifoglio, a profondità di 1,6m con 10cm di letto di posa e corrente pari a 740 A, tipica di un cavo in rame da 500mm<sup>2</sup>.

Si riporta di seguito il risultato ottenuto dall'analisi condotta ricorrendo allo sviluppo in serie della legge di Biot-Savart troncato al primo termine per terne trifasi di conduttori disposti a triangolo.



**Figura 11 - Andamento del campo di induzione magnetica prodotto dal cavidotto AT in funzione della distanza dall'asse dei conduttori**

D[m]	B[ $\mu$ T]
-10	0,181262241
-9	0,223780544
-8	0,283222252
-7	0,369922941
-6	0,503506225
-5	0,725048964
-4	1,132889006
-3	2,0140249
-2,5	2,900195855
-2	4,531556024
-1	18,1262241
0	13
1	18,1262241
2	4,531556024
2,5	2,900195855
3	2,0140249
4	1,132889006
5	0,725048964
6	0,503506225
7	0,369922941
8	0,283222252
9	0,223780544
10	0,181262241

**Tab. 12 – Valori di induzione magneti per il cavidotto AT**

Dalla Tabella 12 e dalla Figura 11 si nota chiaramente come le DPA per il tratto di cavidotto interrato AT a 36 kV siano pari a 2,5 m calcolati dall'asse dei tre conduttori disposti a trifoglio.

## 8. Conclusioni

Il presente elaborato è stato redatto al fine di valutare l'esposizione ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici (CEM) generati dall'impianto durante l'esercizio e il rischio derivante dall'esposizione nei luoghi di lavoro, ai sensi del Titolo VIII, Capo IV del D. Lgs. 81/2008 e s.m.i. *“Testo Unico in materia di salute e sicurezza sul lavoro”, come modificato e integrato dal **D. Lgs. 159/2016**, che attua la Direttiva 2013/35/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio, del 26 giugno 2013, sulle disposizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici) e che abroga la direttiva 2004/40/CE.*

Considerando che l'art. 209 del Testo Unico sulla Sicurezza individua le Norme tecniche del Comitato Elettrotecnico Italiano (CEI) come riferimento per l'identificazione dell'esposizione ai CEM nel campo di frequenza tra 0 Hz e 300 GHz e nella valutazione dei rischi derivanti dall'esposizione ai CEM nei luoghi di lavoro, il suddetto comitato ha pubblicato in data 01/2021 la **“Guida alla valutazione dei rischi per la salute e la sicurezza derivante dall'esposizione ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici (CEM) fra 0 Hz e 300 GHz nei luoghi di lavoro”**, la quale integra i contenuti della Norma CEI EN 50499 “Procedura per la valutazione dell'esposizione dei lavoratori ai campi elettromagnetici” e la disciplina sulla protezione dalle esposizioni ai CEM ai sensi della legislazione nazionale vigente, proponendo un approccio operativo semplificato per la valutazione dei rischi derivanti dall'esposizione ai CEM da parte di tutti i soggetti, interni ed esterni, coinvolti nell'organizzazione e gestione della salute e sicurezza nei luoghi di lavoro, a cui si è fatto riferimento per la redazione del presente elaborato.

Una sintesi dei risultati ottenuti vengono riportati nella tabella seguente.

Sorgente di emissione	Sorgente giustificabile per l'esposizione ai campi elettrici	Sorgente giustificabile per l'esposizione ai campi magnetici	Campo elettrico generato [kV m <sup>-1</sup> ]	Induzione magnetica generata [μT]	Presenza di personale non addetto ai lavori	Presenza di personale addetto ai lavori	Misure di protezione da adottare
Aerogeneratori (trasformatori BT/MT)	SI	NO	//	//	NO	SI	Zonizzazione delle aree; Collegamenti delle masse e masse estranee a terra.
Linee elettriche in cavo di media tensione	SI	NO	//	< 3	NO	SI	Interramento delle linee. Collegamento a terra degli schermi metallici dei cavi; Utilizzo di materiali schermanti.
Trasformatore MT/AT	SI	NO	//		NO	SI	Zonizzazione delle aree; Collegamenti delle masse e masse estranee a terra.
Linea elettriche in cavo di alta tensione (36kV)	SI	NO	//	Come da Tab.XX	NO	SI	Interramento delle linee. Collegamento a terra degli schermi metallici dei cavi; Utilizzo di materiali schermanti.

**Tabella 13: Classificazione delle sorgenti di emissione e indicazione delle misure di protezione da adottare per garantire la protezione dei lavoratori e della popolazione dai rischi legati ai CEM**

dove:

- i livelli di induzione magnetica generati dalle linee elettriche MT e AT sono stati valutati sulla superficie del suolo in corrispondenza dell'asse della linea;
- l'induzione magnetica generata dai trasformatori BT/MT è stata calcolata ad 1,00 m di distanza dal trasformatore;
- il livello di esposizione ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici e le relative distanze di prima approssimazione del trasformatore 30 kV/36 kV sono stati valutati con riferimento agli standard dettati dalla Linea Guida per l'applicazione del § 5.1.3 dell'Allegato al DM 29.05.08: Distanza di prima approssimazione (DPA) da linee e cabine elettriche (e-distribuzione S.p.A.).

La determinazione delle DPA è stata effettuata in accordo al D.M. del 20/05/2008 e alle norme CEI di riferimento, riportando per ogni opera elettrica (trasformatori BT/MT, trasformatore MT/AT e cavidotto AT) la già menzionata DPA.

La rappresentazione grafica delle distanze di prima approssimazione calcolate in questo elaborato è riportata nella Tav. 50 – DPA su Ortofoto.

Tutti i cavidotti MT, del tipo a elica visibile, producono un capo di induzione magnetica trascurabile e, pertanto, non è necessaria l'apposizione di alcuna fascia di rispetto; e, comunque, ricadono all'interno di aree nelle quali non risultano essere presenti recettori sensibili ovvero aree di gioco per l'infanzia, ambienti abitativi, ambienti scolastici, luoghi adibiti a permanenza di persone per più di quattro ore giornaliere.

Si sottolinea, peraltro che l'innalzamento degli aerogeneratori, la posa dei cavidotti MT e AT, la realizzazione della cabina di trasformazione Utente 30 kV/36 kV saranno installati in luoghi che non sono adibiti a permanenze prolungate della popolazione e tantomeno negli ambienti particolarmente protetti, quali scuole, aree di gioco per l'infanzia.

Inoltre, si rammenta che i calcoli sono stati condotti prendendo a riferimento le correnti al limite termico, correnti che non saranno mai raggiunte nel normale esercizio del parco eolico in esame.

Infine, dalle analisi effettuate risulta che le misure di prevenzione e protezione descritte nella presente relazione e che verranno adottate in fase di costruzione ed esercizio dell'impianto, sono sufficienti ad assicurare la protezione dei lavoratori in prossimità delle fonti di emissione. Qualora in corso d'opera dovessero intervenire modifiche delle caratteristiche tecniche degli impianti descritti, tali misure di protezione verranno rivalutate e, se necessario, verranno applicati ulteriori provvedimenti di mitigazione del campo elettrico e del campo magnetico.

Si può concludere, pertanto che la realizzazione delle opere elettriche relative al parco eolico sito nel comune di Marsala (TP) di proprietà della Messinello Wind s.r.l. rispetta la normativa vigente.



## Appendice: ulteriori misure di prevenzione e protezione

Oltre alle misure di protezione indicate in tabella, verranno adottati ulteriori provvedimenti come meglio specificato ai successivi paragrafi.



### - Segnaletica

Nei luoghi di lavoro in cui i livelli di esposizione ai CEM possono saranno superiori alle restrizioni per la popolazione fissate dalla legislazione nazionale vigente e, per il campo magnetico statico, al VA di 0,5 mT per il rischio di interferenza con i DMIA, verrà affissa apposita segnaletica sui CEM e l'accesso agli stessi sarà limitato in maniera opportuna.

L'utilizzo di ulteriore segnaletica potrà essere previsto per la protezione da rischi specifici come, ad esempio, nel caso di superamento dei  $VA_{inf}$  per il campo elettrico,  $VA_{inf}(E)$ , al fine di individuare chiaramente le zone in cui potrebbero verificarsi microscariche e può essere necessario adottare specifici DPI.

La segnaletica di salute e sicurezza da utilizzare deve essere conforme ai requisiti del TUS, Titolo V, Allegati da XXIV a XXXII.

Nel TUS sono riportati solo alcuni segnali ma è possibile utilizzare anche la segnaletica contenuta nella UNI EN ISO 7010.

Segnaletica indicata dal TUS	
	<p>Il segnale indica la presenza di campi elettromagnetici che potrebbero mettere il lavoratore in condizioni di esposizione non accettabili</p>
	<p>Il segnale indica la presenza di campi magnetici che potrebbero mettere il lavoratore in condizioni di esposizione non accettabili</p>

**Figura 11: Segnaletica relativa ai CEM indicata dal Testo Unico sulla Sicurezza, D.Lgs. 81/2008 e s.m.i. come modificato e integrato dal D.Lgs. 159/2016 che attua la Direttiva 2013/35/UE**

**Segnaletica UNI EN 7010**

	Il segnale indica la presenza di campi elettromagnetici che potrebbero mettere il lavoratore in condizioni di esposizione non accettabili
	Il segnale indica la presenza di campi magnetici che potrebbero mettere il lavoratore in condizioni di esposizione non accettabili
	Divieto di ingresso per portatori di DMIA
	Divieto di ingresso per portatori di DMIP
	Divieto di indossare materiale metallici
	Divieto dell'uso del cellulare o ricetrasmittenti
	Obbligatorio indossare calzature antistatiche
	Obbligatorio leggere le istruzioni

**Figura 12: Segnaletica relativa ai CEM indicata dalla Norma UNI EN ISO 7010**

- **Informazione e formazione dei lavoratori e dei rappresentanti dei lavoratori per la sicurezza**

Il TUS stabilisce che il Datore di Lavoro debba garantire a ciascun lavoratore una formazione sufficiente e adeguata in materia di salute e sicurezza. La durata, i contenuti minimi e le modalità della formazione sono definiti mediante Accordi in sede di Conferenza permanente per i rapporti tra lo Stato, le Regioni e le Province autonome di Trento e di Bolzano.

A tutti i lavoratori deve essere impartita una formazione di base che includa cenni sulla natura dei CEM, sulle modalità di esposizione e sui meccanismi di interazione con l'essere umano in relazione sia agli effetti diretti (sensoriali e sanitari) sia agli effetti indiretti, nonché sulle condizioni che inducono particolare sensibilità al rischio CEM, sulla zonizzazione e sulla segnaletica di salute e sicurezza, sui DPI e sulla sorveglianza sanitaria.

Scopo di tale formazione è anche quello di rendere consapevoli dei possibili rischi derivanti dall'esposizione ai CEM i lavoratori appartenenti a gruppi particolarmente sensibili al rischio

In aggiunta a quanto previsto dalle disposizioni generali, il TUS stabilisce l'obbligo per il DL di garantire sia nei confronti dei lavoratori che svolgono attività che comportino esposizioni di carattere professionale ai CEM sia nei confronti dei loro RLS un'informazione e una formazione specifiche in relazione al risultato della valutazione dei rischi, con particolare riguardo agli eventuali effetti indiretti dell'esposizione, alla possibilità di sensazioni e sintomi transitori dovuti a effetti sul SNC o SNP e alla possibilità di rischi specifici nei confronti di lavoratori appartenenti a gruppi particolarmente sensibili al rischio, quali i soggetti portatori di dispositivi medici o di protesi metalliche e le lavoratrici in stato di gravidanza.

Laddove la pratica o il processo produttivo possa determinare il superamento, a determinate condizioni, dei  $VA_{inf}$  o dei  $VLE_{sens}$ , dovranno altresì essere fornite ai lavoratori una informazione e una formazione specifica in relazione ai possibili effetti sensoriali.

Tra i contenuti della formazione specifica in merito alle esposizioni ai CEM rientrano, a titolo esemplificativo e non esaustivo:

- l'approfondimento sugli effetti legati all'esposizione dei CEM;
- l'illustrazione delle sorgenti di interesse presenti nel luogo di lavoro e le loro caratteristiche;
- la distinzione delle diverse tipologie di esposizione e, di conseguenza, i limiti da applicare;
- l'individuazione delle attività che possono comportare esposizione di carattere professionale;
- la zonizzazione e il relativo significato;
- la procedura di accesso alle zone, le autorizzazioni e la segnaletica;
- le procedure e le norme comportamentali idonee a ridurre al minimo l'esposizione;
- l'illustrazione delle misure organizzative e tecniche di tutela.

#### - Sorveglianza Sanitaria

A valle del processo di valutazione dei rischi, il DL sottoporrà alla sorveglianza sanitaria i lavoratori esposti a rischi specifici, secondo le modalità stabilite nel TUS e secondo il protocollo istituito dal MC.

La sorveglianza sanitaria per i lavoratori esposti per ragioni professionali ai CEM verrà effettuata periodicamente, di norma una volta all'anno o con periodicità inferiore, decisa dal MC con riferimento ai lavoratori particolarmente sensibili al rischio, tenuto conto della valutazione dei rischi trasmessi dal datore di lavoro.

In assenza di indicatori biologici di esposizione/dose ai CEM e indicatori di effetto biologico precoce, la sorveglianza sanitaria ha l'obiettivo di individuare i lavoratori particolarmente sensibili al rischio CEM e di indagare l'eventuale comparsa di effetti correlabili all'esposizione. La sorveglianza sanitaria costituisce, altresì, un'importante occasione per fornire un'**informativa generale sui possibili rischi derivanti dalle esposizioni ai CEM e sulle condizioni che possono comportare una particolare sensibilità al rischio**. Ciò può avvenire in occasione della visita pre-assuntiva o preventiva e si dovrà ripetere durante gli accertamenti periodici.

Il DL deve garantirà un controllo medico e, se necessario, una sorveglianza sanitaria appropriati nel caso in cui sia stata rilevata un'**esposizione superiore ai  $VLE_{sens}$  o superiore ai  $VLE_{san}$**  o nel caso in cui un **lavoratore segnali** effetti indesiderati o inattesi sulla salute, ivi compresi effetti sensoriali. La percezione di sintomi transitori non comporta di per sé inidoneità alla mansione. Tuttavia, qualora il MC riceva segnalazione da un lavoratore di sintomi ascrivibili all'esposizione ai CEM, è opportuno che approfondisca con il lavoratore le circostanze di manifestazione dei sintomi e la loro ricorrenza, al fine di escludere quelle non ascrivibili allo svolgimento dell'attività lavorativa. Le informazioni raccolte saranno trascritte dal MC nella cartella sanitaria e di rischio del lavoratore. I dati così raccolti saranno oggetto di una periodica analisi da parte del MC al fine di valutare la necessità di avviare valutazioni più approfondite delle situazioni che hanno determinato il manifestarsi dei sintomi ascrivibili all'esposizione ai CEM.

#### - Schermatura del campo magnetico

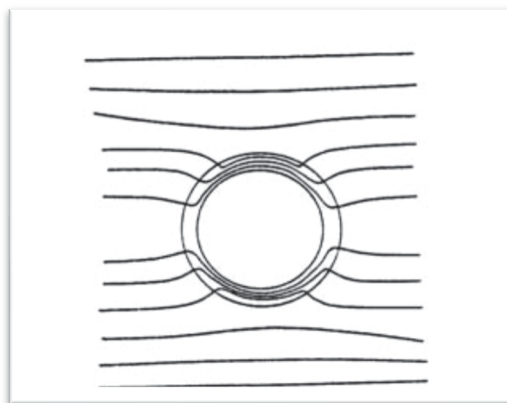
Per schermare il campo magnetico a bassa frequenza, si ricorrerà a due differenti tipologie di materiali:

- materiali ferromagnetici ad alta permeabilità;
- materiali conduttori ad elevata conducibilità.

In entrambi i casi gli schermi saranno ottenuti da fogli, nastri o piastrelle opportunamente sagomate e dimensionate.

### - Schermi Ferromagnetici

I materiali ferromagnetici, avendo una permeabilità magnetica superiore a quella dell'aria, offrono una via preferenziale alle linee di forza del campo magnetico, sottraendo linee di flusso dalla zona intorno alla sorgente da schermare:



**Figura 13: andamento qualitativo della deformazione delle linee di forza di un campo magnetico uniforme per effetto di un nucleo in materiale ferromagnetico**

La loro efficacia schermante pertanto risulta elevata nelle immediate vicinanze dello schermo mentre diminuisce all'aumentare della distanza dallo schermo stesso. Verranno impiegati nelle cabine elettriche di trasformazione BT/MT e in generale in tutti i locali tecnici contenenti apparecchiature elettriche e avranno uno spessore non inferiore a 2 mm.

### - Schermi conduttori

Gli schermi conduttori, a differenza degli schermi ferromagnetici, agiscono in maniera differente rispetto agli schermi ferromagnetici. In essi vengono indotte correnti parassite che a loro volta danno luogo ad un campo magnetico che si oppone a quello inducente. Essi verranno impiegati in tutti quei casi in cui risulterà necessario ottenere significative riduzioni del campo, non solo nelle immediate vicinanze della sorgente ma anche a distanze maggiori. In particolare, il loro impiego è previsto all'interno delle cabine elettriche di trasformazione e nella sottostazione elettrica di utenza.

### - Interventi di riduzione del campo magnetico generato da cabine elettriche MT/BT

Alla luce delle esperienze riportate nella letteratura tecnica si può affermare che i principali metodi di mitigazione del campo magnetico generato da una cabina elettrica MT/BT, sono quelli di seguito descritti.

- **Azioni sulla configurazione e scelta ottimale dei componenti della cabina**

Per ridurre il campo generato dalle cabine elettriche, verranno adottati i seguenti provvedimenti:

- verranno allontanate le sorgenti di campo (quadri e relativi collegamenti al trasformatore) dai muri della cabina confinanti con l'ambiente esterno, ove si vuole ridurre il campo. L'attenzione maggiore verrà rivolta ai collegamenti in bassa tensione tra trasformatore e quadri BT e tra questi e le linee uscenti, essendo questi i componenti interessati dalle correnti più elevate;
- le fasi dei collegamenti verranno avvicinate, e per la realizzazione dei collegamenti verranno utilizzati cavi cordati;
- nel caso di collegamenti realizzati con più cavi unipolari per fase in parallelo, la disposizione delle fasi verrà ottimizzata;
- verranno utilizzati componenti compatti.

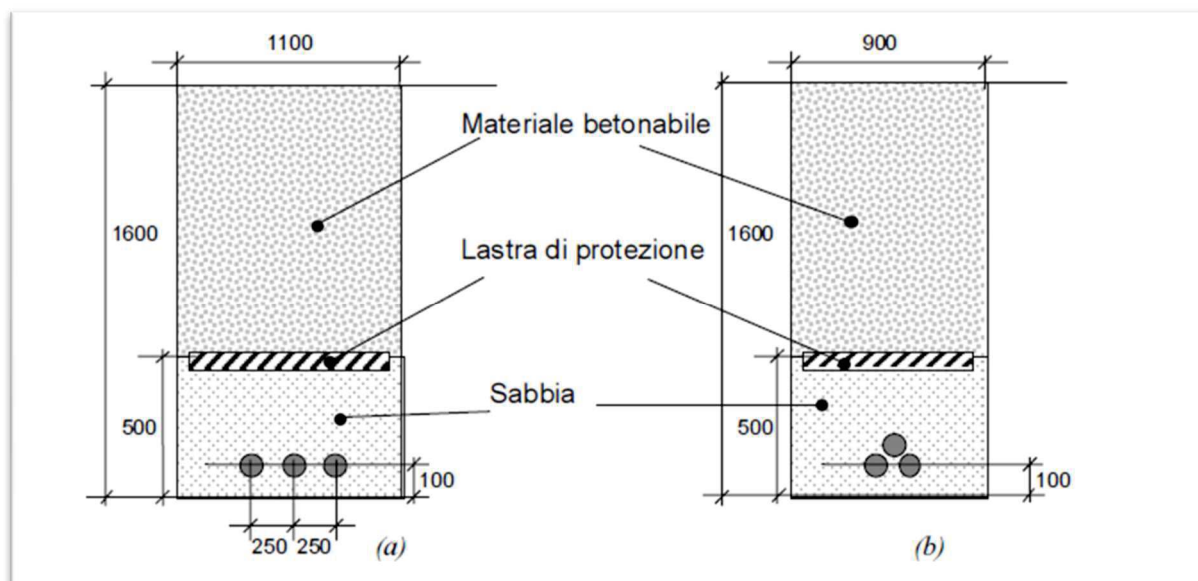
per quanto riguarda il campo magnetico generato dai collegamenti tra il trasformatore ed il relativo scomparto del quadro MT, considerando che la corrente che li percorre è di qualche decina di ampere e il percorso dei cavi interessa la parte più interna della cabina, non verranno adottati particolari provvedimenti se non l'utilizzo di schermi ferromagnetici.

- **Utilizzazione degli schermi**

Oltre agli interventi sulla configurazione che consentono di ottenere significative riduzioni del campo magnetico, si ricorrerà alla schermatura parziale delle principali sorgenti di emissione, mediante schermi ferromagnetici, e alla schermatura totale delle pareti della cabina mediante lastre di materiale conduttore o ferromagnetico di spessore minimo non inferiore a 3 mm.

- **Interventi di riduzione del campo magnetico generato dalle linee elettriche in cavo interrato**

Per ridurre l'emissione di campo magnetico in prossimità delle linee interrate verranno utilizzati schermi ferromagnetici in normale ferro da carpenteria (Fe360B), disposti come di seguito rappresentato:



**Figura 14: schermatura cavi elettrici interrati**

In alternativa si potranno utilizzare materiali in lega Alloy-49 o lo Skudotech, aventi le caratteristiche di seguito riportate:

<b>MATERIALI FERROMAGNETICI</b>					
	$\sigma$ [S/m]	$\epsilon_r$	$\mu_r$	spessore	B di saturazione
Skudotech®	$1,77 \cdot 10^6$	1	300.000	0,1÷0,4 mm	0,5÷0,65 T
Alloy-49 <sup>2</sup>	$2,07 \cdot 10^6$	1	10.000	0,2÷0,5 mm	0,8÷1,0 T
Ferro <sup>3</sup>	$1,03 \cdot 10^7$	1	500	10÷100 mm	-

**Tabella 14: caratteristiche degli schermi da impiegare per la mitigazione del campo generato dalle linee elettriche in cavo interrato**