

00	05/10/21	Castellese	Scarpulla	Alberti	Prima Emissione
REVISIONE	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO	DESCRIZIONE	



## PARCO EOLICO OFFSHORE DA 384MW SITUATO NEL GOLFO DI GELA

Definizione dei contenuti dello studio di impatto ambientale

UBICAZIONE

### Golfo di Gela

*Zona d'interesse a terra: Vittoria, Acate,  
Comiso, Chiaramonte Gulfi*

ELABORATO

### RELAZIONE CAMPI ELETTRO-MAGNETICI

**IL PROGETTISTA**

*Ing. Alessandro Scarpulla*

**I COLLABORATORI**

*Ing. Claudio Taormina*

*Ing. Carmelo Antinoro*

*Geol. Angelo Taormina*

*Dott. Vincenzo Scafidi*

*Dott. Fabrizio Castellese*



*Apollo Wind S.r.l.  
Via Enzo ed Elvira Sellerio, n. 27  
90141 Palermo  
P. IVA 06994730825*



SCALA

**1:XXXX**

FORMATO

**A4**

FOGLIO

**1 di 13**

006	DEFSIA	R	RELCAM	A	00
NUMERO DOC. DEPOSITATO	PROCEDURA	TIPOLOGIA	NUM. DOC. DEPOSITATO	PRIVACY DOC.	ORDINALE PRESENTAZ.



## RELAZIONE CAMPI ELETTRICI-MAGNETICI

## Sommario

1 Progetto .....	3
2 Tipologia di cavo e posa .....	4
2.1 Cavo marino MT a 66kV .....	4
2.2 Cavo marino AT a 380kV .....	4
2.2 Cavo terrestre AT a 380kV .....	5
3 Calcolo del DPA .....	6
3.1 DPA cavo da 380kV .....	9
4 Cavidotto marino .....	12
BIBLIOGRAFIA.....	13

## 1 Progetto

Il progetto in questione prevede la realizzazione di un parco eolico offshore per la produzione di energia elettrica sfruttando l'energia posseduta dal vento. Il parco eolico è composto da 32 aerogeneratori da 12MW, suddivisi in 5 sottocampi (3 da 7 aerogeneratori, 1 da 6 ed 1 da 5), per una potenza complessiva pari a 384 MW. L'energia prodotta viene inviata a terra tramite cavidotti marini da 66kV e da 380kV, e cavidotti terrestri da 380kV. Infine l'energia prodotta sarà immessa in rete dalla stazione di Chiaramonte-Gulfi. Il parco eolico offshore sarà ubicato nei pressi del porto di Gela, a circa 12 km di distanza dalla costa più vicina.

Lo scopo del seguente documento è quello di verificare che i campi magnetici prodotti dal parco eolico siano entro i limiti imposti dalla legge, e che non influenzino in maniera rilevante la flora e la fauna presenti nel sito di installazione.

Il posizionamento del cavo influenza notevolmente lo svilupparsi dei campi magnetici, per limitare tale fenomeno, i cavi presentano diverse misure contenitive:

- Schermature multiple già presenti nella struttura stessa del cavo;
- Posizionamento del cavo in ambiente sufficiente profondo;
- Posizionamento del cavo all'interno di un tubo metallico con funzione protettiva e schermante;
- Posizionamento di dispositivi protettivi e schermanti in calcestruzzo armato (dove necessario).

È necessario analizzare lo svilupparsi dei campi magnetici dai cavidotti predisposti per garantire la sicurezza. Per affrontare tale analisi, si sfrutterà un software che permette di analizzare l'emissione dei campi magnetici ed elettrici a molteplici distanze per capire se la configurazione utilizzata è sufficiente oppure bisogna modificare la posa.

## 2 Tipologia di cavo e posa

### 2.1 Cavo marino MT a 66kV

Il cavo marino MT è utilizzato per l'interconnessione tra gli aerogeneratori, ed il trasporto di energia fino alla sottostazione offshore alla tensione di 66kV. È un cavo tripolare avente una sezione massima di 800mm<sup>2</sup>, con conduttori avvolti ad elica per limitare i campi magnetici generati. Oltre alla configurazione, nel cavo sono presenti più sistemi di schermatura. Saranno generati ugualmente dei campi elettro-magnetici che dovranno essere entro i limiti legislativi. Il calcolo dei campi elettrici e magnetici viene fatto per la prospettiva peggiore, ovvero quando il cavo trasporta la corrente massima pari a 735 A.

La posa del cavidotto dipende dal tipo di fondale:

- Per fondali morbidi, il cavo verrà parzialmente sotterrato dalla sabbia, ad una profondità di almeno 1.50 cm. Il cavo sarà posto all'interno di un tubo metallico che permetterà di schermare maggiormente i campi generati e fornire allo stesso tempo una maggior protezione dagli agenti esterni.
- Per fondali in materiale roccioso, si procederà alla posa del cavo sul fondale, adagiandogli sopra un "materasso di blocchetti in calcestruzzo armato" che permetterà una miglior protezione ed una schermatura dei campi prodotti. È possibile vedere queste configurazioni illustrate di seguito:

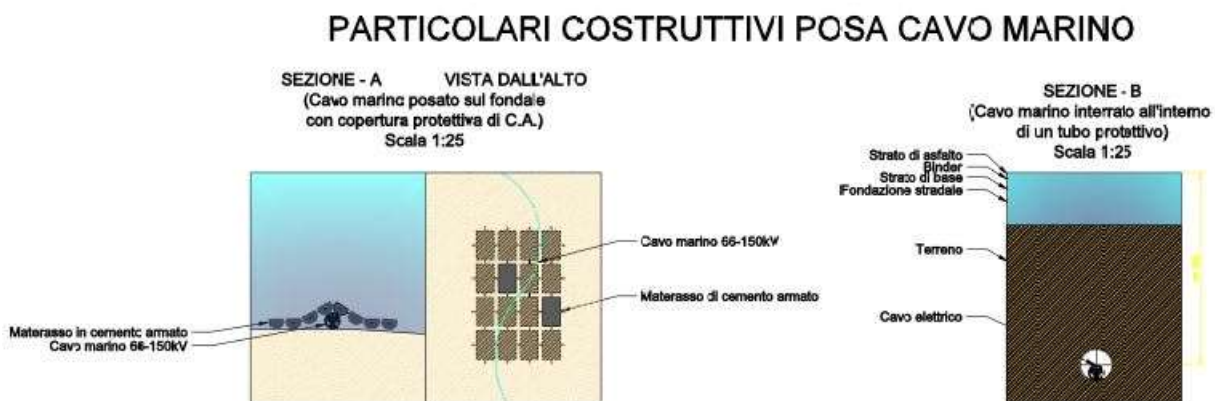


Figura 1 Configurazioni di posa cavo marino 66kV

### 2.2 Cavo marino AT a 380kV

Dalla stazione offshore, fino alla fossa giunti, l'energia prodotta dal parco eolico sarà trasportata tramite un cavo a 380kV. La struttura del cavo è simile a quella precedente ma con sezione trasversale massima è di 1200mm<sup>2</sup>. Anche in questo caso si prenderà in esame la prospettiva peggiore. La corrente prodotta dal parco eolico in 380kV massima è pari a circa 584 A. Sarà valutato il caso peggiore.

Le configurazioni di posa del cavo a marino a 380kV sono riportate nella seguente immagine:

## PARTICOLARI COSTRUTTIVI POSA CAVO MARINO

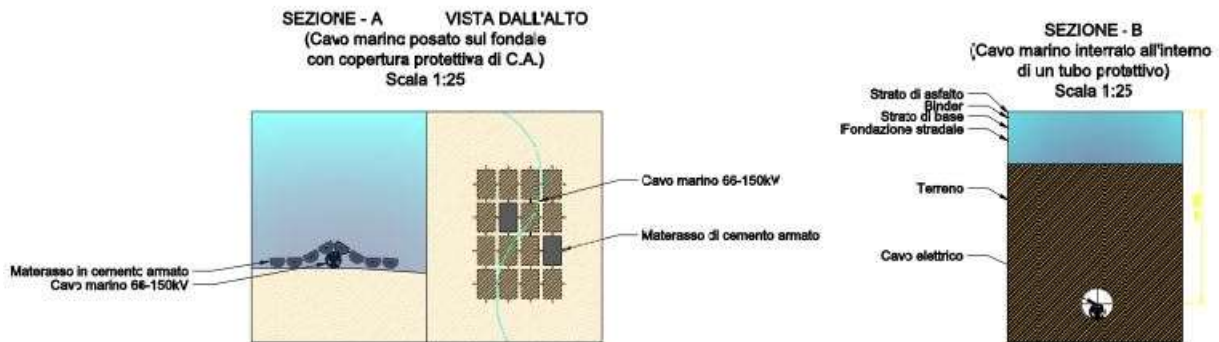


Figura 2 Configurazioni di posa cavo marino 380kV

### 2.2 Cavo terrestre AT a 380kV

La fossa giunti ha il compito di contenere e proteggere i componenti necessari per cambiare la tipologia di cavo passando dal cavo marino al cavo terrestre. Dalla fossa giunti, il cavo utilizzato è in alluminio, con sezione massima pari a 1800 mm<sup>2</sup>, (per ulteriori specifiche si rimanda alla relazione elettrica). La terna di cavi a 380kV è formata da 3 cavi unipolari, la loro posa ad elica sarà tale da ridurre i campi magnetici prodotti.

Le tipologie di posatura sono illustrate nella seguente immagine, a seconda della richiesta da soddisfare:

## PARTICOLARI COSTRUTTIVI POSA CAVO TERRESTRE

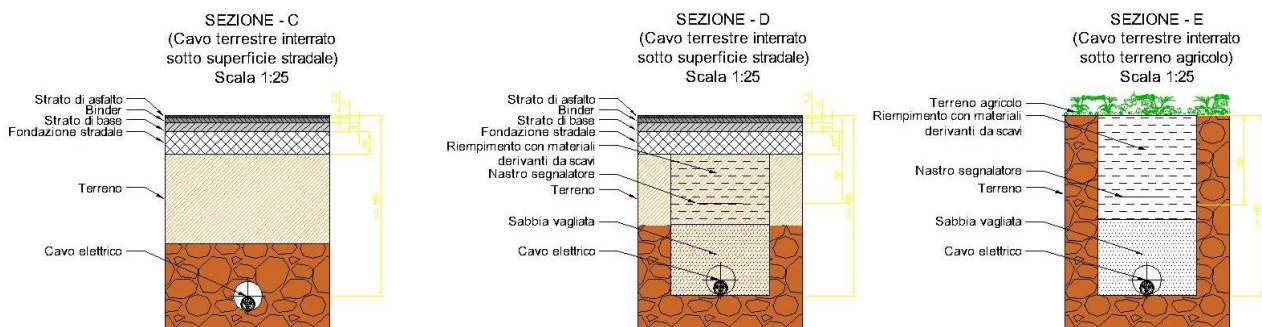


Figura 3 Posatura cavo terrestre

### 3 Calcolo del DPA

Il calcolo del DPA è stato fatto ipotizzando la massima corrente circolante nel cavo. Nell'ipotesi di massima producibilità dell'impianto eolico, la corrente circolante nel cavo a 380kV è di 584 A.

#### **DISTANZA DI PRIMA APPROSSIMAZIONE (DPA)**

Secondo quanto previsto dalla legge del 22 febbraio 2001, n. 36, in particolare all'art. 4, comma 2, lettera a), il D.P.C.M. 8 luglio 2003 ha fissato i limiti di esposizione, i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dall'esposizione a campi elettrici e magnetici alla frequenza di 50 Hz connessi al funzionamento e all'esercizio degli elettrodotti:

##### **- LIMITE DI ESPOSIZIONE**

Valore efficace che non deve essere superato in caso di esposizione a campi elettrici e magnetici alla frequenza di 50 Hz generati da elettrodotti pari a 100  $\mu$ T.

##### **- VALORE DI ATTENZIONE**

Media dei valori nell'arco delle ventiquattro ore nelle normali condizioni di esercizio da considerare a titolo di misura di cautela per la protezione da possibili effetti a lungo termine, eventualmente connessi con l'esposizione ai campi magnetici generati alla frequenza di rete (50 Hz), nelle aree gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere pari a 10  $\mu$ T.

##### **- OBIETTIVO DI QUALITA'**

Media dei valori nell'arco delle ventiquattro ore nelle normali condizioni di esercizio da considerare ai fini della progressiva minimizzazione dell'esposizione ai campi elettrici e magnetici generati dagli elettrodotti operanti alla frequenza di 50 Hz 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 di nuovi insediamenti e delle nuove aree di cui sopra in prossimità di linee elettriche già presenti nel territorio pari a 3  $\mu$ T.

Il D.P.C.M. 8 luglio 2003 ha stabilito inoltre che l'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i servizi Tecnici (APAT), sentite le ARPA e con l'approvazione del Ministero dell'Ambiente e la Tutela del Territorio, definisca la metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto. Il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio ha approvato tale metodologia di calcolo con Decreto Ministeriale del 29 maggio 2008 (GU n.156 del 05-07-08):

1. il gestore considera i dati caratteristici delle linee, incluse eventuali condizioni di fase relativa tra più linee elettriche intersecanti o vicine;
2. si assume come portata in corrente circolante nelle linee la relativa "corrente in servizio normale" così come definito all'interno della norma CEI 11-60. Nel caso di linee elettriche aree con tensione maggiore di 100 kV, la corrente può essere definita secondo la stessa norma al cap. 3.1. Negli altri casi viene definita dal gestore;

3. le linee possono essere schematizzate così come prevede la norma CEI 211-4, "Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee elettriche", cap. 4.1. Il calcolo può essere eseguito secondo l'algoritmo definito al cap. 4.3;

4. si calcolano le regioni di spazio definite dal luogo delle superfici di isocampo di induzione magnetica pari a  $3 \mu\text{T}$  (art. 4 D.P.C.M. 8 luglio 2003, obiettivi di qualità) in termini di valore efficace;

5. le proiezioni verticali a livello del suolo di dette superfici determinano le fasce di rispetto. Le relative dimensioni espresse in metri possono essere arrotondate all'intero più vicino.

La norma CEI 106-11 dell'1 aprile 2006 definisce invece la fascia di rispetto come lo spazio circostante i conduttori di una linea che comprende tutti i punti caratterizzati da un valore di induzione magnetica maggiore o uguale a  $3 \mu\text{T}$ .

Tale norma stabilisce inoltre che la proiezione al suolo di detto volume sia da intendersi come un calcolo di prima approssimazione (DPA).

Secondo quanto previsto dal DM 29/05/08 il calcolo dell'induzione magnetica deve essere eseguito secondo modelli tridimensionali o bidimensionali se risultano rispettare le condizioni espresse al paragrafo 6.1 della norma CEI 106-11.

Le dimensioni delle fasce di rispetto devono essere fornite con una approssimazione non superiore ad 1 m. Al fine di agevolare la gestione territoriale ed il calcolo delle fasce di rispetto, in prima approssimazione il proprietario/gestore deve fornire l'estensione di tale fascia (DPA) calcolata secondo quanto previsto dalla norma CEI 106-11 Parte 1, in cui si fa riferimento al modello bidimensionale semplificato, valido per conduttori orizzontali paralleli.

Le DPA sono intese come una prima valutazione cautelativa del rispetto dell'obiettivo di qualità ( $3 \mu\text{T}$ ) effettuate al fine di ottenere una descrizione di massima della situazione ambientale di una vasta porzione di territorio interessata da elettrodotti.

#### **NORMATIVA NAZIONALE**

- LEGGE 22 febbraio 2001, n. 36 "Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici";
- 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 "Metodi numerici per il calcolo delle fasce di rispetto";

#### **VALORE DI RIFERIMENTO PER L'INDUZIONE MAGNETICA PER LA POPOLAZIONE**

La normativa nazionale (D.P.C.M 8 luglio 2003) individua in materia di limiti di induzione magnetica i valori limite con obiettivo di qualità pari a  $3 \mu\text{T}$  e con obiettivo di attenzione pari a  $10 \mu\text{T}$ .

#### **VALORE DI RIFERIMENTO PER L'INDUZIONE MAGNETICA PER I LAVORATORI**

D.lgs. n. 81, GU 30 aprile 2008: Il testo unico in materia di sicurezza sul lavoro ridisegna il quadro della salute e sicurezza sul lavoro, in recepimento della direttiva europea 2004/40/CE. Le disposizioni generali sulla protezione dagli agenti fisici sono contenute nel Capo I del Titolo VIII:



- L'articolo 180 identifica gli agenti fisici di interesse e include tra essi, per la prima volta, i campi elettromagnetici.
- L'articolo 181, anche tramite il richiamo al più generale articolo 28 sulla valutazione dei rischi, impone al datore di lavoro la valutazione dei rischi relativi a tutti gli agenti fisici e l'adozione delle opportune misure di prevenzione e protezione.

Relativamente ai lavoratori professionalmente esposti, il valore di azione da non superare è fissato pari a 500  $\mu\text{T}$ , escludendo eventuali effetti a lungo termine sulla salute dei lavoratori.

### **DESCRIZIONE DELLE SORGENTI DI CAMPO MAGNETICO (ELF)**

La valutazione è stata eseguita tramite un software appositamente dedicato conforme alla Norma CEI 211-4 "Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee elettriche": il valore efficace dell'induzione magnetica è calcolato risolvendo l'equazione di Biot-Savart, (rappresentando i vari elementi percorsi da corrente come segmenti rettilinei), alla quale si rimanda per la descrizione del modello matematico utilizzato. Esso fornisce i valori efficaci del campo di induzione magnetica in un piano verticale perpendicolare all'elettrodotto sorgente del campo. Relativamente alla determinazione dei valori di induzione magnetica nei cambi di direzione si è attinto ai paragrafi 5.1.4.5 del decreto 29 maggio 2008.

Uno degli effetti della corrente alternata circolante all'interno di un conduttore è quello di creare un'induzione magnetica variabile caratterizzata dalla stessa frequenza della corrente che genera il campo.

L'induzione magnetica è direttamente proporzionale alla corrente circolante e diminuisce all'aumentare della distanza con modalità che dipendono dalla configurazione geometrica dei conduttori.

In generale più i conduttori sono vicini, come nel caso in questione ossia con una disposizione a trifoglio a spirale, più l'induzione magnetica si ridurrà velocemente all'aumentare della distanza. L'induzione magnetica, generata in una linea trifase costituita da tre conduttori posati nella configurazione a trifoglio, si può calcolare con la seguente formula: (Biot e Savart):

$$B = \frac{0.25 * I * D}{r^2}$$

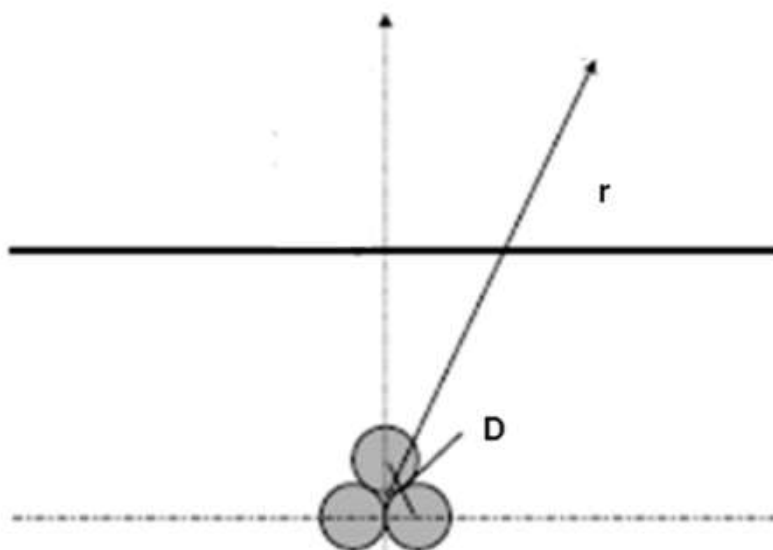
Dove:

**B** rappresenta l'induzione magnetica misurata in micro Tesla ( $\mu\text{T}$ );

**I** la corrente in ampere (A);

**r** la distanza in metri (m);

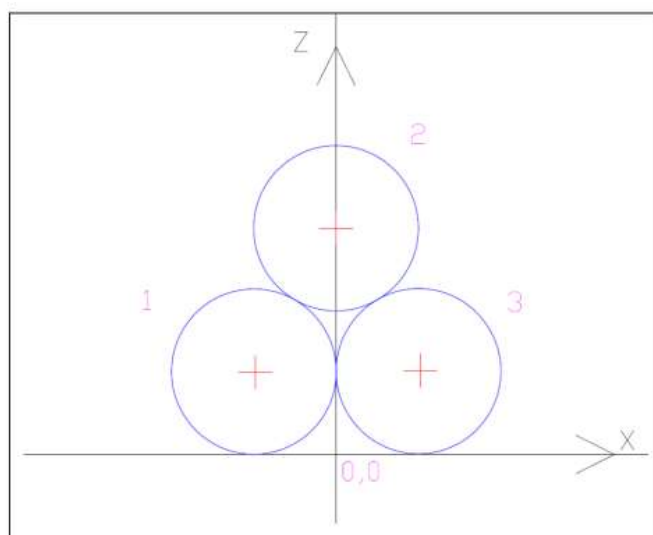
**D** l'interasse tra i conduttori che costituiscono il trifoglio in metri (m).



In questa relazione non entrano in gioco la quota di affondamento del cavo rispetto al piano di campagna.

### 3.1 DPA cavo da 380kV

Il sistema di riferimento è posizionato come riportato nella tabella sottostante. In un'ottica di massimizzazione dei parametri di calcolo si sono approssimati in eccesso tutti i parametri necessari alla simulazione.



Diametro Esterno del cavo in Cu/XLPE = 120 mm

CONDUTTORE	Coordinata X (m)	Coordinata Z (m)	Fase	Corrente (A)
Conduttore 1	-0,060	+0,060	0	584
Conduttore 2	0,0000	+0,120	120	584
Conduttore 3	+0,060	+0,060	240	584

La distanza “d” tra i conduttori posti a trifoglio è pari a 0,124 m

Di seguito si rappresentano i grafici con l’andamento del DPA in funzione del raggio, con centro di partenza assunto come il centro geometrico della terna.

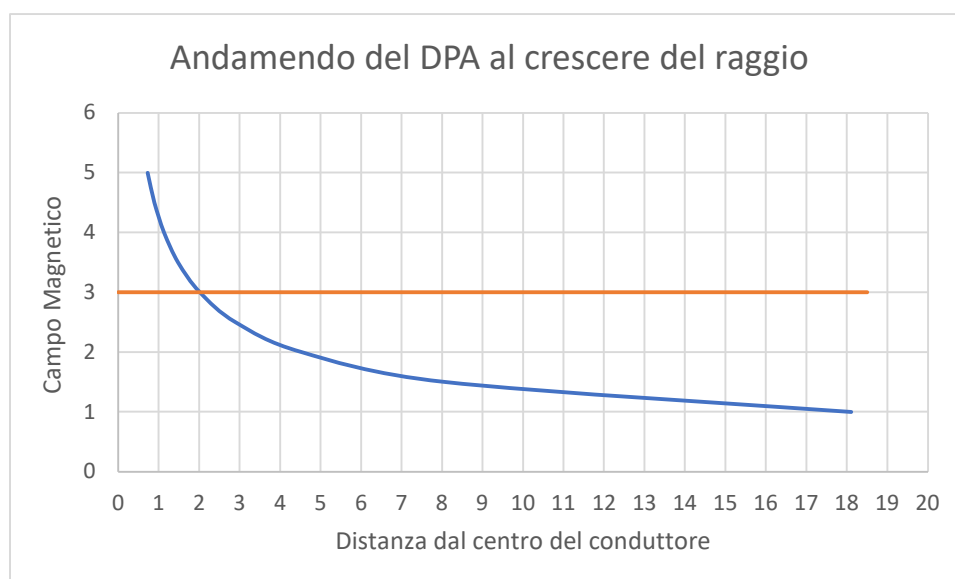


Figura 4 Andamento del DPA al crescere del raggio

Distanza dall’asse della linea (m)	Valore di induzione magnetica ( $\mu\text{T}$ )
1.00	18.104
1.50	8.04
2.00	4.526
2.50	2.896
3.00	2.011
3.50	1.477
4.00	1.131

Tabella 1 Andamento del DPA in funzione della distanza verticale

Come si evince dal grafico, il valore 3  $\mu\text{T}$  viene raggiunto al di sotto dei 2.30m di distanza dal centro del conduttore. Per una questione di sicurezza la distanza minima di sicurezza dovrebbe essere di almeno 2.5m. Questo per ciò che riguarda il cavidotto indisturbato. Il cavidotto interrato presenta

uno sviluppo di circa 32km, i cambi di direzione creano un aumento dei valori di induzione magnetica nell'area interna all'angolo e una diminuzione nella parte esterna. In questa sezione si stimerà l'incremento effettuando alcune ipotesi cautelative, assumendo alla fine come distanza di rispetto quella massima determinabile nel tratto di linea.

In analogia al paragrafo 5.1.4.5. del decreto 29 Maggio 2008 incrementiamo la distanza di prima approssimazione di 1.5 volte:

**$DPA_{inf} = 2.50$  metri (DPA imperturbata)**

$$DPA = DPA_{inf} * 1,5 = 3.75m \rightarrow 4 m$$

La posa della linea interrata a 380 kV configurata a trifoglio implica una distanza di rispetto per il perseguimento dell'obiettivo di qualità dei 3  $\mu T$  pari a 4 m dall'asse della linea e su tutto il percorso.

**Entro la distanza di 4 m non sarà possibile la collocazione di strutture che comportino la permanenza prolungata di persone superiore alle quattro ore giornaliere.**

Di conseguenza il cavo sarà interrato ad una profondità di almeno 1.5m per evitare valori eccessivi all'altezza del cuore umano.

Il campo elettrico generato dalla linea in alta tensione viene agevolmente schermato dal suolo e dalla schermatura dei cavi. La conducibilità elettrica del terreno crea un effetto schermo quasi totale come riportato nella letteratura del settore e da prove sul campo.

Trattandosi di un cavo interrato all'interno di sede stradale, posto in asse alla stessa la cui larghezza media è di 6,00 m nei punti più stretti, l'obiettivo di qualità viene raggiunto già a margine della viabilità interna sia dx che sx.

## 4 Cavidotto marino

I cavidotti marini installati sono di due differenti taglie, 66kV e 380kV. Il passaggio di corrente genera anche in questo caso un campo magnetico. I cavi marini rispetto a quelli terrestri presentano delle schermature maggiori. Il campo magnetico è inversamente proporzionale alla distanza dal cavo stesso, al punto che si può affermare che l'influenza di disturbo per la fauna marittima è trascurabile. A mitigare gli effetti dei campi elettromagnetici è anche in questo caso la posa del cavo stesso. Nel caso di posatura sotterranea il terreno stesso ridurrà il campo magnetico, in caso di posatura sulla superficie del fondale invece, saranno i "materassi in cemento armato" a mitigare gli effetti dei campi magnetici. Le emissioni termiche legate al cavo, sono abbastanza irrilevanti visto l'ambiente marino. Anche verificandosi un aumento della temperatura superficiale del cavo, le correnti marine dissiperanno il calore, evitando la formazione di hot-spot che potrebbero disturbare la fauna marittima.

La mitigazione degli effetti dei campi elettromagnetici si è ottenuta tramite

- Schermature multiple dei singoli cavi;
- Posatura a trifoglio avvolto dei conduttori;
- Strati di fondale marino, o protezioni artificiali messe sopra il cavo.

Consultando la letteratura scientifica non risultano studi che dimostrino un'influenza negativa degli elettrodotti alla fauna marina né dell'eventuale calore emesso. Sicuramente in caso di allevamenti o presenza di rotte migratorie marittime, il cavidotto sarà posto il più distante possibile.

## BIBLIOGRAFIA

- D.lgs. n. 81, GU 30 aprile 2008: Il testo unico in materia di sicurezza sul lavoro ridisegna il quadro della salute e sicurezza sul lavoro, in recepimento della direttiva europea 2004/40/CE. Le disposizioni generali sulla protezione dagli agenti fisici sono contenute nel Capo I del Titolo VIII: L'articolo 180 identifica gli agenti fisici di interesse e include tra essi, per la prima volta, i campi elettromagnetici. L'articolo 181, anche tramite il richiamo al più generale articolo 28 sulla valutazione dei rischi, impone al datore di lavoro la valutazione dei rischi relativi a tutti gli agenti fisici e l'adozione delle opportune misure di prevenzione e protezione. Relativamente ai lavoratori professionalmente esposti, il valore di azione da non superare è fissato pari a 500  $\mu\text{T}$ , escludendo eventuali effetti a lungo termine sulla salute dei lavoratori;
- D.M. 29 maggio 2008 "Metodi numerici per il calcolo delle fasce di rispetto";
- 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". La normativa nazionale (D.P.C.M 8 luglio 2003) individua in materia di limiti di induzione magnetica i valori limite con obiettivo di qualità pari a 3  $\mu\text{T}$  e con obiettivo di attenzione pari a 10  $\mu\text{T}$ ;
- Legge 22 febbraio 2001, n. 36 "Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici";
- Norma CEI 211-4 "Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee elettriche": il valore efficace dell'induzione magnetica è calcolato risolvendo l'equazione di Biot-Savart, rappresentando i vari elementi percorsi da corrente come segmenti rettilinei), alla quale si rimanda per la descrizione del modello matematico utilizzato. Esso fornisce i valori efficaci del campo di induzione magnetica in un piano verticale perpendicolare all'elettrodotto sorgente del campo. Relativamente alla determinazione dei valori di induzione magnetica nei cambi di direzione si è attinto ai paragrafi 5.1.4.5 del decreto 29 maggio 2008.