

Progetto Definitivo

# PARCO EOLICO OFFSHORE AL LARGO DELLE COSTE DI CIVITAVECCHIA



## TYRRHENIAN WIND ENERGY

Ministero dell'Ambiente  
e della Sicurezza Energetica

Ministero della Cultura

Ministero delle Infrastrutture  
e dei Trasporti

*Procedura di Valutazione di Impatto Ambientale  
ex D.lgs. 152/2006*

*Domanda di Autorizzazione Unica  
ex D.lgs. 387/ 2003*

*Domanda di Concessione Demaniale Marittima  
ex R.D. 327/1942*

### Relazione tecnica EMISSIONI ELETTROMAGNETICHE A TERRA

Progetto  
**Dott. Ing. Luigi Severini**  
Ord. Ing. Prov. TA n.776

Elaborazioni  
**iLStudio.**  
Engineering & Consulting **Studio**

# EMFTER

C0123YR00EMFTER00a



00	Luglio 2023	Emesso per approvazione		
Rev. Est.	Data emissione	Descrizione		Cod. Ela.

Cod.:	<b>C</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>Y</b>	<b>R</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>E</b>	<b>M</b>	<b>F</b>	<b>T</b>	<b>E</b>	<b>R</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>a</b>
	Tipo	Num. Com.	Anno	Cod. Set.	Tip. Ela.	Prog. Ela.										Rev. Est.	Rev. Int.	

## SOMMARIO

<b>1. SCOPO DEL DOCUMENTO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. DESCRIZIONE SINTETICA DEL PROGETTO .....</b>	<b>2</b>
<b>3. CENNI TEORICI .....</b>	<b>3</b>
3.1. Campo magnetico ed elettricità .....	3
3.1.1. Legge di Biot-Savart.....	3
<b>4. LINEE GUIDA E INDIRIZZI NORMATIVI .....</b>	<b>4</b>
4.1. Riferimenti legislativi .....	4
4.1.1. Legge n. 36 del 22 febbraio 2001 - Legge quadro EMC .....	4
4.1.2. Limiti di esposizione - Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 8 luglio 2003.....	4
4.1.3. Metodologia di calcolo - Decreto 29 maggio 2008.....	5
4.2. Norme tecniche .....	6
<b>5. DEFINIZIONI .....</b>	<b>7</b>
<b>6. NOTE SUGLI EFFETTI BIOLOGICI DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI.....</b>	<b>8</b>
<b>7. DESCRIZIONE E UBICAZIONE DELLE OPERE A TERRA.....</b>	<b>11</b>
7.1. Punto di giunzione .....	11
7.2. Elettrodotto interrato 66kV .....	12
7.2.1. Aspetti costruttivi del cavo .....	13
7.2.2. Caratteristiche elettriche del cavo .....	13
7.2.3. Posa e protezione dell'elettrodotto .....	13
7.3. Sottostazione di trasformazione .....	15
7.4. Elettrodotto interrato 380kV.....	16
7.4.1. Aspetti costruttivi del cavo .....	17
7.4.2. Caratteristiche elettriche del cavo .....	17
7.4.3. Posa e protezione dell'elettrodotto .....	17
7.5. Sottostazione di misura e consegna .....	18
7.6. Elettrodotto interrato di connessione a 380kV, Oncc .....	19
7.6.1. Aspetti costruttivi del cavo .....	19
7.6.2. Caratteristiche elettriche del cavo .....	20
7.6.3. Posa e protezione dell'elettrodotto .....	20
<b>8. MODELLI DI CALCOLO .....</b>	<b>21</b>
8.1. Campo elettrico .....	21
8.2. Campo magnetico indotto .....	21
<b>9. EMISSIONI ELETTROMAGNETICHE PREVISTE .....</b>	<b>23</b>
9.1. Fase di costruzione.....	23
9.2. Fase di esercizio.....	23

<b>PARCO EOLICO OFFSHORE AL LARGO DELLE COSTE DI CIVITAVECCHIA</b>		
PROGETTO DEFINITIVO		
<b>Relazione tecnica – Emissioni elettromagnetiche a terra</b>		
Codice documento: <b>C0123YR00EMFTER00a</b>	Data emissione: <b>Luglio 2023</b>	Pagina <b>II di V</b>

<b>9.2.1. Elettrodotto interrato 66 kV</b>	<b>25</b>
9.2.1.1. Campo elettrico	25
9.2.1.2. Campo magnetico indotto	25
9.2.1.2.1. Modalità di posa e caratteristiche dell'elettrodotto	25
9.2.1.2.2. Campo magnetico indotto sul piano ortogonale all'elettrodotto	26
9.2.1.2.3. Limiti di esposizione, fascia di rispetto, distanza di prima approssimazione	26
<b>9.2.2. Elettrodotto interrato 380 kV</b>	<b>29</b>
9.2.2.1. Campo elettrico	29
9.2.2.2. Campo magnetico indotto	29
9.2.2.2.1. Modalità di posa e caratteristiche dell'elettrodotto	30
9.2.2.2.2. Campo magnetico indotto sul piano ortogonale all'elettrodotto	30
9.2.2.2.3. Limiti di esposizione, fascia di rispetto, distanza di prima approssimazione	31
9.2.2.2.4. Caso 1	33
9.2.2.2.5. Caso 2	34
<b>9.2.3. Stazioni elettriche</b>	<b>35</b>
<b>9.3. Fase di dismissione</b>	<b>35</b>
<b>10. MISURE PER LA RIDUZIONE DEL CAMPO MAGNETICO INDOTTO</b>	<b>36</b>
<b>11. PIANO DI MONITORAGGIO</b>	<b>37</b>
11.1. Localizzazione delle aree di indagine e delle stazioni/punti di monitoraggio	37
11.2. Programma di monitoraggio	37
11.2.1. Ante Operam	37
11.2.2. Corso d'opera	37
11.2.3. Post Operam	37
<b>12. CONCLUSIONI</b>	<b>38</b>

---

<b>PARCO EOLICO OFFSHORE AL LARGO DELLE COSTE DI CIVITAVECCHIA</b> PROGETTO DEFINITIVO		
<b>Relazione tecnica – Emissioni elettromagnetiche a terra</b>		
Codice documento: <b>C0123YR00EMFTER00a</b>	Data emissione: <b>Luglio 2023</b>	Pagina <b>III di V</b>

## **INDICE DELLE FIGURE**

Figura 2.1 – Schema concettuale dell’impianto. ....	2
Figura 3.1 – Linee di campo magnetico indotto, regola della mano destra.....	3
Figura 4.1 – Definizione di fascia di rispetto. ....	6
Figura 7.1 – Opere a terra.....	11
Figura 7.2 – Punto di giunzione. ....	12
Figura 7.3 – Costruzione tipica di un cavo terrestre unipolare.....	13
Figura 7.4 – Sezione tipica in TOC con controtubi – terne 66 kV. ....	14
Figura 7.5 – Sezione tipica in TOC con singolo controtubo – terne 66 kV.....	14
Figura 7.6 – Sezione tipica in trincea inizio/fine TOC – terne 66 kV.....	15
Figura 7.7 – Sezione tipica in trincea – terne 66 kV.....	15
Figura 7.8 – Planimetria elettromeccanica della sottostazione elettrica di trasformazione. ....	16
Figura 7.9 – Costruzione tipica di un cavo terrestre unipolare.....	17
Figura 7.10 – Sezione tipica in TOC con singolo controtubo (sx) o con controtubi (dx) – terne 380 kV. ....	18
Figura 7.11 – Sezione tipica in trincea (a sx inizio/fine TOC) – terne 380 kV. ....	18
Figura 7.12 – Planimetria elettromeccanica della sottostazione elettrica di misura e consegna.....	19
Figura 7.13 – Costruzione tipica di un cavo terrestre unipolare.....	20

<b>PARCO EOLICO OFFSHORE AL LARGO DELLE COSTE DI CIVITAVECCHIA</b> PROGETTO DEFINITIVO		
<b>Relazione tecnica – Emissioni elettromagnetiche a terra</b>		
Codice documento: <b>C0123YR00EMFTER00a</b>	Data emissione: <b>Luglio 2023</b>	Pagina <b>IV di V</b>

## **INDICE DELLE TABELLE**

---

Tabella 6.1 – Valori tipici di campo magnetico prodotto da apparecchiature elettriche di utilizzo comune. ....	8
Tabella 7.1 – Caratteristiche elettriche e dimensionali dell'elettrodotto terrestre di esportazione 66 kV.....	13
Tabella 7.2 – Caratteristiche elettriche e dimensionali dell'elettrodotto terrestre di esportazione 380 kV.....	17
Tabella 7.3 – Caratteristiche elettriche e dimensionali dell'elettrodotto terrestre di connessione 380 kV.....	20

---

## **INDICE DELLE VOCI**

---

<b>APPA</b>	Agenzia Provinciale per la Protezione dell'Ambiente
<b>ARPA</b>	Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale
<b>BAT</b>	Best Available Technologies
<b>CEI</b>	Comitato Elettrotecnico Italiano
<b>DOE</b>	Department of Energy
<b>DPA</b>	Distanza di Prima Approssimazione
<b>EMF</b>	ElectroMagnetic Field
<b>ELF-EMF</b>	Extremely Low Frequency-ElectroMagnetic Field
<b>FOS</b>	Floating Offshore Substation
<b>GIS</b>	Gas Insulated Switchgear
<b>IARC</b>	International Agency for Research on Cancer
<b>ICNIRP</b>	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection
<b>IEEE</b>	Institute of Electrical and Electronics Engineers
<b>ISPRA</b>	Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale
<b>NIEHS</b>	National Institute of Environmental Health Sciences
<b>NTP</b>	National Toxicology Program
<b>Ofec</b>	Offshore export cable
<b>OMS</b>	Organizzazione Mondiale della Sanità
<b>Oncc</b>	Onshore connection cable
<b>Onec</b>	Onshore export cable
<b>PEAD</b>	PoliEtilene Alta Densità
<b>PVC</b>	PoliVinilCloruro
<b>RTN</b>	Rete di Trasmissione Nazionale
<b>STMG</b>	Soluzione Tecnica Minima Generale
<b>TJB</b>	Transition Joint Bay
<b>TOC</b>	Trivellazione Orizzontale Controllata
<b>WTG</b>	Wind Turbine Generator
<b>XLPE</b>	Cross-Linked Polyethylene

---

## **1. SCOPO DEL DOCUMENTO**

---

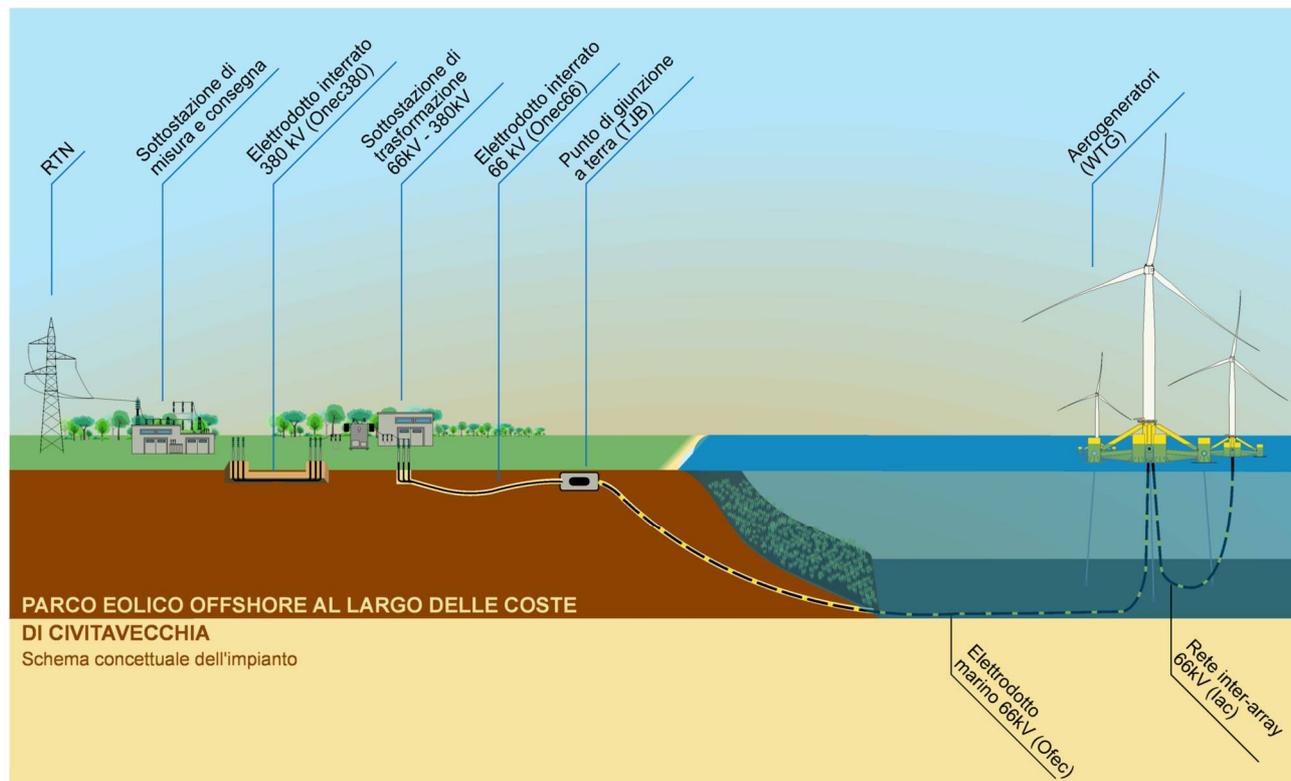
Il presente documento riporta lo studio finalizzato alla valutazione predittiva dei valori di campo elettrico e magnetico indotto, generati dalle opere elettriche relative alla componente a terra del progetto per la realizzazione di un parco eolico offshore al largo delle coste di Civitavecchia. Noti i valori di campo, sono verificate le compatibilità con le prescrizioni normative vigenti in materia di tutela della salute umana. Sono infine proposte, laddove necessario, idonee misure di mitigazione volte a ridurre gli effetti associati alle emissioni.

Il documento si compone di:

- una descrizione sintetica del progetto;
  - una trattazione relativa alle linee guida e indirizzi normativi;
  - cenni teorici relativi al magnetismo ed alla relazione tra magnetismo ed elettricità;
  - un elenco delle definizioni tecniche utilizzate all'interno del documento;
  - una breve trattazione relativa agli effetti biologici dei campi elettromagnetici sugli esseri umani;
  - una descrizione delle caratteristiche e del posizionamento delle opere a terra dell'impianto;
  - una descrizione dei modelli di calcolo utilizzati per la valutazione dei campi elettromagnetici;
  - l'esposizione dei risultati ottenuti dalla fase di calcolo ed il confronto con i limiti di esposizione di legge, nonché il calcolo delle fasce di rispetto e delle distanze di prima approssimazione per le opere elettriche;
  - una descrizione delle misure idonee alla riduzione del campo magnetico indotto;
  - indicazioni relative alle azioni di monitoraggio dei livelli di campo;
  - conclusioni e valutazione degli impatti anche mediante l'utilizzo di apposite matrici di impatto.
-

## 2. DESCRIZIONE SINTETICA DEL PROGETTO

L'impianto di produzione eolica, a realizzarsi nel Mar Tirreno nel settore geografico sud-ovest delle coste di Civitavecchia, a oltre 20 km dalle più vicine coste laziali, garantirà una potenza nominale massima pari a 504 MW attraverso l'utilizzo di 28 aerogeneratori sostenuti da innovative fondazioni galleggianti.



**Figura 2.1 – Schema concettuale dell'impianto.**

Elaborazione iLStudio.

L'impiego di questi sistemi consente l'installazione in aree marine profonde e molto distanti dalle coste, dove i venti sono più intensi e costanti e la percezione visiva dalla terraferma è estremamente ridotta, mitigando così gli impatti legati alle alterazioni del paesaggio tipici degli impianti realizzati sulla terraferma o in prossimità delle coste. La collocazione del parco, frutto di una approfondita conoscenza delle caratteristiche del sito, armonizza le risultanze di studi e consultazioni finalizzati alla migliore integrazione delle opere all'interno del contesto naturale e antropico pre-esistente.

L'opera in oggetto, nella sua completezza, si sviluppa secondo una componente a mare (sezione offshore), dedicata prevalentemente alla produzione di energia, ed una a terra (sezione onshore) destinata al suo trasporto e immissione nella rete elettrica nazionale.

Ciascun aerogeneratore (*Wind Turbine Generator – WTG*) sarà costituito da un rotore tripala con diametro fino a 255 m calettato su torre ad una quota sul livello medio mare fino a 165 m. L'energia elettrica prodotta dalle turbine alla tensione di 66 kV sarà collettata attraverso una rete di cavi marini inter-array (*Inter-array cable - Iac*) e convogliata verso la terraferma attraverso un sistema di 6 cavi marini tripolari di esportazione (*Offshore export cable - Ofec*) a 66 kV, con approdo in TOC a circa 200 m oltre la linea di costa in un punto di giunzione a terra (*Transition Junction Bay - TJB*). Da qui, previo collegamento a 66 kV (*Onshore export cable – Onec66*), l'energia sarà trasportata presso una sottostazione elettrica di trasformazione prossima al punto di giunzione, ove sarà effettuata l'elevazione della tensione nominale da 66 kV a 380 kV. Un nuovo elettrodotto interrato di esportazione a 380 kV (*Onshore export cable – Onec380*), permetterà quindi il collegamento alla nuova sottostazione di misure e consegna in prossimità della esistente stazione elettrica RTN TERNA "Aurelia" per la definitiva connessione alla Rete Nazionale.

### 3. CENNI TEORICI

Già a partire dal VII secolo a.C. erano note le proprietà di alcuni minerali di ferro, tra cui la magnetite, di attirare la limatura di ferro. La proprietà attrattiva dei suddetti materiali si manifesta per lo più in specifiche zone, come nel caso del generico magnete cilindrico in cui essa è localizzata in corrispondenza delle basi, dette anche poli. I poli magnetici esistono sempre in coppie di intensità uguale ma di segno opposto; le linee di campo magnetico che indicano in genere la direzione ed il verso del campo di forze esistenti, escono dal polo negativo per entrare in quello positivo.

#### 3.1. Campo magnetico ed elettricità

Come è noto vi è una stretta correlazione tra fenomeni elettrici e magnetici; la prima relazione è stata scoperta da Oersted nel 1811 con successivi approfondimenti da parte di Ampere negli anni a seguire.

L'esperimento di Oersted mostrò che, in prossimità di un filo percorso da corrente, un ago magnetico assumeva una ben definita posizione di equilibrio differente da quella iniziale. Per quanto detto si può oggi affermare che un filo percorso da corrente produce un campo magnetico  $B$  e che l'ago magnetico si orienta parallelamente al campo magnetico esistente nel punto in cui sono posizionati.

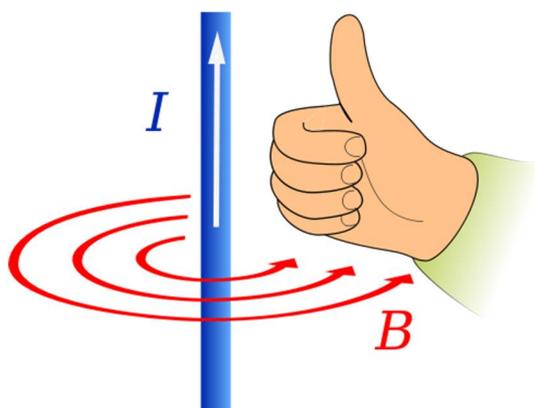
Pochi anni dopo Ampere dimostrò che anche due fili percorsi da corrente interagiscono tra di loro; in questo modo convenne sul fatto che le azioni magnetiche sono manifestazione dell'interazione tra cariche elettriche in movimento, ponendo le basi della teoria attuale del magnetismo.

##### 3.1.1. Legge di Biot-Savart

Considerando un filo conduttore rettilineo percorso da una corrente continua  $i$ , nel piano mediano il campo magnetico  $B$  è costante su ogni circonferenza di raggio  $R$  ed è tangente a tale circonferenza. Il modulo del campo magnetico è dato dalla relazione:

$$B = \frac{\mu_0 i a}{2\pi R \sqrt{R^2 + a^2}} \quad \text{eq. (1)}$$

ove  $a$  rappresenta metà lunghezza del filo e  $\mu_0$  permeabilità magnetica del vuoto.



**Figura 3.1 – Linee di campo magnetico indotto, regola della mano destra.**

Le linee del campo magnetico indotto sono circonferenze concentriche al filo e risultano dunque concatenate alla corrente, sorgente del campo stesso. Il verso del campo magnetico indotto è dato dalla regola della mano destra, ponendo il pollice nel verso della corrente all'interno del filo.

## **4. LINEE GUIDA E INDIRIZZI NORMATIVI**

La normativa italiana in materia di esposizione ai campi elettromagnetici è piuttosto prudentiale rispetto all’approccio internazionale. La scelta è basata sul principio di “precauzione” teso a evitare o almeno a ridurre l’esposizione ad un agente esterno se ci sono dubbi sulla sua effettiva innocuità.

Nello specifico, la normativa definisce una protezione a più livelli. La protezione rispetto agli effetti sanitari certi (effetti acuti) è realizzata attraverso la definizione di limiti di esposizione ossia valori di campo elettrico e magnetico indotto che non devono essere superati a prescindere dalla condizione di esposizione.

Rispetto agli effetti a lungo termine la protezione si realizza attraverso un valore di attenzione, ovvero, il valore di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico che non deve essere superato negli ambienti abitativi, scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze prolungate.

In un’ottica di miglioramento continuo sono altresì definiti degli obiettivi di qualità, ossia valori di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, ottenuti attraverso l’uso delle *Best Available Technologies* (BAT) così da realizzare gli obiettivi di tutela sanitari ed ambientali in riferimento a possibili effetti a lungo termine.

Nei paragrafi che seguono si darà maggior dettaglio in relazione ai contenuti della legislazione italiana e della normativa tecnica applicabile.

### **4.1. Riferimenti legislativi**

#### **4.1.1. Legge n. 36 del 22 febbraio 2001 - Legge quadro EMC**

Il principale strumento normativo italiano rispetto alla protezione dai campi elettromagnetici è la legge n. 36 del 22 febbraio 2001, nota come *Legge quadro EMC* e recante “Protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici” aggiornata con Legge n. 239 del 23 agosto 2004 recante “Riordino del settore energetico, nonché delega al Governo per il riassetto delle disposizioni vigenti in materia di energia”.

La legge introduce i concetti di:

- limite di esposizione, “[...] il 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 della popolazione e dei lavoratori [...]”;
- valore di attenzione, “[...] il 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 prolungate [...]”;
- obiettivi di qualità “[...] i criteri localizzativi, gli standard urbanistici, le prescrizioni e le incentivazioni per l’utilizzo delle migliori tecnologie disponibili [...]” e “[...] i valori di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, definiti dallo Stato [...] ai fini della progressiva minimizzazione dell’esposizione ai campi medesimi [...]”;
- Fascia di rispetto in prossimità di elettrodotti, ovvero area nell’intorno della linea elettrica non ammessa a destinazioni d’uso che comportino permanenza prolungata oltre le quattro ore giornaliere.

#### **4.1.2. Limiti di esposizione - Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 8 luglio 2003**

Per quanto strettamente attinente alle finalità di questo documento, la legge quadro è divenuta operativa con DPCM (Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri) 8 luglio 2003 recante “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” che riporta

agli articoli 3, 4, 5 e 6 rispettivamente:

- Art. 3, *limiti di esposizione e valori di attenzione,*
- Art. 4, *obiettivi di qualità,*
- Art. 5, *tecniche di misurazione e di determinazione dei livelli di esposizione,*
- Art. 6, *parametri per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti.*

Rispetto ai limiti di esposizione, valori di attenzione e corrispondenti obiettivi di qualità il Decreto sancisce all'articolo 3:

- 1. *Nel caso di esposizione a campi elettrici e magnetici alla frequenza di 50 Hz generati da elettrodotti non deve essere superato il limite di esposizione di 100  $\mu$ T per l'induzione magnetica e 5 kV/m per il campo elettrico intesi come valori efficaci;*
- 2. *A titolo di misura di cautela per la protezione da possibili effetti a lungo termine, eventualmente connessi con l'esposizione ai campi magnetici generati alla frequenza di rete (50 Hz), nelle aree gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere, si assume per l'induzione magnetica il valore di attenzione di 10  $\mu$ T, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.*

ovvero al successivo articolo 4:

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

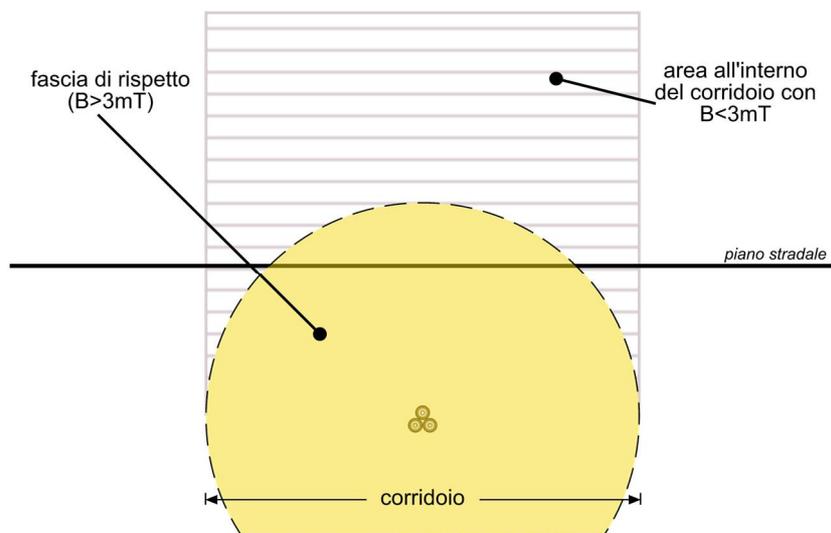
I parametri per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti sono riportati all'art. 6, nel quale è sancito che:

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

#### **4.1.3. Metodologia di calcolo - Decreto 29 maggio 2008**

La metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto è stata approvata con Decreto 29 maggio 2008 "Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti".

Il Decreto dettaglia inoltre la definizione di fascia di rispetto come "[...] lo spazio circostante un elettrodotto, che comprende tutti i punti, al di sopra e al di sotto del suolo, caratterizzati da un'induzione magnetica di intensità maggiore o uguale all'obiettivo di qualità. [...] all'interno delle fasce di rispetto non è consentita alcuna destinazione di edifici ad uso residenziale, scolastico, sanitario ovvero ad uso che comporti una permanenza non inferiore a quattro ore [...]".



**Figura 4.1 – Definizione di fascia di rispetto.**

Rielaborazione da CEI 106-11.

È altresì prescritto che la fascia di rispetto possa essere individuata con procedimento semplificato attraverso la determinazione della cosiddetta “distanza di prima approssimazione” (DPA) definita come “[...] la distanza, in pianta sul livello del suolo, della proiezione del centro linea che garantisce che in ogni punto la cui proiezione al suolo disti dalla proiezione del centro linea più di DPA si trovi all'esterno delle fasce di rispetto [...]”.

## 4.2. Norme tecniche

**CEI 11-60** “Portata al limite termico delle linee elettriche aeree esterne con tensione maggiore di 100 kV”

**CEI 11-17** “Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione pubblica di energia elettrica - Linee in cavo”

**CEI 20-21** “Cavi elettrici - Calcolo della portata di corrente”

**CEI 106-11** “Guida per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti secondo le disposizioni del DPCM 8 luglio 2003 (Art. 6) - Parte 1: Linee elettriche aeree e in cavo”

**CEI 211-4** “Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee e da stazioni elettriche”

**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”

**CEI EN 50413** “Norma di base sulle procedure di misura e di calcolo per l’esposizione umana ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici (0 Hz - 300 GHz)”

## 5. DEFINIZIONI

Con lo scopo di facilitare la comprensione degli argomenti trattati si richiamano le seguenti definizioni, adoperate all'interno dei riferimenti legislativi e normativi di supporto al presente studio.

- **Alta tensione (AT):** Tensione nominale di valore superiore a 35 kV e inferiore o uguale a 220 kV.
- **Campata:** elemento minimo di una linea elettrica sotteso tra due sostegni.
- **Elettrodotto:** è l'insieme delle linee elettriche, delle sottostazioni e delle cabine di trasformazione.
- **Impianto:** officina elettrica destinata, simultaneamente o separatamente, alla produzione, allo smistamento, alla regolazione e alla modifica (trasformazione e/o conversione) dell'energia elettrica transitante in modo da renderla adatta a soddisfare le richieste della successiva destinazione. Gli impianti possono essere centrali di produzione, stazioni elettriche, cabine primarie e secondarie e cabine utente.
- **Linea:** collegamento con conduttori elettrici, delimitato da organi di manovra, che permettono di unire due o più impianti.
- **Luoghi tutelati:** aree di gioco per l'infanzia, ambienti abitativi, ambienti scolastici e luoghi adibiti a permanenza non inferiore alle quattro ore giornaliere.
- **Portata in corrente in servizio normale:** è la corrente che può essere sopportata da un conduttore per il 100% del tempo con limiti accettabili del rischio di scarica sugli oggetti mobili e sulle opere attraversate e dell'invecchiamento.
- **Tratta:** porzione di tronco (campate contigue) aventi caratteristiche omogenee di tipo elettrico, di tipo meccanico (tipologia del conduttore, configurazione spaziale dei conduttori sui tralicci, ecc.) e relative alla proprietà.
- **Tronco:** collegamento metallico che permette di unire fra loro due impianti.
- **Rete di Trasmissione Nazionale (RTN):** rete elettrica di trasmissione nazionale come individuata dal decreto del Ministro dell'industria 25 giugno 1999 e successivamente modificata e ampliata.
- **Soluzione tecnica minima generale per la connessione (STMG):** Soluzione per la connessione elaborata dal Gestore in seguito ad una richiesta di connessione, inclusa nel preventivo di connessione.
- **Stazione di consegna:** stazione elettrica che collega l'impianto dell'utente alla rete. Generalmente costituisce parte dell'impianto di rete per la connessione al cui interno è individuato il punto di consegna.
- **Stazione elettrica:** La parte di una rete, concentrata e chiusa in un ben determinato sito, utilizzata sia per ripartire l'energia elettrica tra le linee di una rete, sia per trasferire l'energia elettrica tra reti a tensioni diverse, sia per trasformare l'energia elettrica alla più bassa tensione utilizzabile dall'Utente.

## 6. NOTE SUGLI EFFETTI BIOLOGICI DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI

I campi elettrici e magnetici sono normalmente presenti nell'ambiente naturale: quelli elettrici prevalenti in atmosfera e quelli magnetici generati, invece, all'interno del nucleo terrestre.

A questi campi naturali si sovrappongono quelli prodotti dalle apparecchiature elettriche, quali linee elettriche di potenza, cablaggi elettrici o elettrodomestici che producono EMF con certa frequenza e intensità. Alcuni valori tipici del campo magnetico, generato da apparecchiature domestiche di utilizzo comune, sono indicati in Tabella 6.1.

**Tabella 6.1 – Valori tipici di campo magnetico prodotto da apparecchiature elettriche di utilizzo comune.**  
ENA, 2016.

Sorgente di campo magnetico	Valori [ $\mu\text{T}$ ]
Lavastoviglie	0.2 – 3.0
Frigorifero	0.2 – 0.5
Tostapane	0.2 – 1.0
Personal computer	0.2 – 2.0
Termocoperta elettrica	0.5 – 3.0
Asciugacapelli	1.0 – 7.0

In base alla frequenza emessa, i campi elettromagnetici (EMF) vengono distinti in due categorie:

- non ionizzanti: radiazioni a bassa e media frequenza, ovvero le ELF con frequenza pari a 50 Hz e le RF (a radiofrequenza) con frequenza compresa tra 100 kHz e 300 GHz. Vengono percepite come innocue per l'uomo perché non possiedono un'energia tale da rompere i legami chimici o da strappare elettroni dagli atomi. Ad intensità maggiori i campi potrebbero essere percepiti attraverso la vibrazione dei peli cutanei;
- ionizzanti: radiazioni ad alta frequenza che possono danneggiare cellule e DNA.

Gli effetti biologici, generati dall'esposizione a campi elettromagnetici, dipendono soprattutto dalla frequenza e intensità, ad esempio le correnti ad alta frequenza determinano la stimolazione nei nervi e dei muscoli. Si distinguono gli effetti:

- acuti o diretti a breve termine (campi magnetici  $> 100 \mu\text{T}$ ) che possono essere immediati, ossia si determinano durante l'esposizione al campo per poi scomparire al termine di esso ed oggettivi, perché si verificano su ogni individuo;
- cronici: per esposizioni prolungate anche con bassa intensità.

I campi elettrici perdono di intensità se schermati dalla presenza di edifici e oggetti (alberi) che conducono elettricità, rispetto a quelli magnetici che riescono a penetrare attraverso edifici, esseri viventi ecc. Spostandoci dalla sorgente, l'intensità del campo magnetico tenderà a diminuire in maniera consistente.

Gli effetti dell'esposizione ai campi elettromagnetici sono generalmente classificati in diretti e indiretti.

Gli effetti diretti sono i cambiamenti provocati in una persona dall'esposizione a un campo elettromagnetico. La direttiva relativa ai campi elettromagnetici prende in considerazione solo gli effetti noti che si basano su meccanismi conosciuti, ma opera una distinzione fra effetti sensoriali (non dannosi, ma in grado di provocare distrazione o sensazioni corporee sgradevoli nei soggetti esposti) ed effetti sulla salute (considerati più gravi).

Le caratteristiche e l'entità degli effetti diretti dipendono dalla frequenza e dall'intensità del campo e sono classificabili in effetti termici (riscaldamento dei tessuti) tipici delle sorgenti ad alta frequenza ( $>10 \text{ MHz}$ ) e non termici, come vertigini e nausea, nel caso di sorgenti a bassa frequenza ( $<100 \text{ kHz}$ ). Nel primo caso i bersagli più sensibili all'aumento della temperatura sono il cristallino (cataratta) e le gonadi (temporanea sterilità maschile), mentre nel secondo caso si registrano sovraeccitazioni all'apparato cardiovascolare (tachicardia) e all'apparato nervoso (fosfene, tremori, depressione).

Gli effetti indiretti, invece, possono essere provocati dalla presenza, all'interno del campo elettromagnetico, di oggetti che possono determinare pericoli per la sicurezza o la salute, ad esempio interferenze con apparecchiature e altri dispositivi medici elettronici e/o interferenze con apparecchiature o dispositivi medici impiantabili attivi (stimolatori cardiaci o defibrillatori).

I campi elettromagnetici generati da cabine elettriche, elettrodotti, impianti e apparecchiature elettriche a frequenza di rete (50 Hz) sono generalmente identificati come ELF-EMF (Extremely Low Frequency Electromagnetic Field) in quanto molto lentamente variabili nel tempo.

Allo stato attuale delle conoscenze non esiste alcuna correlazione certa tra l'esposizione a campi ELF di normale intensità ed eventuali effetti di lungo periodo.

L'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) riporta infatti che *"[...] nonostante la sensazione di alcune persone che sia necessario fare più ricerca, le conoscenze scientifiche in questo settore sono ora più estese che per la maggior parte delle sostanze chimiche. Sulla base di una recente revisione approfondita della letteratura scientifica, l'OMS ha concluso che le prove attuali non confermano l'esistenza di eventuali conseguenze per la salute derivanti dall'esposizione a campi elettromagnetici di basso livello. [...]"*.

Aggiunge inoltre che: *"[...] gli effetti sulla salute associati all'esposizione temporanea e ad alto livello sono stati valutati e costituiscono la base di due linee guida internazionali sul limite di esposizione (ICNIRP, 1998; IEEE, 2002). Attualmente, questi organismi ritengono che le prove scientifiche relative ai possibili effetti sulla salute derivanti da un'esposizione a lungo termine e di basso livello ai campi ELF non siano sufficienti a giustificare la riduzione di questi limiti quantitativi di esposizione. [...]"* dunque *"[...] non si raccomanda una ulteriore arbitraria riduzione dei valori limite nelle linee guida a mero titolo di precauzione. Tale pratica mina le basi scientifiche su cui si basano i limiti ed è probabile che sia un modo costoso e non necessariamente efficace per aumentare il livello di protezione. [...]"*.

Alcuni ricercatori hanno ipotizzato che le fonti di ELF-EMF (linee elettriche, cavi elettrici ed elettrodomestici) non possano direttamente interagire con le strutture cellulari, ma potrebbero portare ad una diminuzione della sintesi notturna dell'ormone melatonina, che sembrerebbe giocare un ruolo chiave nel reprimere lo sviluppo di tumori, inducendo l'apoptosi delle cellule tumorali.

Il National Institute of Environmental Health Sciences (NIEHS) e il Department of Energy (DOE) sono istituzioni governative statunitensi che si sono occupate di fornire delle risposte in merito agli interrogativi sulla probabilità di sviluppare alcune patologie tumorali a causa dei campi elettromagnetici (Health Effects from Exposure to Power-Line Frequency Electric and Magnetic Fields, 1999). Alla fine del programma di ricerca (EMF-RAPID) nel 1999, i risultati dimostravano una debole correlazione tra l'aumento del rischio di leucemia infantile e le esposizioni a frequenze basse provenienti da fonti di alimentazione. I pochi studi condotti sugli adulti non definirono nessun collegamento tra l'esposizione e tumori (inclusi leucemie, cancro al seno e al cervello) (IARC, 2013).

Da studi effettuati a Denver, in Colorado, nel 1979 sembrava emergere una possibile connessione tra l'insorgenza di leucemie infantili e la vita nei pressi di linee elettriche, ma studi più recenti, negli Stati Uniti e in alcune province del Canada, hanno individuato discrepanze (Wertheimer & Leeper, 1979) (Does, et al., 2011) (Kleinerman, et al., 2000). Secondo la National Cancer Institute non c'è un'associazione tra la manifestazione della leucemia linfoblastica acuta infantile e l'esposizione ai campi elettromagnetici inferiori a 0.4  $\mu$ T, ma il rischio aumenta se l'intensità supera tale limite (sembrerebbe essere una condizione difficilmente ripetibile nella vita quotidiana, salvo vivere sotto un traliccio dell'alta tensione) (Ahlbom, et al., 2000).

Nonostante le ricerche siano ormai attive da diversi decenni, non si è giunti ad una risposta definitiva. Ad oggi la risposta più chiara è che esista un'associazione tra i campi elettromagnetici e la leucemia infantile, ma è debole e non si conosce il rapporto causa-effetto (Schüz, 2011). Gli esperimenti sugli animali (topi e ratti) non hanno portato ad alcun supporto sperimentale in merito allo sviluppo di tumori cerebrali (Lagroye, et al., 2011). In questo contesto è, inoltre, importante ricordare gli studi effettuati dal National Toxicology Program (NTP), mediante il quale è stato possibile evidenziare un legame tra l'esposizione a campi a radiofrequenze (CRF) e

<b>PARCO EOLICO OFFSHORE AL LARGO DELLE COSTE DI CIVITAVECCHIA</b> PROGETTO DEFINITIVO		
<b>Relazione tecnica – Emissioni elettromagnetiche a terra</b>		
Codice documento: <b>C0123YR00EMFTER00a</b>	Data emissione: <b>Luglio 2023</b>	Pagina <b>10 di 29</b>

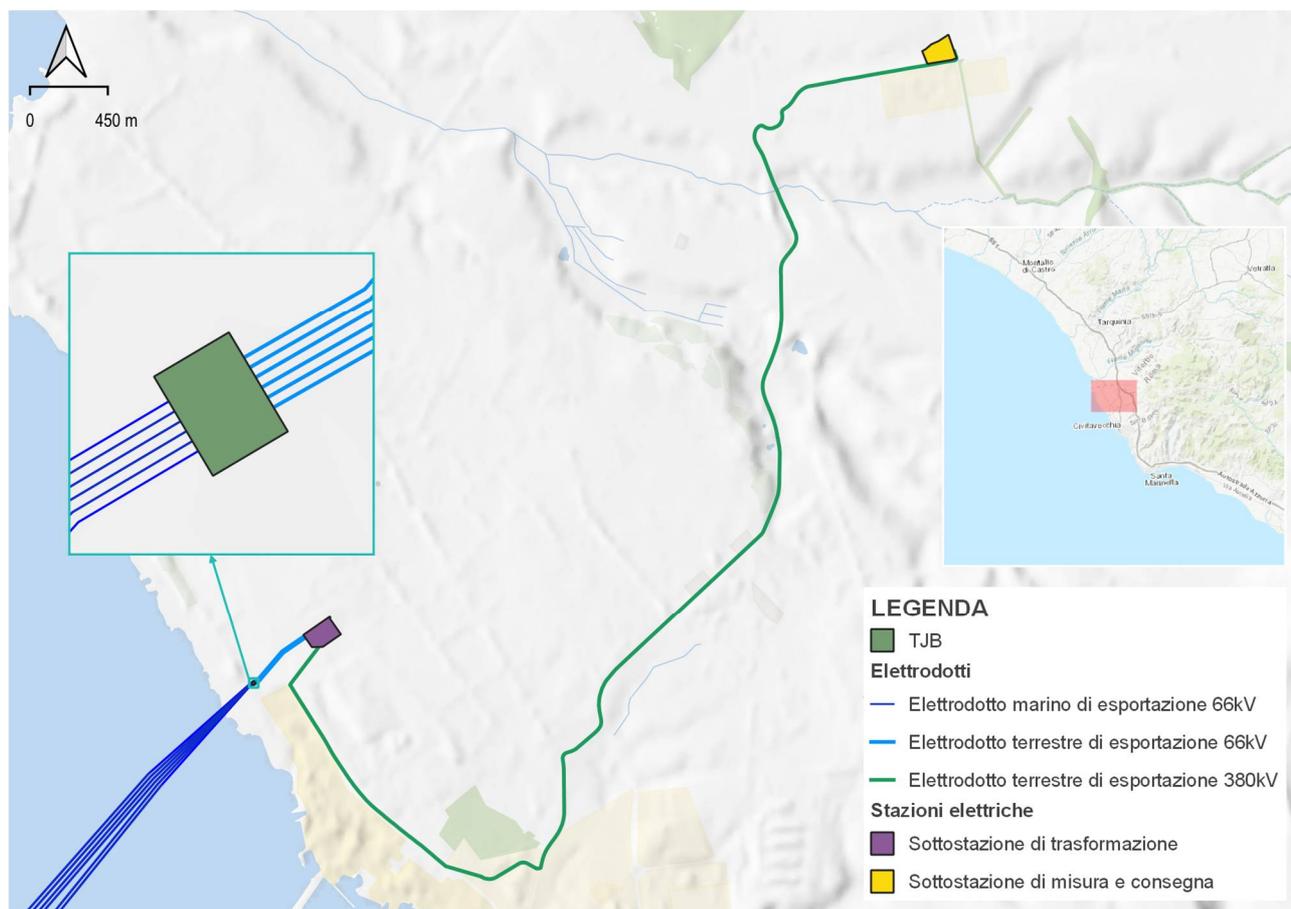
un incremento di gliomi (tumori cerebrali maligni) e tumori al cuore negli animali maschi da laboratorio.

Questi risultati hanno posto le basi affinché la IARC (Agenzia internazionale per la ricerca sul cancro) nel 2001 classificasse gli ELF-EMF (0-300 Hz) come “possibili cancerogeni” per gli esseri viventi (di gruppo 2B), rispetto al giudizio dell’ISS (Istituto Superiore di Sanità) che nel 1995 li aveva giudicati “potenzialmente cancerogeni” (World Health Organization. International Agency for Research on Cancer, 2002). Il termine possibilmente cancerogeno sta ad indicare che ci sono prove limitate di cancerogenicità e i dati di esperimenti sugli animali non sono sufficienti. Nel 2011, nella stessa categoria, sono stati aggiunti anche i campi a radiofrequenza (CRF, 30 kHz - 300 GHz) in seguito a casi di neurinoma del nervo acustico con l’uso del cellulare (International Agency for Research on Cancer, 2013).

## 7. DESCRIZIONE E UBICAZIONE DELLE OPERE A TERRA

Le opere a terra del progetto sono deputate al trasporto, trasformazione e consegna alla Rete di Trasmissione Nazionale dell'energia elettrica prodotta. Esse sono differenziabili in:

- punto di giunzione, TJB;
- elettrodotto interrato 66 kV;
- sottostazione di trasformazione;
- elettrodotto interrato 380 kV;
- sottostazione di misura e consegna;
- elettrodotto interrato di connessione 380 kV.

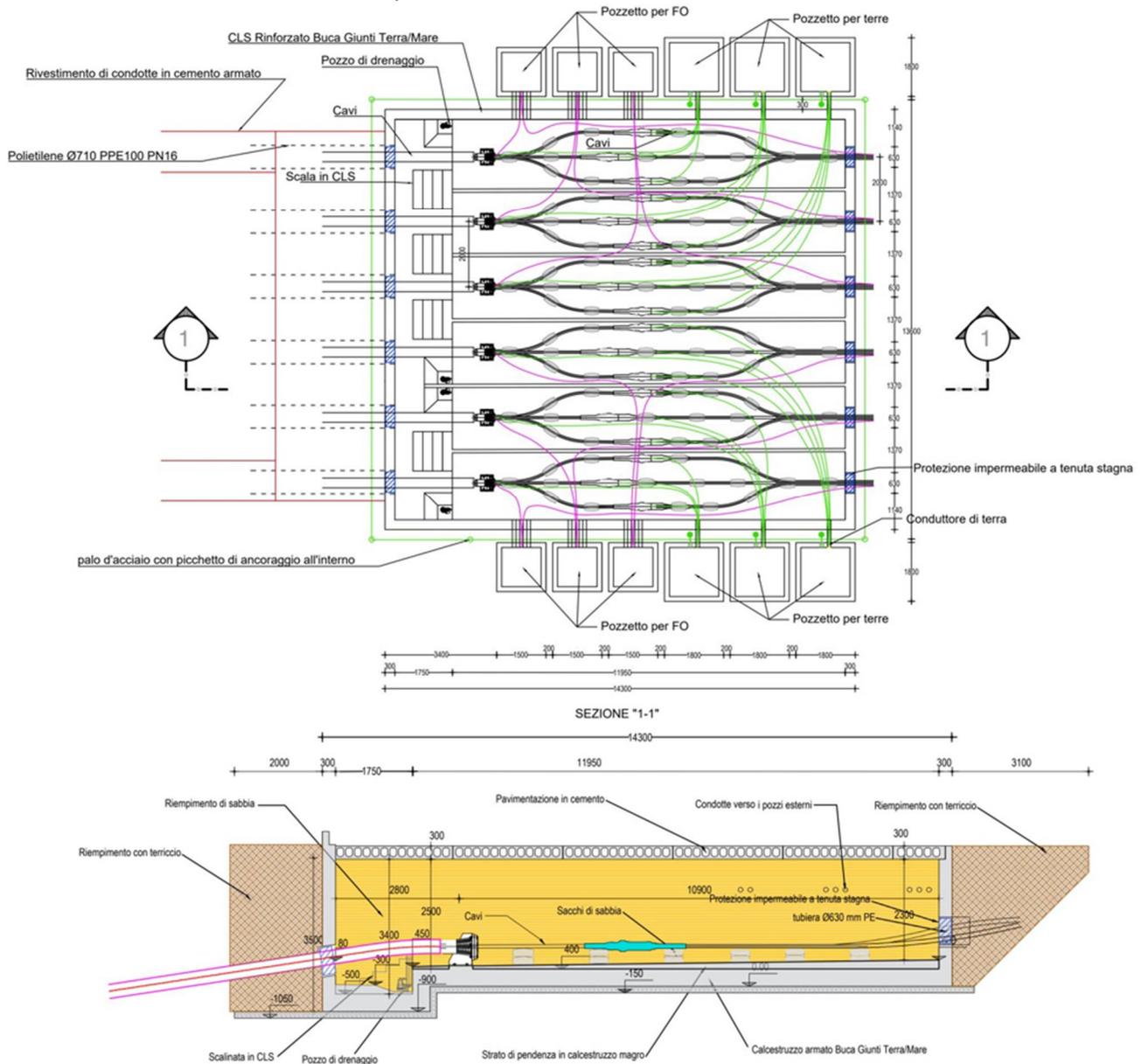


**Figura 7.1 – Opere a terra.**  
Elaborazione iLStudio.

### 7.1. Punto di giunzione

La transizione elettrica tra le sezioni offshore e onshore del progetto si effettua in corrispondenza del punto di giunzione nel quale si prevede appunto la realizzazione di una Transition Joint Bay (TJB). Questa, assimilabile ad un pozzetto tecnico in calcestruzzo, ospita i giunti tra i cavi di esportazione marini (tripolari) e quelli terrestri (sei terne di conduttori unipolari). Il punto di giunzione sarà realizzato in un'area distante circa 220 m dalla linea di battigia e insisterà su una superficie di circa 17.2 m di larghezza, 14.3 m di lunghezza e circa 4 m di profondità, con pavimento e pareti in calcestruzzo. Il layout generale della TJB è mostrato nella successiva Figura 7.2.

**PUNTO DI GIUNZIONE (TJB)**  
Caratteristiche dimensionali, layout e condizioni di posa del punto di giunzione  
per la transizione elettrica mare – terra



**Figura 7.2 – Punto di giunzione.**

Caratteristiche dimensionali, layout e tipici di posa della Transition Joint Bay (TJB) per la transizione dell'elettrodotto marino a quello terrestre. Elaborazione iLStudio.

## 7.2. Elettrodotto interrato 66kV

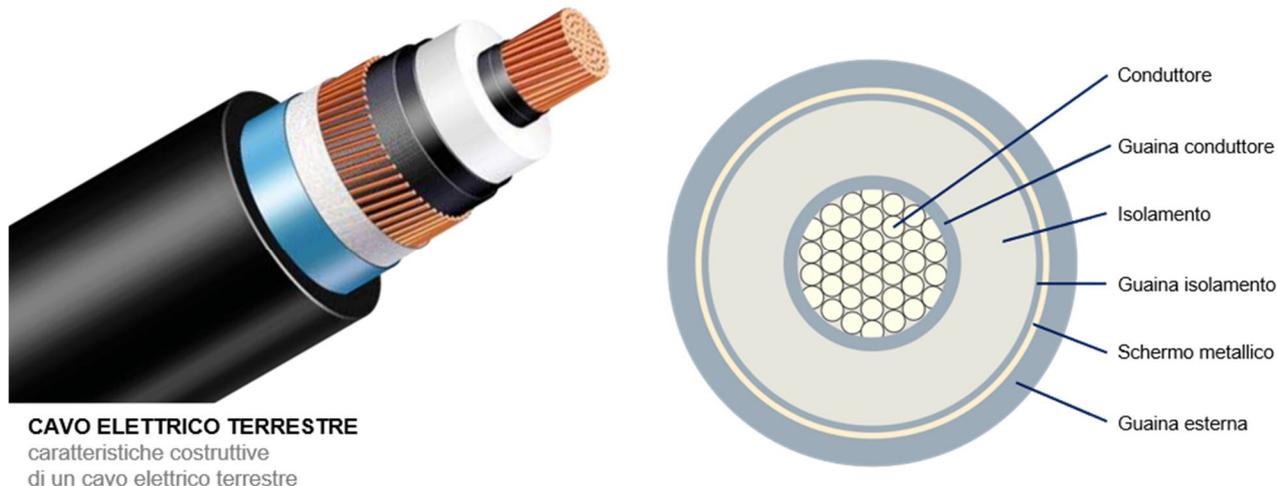
In uscita dalla TJB sei terne di cavi unipolari 66 kV posati a trifoglio trasporteranno l'energia prodotta fino alla sottostazione di trasformazione (66 kV – 380 kV). L'elettrodotto in cavo interrato copre una distanza di circa 400 m. Il percorso cavi dal punto di giunzione alla sottostazione di trasformazione si differenzia per modalità di posa. Si possono distinguere 2 differenti modalità di posa:

- posa in TOC (trivellazione orizzontale controllata);
- posa in trincea.

### 7.2.1. Aspetti costruttivi del cavo

La struttura del cavo prevede in generale:

- conduttore elettrico (in rame);
- isolamento elettrico;
- guaina del conduttore;
- schermo metallico;
- guaina esterna.



**CAVO ELETTRICO TERRESTRE**  
caratteristiche costruttive  
di un cavo elettrico terrestre

**Figura 7.3 – Costruzione tipica di un cavo terrestre unipolare.**  
Elaborazione iLStudio.

### 7.2.2. Caratteristiche elettriche del cavo

Le terne di esportazione terrestre a 66 kV sono dimensionate alla portata elettrica determinata al livello operativo di tensione (66 kV) e alla potenza nominale dell'impianto ed in particolare dei sottocampi (90 MW per i sottocampi che raggruppano n.5 aerogeneratori e 72 MW per i sottocampi che raggruppano n.4 aerogeneratori). Le principali caratteristiche elettriche del cavo sono riportate in tabella.

**Tabella 7.1 – Caratteristiche elettriche e dimensionali dell'elettrodotto terrestre di esportazione 66 kV.**

<b>CAVO DI ESPORTAZIONE 66 kV</b>	
Tensione elettrica operativa	66 kV AC
Frequenza operativa	50 Hz
Sezione elettrica	800 mm <sup>2</sup> (rame)
Diametro esterno del cavo	67.9 mm
Lunghezza	~ 400 m

### 7.2.3. Posa e protezione dell'elettrodotto

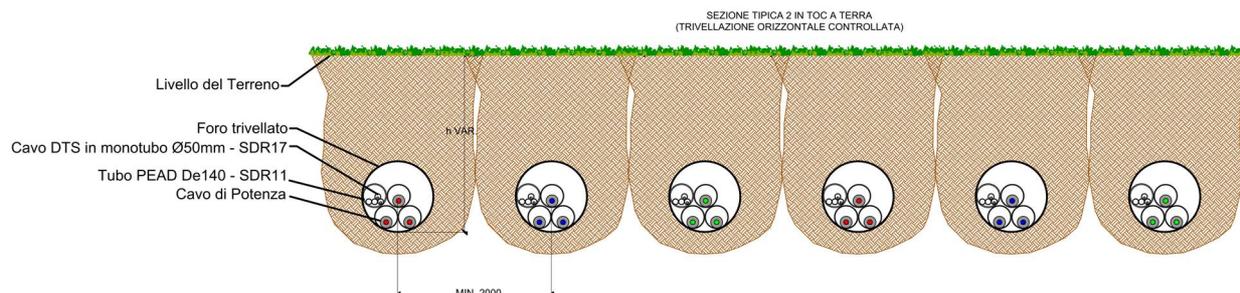
L'elettrodotto terrestre sarà installato in modo da garantire adeguata protezione da aggressioni meccaniche sia durante le fasi di installazione sia durante la successiva fase di esercizio. Aggressioni di tipo meccanico possono verificarsi in generale durante le attività di trasporto, manipolazione, tiro e posa, per tal motivo, durante l'intera fase di installazione, sarà necessario esaminare il cavo per verificarne l'integrità strutturale. La costruzione del cavo dovrà invece garantire, oltre alla resistenza meccanica, anche adeguata resistenza alla corrosione chimica, elettrochimica e galvanica in relazione alle condizioni ambientali previste e per l'intera vita utile dell'opera. Sarà infine richiesta idonea protezione e segnalamento dei cavi per evitare danneggiamenti durante le operazioni di manutenzione, costruzione e scavo ragionevolmente prevedibili sulle sedi interessate

dall'elettrodotto. In generale, la tipologia di posa del cavo tiene conto di aspetti molteplici tra cui:

- l'ampiezza dell'area di lavoro disponibile,
- le condizioni del sottosuolo,
- l'eventuale presenza di altri sottoservizi,
- l'eventuale prossimità a fonti di calore.

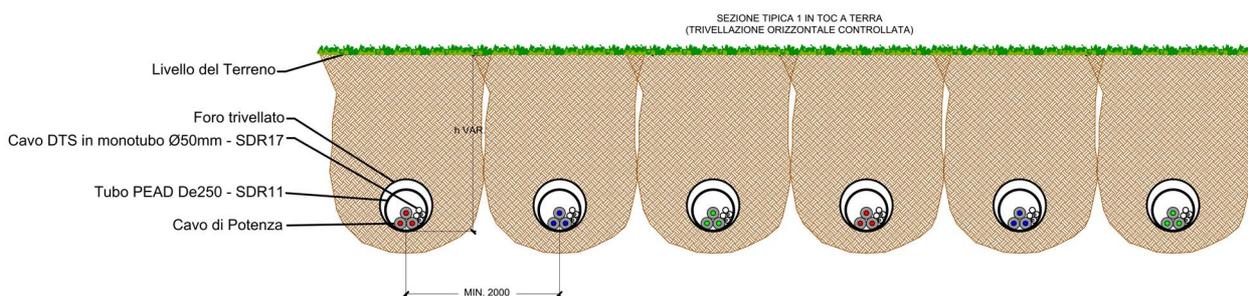
Il progetto prevede sostanzialmente due tipologie di posa, in trincea o interrata in controtubo con metodologia TOC, opportunamente progettate in riferimento alle caratteristiche locali di posa (es. posa interrata su sede stradale, posa interrata su terreno, etc.).

Di seguito sono mostrati i tipici di posa che verranno impiegati per l'installazione dell'elettrodotto terrestre di esportazione a 66 kV: la tecnica di scavo con TOC sarà impiegata dove necessario (ad esempio in corrispondenza di passaggi attraverso linee ferroviarie) adottando una soluzione con controtubi o singolo controtubo (Figura 7.4 e Figura 7.5); la posa in trincea con impiego di controtubi sarà invece realizzata all'ingresso e all'uscita degli scavi con TOC (Figura 7.6); per la restante parte del tracciato sarà realizzata la posa in trincea dei cavi senza l'impiego dei controtubi (con riempimento di cemento magro o sabbie vagliate, Figura 7.7). Per maggiori approfondimenti da parte degli Enti Competenti (art. 24 D.lgs. 152/2006) e della Commissione PNRR-PNIEC, si rimanda all'elaborato grafico di progetto dal titolo "Parco eolico offshore - Schema di connessione e sezioni tipiche a terra" cod. C0123ET01SCHCON00.



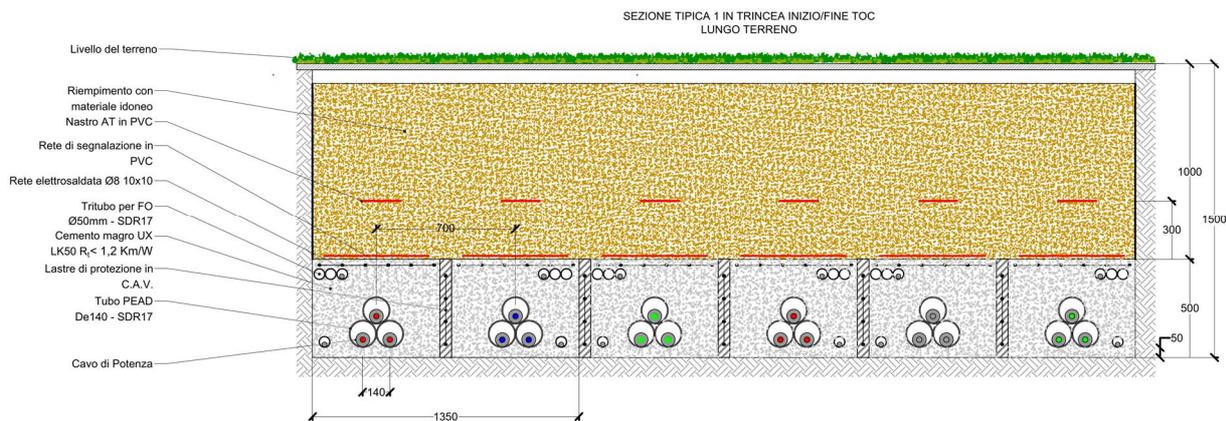
**Figura 7.4 – Sezione tipica in TOC con controtubi – terne 66 kV.**

Elaborazione iLStudio.



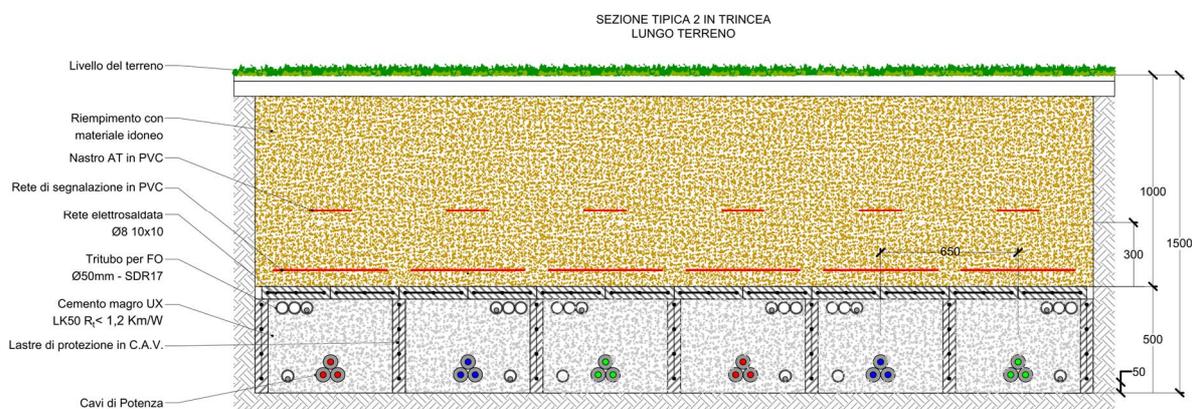
**Figura 7.5 – Sezione tipica in TOC con singolo controtubo – terne 66 kV.**

Elaborazione iLStudio.



**Figura 7.6 – Sezione tipica in trincea inizio/fine TOC – terne 66 kV.**

Elaborazione iLStudio.



**Figura 7.7 – Sezione tipica in trincea – terne 66 kV.**

Elaborazione iLStudio.

### 7.3. Sottostazione di trasformazione

Per la connessione dell'impianto eolico alla rete AAT RTN/Terna si rende necessaria la realizzazione di una nuova sottostazione di trasformazione che permetta il passaggio dalla tensione del parco eolico (66 kV) a quella di rete (380 kV). La sottostazione si compone di tutte le apparecchiature necessarie all'interfaccia con la RTN e quelle per la compensazione della potenza reattiva per mantenere l'impianto in ogni condizione di funzionamento secondo le prescrizioni del codice di rete.

Di seguito si descrivono le opere elettriche per l'elevazione della tensione da 66 kV a 380 kV.

La sottostazione trasformazione è costituita da:

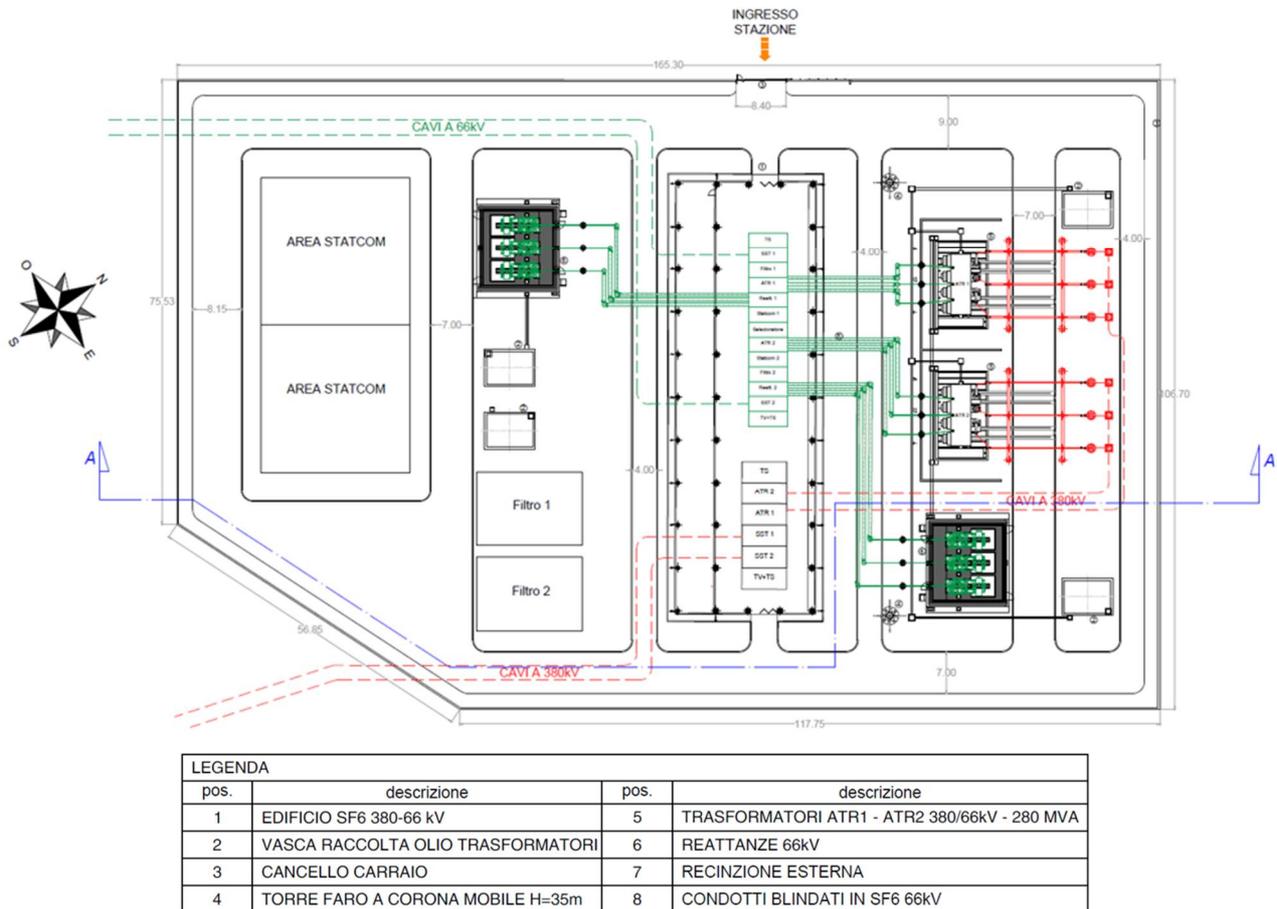
- n.1 sistema a doppia sbarra con sezionatori di terra 380 kV;
- n.2 ATR 380/66 kV con potenza di 280 MVA;
- n.2 stalli linea 380 kV in Cavo in uscita;
- n.2 sistema sbarre 66 kV;
- n.2 stalli linea 66 kV in Cavo lato produzione in ingresso ;
- n.2 stalli 66 kV reattori di compensazione;
- n.2 reattori di compensazione;
- n.2 filtri potenza reattiva;
- nell'edificio di stazione: quadri BT, servizi ausiliari e generali e i quadri del sistema di automazione, comando e controllo della stazione.

In aggiunta, per quanto riguarda le opere civili, si riportano:

- fondazioni per le apparecchiature da installare;
- piazzale AT, inclusi cordoli di contenimento, opere di convogliamento pluviale, lastrico stradale ed isolamento superficiale;
- cunicoli cavi;
- edificio GIS, supervisione e controllo.

All'interno dell'area della sottostazione elettrica trasformazione è realizzato un edificio atto a contenere le apparecchiature di potenza e controllo della sottostazione stessa, le apparecchiature di misura dell'energia elettrica, i quadri di comando e controllo, gli apparati di teleoperazione, i servizi per il personale di manutenzione, le batterie, i quadri BT c.c. e BT c.a. per l'alimentazione dei servizi ausiliari ed il gruppo elettrogeno d'emergenza. Tutte le apparecchiature saranno ubicate all'interno di un'area, il cui perimetro è reso inaccessibile da recinzione e doppio cancello carrabile.

La connessione con la sottostazione elettrica di misura e consegna sarà effettuata con un elettrodotto di esportazione interrato costituito da una doppia terna di cavi unipolari 380kV posati a trifoglio.



**Figura 7.8 – Planimetria elettromeccanica della sottostazione elettrica di trasformazione.**

Elaborazione iLStudio.

## 7.4. Elettrodotto interrato 380kV

In uscita dalla sottostazione di trasformazione 66-380 kV, una singola terna ridondata di cavi unipolari posati a trifoglio trasporterà l'energia prodotta fino alla stazione di misura e consegna di Tarquinia. L'elettrodotto in cavo interrato copre una distanza di circa 8.6 km.

Il percorso cavi dalla sottostazione di trasformazione a quella di misura e consegna si differenzia per modalità di posa in funzione delle caratteristiche del tratto stradale attraversato. Si possono distinguere 2 differenti

modalità di posa:

- posa in TOC (trivellazione orizzontale controllata);
- posa in trincea.

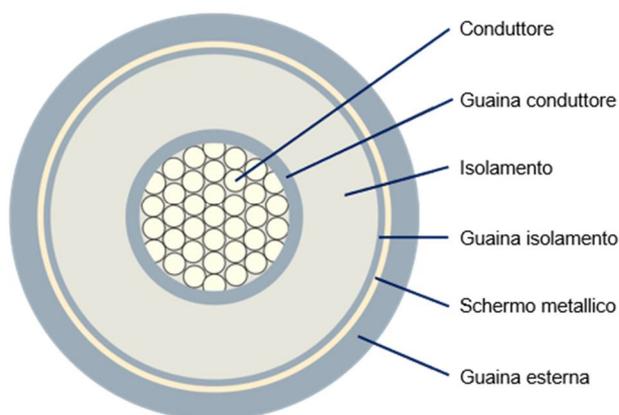
### 7.4.1. Aspetti costruttivi del cavo

La struttura del cavo prevede in generale:

- conduttore elettrico (in rame);
- isolamento elettrico;
- guaina del conduttore;
- schermo metallico;
- guaina esterna.



**CAVO ELETTRICO TERRESTRE**  
caratteristiche costruttive  
di un cavo elettrico terrestre



**Figura 7.9 – Costruzione tipica di un cavo terrestre unipolare.**  
Elaborazione iLStudio.

### 7.4.2. Caratteristiche elettriche del cavo

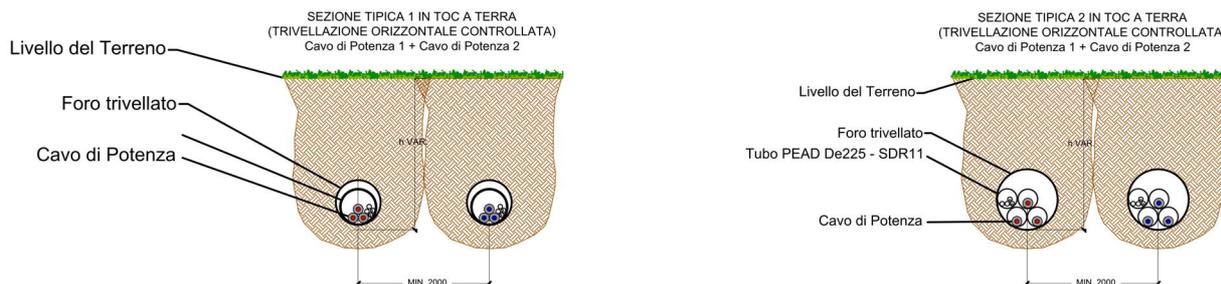
La singola terna di esportazione terrestre a 380 kV è dimensionata alla portata elettrica determinata al livello operativo di tensione (380 kV) e alla potenza nominale dell'impianto 504 MW. In questo modo la seconda terna risulta normalmente fuori servizio e di riserva in caso di guasto della prima linea. Le principali caratteristiche elettriche del cavo sono riportate in tabella.

**Tabella 7.2 – Caratteristiche elettriche e dimensionali dell'elettrodotto terrestre di esportazione 380 kV.**

<b>CAVO DI ESPORTAZIONE 380 kV</b>	
Tensione elettrica operativa	380 kV AC
Frequenza operativa	50 Hz
Sezione elettrica	1200 mm <sup>2</sup> (rame)
Diametro esterno del cavo	115 mm
Lunghezza	~ 8.6 km

### 7.4.3. Posa e protezione dell'elettrodotto

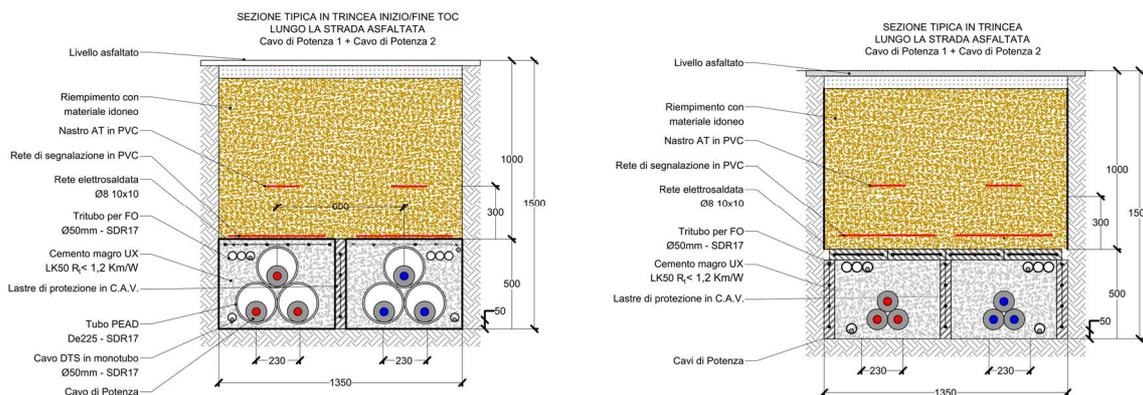
Fermo restando quanto riportato relativamente alla protezione e segnalamento dei cavi, di seguito sono mostrati i tipici di posa che verranno impiegati per l'installazione dell'elettrodotto terrestre di esportazione a 380 kV: anche in questo caso la tecnica di scavo con TOC sarà impiegata dove necessario adottando una soluzione con controtubi o singolo controtubo (Figura 7.10).



**Figura 7.10 – Sezione tipica in TOC con singolo controtubo (sx) o con controtubi (dx) – terne 380 kV.**

Elaborazione iLStudio.

La posa in trincea con impiego di controtubi sarà realizzata all'ingresso e all'uscita degli scavi con TOC (Figura 7.11 sx); per la restante parte del tracciato sarà realizzata la posa in trincea dei cavi senza l'impiego dei controtubi (con riempimento di cemento magro o sabbie vagliate, Figura 7.11 dx). Per maggiori approfondimenti da parte degli Enti Competenti (art. 24 D.lgs. 152/2006) e della Commissione PNRR-PNIEC, si rimanda all'elaborato grafico di progetto dal titolo "Parco eolico offshore - Schema di connessione e sezioni tipiche a terra" cod. C0123ET01SCHCON00.



**Figura 7.11 – Sezione tipica in trincea (a sx inizio/fine TOC) – terne 380 kV.**

Elaborazione iLStudio.

## 7.5. Sottostazione di misura e consegna

Il seguente paragrafo ha lo scopo di descrivere la sottostazione di misura e consegna ubicata nel comune di Tarquinia, nei pressi della vicina stazione di Terna "Aurelia".

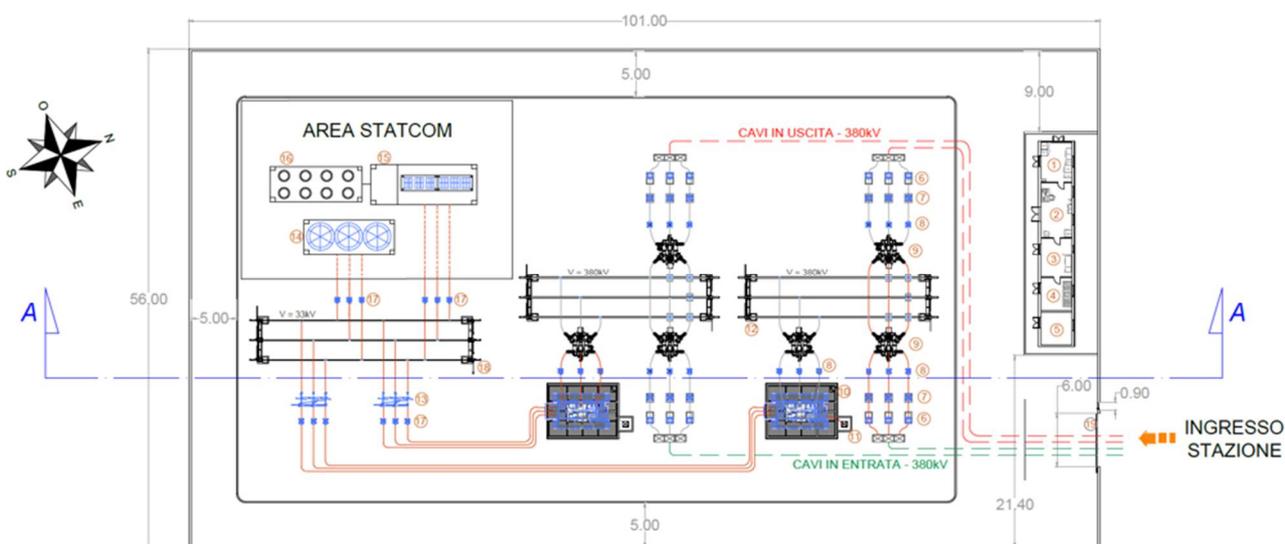
Di seguito si descrivono le opere elettriche per la misura e la consegna dell'energia elettrica in rete RTN/Terna (Rete di Trasmissione Nazionale Terna).

La sottostazione misura e consegna è costituita da:

- n.2 terminali cavi 380 kV e apparecchiature di protezione 380 kV;
- n.1 edificio comandi e servizi ausiliari;
- n.1 edificio per punti di consegna BT o MT;
- n.2 trasformatori AT/MT;
- n.6 montanti linea 380 kV (2 arrivo parco, 2 partenza consegna stazione Aurelia e 2 trasformatori);
- n.1 sistema STATCOM;

- n.1 stallo MT;
- n.2 stalli AAT;
- n.2 interruttore MT;
- n. 12 scaricatori MT;
- n.18 scaricatori AAT;
- chioschi per apparecchiature elettriche;
- n.2 terne di cavi a 380kV dall’uscita della sottostazione fino a RTN Terna “Aurelia”.

L’edificio della sala gestione sarà formato da un unico corpo e sarà destinato a contenere i quadri di comando e controllo della cabina di consegna, gli apparati di teleoperazione e i vettori, le batterie, i quadri B.T. in c.c. e c.a. per l’alimentazione dei servizi ausiliari ed il gruppo elettrogeno d’emergenza. L’edificio comandi e servizi ausiliari conterrà anche le apparecchiature per la sincronizzazione della rete elettrica del parco eolico offshore ed i sistemi di telecomunicazione.



LEGENDA					
pos.	descrizione	pos.	descrizione	pos.	descrizione
1	SALA CONTROLLO	8	SCARICATORI AT	14	REATTANZE SHUNT MT
2	SALA TELEGESTIONE	9	MODULO PASS MOS - (INT+SEZ+TA)	15	S.V.S. MT
3	LOCALE MISURE	10	TRASFORMATORE MT/AT	16	SISTEMA DI RAFFREDDAMENTO
4	LOCALE QUADRI AUX	11	NEUTRO TRASFORMATORE	17	SCARICATORI MT
5	A DISPOSIZIONE	12	ISOLATORE SBARRE AT	18	ISOLATORE SBARRE MT
6	TERMINALI CAVO AT	13	INTERRUTTORE MT	19	CANCELLO CARRAIO
7	ISOLATORE AT				

**Figura 7.12 – Planimetria elettromeccanica della sottostazione elettrica di misura e consegna.**

Elaborazione iLStudio.

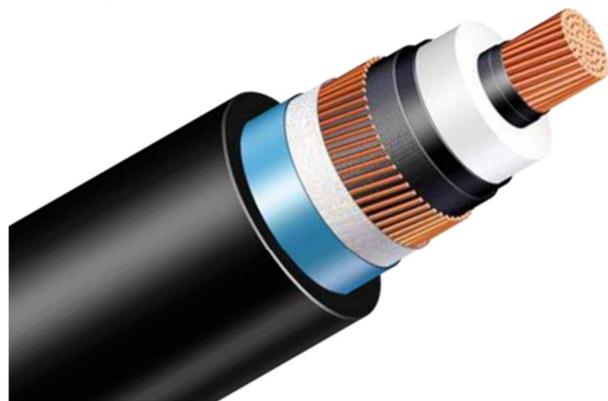
## 7.6. Elettrodotta interrato di connessione a 380kV, Oncc

L’elettrodotta avrà le stesse caratteristiche di quello di esportazione a 380 kV (Onec): sarà costituito da una singola terna ridondata di cavi unipolari posati a trifoglio. L’energia prodotta sarà trasportata fino alla adiacente stazione RTN TERNA Aurelia.

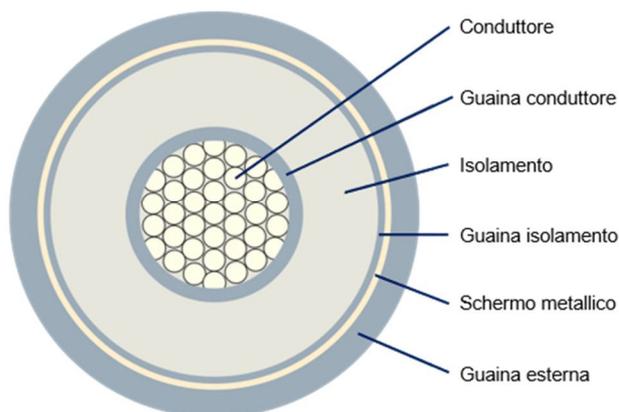
### 7.6.1. Aspetti costruttivi del cavo

La struttura del cavo prevede in generale:

- conduttore elettrico (in rame);
- isolamento elettrico;
- guaina del conduttore;
- schermo metallico;
- guaina esterna.



**CAVO ELETTRICO TERRESTRE**  
caratteristiche costruttive  
di un cavo elettrico terrestre



**Figura 7.13 – Costruzione tipica di un cavo terrestre unipolare.**  
Elaborazione iLStudio.

### 7.6.2. Caratteristiche elettriche del cavo

Così come per l'elettrodotto di esportazione a 380 kV, la singola terna di connessione a 380 kV è dimensionata alla portata elettrica determinata al livello operativo di tensione (380 kV) e alla potenza nominale dell'impianto 504 MW, in modo tale da garantire la ridondanza in caso di guasto di una delle linee. Le principali caratteristiche elettriche del cavo sono riportate in tabella.

**Tabella 7.3 – Caratteristiche elettriche e dimensionali dell'elettrodotto terrestre di connessione 380 kV.**

<b>CAVO DI ESPORTAZIONE 380 kV</b>	
Tensione elettrica operativa	380 kV AC
Frequenza operativa	50 Hz
Sezione elettrica	1200 mm <sup>2</sup> (rame)
Diametro esterno del cavo	115 mm
Lunghezza	~ 200 m

### 7.6.3. Posa e protezione dell'elettrodotto

Per quanto concerne gli aspetti relativi alla protezione, segnalamento dei cavi e tipici di posa si faccia riferimento a quanto riportato nei paragrafi precedenti.

## 8. MODELLI DI CALCOLO

Nell'ambito della quantificazione del campo elettrico e magnetico indotto, delle DPA e fasce di rispetto, per la fase di calcolo si è fatto utilizzo di modelli bidimensionali suggeriti dalle seguenti normative e riportati nel presente capitolo.

- CEI 211-4 “Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee e stazioni elettriche”;
- CEI 106-11 “Guida per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti secondo le disposizioni del DPCM 8 luglio 2003 (Art. 6) - Parte 1: Linee elettriche aeree e in cavo”.

### 8.1. Campo elettrico

La verifica di compatibilità del campo elettrico ai fini dell'esposizione umana sarà condotta solo in relazione ai tratti di elettrodotto fuori terra, ove e se previsti.

Indicando cioè con  $x_i$  e  $y_i$  le coordinate dell' $i$ -esimo conduttore sul piano ortogonale allo stesso, le componenti spaziali del vettore del campo elettrico  $E_x(x_p, y_p, t)$ ,  $E_y(x_p, y_p, t)$  ed  $E_z(x_p, y_p, t)$  nel punto  $P$  di coordinate  $x_p$  e  $y_p$  possono essere scritte nella forma:

$$\begin{cases} E_x(x_p, y_p, t) = \frac{1}{2\pi\epsilon} \sum_i \lambda_i(t) \left[ \frac{x_p - x_i}{(x_p - x_i)^2 + (y_p - y_i)^2} - \frac{x_p - x_i}{(x_p - x_i)^2 + (y_p + y_i)^2} \right] \\ E_y(x_p, y_p, t) = \frac{1}{2\pi\epsilon} \sum_i \lambda_i(t) \left[ \frac{y_p - y_i}{(x_p - x_i)^2 + (y_p - y_i)^2} - \frac{y_p - y_i}{(x_p - x_i)^2 + (y_p + y_i)^2} \right] \\ E_z(x_p, y_p, t) = 0 \end{cases} \quad \text{eq. (2)}$$

in cui  $\lambda_i(t)$  è la densità lineare di carica sul conduttore  $i$ -esimo. Nel caso specifico delle linee elettriche, in presenza di correnti e tensioni sinusoidali, conviene riscrivere l'eq. (2) nei termini dei valori efficaci dei fasori delle tensioni. In questo modo si può ottenere il valore efficace del campo elettrico nella forma:

$$E(x_p, y_p) = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2} \quad \text{eq. (3)}$$

in cui  $E_x$ ,  $E_y$  ed  $E_z$  sono i valori efficaci delle componenti spaziali del campo ottenuti in riferimento ai fasori dei valori efficaci delle tensioni nei conduttori.

### 8.2. Campo magnetico indotto

Il calcolo del campo magnetico indotto è effettuato in relazione alle caratteristiche geometriche, meccaniche ed elettriche della linea.

Il modello di calcolo normalizzato per l'induzione magnetica nella generica sezione trasversale di una linea elettrica riportato nella norma CEI 211-4 (nonché CEI 106-11) è un modello bidimensionale basato sull'applicazione della legge di Biot-Savart a valle della quale è possibile applicare la sovrapposizione degli effetti per le diverse fasi supposte simmetriche ed equilibrate in ogni istante di tempo.

Le ipotesi di validità del modello sono:

- tutti i conduttori sono considerati rettilinei, paralleli, orizzontali e di lunghezza infinita;
- le correnti sono considerate concentrate negli assi centrali dei conduttori in cavo;
- 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.

<b>PARCO EOLICO OFFSHORE AL LARGO DELLE COSTE DI CIVITAVECCHIA</b> PROGETTO DEFINITIVO		
<b>Relazione tecnica – Emissioni elettromagnetiche a terra</b>		
Codice documento: <b>C0123YR00EMFTER00a</b>	Data emissione: <b>Luglio 2023</b>	Pagina <b>22 di 29</b>

La procedura di calcolo si svolge secondo i seguenti step:

- si considera il fasore del valore efficace della corrente sinusoidale sull'*i*-esimo conduttore. Nello specifico, il valore efficace dell'intensità di corrente da utilizzare è quello corrispondente alla portata in regime permanente, così come definito nella norma CEI 11-17 (nonché CEI 20-21);
- per un generico punto *P* sul piano ortogonale agli assi dei conduttori, si valutano i fasori dei valori efficaci delle componenti spaziali dell'induzione magnetica  $B_x$  e  $B_y$  e  $B_z$  attraverso le relazioni in eq. (4):

$$\begin{cases} B_x(x_p, y_p) = \frac{\mu_0}{2\pi} \sum_i I_i \left[ \frac{y_i - y_p}{(x_p - x_i)^2 + (y_p - y_i)^2} \right] \\ B_y(x_p, y_p) = \frac{\mu_0}{2\pi} \sum_i I_i \left[ \frac{x_p - x_i}{(x_p - x_i)^2 + (y_p - y_i)^2} \right] \\ B_z(x_p, y_p) = 0 \end{cases} \quad \text{eq. (4)}$$

- per il generico punto *P*, si valuta il valore efficace dell'induzione magnetica *B* in accordo all'eq. (5)

$$B(x_p, y_p) = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2} \quad \text{eq. (5)}$$

Nelle precedenti,  $B_x$ ,  $B_y$  e  $B_z$  sono i valori efficaci delle componenti spaziali del vettore induzione magnetica,  $\mu_0$  la permeabilità magnetica nel vuoto,  $I_i$  il fasore del valore efficace della corrente nel conduttore *i*-esimo,  $x_i$ ,  $y_i$ ,  $x_p$  e  $y_p$  le coordinate degli assi dei conduttori e del generico punto *P* sul piano trasversale all'asse del sistema cavi considerato.

## **9. EMISSIONI ELETTROMAGNETICHE PREVISTE**

---

I contenuti utili al pubblico per la Valutazione di Impatto Ambientale (art. 24 D.lgs. 152/2006) sono riportati nello Studio di Impatto Ambientale, cod. C0123YR00RELSIA00.

---

## **10. MISURE PER LA RIDUZIONE DEL CAMPO MAGNETICO INDOTTO**

---

I contenuti utili al pubblico per la Valutazione di Impatto Ambientale (art. 24 D.lgs. 152/2006) sono riportati nello Studio di Impatto Ambientale, cod. C0123YR00RELSIA00.

## **11. PIANO DI MONITORAGGIO**

---

Scopo del monitoraggio consiste nel verificare che il campo elettromagnetico generato dalle opere in progetto per cui siano presenti conduttori percorsi da corrente sia conforme a quanto dettato dalla legge (DPCM 08/07/2003).

Con tale obiettivo, durante la fase di esercizio è prevista l'esecuzione di una misurazione dei livelli di campo elettromagnetico, verificando che questi risultino coerenti con le previsioni d'impatto stimate nello SIA, in considerazione delle condizioni di esercizio maggiormente gravose (massima produzione di energia elettrica, in funzione delle condizioni meteorologiche).

Si prevede eventualmente l'adozione di misure per la minimizzazione alle esposizioni.

### **11.1. Localizzazione delle aree di indagine e delle stazioni/punti di monitoraggio**

---

La rete di monitoraggio è costituita da stazioni periferiche di rilevamento, fisse o rilocabili installati in prossimità dei ricettori sensibili, le cui informazioni sono inviate ad un sistema centrale che provvede al controllo della operatività delle stazioni periferiche e alla raccolta, all'elaborazione ed all'archiviazione dei dati rilevati.

### **11.2. Programma di monitoraggio**

#### **11.2.1. Ante Operam**

---

In questa fase il monitoraggio ha durata di 12 mesi da realizzare prima dell'inizio dei lavori con cadenza mensile, in conformità alle indicazioni dettate dalle normative vigenti di settore a livello nazionale e comunitario.

#### **11.2.2. Corso d'opera**

---

Non sono previste attività di monitoraggio durante la realizzazione dell'opera.

#### **11.2.3. Post Operam**

---

Il monitoraggio post operam, coincidente con la fase di esercizio, è da effettuarsi continuativamente con intervalli temporali determinati dalle caratteristiche dell'ambiente. La durata di tali operazioni risulta non inferiore a 5 anni.

Nel momento in cui si procede alla dismissione dell'impianto, è prevista una misurazione 12 mesi prima e 12 mesi dopo le operazioni di dismissione.

---

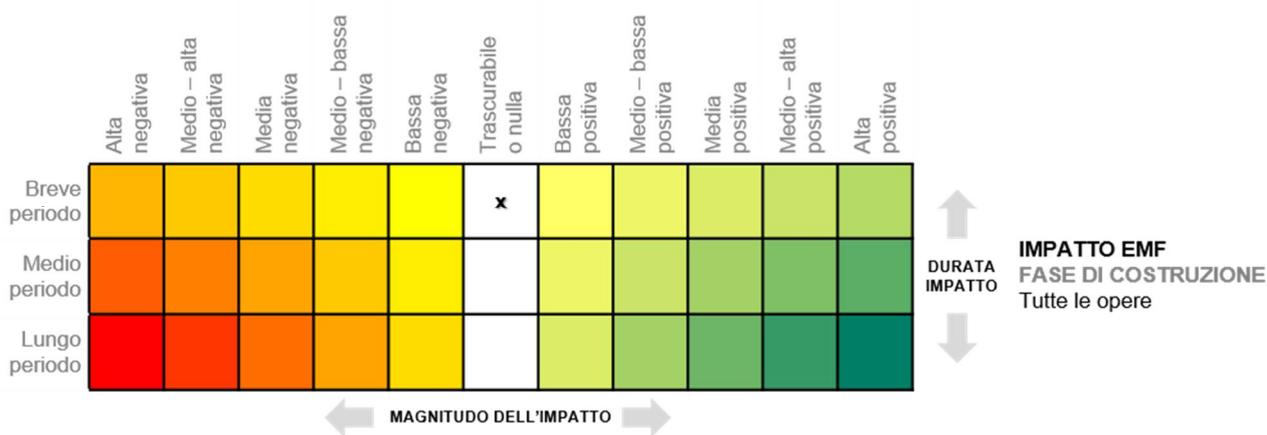
## 12. CONCLUSIONI

Il presente documento contiene la stima delle emissioni elettromagnetiche previste per quanto riguarda la componente a terra del progetto per la realizzazione del parco eolico offshore al largo delle coste di Civitavecchia. Le valutazioni sono state effettuate per tutte le opere in cui si prevedono, in fase di esercizio, conduttori percorsi da corrente elettrica. I calcoli sono stati effettuati secondo normativa CEI ed hanno tenuto conto di tutte le caratteristiche degli elettrodotti, così come della posizione dei possibili recettori rispetto all'ubicazione delle stesse.

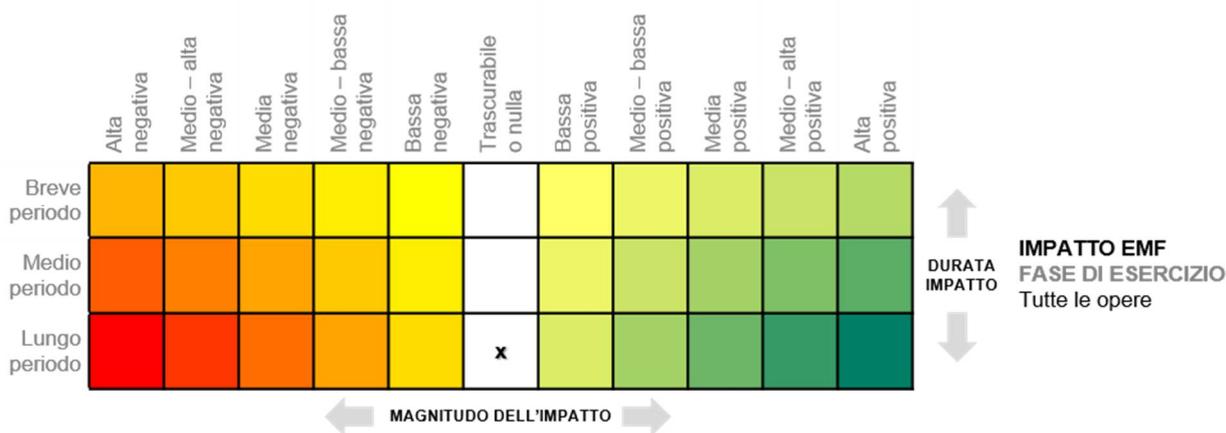
Le analisi effettuate hanno portato ad affermare che l'ubicazione delle opere elettriche risulta compatibile con l'obiettivo di qualità di 3 µT sancito dal DPCM 08/07/2003 per le aree gioco per l'infanzia, ambienti abitativi, ambienti scolastici e luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere.

A seguire si riportano comunque le matrici di impatto associate alle differenti fasi del progetto ed alle opere.

In **fase di costruzione** non sono previsti impatti legati alle emissioni elettromagnetiche imputabili alle infrastrutture elettriche onshore poiché inattive e non percorse da corrente fino all'entrata in esercizio dell'opera.

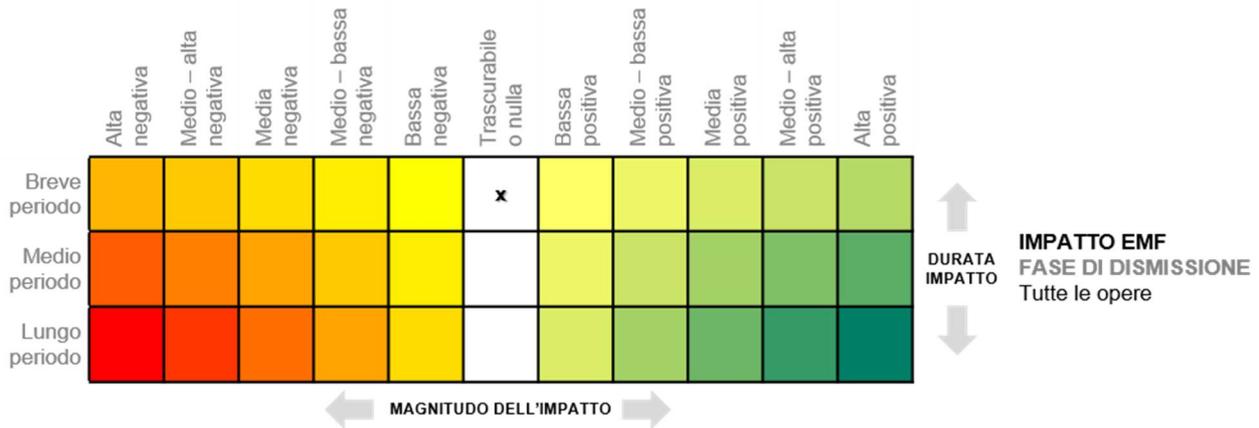


Per quanto concerne il campo elettromagnetico generato durante la **fase di esercizio** delle opere a terra, gli impatti relativi possono essere considerati trascurabili e di lungo periodo. Tale conclusione è prontamente giustificata se si tiene conto che l'opera deve necessariamente rispettare i limiti di esposizione dettati dalla legge italiana vigente, peraltro di gran lunga inferiori rispetto a quelli accettati a livello internazionale.



**Relazione tecnica – Emissioni elettromagnetiche a terra**

Anche per la **fase di dismissione** non sono previsti impatti legati alle emissioni elettromagnetiche imputabili alle infrastrutture elettriche onshore, poiché queste inattive e non più percorse da corrente. Per tale motivo, l'impatto in fase di dismissione è valutato nullo e di breve periodo.



## **RIFERIMENTI**

---

Ahlbom, A., Day, N. & Feychting, M., 2000. A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukaemia. *British Journal of Cancer*, Issue 83(5), pp. 692-698.

Does, M., Scélo, G. & Metayer, C., 2011. Exposure to electrical contact currents and the risk of childhood leukemia. *Radiation Research*, Issue 175(3), pp. 390-396.

International Agency for Research on Cancer, 2013. *Non-ionizing Radiation, Part 2: Radiofrequency Electromagnetic Fields*. Lyon, France: IARC.

Kleinerman, R., Kaune, W. & Hatch, E., 2000. Are children living near high-voltage power lines at increased risk of acute lymphoblastic leukemia?. *American Journal of Epidemiology*, Issue 151(5), pp. 512-515.

Lagroye, I. et al., 2011. ELF magnetic fields: Animal studies, mechanisms of action. *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, Issue 107(3), pp. 369-373.

Schüz, J., 2011. Exposure to extremely low-frequency magnetic fields and the risk of childhood cancer: Update of the epidemiological evidence. *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, Issue 107(3), pp. 339-342.

Wertheimer, N. & Leeper, E., 1979. Electrical wiring configurations and childhood cancer. *American Journal of Epidemiology*, Issue 109(3), pp. 273-284.

---

<b>PARCO EOLICO OFFSHORE AL LARGO DELLE COSTE DI CIVITAVECCHIA</b> PROGETTO DEFINITIVO		
<b>Relazione tecnica – Emissioni elettromagnetiche a terra</b>		
Codice documento: <b>C0123YR00EMFTER00a</b>	Data emissione: <b>Luglio 2023</b>	Pagina <b>29 di 29</b>

*Il presente documento, composto da n. 48 fogli è protetto dalle leggi nazionali e comunitarie in tema di proprietà intellettuali delle opere professionali e non può essere riprodotto o copiato senza specifica autorizzazione del Progettista.*

*Taranto, Luglio 2023*

*Dott. Ing. Luigi Severini*