



PROPONENTE

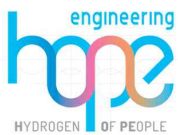


PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO OFFSHORE
NELLO STRETTO DI SICILIA - EUREKA WIND
38 WTG – 570 MW

PROGETTO DEFINITIVO - SIA

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

Progettazione e Studio di Impatto Ambientale



GEOWYND



Studio misure di mitigazione e compensazione



SIA.ES STUDI SPECIALISTICI

**ES.3.1 Valutazione Campi elettrici e magnetici
aree offshore**

REV.	DATA	DESCRIZIONE
00	07/24	1ª emissione



INDICE

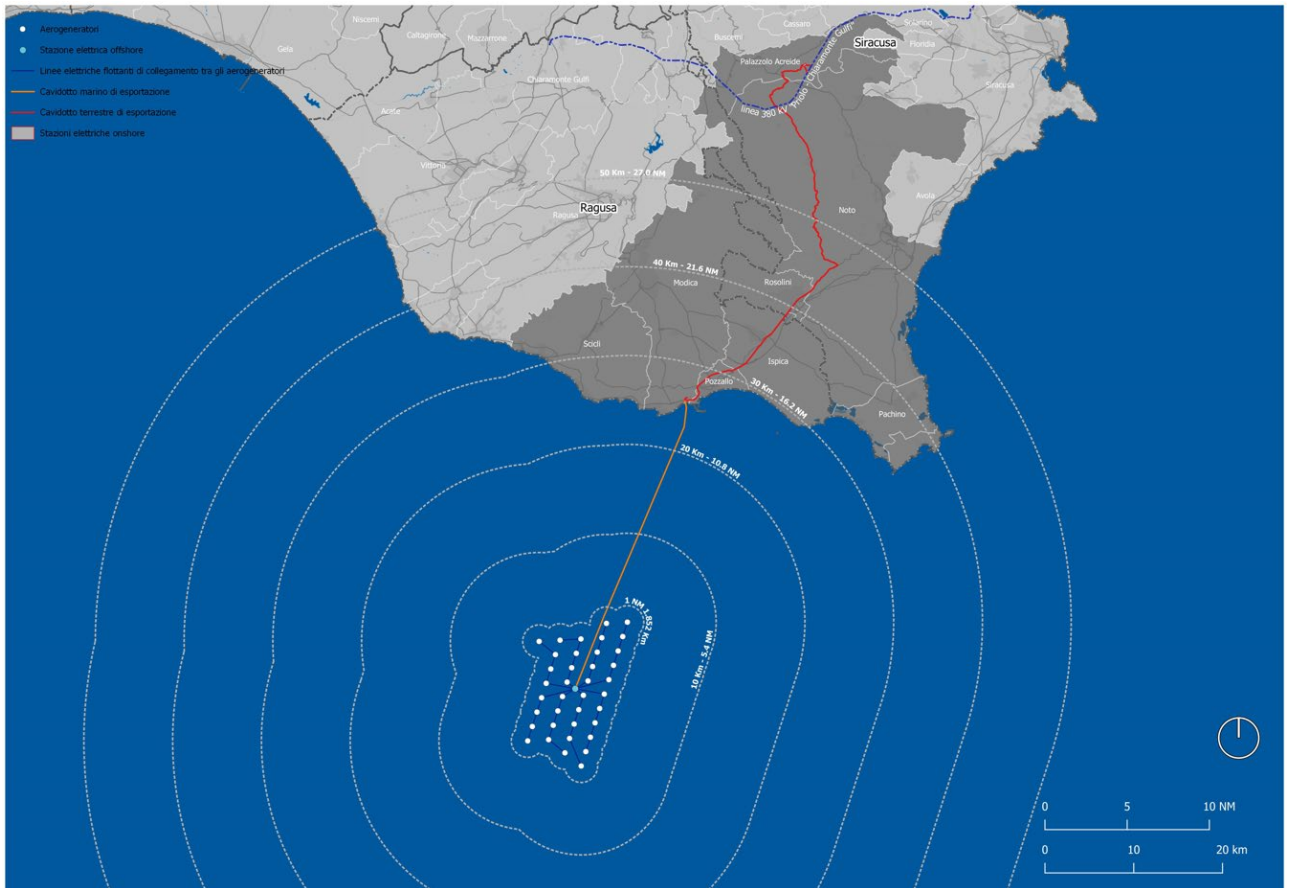
1	INTRODUZIONE	1
2	SCOPO DELLA RELAZIONE	3
3	DESCRIZIONE GENERALE DELLE OPERE OFFSHORE	4
4	LE EMISSIONI ELETTROMAGNETICHE	5
5	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	6
5.1	Norme tecniche	6
5.2	Legislazione comunitaria e italiana	6
6	VALUTAZIONE PREVENTIVA CAMPI ELETTRICI E MAGNETICI.....	7
6.1	Valutazione analitica dei campi elettromagnetici generati dagli elettrodotti	7
7	CAMPI ELETTRICI E MAGNETICI IN MARE.....	8
7.1	Modellizzazione CEM dei cavidotti di progetto	8
7.1.1	Cavi statici e dinamici a 66 kV.....	9
7.1.2	Cavi statici a 380 kV.....	10
8	EFFETTI DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI SUGLI ORGANISMI MARINI	12
9	BIBLIOGRAFIA.....	18

1 INTRODUZIONE

Il progetto di un impianto eolico offshore nasce da alcune considerazioni fondamentali:

- il nord Europa è leader mondiale nel settore dell'eolico offshore, al contrario, questa specifica tipologia di impianti, ha avuto scarso sviluppo nei paesi dell'area mediterranea. Questo a causa di numerosi fattori a carattere infrastrutturale, ambientale e paesaggistico che spesso hanno comportato una scarsa accettazione sociale di tale tipologia di impianti.
- Le tecnologie per la realizzazione di impianti eolici offshore sono ormai consolidate ed il costante progresso consente oggi di installare impianti in acque profonde con fondazioni flottanti e turbine sempre più performanti. Ciò determina la possibilità di realizzare impianti molto distanti dalla costa superando le principali criticità ambientali e paesaggistiche senza interferire con le ordinarie attività antropiche presenti sul territorio (turismo, pesca, navigazione, ecc).
- Lo sviluppo di impianti eolici offshore è fondamentale per poter raggiungere gli obiettivi della attuale programmazione strategica italiana ed europea in materia di generazione di energia da fonti rinnovabili e riduzione delle emissioni. Solo investendo su impianti eolici offshore con fondazioni galleggianti si potrà aumentare considerevolmente la potenza installata di impianti di generazione di energia da fonte rinnovabile superando tutte le problematiche che finora hanno ostacolato l'installazione di aerogeneratori nel Mar Mediterraneo.
- Oltre a considerare gli effetti positivi generali derivanti dalla produzione di energia da fonti rinnovabili in termini di decarbonizzazione è ampiamente dimostrato che la realizzazione di un impianto eolico in mare ha effetti importanti in termini di ripopolamento della fauna marina, d'altra parte la presenza di tali impianti rende impossibili altre forme di utilizzo o sfruttamento dell'area creando un'area marina protetta "di fatto". La realizzazione e la successiva fase di esercizio e manutenzione rappresentano inoltre una opportunità strategica per le aree limitrofe con effetti rilevanti per l'economia locale e l'occupazione.

Le considerazioni menzionate hanno portato la società proponente Eureka Wind Srl a definire la proposta progettuale di un impianto offshore per la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile eolica. L'impianto, denominato Eureka Wind, avrà una potenza nominale di 570 MW e sarà composto da 38 aerogeneratori installati su fondazioni flottanti, insieme a una sottostazione elettrica di trasformazione 66/400 kV montata su un jacket di tipo fisso. Entrambi saranno posizionati nello Stretto di Sicilia, precisamente nel Canale di Malta, in acque internazionali, sulla Piattaforma Continentale Italiana. Questa zona è situata di fronte ai comuni di Scicli, Modica, Pozzallo, Ispica, Pachino e Portopalo di Capo Passero.



Inquadramento dell'impianto eolico offshore galleggiante e isodistanze dagli aerogeneratori

2 SCOPO DELLA RELAZIONE

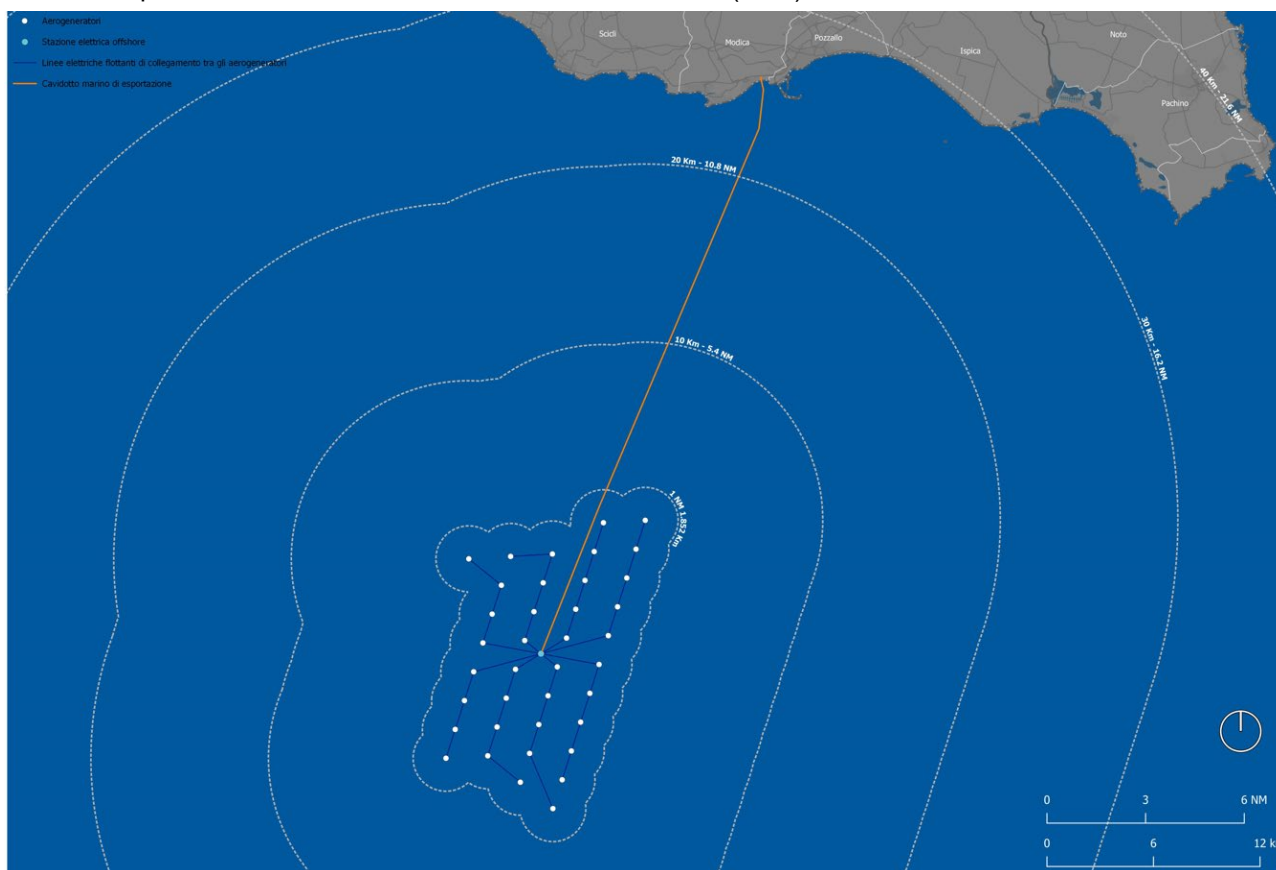
È ormai riconosciuto che le interazioni tra le sorgenti naturali e antropogeniche di campi elettrici e magnetici (CEM), come quelle prodotte dalle correnti nei cavi elettrici sottomarini, ad esempio quelli utilizzati per la trasmissione di elettricità associata all'eolico offshore (OSW) possono avere effetti sulle specie marine. Pertanto, i campi elettromagnetici sono talvolta considerati un rischio ambientale per le specie marine, tuttavia, c'è molta incertezza su come interagiscano i campi elettromagnetici associati ai cavi elettrici sottomarini e le specie marine. È quindi necessario approfondire tale tematica, così come fornire una corretta modellizzazione e misurazione dei CEM potenzialmente emessi dai cavi sottomarini di progetto per poter stimare il loro potenziale impatto sugli organismi marini elettro e magnetosensibili che popolano e transitano l'area di posa dei cavidotti.

La relazione ha lo scopo di descrivere le emissioni di campi elettromagnetici generati dai cavi elettrici sottomarini durante l'esercizio dell'impianto di rete e definire l'impatto elettromagnetico sulla fauna marina presente nell'area su cui sorgerà il parco eolico Eureka Wind.

3 DESCRIZIONE GENERALE DELLE OPERE OFFSHORE

I principali componenti dell'impianto per la parte offshore sono:

- **38 generatori eolici** installati su torri tubolari in acciaio e le relative fondazioni flottanti suddivisi in 8 sottocampi;
- **8 linee elettriche in cavo sottomarino flottante** di collegamento tra gli aerogeneratori e la stazione elettrica di raccolta e di trasformazione off-shore, con tutti i dispositivi di trasformazione di tensione e sezionamento necessari;
- **Una Stazione Elettrica Off-Shore (66/380 kV) (SE)**, ovvero tutte le apparecchiature elettriche (interruttori, sezionatori, TA, TV, ecc.) necessarie a raccogliere l'energia prodotta nei sottocampi eolici elevandone la tensione da 66 kV a 380 kV e alla compensazione della potenza reattiva prodotta dalla rete in cavo interrato sul fondale marino. La stazione elettrica marina sarà posizionata in posizione baricentrica rispetto al parco eolico, alla distanza minima di circa 32 Km pari a circa 17.3 miglia nautiche dalla terra ferma;
- **Un elettrodotto di esportazione in HVAC** della lunghezza di circa 35 km pari a circa 19 miglia nautiche, caratterizzato da un primo tratto in cavo marino a 400 kV, servirà per collegare l'impianto eolico alla Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) sulla terra ferma.



Rappresentazione sintetica delle opere offshore

4 LE EMISSIONI ELETTROMAGNETICHE

I campi elettromagnetici consistono in onde elettriche (E) e magnetiche (H) che viaggiano insieme. Esse si propagano alla velocità della luce, e sono caratterizzate da una frequenza e una lunghezza d'onda.

I campi ELF (Extremely Low Frequency) sono definiti come quelli di frequenza fino a 300 Hz. A frequenze così basse corrispondono lunghezze d'onda in aria molto grandi e, in situazioni pratiche, il campo elettrico e quello magnetico agiscono in modo indipendente l'uno dall'altro e vengono misurati e valutati separatamente.

I campi elettrici sono prodotti dalle cariche elettriche. Essi governano il moto di altre cariche elettriche che vi siano immerse. La loro intensità viene misurata in volt al metro (V/m) o in chilovolt al metro (kV/m). Quando delle cariche si accumulano su di un oggetto, fanno sì che cariche di segno uguale od opposto vengano, rispettivamente, respinte o attratte. L'intensità di questo effetto viene caratterizzata attraverso la tensione, misurata in volt (V). A ogni dispositivo collegato a una presa elettrica, anche se non acceso, è associato un campo elettrico che è proporzionale alla tensione della sorgente cui è collegato. L'intensità dei campi elettrici è massima vicino al dispositivo e diminuisce con la distanza. Molti materiali comuni, come il legno e il metallo, costituiscono uno schermo per questi campi.

I campi magnetici sono prodotti dal moto delle cariche elettriche, cioè dalla corrente. Essi governano il moto delle cariche elettriche. La loro intensità si misura in ampere al metro (A/m), ma è spesso espressa in termini di una grandezza corrispondente, l'induzione magnetica, che si misura in tesla (T), millitesla (mT) o microtesla (μ T). A ogni dispositivo collegato a una presa elettrica, se il dispositivo è acceso e vi è una corrente circolante, è associato un campo magnetico proporzionale alla corrente fornita dalla sorgente cui il dispositivo è collegato. I campi magnetici sono massimi vicino alla sorgente e diminuiscono con la distanza. Essi non vengono schermati dalla maggior parte dei materiali di uso comune e li attraversano facilmente.

Ai fini dell'esposizione della fauna marina ai CEM, considerando le caratteristiche fisiche delle grandezze elettriche in gioco in una linea AT (tensioni fino a 380.000 V, corrente alternata a frequenza di 50 Hz) i campi elettrici e magnetici sono da valutarsi separatamente perché disaccoppiati.

5 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

5.1 Norme tecniche

- CEI R014-001 “Guida per la valutazione dei campi elettromagnetici attorno ai trasformatori di potenza”;
- CEI 11-60” Portata al limite termico delle linee elettriche aeree esterne con tensione maggiore di 100 kV”;
- CEI 20-21 “Cavi elettrici - Calcolo della portata di corrente”;
- CEI 211-4 "Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati dalle linee e da stazioni elettriche”;
- CEI 11-17 “Impianti di produzione, trasmissione, distribuzione pubblica di energia elettrica - Linee in cavo”.

5.2 Legislazione comunitaria e italiana

- Direttiva Quadro sulla Strategia per l'Ambiente Marino (MSFD-2008/56/CE) del Parlamento Europeo, che promuove l'adozione di strategie complesse mirate alla salvaguardia dell'ecosistema marino per il raggiungimento del Buono Stato Ambientale (Good Environmental Status – GES);
- Decreto Legislativo del 13 ottobre 2010, n. 190, di recepimento della citata direttiva 2008/56/CE, che individua le azioni strategiche in materia di ambiente marino da realizzare nell'ambito della regione del Mar Mediterraneo e relative sottoregioni;
- Decreto del Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare del 15 febbraio 2019 (Gazzetta ufficiale n. 69 del 22 marzo 2019), recante” Aggiornamento della determinazione del buono stato ambientale delle acque marine e definizione dei traguardi ambientali”;
- Decreto del Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare del 2 febbraio 2021 (Gazzetta ufficiale n. 45 del 23-02-2021), recante” Aggiornamento dei programmi di monitoraggio coordinati per la valutazione continua dello stato ambientale delle acque marine”.

6 VALUTAZIONE PREVENTIVA CAMPI ELETTRICI E MAGNETICI

6.1 Valutazione analitica dei campi elettromagnetici generati dagli elettrodotti

La valutazione dei campi elettrici e magnetici a frequenza industriale è argomento della Norma CEI 211-4 “Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee e stazioni elettriche”, dalla quale sono state tratte tutte le ipotesi di calcolo. In particolare:

- tutti i conduttori costituenti la linea (sia i conduttori attivi sia i conduttori di guardia) sono considerati rettilinei, orizzontali, di lunghezza infinita e paralleli tra di loro; in base a queste ipotesi, si trascura la componente longitudinale dell’induzione magnetica; nella realtà, i conduttori suddetti si dispongono secondo una catenaria, ma la componente longitudinale non supera in genere il 10% delle altre componenti del campo, per cui l’errore che si commette, nel calcolo della risultante, è certamente inferiore, in percentuale, a questo valore;
- i conduttori sono considerati di forma cilindrica, con diametro costante disposti a fascio di 3 per fase; si suppone che la distanza tra i singoli conduttori a uguale potenziale sia piccola rispetto alla distanza tra i conduttori a diverso potenziale; si suppone inoltre che i conduttori appartenenti a un fascio siano uguali tra di loro e che, in una sezione normale del fascio, i loro centri giacciono su una circonferenza (circonferenza circoscritta al fascio); in base a queste ipotesi, si sostituisce al fascio di sub-conduttori un conduttore unico di opportuno diametro equivalente;
- il suolo è considerato piano, privo di irregolarità, perfettamente conduttore dal punto di vista elettrico, perfettamente trasparente dal punto di vista magnetico;
- si trascura l’influenza sulla distribuzione del campo dei tralicci stessi, di piloni di sostegno, degli edifici, della vegetazione e di qualunque altro oggetto che si trovi nell’area interessata, ovvero si calcola il campo imperturbato.

Le ipotesi suddette permettono di ridurre il calcolo del campo ad un problema piano, essendo, in questo caso, la distribuzione stessa uguale su qualunque sezione normale all’asse longitudinale della linea. A parità di altri fattori, l’accuratezza dei dati forniti è ovviamente tanto maggiore quanto più le condizioni reali sono aderenti a quelle sopra elencate.

7 CAMPI ELETTRICI E MAGNETICI IN MARE

Nel presente capitolo si effettua una disamina dei campi elettromagnetici lungo i cavi marini. Tale valutazione non è dovuta né alla necessità di individuare distanze di prima approssimazione o fasce di rispetto in mare, ma è atta a stimare indicativamente l'entità di tale radiazione elettromagnetica al fine di valutarne gli effetti che questa comporta sull'ecosistema marino.

La valutazione è effettuata nei riguardi degli elettrodotti e delle opere in ambiente marino per le connessioni tra gli aerogeneratori, tra questi e la Sottostazione offshore e tra essa e il punto di approdo nel territorio comunale di Modica.

La simulazione è stata condotta nei casi più gravosi che troviamo all'interno dei tracciati percorsi dagli elettrodotti sottomarini, descritti in seguito:

- Cavi statici e dinamici a 66 kV di collegamento tra gli aerogeneratori e la sottostazione di riferimento;
- Cavi statici a 380 kV di collegamento tra la sottostazione di trasformazione offshore e il punto di approdo a terra.

I cavi statici saranno fissi e interrati al di sotto della superficie del fondale marino ad una profondità di almeno 1,5 m o posati su di esso, con una protezione di gusci di ghisa laddove sono presenti biocostruzioni da preservare. Questi cavi saranno a stretto contatto con l'ambiente del fondale marino, abitato da specie bentoniche e demersali. I cavi dinamici, invece, si troveranno flottanti in acque libere e pertanto a maggior contatto con le specie pelagiche (Hutchison et al., 2020a, b).

La tipologia di corrente che transiterà nei cavidotti è di tipo alternato ed è noto che il campo magnetico creato dalla trasmissione di elettricità attraverso un cavo può essere modellato in modo relativamente semplice in base alle caratteristiche del materiale del cavo e alla potenza applicata (ad es. Hutchison et al., 2021). Tuttavia, il CEM totale che una specie incontrerà è più complesso. Include i campi elettromagnetici dei cavi, il campo geomagnetico locale e le interazioni tra l'ambiente idrodinamico e i campi bioelettrici (tutti questi interagiscono portando a effetti, positivi e negativi, a seconda delle proprietà del cavo (Hutchison et al., 2020a).

7.1 Modellizzazione CEM dei cavidotti di progetto

La valutazione del campo elettrico può essere omessa data la presenza di diversi strati di schermo collegati a terra attorno al conduttore che limita il campo elettrico stesso contenendolo all'interno della struttura stessa del cavo, ciò in accordo con gli studi e la letteratura scientifica disponibile a riguardo.

Il campo magnetico invece è proporzionale alla corrente che attraversa il cavo e non può essere schermato, d'altra parte decresce molto rapidamente con l'aumentare della distanza dai conduttori dell'elettrodotto.

Per il calcolo dei valori imperturbati del campo magnetico è stato utilizzato il software XGSA FD della XGSLAB Software.

La simulazione è stata condotta nei casi più gravosi che si possano trovare all'interno dei tracciati percorsi dagli elettrodotti sottomarini.

Tra le assunzioni preliminari fatte per condurre tale analisi vi è:

- $\rho_{(\text{acqua marina})} = 0,2 \Omega\text{m}$;
- $\epsilon_{r(\text{acqua marina})} = 70$;
- $\rho_{(\text{suolo marino})} = 100 \Omega\text{m}$;
- $\epsilon_{r(\text{suolo marino})} = 6$;

Inoltre, nel modello dei cavi utilizzato dal software per le simulazioni, si sono considerati tre cavi unipolari con posa a trifoglio e distanza tra gli assi dei cavi pari a 8 cm invece di cavi tripolari. Tale assunzione determina una sovrastima nel calcolo del campo magnetico.

7.1.1 Cavi statici e dinamici a 66 kV

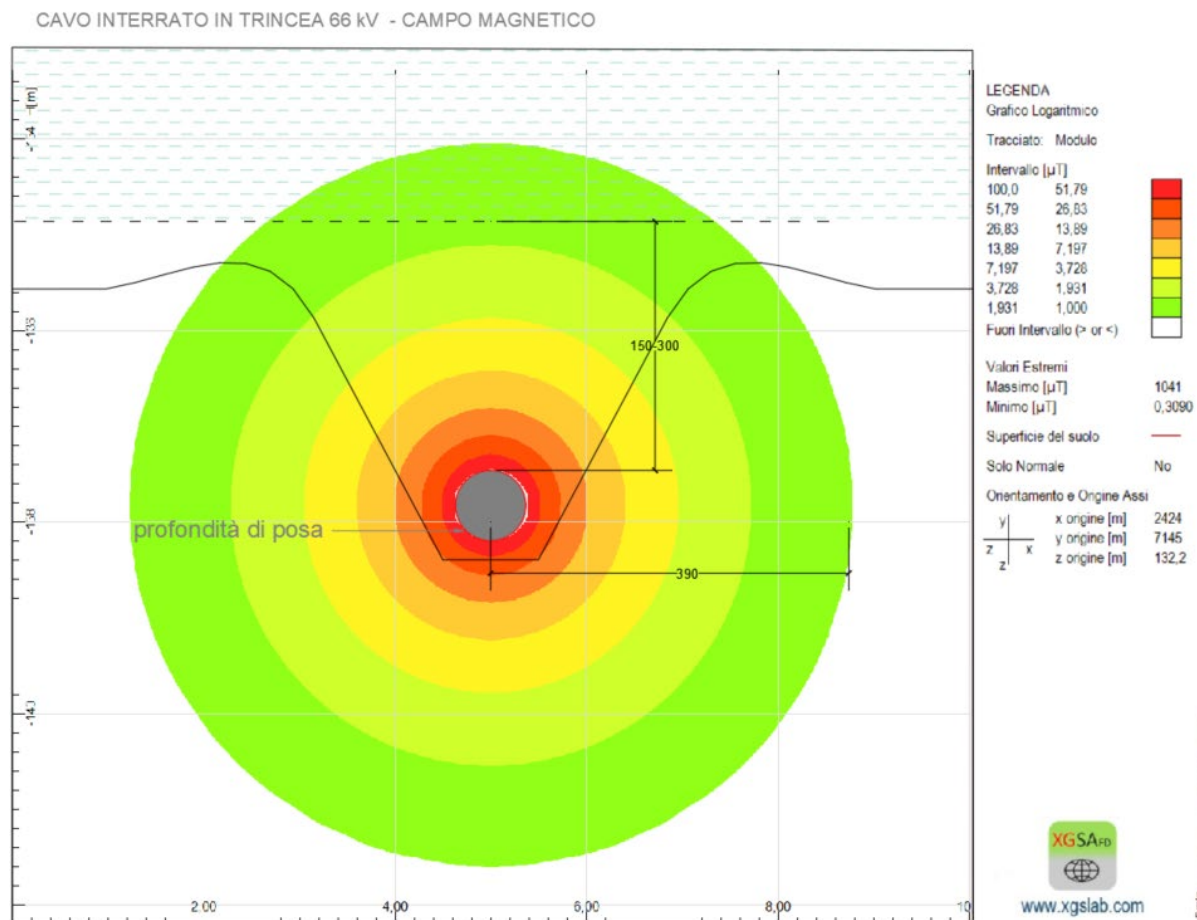
Per i dati elettrici si sono usati i seguenti valori:

- Tensione di fase Nominale: $66/\sqrt{3}$ kV
- Corrente massima di impiego: 729 A
- Sezione cavo: 800 mm²
- Condizione di posa: in acqua libera ed interrati nel fondale marino a profondità superiori a 1,5 m
- Diametro conduttore 34 mm

Questi valori corrispondono alle condizioni peggiori di impiego del cavo a 66 kV da 800 mm² e che possono verificarsi solo nei tratti compresi tra l'ultimo aerogeneratore di ciascuna stringa da 5 WTG e la sottostazione offshore in condizioni di massima produzione dell'impianto.

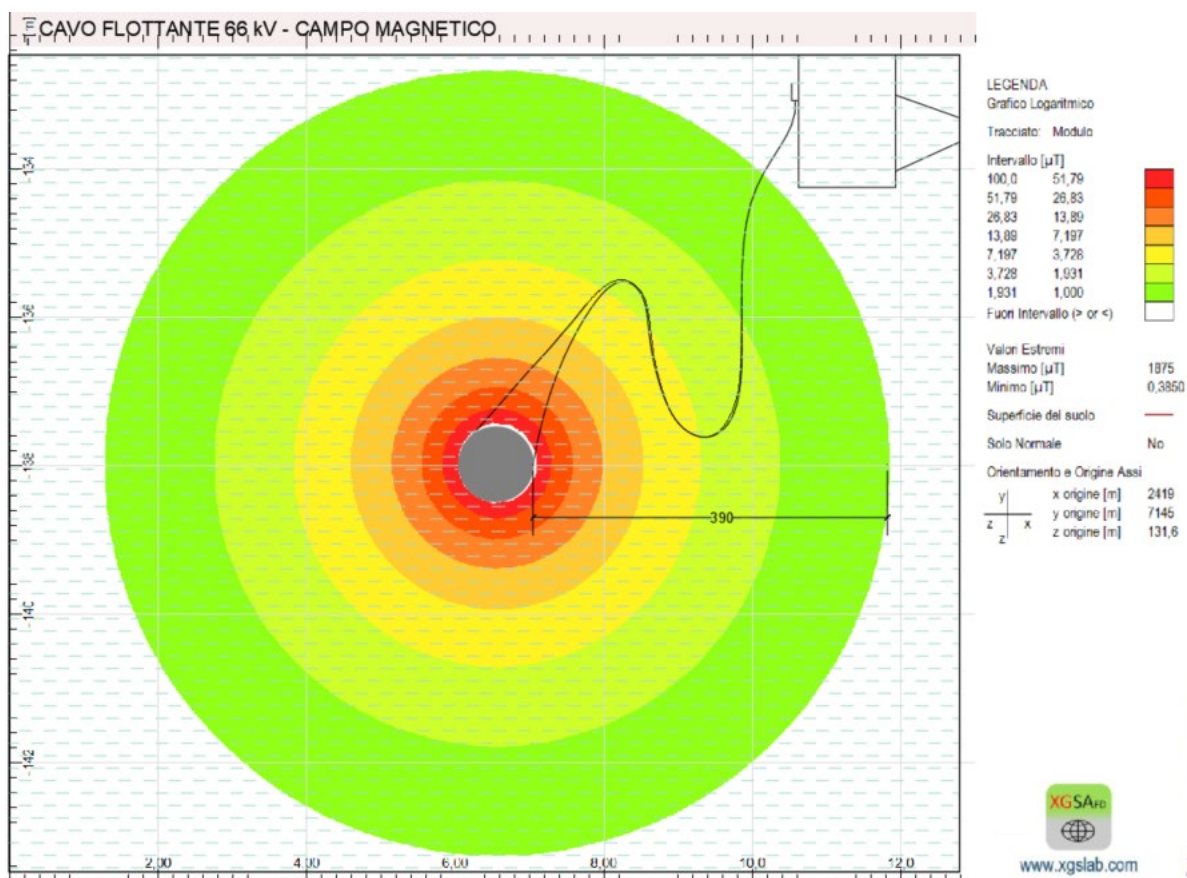
Campo Magnetico (Induzione Magnetica) cavidotto AAT

Di seguito è riportata la sezione di calcolo verticale del campo magnetico (ovvero induzione magnetica) risultante.



Calcolo Induzione magnetica sulla sezione dei cavi AT 66 kV da 800 mm² interrati sul fondale

Cavidotti interni al campo parte interrata, si nota distintamente che i valori di campo risultano pressoché trascurabili già a 3 – 4 m dall'asse del cavo generando così una zona di influenza molto ristretta e che la riduzione del CEM a 1 μT avviene appena fuori dal terreno.



Calcolo Induzione magnetica sulla sezione dei cavi AT 66 kV da 800 mm² flottanti

Cavidotto interno al campo parte flottante, modellata nella condizione peggiore rispetto alla potenza del cavo e alla portata elettrica. Si nota distintamente che i valori di campo risultano pressoché trascurabili già a 3 – 4 m dall'asse del cavo generando così una zona di influenza molto ristretta. È di fondamentale importanza notare che avendo una profondità di posa variabile tra 1,5 e 3 m si manifesteranno situazioni in cui l'intera area di influenza sottoposta a campo di induzione magnetica con valori superiori a 1 μT è totalmente interrata nel terreno generando così condizioni di esposizione più cautelative nei confronti della biodiversità marina.

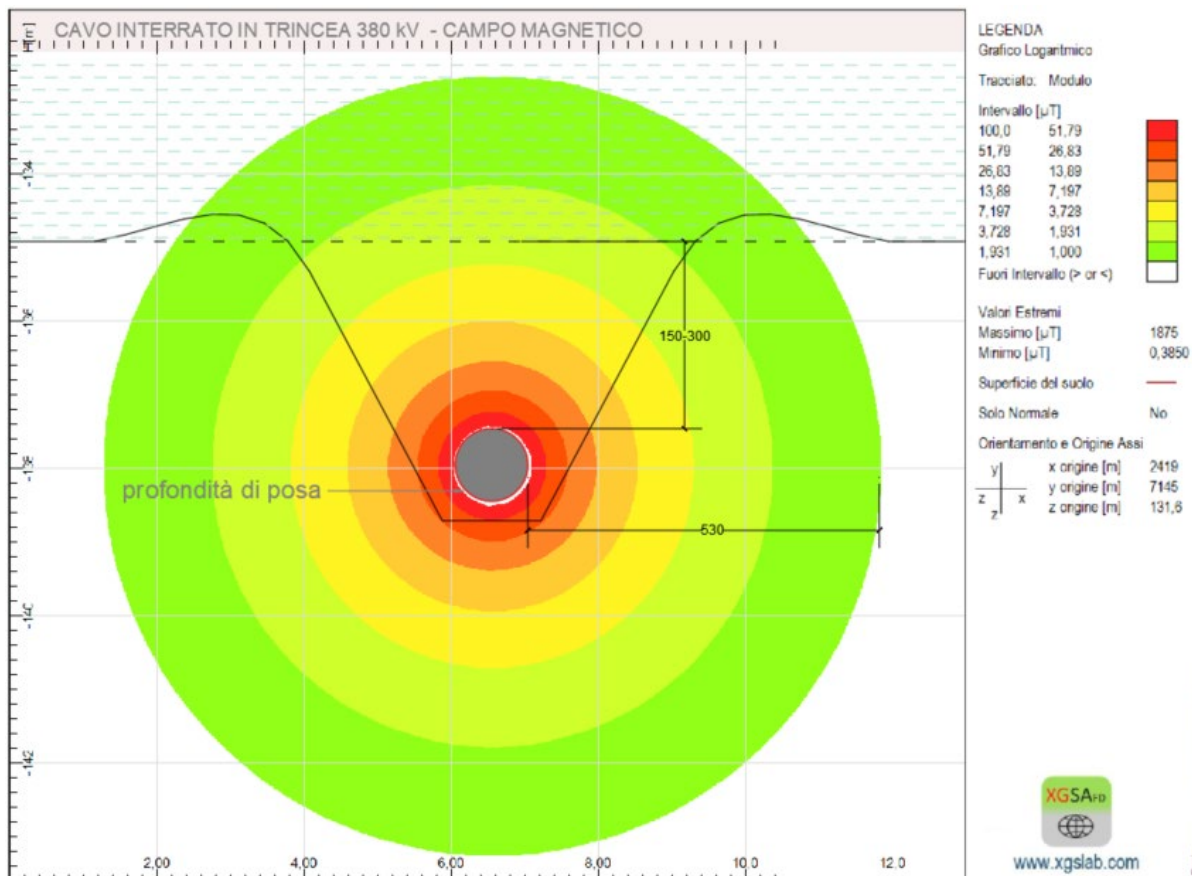
7.1.2 Cavi statici a 380 kV

Per i dati elettrici si sono usati i seguenti valori:

- Tensione di fase Nominale: $380/\sqrt{3}$ kV
- Corrente massima di impiego per terna: 913 A
- Sezione cavo: 1400 mm²
- Condizione di posa: interrati nel fondale marino a profondità superiori a 1,5 m
- Diametro conduttore 46,4 mm

Campo Magnetico (Induzione Magnetica) cavidotto AAT

Di seguito è riportata la sezione di calcolo verticale del campo magnetico (ovvero induzione magnetica) risultante.



Calcolo Induzione magnetica sulla sezione dei cavi AAT 380 kV da 800 mm² interrati sul fondale

Cavidotti interni al campo parte interrata si nota distintamente che i valori di campo risultano pressoché trascurabili già a 5 – 6 m dall’asse del cavo generando così una zona di influenza molto ristretta e che la riduzione del CEM a 1 μ T avviene appena fuori dal terreno. È di fondamentale importanza notare che avendo una profondità di posa variabile tra 1,5 e 3 m si manifesteranno situazioni in cui l’area di influenza sottoposta a campo di induzione magnetica con valori superiori a 1 μ T è maggiormente interrata nel terreno generando così condizioni di esposizione più cautelative nei confronti della biodiversità marina.

8 EFFETTI DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI SUGLI ORGANISMI MARINI

È noto che diverse specie marine sono sensibili ai campi elettromagnetici (CEM): dagli elasmobranchi, noti per possedere delle cellule recettori specifiche per questo tipo di radiazione, alle tartarughe, ai pesci, molluschi, crostacei fino ai mammiferi. In linea di massima tutti questi taxa hanno la capacità di percepire il campo magnetico terrestre per orientarsi e percepire la presenza di potenziali predatori (Hutchison et al., 2018). Pertanto, la generazione di CEM derivanti da attività antropiche può interferire con quelli naturalmente presenti nell'ambiente marino e causare variazioni nei pattern comportamentali delle diverse specie. Dai dati di uno studio condotto da un gruppo di ricercatori dell'Università di Bologna e dell'INGV di Cagliari risulta che l'intensità geomagnetica nell'area del Mediterraneo si attesta intorno ai 20 μT con una deviazione standard di 5 μT ; pertanto, gli organismi marini che popolano questa parte di pianeta sono abituati a costante variazione dei campi geomagnetici.

In generale, i valori di CEM derivanti dai cavi dei parchi eolici variano tra 1 e 100 $\mu\text{V}/\text{cm}$ (Gill e Desender, 2020) e sono sovrapponibili ai campi bioelettrici rilasciati e captati da differenti taxa quali crostacei, molluschi, teleostei ed elasmobranchi, influenzando potenzialmente attività comportamentali quali la migrazione e l'alimentazione (Bedore e Kajiura, 2013). Grandi parchi possono generare un così grande campo elettromagnetico da produrre addirittura un effetto barriera capace di ostacolare i movimenti migratori di alcune specie, come l'anguilla europea (*Anguilla anguilla*) (Westerberg and Lagenfelt, 2008). Diversi studi condotti per comprendere la dinamica di questo fenomeno hanno evidenziato effetti contrastanti per differenti specie ittiche non dirimendo affatto la questione ma complicandola. Per esempio, uno studio specifico sulla valutazione degli effetti del campo elettromagnetico sull'aringa, l'anguilla ed il merluzzo atlantico condotto in Nysted in Danimarca tra il 1999 ed il 2006, ha mostrato effettivamente un'influenza dei campi CEM sulla migrazione di queste specie. Tale studio ha dimostrato una variazione comportamentale negativa dell'anguilla, che ha abbandonato il percorso del cavodotto, e positiva del merluzzo che, invece, risultava attratto dal campo CEM prodotto (Agency, 2013). Uno studio condotto in California, nella baia di San Francisco, non ha rilevato impatti sulla migrazione e riproduzione del salmone reale nell'area (Wyman et al., 2018). Cambiamenti comportamentali sono, invece, stati osservati sull'astice americano esposto ai campi CEM nel canale di Long Island Sound, Connecticut, USA (Hutchison et al., 2018). È stato studiato che gli elasmobranchi possono rilevare campi elettrici molto bassi (a partire da 0,005 $\mu\text{V cm}^{-1}$, Normandeau, 2011) e magnetici a partire da 20 - 75 μT (Walker et al., 2002; Bochert e Zettler, 2006).

Dallo stato dell'arte della letteratura scientifica in merito alla magnetocezione emerge come essa abbia un ruolo importante per molte specie terrestri e acquatiche, che utilizzano il campo magnetico terrestre per orientarsi e navigare nell'ambiente circostante (Bauer et al., 1985; Walker et al., 2002; Wang et al., 2003; Burda et al., 2009; Červený et al., 2010). I cetacei e le tartarughe rientrano tra quelle specie che sfruttano il processo fisiologico della magnetocezione per percorrere rotte migratorie a lunga distanza (Klinowska, 1985, 1990) e pertanto risentono di quelle variazioni, seppur lievi (oscillazioni) del campo geomagnetico terrestre (Kirschvink 1990; Walker et al., 1992; Vanselow e Ricklefs, 2005; Vanselow et al., 2009). È stato dimostrato che oscillazioni anche minime del campo magnetico terrestre, come quelle che avvengono durante le tempeste geomagnetiche, sono correlate con eventi di spiaggiamento di cetacei (Ferrari, 2017). I campi magnetici che sono creati da una corrente elettrica che scorre attraverso cavi conduttori possono impedire la corretta percezione del campo geomagnetico (Smith Stegen e Seel, 2013).

Le tartarughe marine sono note per utilizzare più segnali (sia geomagnetici che non) per la navigazione e la migrazione. Tuttavia, le conclusioni sugli effetti dei campi magnetici dei cavi sottomarini sono ancora ipotetiche in quanto non è noto come le tartarughe marine rilevino o elaborino le fluttuazioni del campo magnetico. Inoltre, alcuni esperimenti hanno dimostrato la capacità di compensare eventuali errori di

rotta; quindi, l'importanza assoluta del campo geomagnetico non è ancora chiara (Normandeau et al., 2011).

Normandeau et al (2011) riportano che ci sono evidenze comportamentali, fisiologiche e anatomiche che indicano come alcune specie di vertebrati siano in grado di rilevare campi elettrici o magnetici. Tuttavia, la maggior parte dei dati disponibili provengono da studi progettati per valutare le risposte a stimoli naturali di campi elettrici o magnetici (ad esempio, campi bioelettrici, campi geomagnetici). Solo pochi studi hanno prodotto i dati necessari per caratterizzare le risposte delle specie marine ai campi elettromagnetici dei cavi sottomarini. Ad esempio, Gill et al. (2009) hanno riportato che alcuni individui di due delle tre specie di elasmobranchi bentonici (*Raja clavata* e *Scyliorhinus canicula*) sono stati osservati più frequentemente entro 2 m da un cavo sperimentale quando attraversato da corrente rispetto a un cavo non attraversato. Westerberg (2000) e Öhman et al. (2007) hanno descritto un nuoto rallentato e obliquo di alcune anguille europee che attraversano un cavo DC. Vi sono ancora troppe lacune che possano permettere di valutare non solo la risposta ai CEM generati dai cavidotti sottomarini, ma anche le potenziali conseguenze o impatti. Quest'ultimi possono essere positivi o negativi e possono essere misurati in termini di magnitudo, estensione spaziale e durata. Le specie possono manifestare effetti diversi a seconda del sesso o fase della vita e a livello individuale o di popolazione.

I teleostei, e specialmente le specie diadrome, ovvero che vivono sia in acqua dolce che salata per ragioni di riproduzione, sono quelle principalmente influenzate da questo fenomeno. In questo particolare contesto non sono presenti specie di questo tipo, quindi questo impatto è possibilmente trascurabile. Per quanto riguarda i crostacei ed i molluschi, le informazioni sugli effetti delle emissioni elettromagnetiche sono scarse ad eccezione di pochi studi relativi a impatti minori o non significativi dei campi elettromagnetici antropogenici su specifiche specie bentoniche (Taormina et al., 2018; Albert et al., 2020 e referenze al loro interno).

Al di là della questione immediata se le specie note per percepire i campi elettrici o magnetici possano essere influenzate dai campi elettromagnetici dei cavi, rimane una grande gap nella ricerca scientifica di base sul senso magnetico degli organismi marini, sui meccanismi dietro i sistemi sensoriali e l'applicazione dei sensi elettrici o magnetici nelle funzioni vitali.

Viene riportata di seguito una tabella e un grafico riassuntivi degli studi disponibili in letteratura riguardanti gli effetti dei CEM testati su diversi invertebrati marini, che popolano l'ambiente marino bento-nectonico e che quindi possono facilmente venire a contatto con i CEM emessi dai cavidotti interrati (da Albert et al., 2020). Si sottolinea che molti di questi risultati derivano da esperimenti effettuati in laboratorio in condizioni di esposizione a campi elettromagnetici di intensità molto maggiore rispetto a quella restituita dalla modellizzazione dei CEM emessi dai cavidotti del progetto Eureka Wind.

Type of response considered	Group	Species	Life stage	Lifestyle	Characteristics of magnetic field exposure		Observed effects	Reference
					Duration	Magnetic induction (mT)		
Survival	Crustaceans	North Sea prawn (<i>Crangon crangon</i>)	Adult	Vagile epifauna	49 days	3.7 mT DC	None	Bochert and Zettler (2006)
		Isopod (<i>Saduria entomon</i>)			93 days			
		Isopod (<i>Sphaeroma hookeri</i>)			34 days			
		Round crab (<i>Rhithropanopeus harrisi</i>)			57 days			
	Molluscs	Blue mussel (<i>Mytilus edulis</i>)		Sessile epifauna	52 days			
		Baltic clam (<i>Limecola balthica</i>)		Sedentary endofauna	12 days			
Polychaetes	Ragworm (<i>Hediste diversicolor</i>)	12 days	0.85 to 1.05 mT 50 Hz AC		Jakubowska et al. (2019)			
Physiological	Crustaceans	North Sea prawn (<i>Crangon crangon</i>)	Vagile epifauna	3 hours	3.2 mT DC and 50 Hz AC	No effects on oxygen consumption rate	Bochert and Zettler (2006)	
		Baltic prawn (<i>Palaemon squilla</i>)						
Physiological	Crustaceans	Edible crab (<i>Cancer pagurus</i>)	Juvenile	Vagile epifauna	6 hours	2.8 mT DC	No effects either on oxygen consumption rate or haemocyanin concentrations Suppression of night rises in D-lactate and D-glucose concentrations	Scott et al. (2018)
	Molluscs	Mediterranean mussel (<i>Mytilus galloprovincialis</i>)	Adult	Sessile epifauna	15–30 minutes	0.3–1 mT 50 Hz AC	Disruption of cellular processes	Ottaviani et al. (2002), Malagoli et al. (2003, 2004)
		Blue mussel (<i>Mytilus edulis</i>)			93 days	3.7 mT DC	No effects either on the condition index or the gonad development index	Bochert and Zettler (2006)
		Baltic clam (<i>L. balthica</i>)			Sedentary endofauna	12 days	1 mT 50 Hz AC	Increase in genotoxic and cytotoxic effects
	Echinoderms	Sea urchin (<i>Strongylocentrotus purpuratus</i>)	Embryo	Pelagic fauna	23 hours	0.1 mT 60 Hz AC (permanent magnets)	Delay in cell division	Zimmerman (1990)

Physiological	Echinoderms	Sea urchin (<i>Strongylocentrotus purpuratus</i>)	Embryo	Pelagic fauna	26 hours	30 mT DC (permanent magnets)	Delay in cell division	Levin and Ernst (1997)
		Sea urchin (<i>Lytechinus pictus</i>)			48–94 hours	30 mT DC (permanent magnets)	Delay in cell division Increase in development abnormalities	
			0.39 mT AC 60 Hz (permanent magnets)	Increase in development abnormalities				
Polychaetes	Ragworm (<i>Fediste diversicolor</i>)	Adult	Sedentary endofauna	8 days	1 mT 50 Hz AC	No effects on food consumption and respiration rates but increase in ammonia excretion	Jakubowska et al. (2019)	
				12 days		Increase in genotoxic and cytotoxic effects	Stankevičiūtė et al. (2019)	
Behavioural	Crustaceans	European lobster (<i>Homarus gammarus</i>)	Juvenile	Vagile epifauna	One week or 45 minutes	220 µT 50 Hz AC and DC	No effect on the exploratory and shelter-seeking behaviours	Taormina et al. (2020)
		Edible crab (<i>Cancer pagurus</i>)	Juvenile		7 hours	2.8 mT DC	Attraction behaviour	Scott et al. (2018)
					24 hours		Suppression of side selection behaviour	
		Spiny check crayfish (<i>Oronectes limosus</i>)	Adult		24 hours	0.8 mT	Attraction behaviour	Tanski et al. (2005)
		Spiny lobster (<i>Panulirus argus</i>)			15 minutes	703.1 mT	Repulsion behaviour	Ernst and Lohmann (2018)
		Freshwater crab (<i>Barythelphusa canicularis</i>)			2h 30 min	50 Hz AC	Attraction and aggregation behaviour	Rosaria and Martin (2010)
		North Sea prawn (<i>Crangon crangon</i>)			1.5 hours	2.7 mT DC	No effects on spatial distribution	Bochert and Zettler (2006)
		Isopod (<i>Saduria entomon</i>)			1.5 hours	2.7 mT DC	No effects on spatial distribution	Bochert and Zettler (2006)
		Round crab (<i>Rhithropanopeus harrisi</i>)			12–24 hours	In situ Real cable: 0.01 to 0.1 mT	Behavioural changes	Hutchison et al. (2018)
		American lobster (<i>Homarus americanus</i>)	Adult		24 hours	1.01 mT DC	No effects on spatial distribution	Woodruff et al. (2012,2013)
Dungeness crab (<i>Metacarcinus magister</i>)		3–4 days	1.01 mT DC	No effects on spatial distribution and no effect of the level of agitation				
		Red crab (<i>Cancer productus</i>)			In situ Cable 1: 0.014 to 0.12 mT 60 Hz AC Cable 2: 0.025 to 0.043 kV 60 Hz AC	No effect on catchability	Love et al. (2017)	

Behavioural	Crustaceans	Red crab (<i>Cancer productus</i>)	Adult	Vagile epifauna				
		Yellow rock crab (<i>Metacarcinus anthonyi</i>)			1 hour	In situ Real cable: 0.042 to 0.08 mT 60 Hz AC	No effect on spatial distribution	Love et al. (2015)
		Amphipod (<i>Gondogenia antarctica</i>)			1 minute	2.10^{-9} to 20.10^{-9} mT 1 MHz AC	Disruption of orientation abilities	Tomanova and Vacha (2017)
	Echinoderms	Common starfish (<i>Asturia rubens</i>)		1.5 hours	2.8 mT DC	No effect on spatial distribution	Bochert and Zettler (2006)	
	Molluscs	Snail (<i>Elimia clavaeformis</i>)		48 hours	36 mT DC	No effect on spatial distribution	Cada et al. (2011)	
		Clam (<i>Corbicula fluminea</i>)						
	Polychaetes	Ragworm (<i>Hediste diversicolor</i>)		Sedentary endofauna	1.5 h	2.8 mT	No effect on spatial distribution	Bochert and Zettler (2006)
					8 days	1 mT 50 Hz AC	No effect on spatial distribution but behavioural changes	Jakubowska et al. (2019)

Come si può osservare dalla tabella precedente, molti degli studi condotti hanno riportato l'assenza di effetti osservati, mentre in alcuni casi si riportano effetti sul comportamento o a livello biologico e riproduttivo, ma derivanti da studi in laboratorio con intensità di CEM dell'ordine di mT. Gli studi sul campo non hanno mostrato alcun effetto significativo associato ai campi magnetici generati da cavidotti sottomarini (Love et al., 2015, 2017 e Hutchinson et al., 2018).

In conclusione, si possono fare due considerazioni in merito ai CEM prodotti dai cavidotti sottomarini:

- quando il cavo è interrato, lo strato di sedimento non elimina completamente i campi elettromagnetici ma riduce l'esposizione alle specie bentoniche a quelli più forti (CMACS, 2003), dalla modellizzazione prodotta per i cavidotti di progetto si può vedere come nel raggio di 5-6 m il CEM prodotto risulti pressoché trascurabile e che al di sopra della superficie del fondale la loro intensità si riduca a 1 μ T;
- la forza dei campi elettrici sia magnetici che indotti aumenta con il flusso di corrente e diminuisce rapidamente con la distanza dal cavo (Normandeau, 2011). Le specie principalmente interessate da questo fenomeno sono quelle pelagiche, poiché possono transitare più a vicino ai cavidotti flottanti e quindi percepire maggiormente i CEM emessi nei metri circostanti.

Per quanto riguarda la possibile fauna esposta ai CEM, dagli studi condotti (elaborato ES.9.1) e dalle ricerche bibliografiche (ACCOBAMS, 2021b; Mancino et al., 2022; Boldrocchi et al., 2017; IUCN SSC Shark Specialist Group. 2023; Geraci et al., 2021; Zava et al., 2016; Gordon et al., 2019; Lawson et al., 2020) per l'area dove si svilupperà il capo eolico, si evince come siano presenti cetacei (*Delphinus delphis*, *Tursiops truncatus*), tartarughe marine (*Caretta caretta*) e condritti (*Carcharodon carcharias*, *Leucoraja melitensis*, *Squatina oculata*, *S. aculeata*, *S. squatina*, *Rhinobatos rhinobatos*). Tutti questi organismi sono presenti nell'area di progetto che risulta essere all'interno dell'Ecologically and Biologically Significant Area (EBSA) n. 108 chiamata Sicilian Channel la cui istituzione è stata determinata anche per queste specie di interesse comunitario. Si tratta quindi di organismi che sono presenti in quest'area e che popolano l'ecosistema marino a diverse profondità, dalla superficie fino a diverse centinaia di metri di profondità o direttamente a contatto con il fondale marino. Tutte queste specie rientrano nella categoria delle magnetosensibili e pertanto potenzialmente impattate dalla presenza di campi magnetici generati dai cavidotti di progetto.

Infine, l'area del parco non risulta essere una zona preferenziale per la pesca commerciale poiché non presenti zone densamente popolate di specie ittiche di interesse commerciale, come presentato nell'elaborato *ES.9.4_Studio sullo stato delle risorse alieutiche e delle attività di pesca/acquacoltura*.

Dai risultati della modellazione precedentemente presentati, si evince che il campo magnetico generato dai cavidotti di progetto si riduce fino a $1 \mu\text{T}$ già a pochi metri dal cavo stesso. In particolare:

- gli organismi bentonectonici presenti nell'area (soprattutto batoidei) che attraverseranno le aree con i cavidotti interrati a 66 e 380 kV, potranno essere esposti a range di CEM che vanno da 1 a massimo $4 \mu\text{T}$;
- gli organismi pelagici che transiteranno presso i cavidotti flottanti interni al campo potranno essere esposti a CEM con valori che variano da 7 a $1500 \mu\text{T}$ nel primo metro dal cavo, fino a ridursi a $1 \mu\text{T}$ a distanza compresa tra 3 e 4 m dal cavo. È da tenere presente che questa è la condizione peggiore rispetto alla potenza del cavo e alla portata elettrica, la modellizzazione è stata eseguita usando il cavo a 66 kV da 800 mm^2 nei tratti compresi tra l'ultimo aerogeneratore di ciascuna stringa da 5 WTG e la sottostazione offshore in condizioni di massima produzione dell'impianto. Pertanto, nelle altre zone dell'impianto l'intensità di emissione di CEM potrà essere nettamente inferiore, generando così una zona di influenza molto ristretta, nella maggior parte dei casi.

Inoltre, come già detto all'inizio del presente capitolo, l'intensità geomagnetica nell'area del Mediterraneo è di circa $20 \mu\text{T}$ con una deviazione standard di $5 \mu\text{T}$; pertanto, questi organismi magnetosensibili rilevati nell'area di progetto potrebbero non subire cambiamenti comportamentali e fisiologici poiché già abituati a costante variazione dei campi geomagnetici. Inoltre, non è ancora chiaro quanto i CEM prodotti da cavidotti sottomarini possano realmente influenzare questi organismi e i loro comportamenti riproduttivi, di caccia e migratori (Normandeau, 2011). Pertanto, solo con un attento Piano di Monitoraggio Ambientale già previsto per questo progetto (elaborato S.7.1) si potrà valutare quanto la presenza dei CEM generati dalla corrente alternata circolante all'interno dei cavidotti sottomarini possa impattare sulla fauna presente nell'area di progetto.

Si può quindi affermare con un alto grado di confidenza che i possibili impatti derivanti dai CEM emessi dai cavidotti sottomarini sugli organismi presenti nell'area di progetto possono essere considerati bassi e localizzati attorno al cavidotto.

9 BIBLIOGRAFIA

- Agency, D.E., 2013. Danish offshore wind. Key environmental issues a follow-up. In: The Environmental Group: the Danish Energy Agency, the Danish Nature Agency. DONG Energy and Vattenfall.
- Bauer G. B., Fuller M., Perry A., Dunn J. R. & Zoeger J. (1985) Magnetoreception and Biomineralization of Magnetite in Cetaceans. In *Magnetite Biomineralization and Magnetoreception in Organisms: A New Biomagnetism*, Ed. J. L. Kirschvink, D. S. Jones & B. J. MacFadden, Springer US, Boston, MA, pp. 489-507, doi.org/10.1007/978-1-4613-0313-8_24
- Bedore, C. N., & Kajiura, S. M. 2013. Bioelectric Fields of Marine Organisms: Voltage and Frequency Contributions to Detectability by Electroreceptive Predators. *Physiological and Biochemical Zoology*, 86(3), 298–311. doi:10.1086/669973
- Bochert R, Zettler ML. 2006. Effect of electromagnetic fields on marine organisms geomagnetic field detection in marine organisms. *Offshore Wind Energy Res Environ Impacts* 223–34. https://doi.org/10.1007/978-3-540-34677-7_14.
- Burda, H., Begall S., Červený, J., Neef, J. & Němec, P. (2009). Extremely low-frequency electromagnetic fields disrupt magnetic alignment of ruminants. *Proceedings National Academy of Science USA* 106: 5708–5713. DOI: 10.1073/pnas.0811194106 (doi:<https://doi.org/10.1073/pnas.0811194106>)
- Červený, Begall, Koubek, Novakova & Burda. 2010. Directional preference may enhance hunting accuracy in foraging foxes. *Biology Letters* <http://dx.doi.org/10.1098/rsbl.2010.1145>
- CMACS. 2003. A baseline assessment of electromagnetic fields generated by offshore windfarm cables. COWRIE Report EMF - 01-2002 66
- Ferrari, T.E. (2017). Cetacean beachings correlate with geomagnetic disturbances in Earth's magnetosphere: an example of how astronomical changes impact the future of life. *Int. J. Astrobiol.* 16, 163–175
- Gill, A. B., Y. Huang, I. Gloyne-Phillips, J. Metcalfe, V. Quayle, J. Spencer, and V. Wearmouth. 2009. COWRIE 2.0 Electromagnetic Fields (EMF) Phase 2: EMF-sensitive fish response to EM emissions from sub-sea electricity cables of the type used by the offshore renewable energy industry. COWRIE Ltd. COWRIE-EMF-1-06. 128 pp.
- Gill, A.B. and M. Desender. 2020. Risk to Animals from Electromagnetic Fields Emitted by Electric Cables and Marine Renewable Energy Devices. In A.E. Copping and L.G. Hemery (Eds.), OES-Environmental 2020 State of the Science Report: Environmental Effects of Marine Renewable Energy Development Around the World. Report for Ocean Energy Systems (OES). (pp. 86-103). doi:10.2172/1633088
- Gill, A.B., Hutchison, Z.L. & Desender, M. (2023). Electromagnetic Fields (EMFs) from subsea power cables in the natural marine environment. Cefas Project Report for Crown Estate Offshore Wind Evidence and Change Programme, 66 pp
- Hutchison, Z., Sigray, P., He, H., Gill, A., King, J., Gibson, C., 2018. Electromagnetic Field (EMF) Impacts on Elasmobranch (Shark, Rays, and Skates) and American Lobster Movement and Migration from Direct Current Cables. U.S. Department of the Interior, Bureau of Ocean Energy Management. OCS Study BOEM 2018-003., p. 254
- Hutchison, Z.L., D.H. Secor, and A.B. Gill. 2020. The interaction between resource species and electromagnetic fields associated with electricity production by offshore wind farms. *Oceanography* 33(4):96–107, <https://doi.org/10.5670/oceanog.2020.409>
- Hutchison, Z.L., Gill, A.B., Sigray, P. *et al.* Anthropogenic electromagnetic fields (EMF) influence the behaviour of bottom-dwelling marine species. *Sci Rep* 10, 4219 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-60793-x>
- Karen Smith Stegen, Matthias Seel, The winds of change: How wind firms assess Germany's energy transition, *Energy Policy*, Volume 61, 2013, Pages 1481-1489, ISSN 0301-4215, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.06.130>

- Kirschvink, J.L. 1990. Geomagnetic sensitivity in cetaceans: an update with live stranding records in the United States, *In* Sensory Abilities of Cetaceans: Laboratory and Field Evidence (J.A. Thomas and R.A. Kastelein, eds.) Plenum Press, New York, NY. 639-649 pp
- Klinowska, M. 1985. Cetacean live stranding sites related to geomagnetic topography. *Aquatic Mammals* (1):27-32.
- Klinowska, M. 1990. Geomagnetic orientation in cetaceans: behavioral evidence, *In* Sensory Abilities of Cetaceans: Laboratory and Field Evidence (J.A. Thomas and R.A. Kastelein, eds.). Plenum Press. New York, NY. 651-663 pp.
- Love, M., Nishimoto, M., Clark, S., McCrea, M., Scarborough, B., 2017. Assessing potential impacts of energized submarine power cables on crab harvests. *Continental Shelf Res.* 151 (1), 23–29. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2017.10.002>.
- Love, M., Nishimoto, M., Clark, S., Scarborough, B., 2015. Identical response of caged rock crabs (*Genera Metacarcinus* and *Cancer*) to energized and unenergized undersea power cables in Southern California, USA. *Bull. South Calif. Acad. Sci.* 114 (1), 33–41. <https://doi.org/10.3160/0038-3872-114.1.33>
- Luana Albert, François Deschamps, Aurélie Jolivet, Frédéric Olivier, Laurent Chauvaud, Sylvain Chauvaud, A current synthesis on the effects of electric and magnetic fields emitted by submarine power cables on invertebrates, *Marine Environmental Research*, Volume 159, 2020, 104958, ISSN 0141-1136, <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2020.104958>
- Normandeau, Exponent, T. Tricas, and A. Gill. 2011. Effects of EMFs from Undersea Power Cables on Elasmobranchs and Other Marine Species. U.S. Dept. of the Interior, Bureau of Ocean Energy Management, Regulation, and Enforcement, Pacific OCS Region, Camarillo, CA. OCS Study BOEMRE 2011-09.
- Öhman, M. C., P. Sigraý, and H. Westerberg. 2007. Offshore windmills and the effects of electromagnetic fields on fish. *Ambio* 36:630-633.
- Taormina B., Bald J., Want A., Thouzeau G., Lejart M., Desroy N. & Carlier, A. (2018) A review of potential impacts of submarine power cables on the marine environment: Knowledge gaps, recommendations and future directions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 96, pp. 380–391, doi.org/10.1016/j.rser.2018.07.026
- Taormina B., Quillien N., Lejart M., Carlier A., Desroy N., Laurans M., D'Eu J.-F., Reynaud M., Perignon Y., Erussard H., Derrien-Courtel S., Le Gal A., Derrien R., Jolivet A., Chauvaud S., Degret V., Saffroy D., Pagot J.-P. and Barillier A. Characterisation of the potential impacts of subsea power cables associated with offshore renewable energy projects. Plouzané: France Energies Marines Editions, 2020
- Vanselow, K.H. & Ricklefs, K. (2005). Are solar activity and sperm whale *Physeter macrocephalus* strandings around the North Sea related? *J. Sea Res.* 53, 319–327
- Vanselow, K.H., Ricklefs, K. & Colijn, F. (2009). Solar driven geomagnetic anomalies and sperm whale (*Physeter macrocephalus*) strandings around the North Sea: an analysis of long term datasets. *Open Mar. Biol. J.* 3, 89–94
- Walker MM, Dennis TE, Kirschvink JL. 2002. The magnetic sense and its use in long distance navigation by animals. *Curr Opin Neurobiol* 12:735–44. [https://doi.org/10.1016/S0959-4388\(02\)00389-6](https://doi.org/10.1016/S0959-4388(02)00389-6).
- Walker, M. M., Dennis, T. E. & Kirschvink, J. L. The magnetic sense and its use in long-distance navigation by animals. *Current Opinion in Neurobiology* 12, 735–744, [https://doi.org/10.1016/S0959-4388\(02\)00389-6](https://doi.org/10.1016/S0959-4388(02)00389-6) (2002).
- Walker, M.W., J.L. Kirschvink, G. Ahmed, A.E. Dizon. 1992. Evidence that fin whales respond to the geomagnetic field during migration. *Journal of Experimental Biology.* 171: 67-78
- Wang, J., Cain, S., Lohmann, K., 2003. Identification of magnetically responsive neurons in the marine mollusc *Tritonia diomedea*. *J. Exp. Biol.* 206 (2), 381–388.
- Westerberg, H. 2000. Effect of HVDC cables on eel orientation. Pages 70-76 *in* Technische Eingriffe in marine Lebensraume. Bundesamtes für Naturschutz, Germany.



- Westerberg, H., Lagenfelt, I., 2008. Sub-sea power cables and the migration behaviour of the European eel. *Fish. Manag. Ecol.* 15, 369–375. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2400.2008.00630.x>
- Wyman, M.T., Peter Klimley, A., Battleson, R.D., Agosta, T.V., Chapman, E.D., Haverkamp, P.J., et al., 2018. Behavioral responses by migrating juvenile salmonids to a subsea high-voltage DC power cable. *Mar. Biol.* 165, 1–15. <https://doi.org/10.1007/s00227-018-3385-0>.
- Zoë L. Hutchison, Andrew B. Gill, Peter Sigray, Haibo He, John W. King, A modelling evaluation of electromagnetic fields emitted by buried subsea power cables and encountered by marine animals: Considerations for marine renewable energy development, *Renewable Energy*, Volume 177, 2021, Pages 72-81, ISSN 0960-1481, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.05.041>.