



Ichnusa wind power srl

Progetto Definitivo

**PARCO EOLICO FLOTTANTE  
NEL MARE DI SARDEGNA  
SUD OCCIDENTALE**



**YR23**

C0421YR23EMFMAR00a

**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  
**VALUTAZIONE IMPATTO ELETTROMAGNETICO  
SULLA FAUNA MARINA**

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

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



00	Marzo 2023	Emesso per approvazione		
REV	DATA	DESCRIZIONE		

Codice:

<b>C</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>Y</b>	<b>R</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>E</b>	<b>M</b>	<b>F</b>	<b>M</b>	<b>A</b>	<b>R</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>a</b>	
NUM.COMM.	ANNO	COD.SET	NUM.LAB.	DESCRIZIONE ELABORATO			REV.	R.I.											



Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**  
Engineering & Consulting Studio

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica  
Valutazione impatto elettromagnetico sulla fauna marina

Codice documento:  
C0421YR23EMFMAR00a

Data emissione:  
Marzo 2023

Pagina  
I di V

## SOMMARIO

<b>1.</b>	<b>SCOPO DEL DOCUMENTO .....</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>DESCRIZIONE SINTETICA DEL PROGETTO .....</b>	<b>2</b>
<b>3.</b>	<b>LINEE GUIDA E INDIRIZZI NORMATIVI.....</b>	<b>4</b>
<b>4.</b>	<b>CENNI TEORICI.....</b>	<b>5</b>
4.1.	Campo magnetico .....	5
4.1.1.	Il campo magnetico terrestre – campo geomagnetico.....	5
4.2.	Campo magnetico ed elettricità.....	6
4.2.1.	Legge di Biot-Savart .....	6
<b>5.</b>	<b>FAUNA MARINA, CAMPI ELETTRICI E MAGNETICI.....</b>	<b>7</b>
5.1.	Specie magneto-sensibili.....	7
5.2.	Specie elettro-sensibili.....	8
5.3.	Effetti dei campi elettromagnetici antropogenici sulla fauna marina .....	8
<b>6.</b>	<b>I TAXA MARINI E LE RISPOSTE AI CAMPI ELETTROMAGNETICI .....</b>	<b>10</b>
6.1.	Elasmobranchi.....	10
6.1.1.	Elettroricezione .....	10
6.1.2.	Magnetoricezione .....	12
6.1.3.	Effetti dei campi elettromagnetici generati da cavi sottomarini .....	13
6.1.4.	Riferimenti bibliografici, possibili valori di sensibilità .....	14
6.2.	Altri pesci .....	15
6.2.1.	Elettroricezione .....	15
6.2.2.	Magnetoricezione .....	16
6.2.3.	Effetti dei campi elettromagnetici generati da cavi sottomarini .....	17
6.2.4.	Riferimenti bibliografici, possibili valori di sensibilità .....	19
6.3.	Mammiferi marini .....	20
6.3.1.	Elettroticezione .....	20
6.3.2.	Magnetoricezione .....	21
6.3.3.	Effetti dei campi elettromagnetici generati da cavi sottomarini .....	24
6.3.4.	Riferimenti bibliografici, possibili valori di sensibilità .....	25
6.4.	Rettili – Tartarughe marine .....	26
6.4.1.	Elettroricezione .....	26
6.4.2.	Magnetoricezione .....	26
6.4.3.	Effetti dei campi elettromagnetici generati da cavi sottomarini .....	28
6.4.4.	Caso studio della <i>Caretta caretta</i> .....	29
6.4.5.	Riferimenti bibliografici, possibili valori di sensibilità .....	29



Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**

Engineering & Consulting **Studio**

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione tecnica**  
**Valutazione impatto elettromagnetico sulla fauna marina**

Codice documento:  
**C0421YR23EMFMAR00a**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

Pagina  
**II di V**

6.5.	Invertebrati.....	30
6.5.1.	Elettrocezione .....	30
6.5.2.	Magnetorecezione .....	31
6.5.3.	Effetti dei campi elettromagnetici generati da cavi sottomarini .....	32
6.5.4.	Riferimenti bibliografici, possibili valori di sensibilità .....	32
<b>7.</b>	<b>OPERE ELETTRICHE MARINE .....</b>	<b>34</b>
7.1.	Cavo inter-array AT .....	34
7.1.1.	Struttura e dimensioni del cavo dinamico in corrente alternata a 66 kV .....	34
7.2.	Cavi di esportazione .....	35
7.2.1.	Struttura e dimensioni del cavo dinamico e statico in corrente alternata a 220 kV .....	35
7.2.2.	Modalità di posa del cavo statico in corrente alternata a 220 kV .....	35
7.3.	Ubicazione delle opere .....	38
<b>8.</b>	<b>MODELLI DI CALCOLO .....</b>	<b>39</b>
8.1.	Campo magnetico indotto per cavi paralleli.....	39
8.2.	Campo magnetico indotto per cavi elicordati .....	40
<b>9.</b>	<b>CALCOLO DELLE EMISSIONI ELETTROMAGNETICHE .....</b>	<b>42</b>
9.1.	Campo magnetico indotto .....	42
9.1.1.	Input di calcolo – modalità di posa e caratteristiche del cavo .....	42
9.1.2.	Campo magnetico indotto sul piano ortogonale al generico cavo .....	44
9.1.3.	Campo magnetico indotto sul piano ortogonale ai due cavi di esportazione.....	45
9.1.4.	Taxa marini, sensibilità ai campi magnetici: fasce di influenza .....	46
9.2.	Campo elettrico indotto .....	55
<b>10.</b>	<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>57</b>





Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**

Engineering & Consulting **Studio**

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione tecnica**  
**Valutazione impatto elettromagnetico sulla fauna marina**

Codice documento:  
**C0421YR23EMFMAR00a**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

Pagina  
**III di V**

## **INDICE DELLE FIGURE**

Figura 2.1 – Schema concettuale dell’impianto. ....	2
Figura 4.1 – Posizionamento del parco eolico su linee di campo geomagnetico. ....	5
Figura 4.2 – Linee di campo magnetico indotto, regola della mano destra. ....	6
Figura 6.1 – Ampolle di Lorenzini.....	10
Figura 6.2 – Dettaglio delle ampolle di Lorenzini. ....	11
Figura 6.3 – Organi elettroricettori.....	16
Figura 6.4 – Magnetoricezione nei mammiferi marini. ....	23
Figura 6.5 – Vibrisse per la percezione delle vibrazioni (Poli, et al., 2018) ....	24
Figura 6.6 – Distribuzione globale delle tartarughe <i>Caretta caretta</i> (in marrone).....	29
Figura 7.1 – Composizione tipica di un cavo marino tripolare. ....	34
Figura 7.2 – Cavidotto marino in trincea su fondale marino.....	36
Figura 7.3 – Protezione del cavidotto marino mediante massi. ....	36
Figura 7.4 – Protezione del cavidotto marino mediante materassi in calcestruzzo. ....	37
Figura 7.5 – Protezione del cavidotto marino mediante gusci in ghisa. ....	37
Figura 7.6 – Tracciato dell’elettrodotta marino di esportazione e posizionamento della rete di cavi inter-array. ....	38
Figura 8.1 – Posizione delle singole fasi. ....	39
Figura 8.2 – Sistema di coordinate cilindriche (sx) e sistema di coordinate “elicoidali” (dx).....	40
Figura 9.1 – Campo magnetico indotto, confronto tra conduttori elicordati e rettilinei. ....	43
Figura 9.2 – Mappa del campo magnetico indotto sul piano ortogonale al cavo. Materassi in cls. ....	44
Figura 9.3 – Sovrapposizione degli effetti tra i due campi magnetici generati dai due cavi. ....	45
Figura 9.4 – Linee di campo magnetico indotto dai due elettrodotti. ....	46
Figura 9.5 – Tracciato dell’elettrodotta marino di esportazione su batimetria dell’area di progetto. ....	51
Figura 9.6 – Campo elettrico indotto da uno dei cavi marini tripolari. ....	55



Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**

Engineering & Consulting **Studio**

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione tecnica**  
**Valutazione impatto elettromagnetico sulla fauna marina**

Codice documento:  
**C0421YR23EMFMAR00a**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

Pagina  
**IV di V**

## **INDICE DELLE TABELLE**

Tabella 6.1 – Sensibilità ai campi elettrici e magnetici per elasmobranchi. ....	14
Tabella 6.2 – Sensibilità ai campi elettrici e magnetici per altri pesci. ....	19
Tabella 6.3 – Specie per cui le localita di spiaggiamento sono collegate ai minimi geomagnetici. ....	22
Tabella 6.4 – Sensibilità ai campi elettrici e magnetici per mammiferi marini. ....	26
Tabella 6.5 – Sensibilità ai campi elettrici e magnetici per rettili marini. ....	29
Tabella 6.6 – Sensibilità ai campi elettrici e magnetici per invertebrati. ....	32
Tabella 7.1 – Caratteristiche principali del cavo tripolare dinamico da 66 kV. ....	35
Tabella 7.2 – Caratteristiche principali dei cavi tripolari di esportazione a 220 kV. ....	35
Tabella 9.1 – Valori di input. Modalità di posa: cavo tripolare su fondale marino. ....	42
Tabella 9.2 – Elasmobranchi: fascia di influenza. ....	47
Tabella 9.3 – Altri pesci: fascia di influenza. ....	49
Tabella 9.4 – Mammiferi marini: fascia di influenza. ....	50
Tabella 9.5 – Rettili – tartarughe marine: fascia di influenza. ....	52
Tabella 9.6 – Invertebrati: fascia di influenza. ....	54



Ichnusa wind power srl

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

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione tecnica**  
**Valutazione impatto elettromagnetico sulla fauna marina**

Codice documento:  
**C0421YR23EMFMAR00a**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

Pagina  
**V di V**

## **INDICE DELLE VOCI**

---

<b>AT</b>	Alta Tensione
<b>CA</b>	Corrente Alternata
<b>CC</b>	Corrente Continua
<b>CEI</b>	Comitato Elettrotecnico Italiano
<b>EMF</b>	ElectroMagnetic Field
<b>EN</b>	European norm
<b>FOS</b>	Floating Offshore Substation
<b>HDPE</b>	High Density Poly-Ethylene
<b>IEC</b>	International Electrotechnical Commission
<b>ISO</b>	International Organization for Standardization
<b>MSDF</b>	Marine Strategy Framework Directive
<b>Ofec</b>	Offshore export cable
<b>Oncc</b>	Onshore connection cable
<b>Onec</b>	Onshore export cable
<b>TJB</b>	Transition Junction Bay
<b>WTG</b>	Wind Turbine Generator



Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**  
Engineering & Consulting Studio

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione tecnica**  
**Valutazione impatto elettromagnetico sulla fauna marina**

Codice documento:  
**C0421YR23EMFMAR00a**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

Pagina  
**1 di 70**

## **1. SCOPO DEL DOCUMENTO**

Alcune specie appartenenti alla fauna presente nell'ecosistema marino sono in grado di captare i campi magnetici e/o elettrici, servendosi di questi per la navigazione, l'orientamento, l'accoppiamento, per la difesa da predatori o per catturare prede. All'interno di un habitat naturale così caratterizzato, l'introduzione di campi elettromagnetici generati da attività antropiche può essere motivo di disturbo per le normali abitudini delle suddette specie. A valle di tali assunzioni, l'installazione di cavi di potenza sottomarini deve essere soggetta ad una quantificazione preventiva dell'impatto generato sulla fauna che dimostri il buon adeguamento delle opere allo scenario di base.

In questo senso, scopo del presente documento è quello di valutare l'impatto elettromagnetico sulla fauna marina, generato dalla fase di esercizio di cavi elettrici marini in alta tensione a servizio di un parco eolico flottante ubicato nel mare di Sardegna sud-occidentale. In generale, anche grazie all'utilizzo delle migliori tecniche e tecnologie esistenti nel settore offshore, è stato possibile affermare che gli impatti attesi possono essere considerati esigui, se non addirittura trascurabili, durante l'esercizio dell'impianto.

Il documento risulta composto da:

- una descrizione sintetica del parco eolico;
- un elenco relativo alle linee guida e indirizzi normativi;
- cenni teorici relativi al magnetismo ed alla relazione tra magnetismo ed elettricità;
- una trattazione generale relativa alle specie marine dotate di senso magnetico ed elettrico;
- una trattazione più dettagliata relativa alle abitudini delle suddette specie marine ed agli effetti dei campi elettromagnetici su di esse; sono altresì riportati i principali studi di riferimento da cui è stato possibile prevedere opportuni valori di sensibilità delle specie;
- una descrizione delle tipologie di cavi sottomarini previsti per il parco eolico flottante;
- una descrizione dei modelli di calcolo utilizzati per la valutazione del campo magnetico indotto;
- l'esposizione dei risultati ottenuti dalla fase di calcolo ed il confronto dei valori di emissione dei cavi con i limiti di sensibilità delle specie marine interessate dallo studio;
- idonee conclusioni a valle dei risultati ottenuti e valutazione degli impatti anche mediante l'utilizzo di apposite matrici di impatto.





Ichnusa wind power srl

iLStudio.  
Engineering & Consulting Studio

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione tecnica**  
**Valutazione impatto elettromagnetico sulla fauna marina**

Codice documento:  
C0421YR23EMFMAR00a

Data emissione:  
Marzo 2023

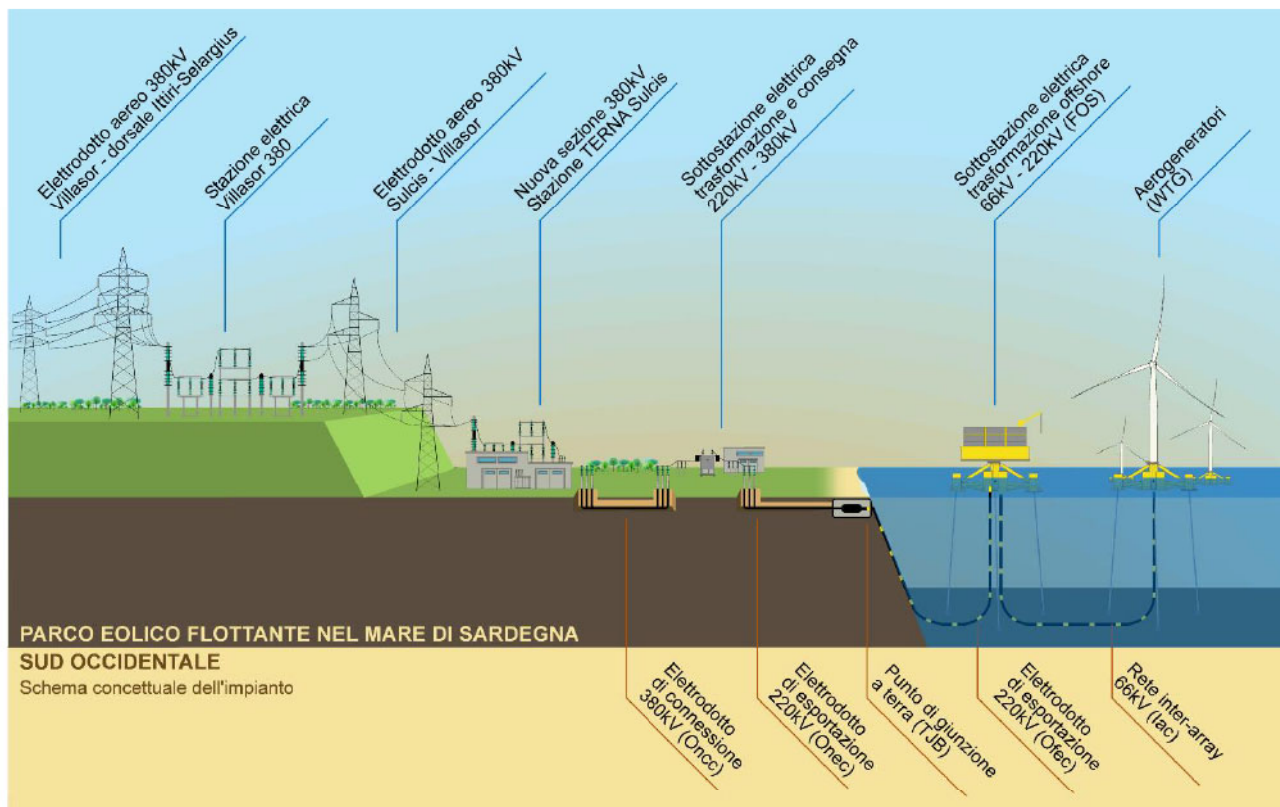
Pagina  
2 di 70

## 2. DESCRIZIONE SINTETICA DEL PROGETTO

L'impianto di produzione eolica, a realizzarsi nel mare di Sardegna sud-occidentale nel settore geografico ovest-nord-ovest delle coste di Portoscuso e dell'isola di San Pietro, a oltre 35 km dalle più vicine coste sarde garantirà una potenza nominale massima pari a 504MW attraverso l'utilizzo di 42 aerogeneratori e 2 sottostazioni elettriche di trasformazione sostenuti da innovative fondazioni galleggianti.

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.



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

Elaborazione iLStudio.

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 155 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 due sottostazioni elettriche offshore galleggianti (*Floating Offshore Substation - FOS*) per l'elevazione di tensione al livello 220 kV. Il trasporto dell'energia verso la terraferma avverrà con un elettrodotto di esportazione sottomarinico (*Offshore export cable - Ofec*) fino ad un punto di giunzione a terra (*Transition Junction Bay - TJB*). L'energia sarà quindi trasportata, mediante elettrodotto di esportazione interrato (*Onshore export cable - Onc*), presso una sottostazione elettrica di trasformazione e consegna in



Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**

Engineering & Consulting **Studio**

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica

Valutazione impatto elettromagnetico sulla fauna marina

Codice documento:

**C0421YR23EMFMAR00a**

Data emissione:

**Marzo 2023**

Pagina

**3 di 70**

località Portovesme, ove sarà effettuata l'elevazione della tensione nominale da 220kV a 380kV. Da qui, un breve elettrodotto interrato di connessione (*Onshore connection cable - Oncc*), permetterà il collegamento alla nuova sezione a 380kV all'interno della esistente stazione TERNA Sulcis.

Il progetto prevede la sostituzione dell'esistente elettrodotto aereo a 220 kV "Sulcis-Villasor" attraverso la costruzione di un nuovo elettrodotto a 380 kV che, seguendo il tracciato della linea esistente, unirà le stazioni di "Sulcis" e la nuova stazione elettrica Villasor 380 e raccorderà questa alla dorsale regionale 380 kV Ittiri-Selargius. Gli interventi di riqualificazione e ammodernamento della linea, oltre a consentire l'immissione in rete dell'energia prodotta dal parco, costituiranno anche una opportunità per ulteriori iniziative di produzione di energia da fonte rinnovabile, nonché il miglioramento dei servizi elettrici al territorio del Sulcis aumentandone l'efficienza e la fruibilità.





Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**  
Engineering & Consulting Studio

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione tecnica**  
**Valutazione impatto elettromagnetico sulla fauna marina**

Codice documento:  
**C0421YR23EMFMAR00a**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

Pagina  
**4 di 70**

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

Ai fini del presente studio, tra le linee guida, le direttive dell'Unione Europea, i riferimenti legislativi e la normativa tecnica, è stato fatto riferimento a:

- DIRETTIVA 2008/56/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 17 giugno 2008 che istituisce un quadro per l'azione comunitaria nel campo della politica per l'ambiente marino (direttiva quadro sulla strategia per l'ambiente marino): Marine Strategy Framework Directive – MSFD) il cui obiettivo è quello di raggiungere un buono stato ecologico delle acque marine nei territori dell'Unione Europea entro il 2020.
- DECRETO 15 febbraio 2019 - Aggiornamento della determinazione del buono stato ambientale delle acque marine e definizione dei traguardi ambientali. MINISTERO DELL'AMBIENTE E DELLA TUTELA DEL TERRITORIO E DEL MARE
- 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 211-4 "Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee e da stazioni elettriche".



Ichnusa wind power srl

iLStudio.  
Engineering & Consulting Studio

## 4. CENNI TEORICI

Il capitolo propone alcune nozioni teoriche relative al campo magnetico ed alla sua interazione con il campo elettrico.

### 4.1. Campo magnetico

Già nel 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.

#### 4.1.1. Il campo magnetico terrestre – campo geomagnetico

Il campo geomagnetico è un fenomeno fisico naturale che dall'equatore ai poli, sulla superficie terrestre, assume un valore che va da poco più di 20  $\mu\text{T}$  all'equatore, a circa 70  $\mu\text{T}$  delle zone polari. Esso è generato dall'oceano di ferro liquido surriscaldato occupante la gran parte del nucleo esterno (~3000 km di profondità). I moti che caratterizzano questo fluido e l'ambiente estremo per le temperature e le pressioni elevate, creano potenti correnti elettriche che, a loro volta, generano il campo magnetico che avvolge l'intero pianeta.

Dall'esame dei dati risulta che l'intensità significativa del campo geomagnetico nell'area del Mediterraneo può variare da 43 a 47  $\mu\text{T}$ , come mostrato in Figura 4.1. Più precisamente, nell'area del parco i valori si attestano attorno a 45  $\mu\text{T}$ .

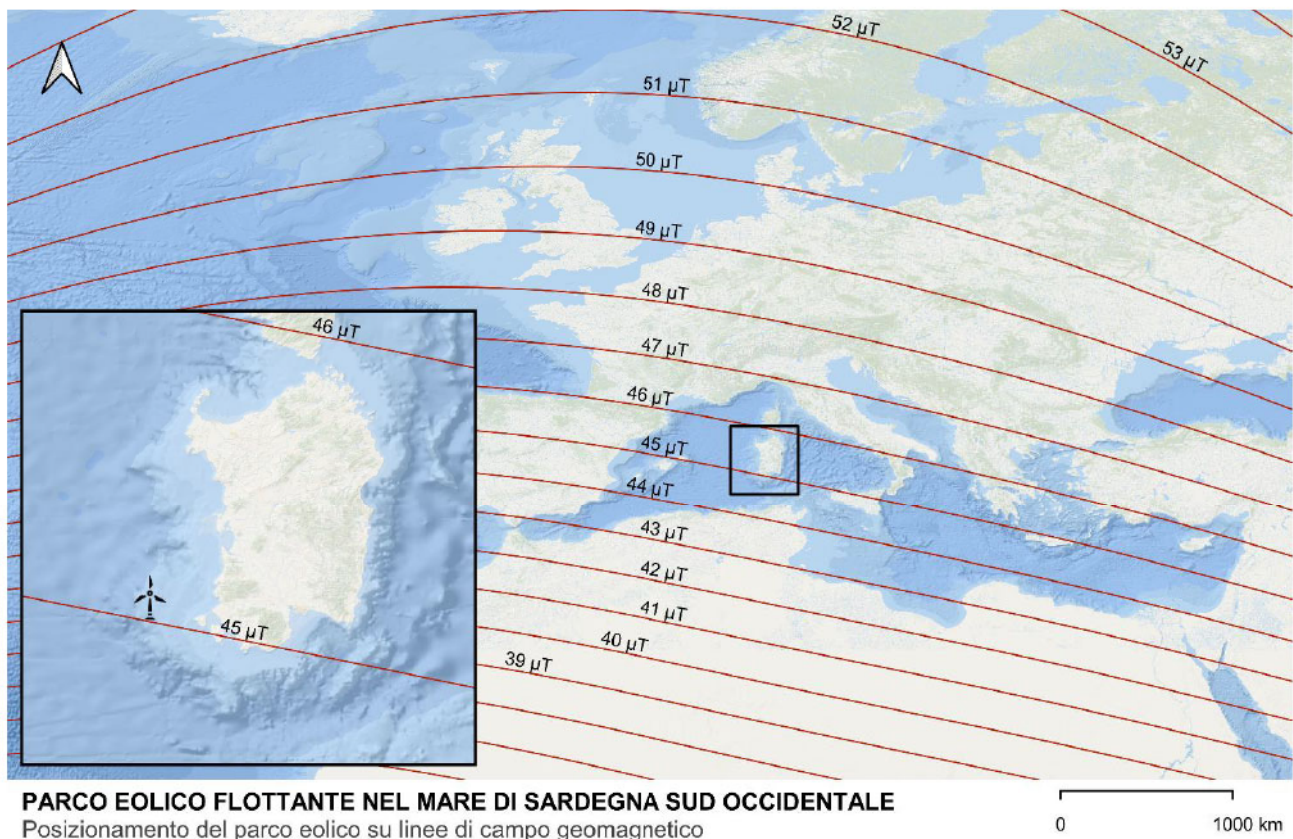


Figura 4.1 – Posizionamento del parco eolico su linee di campo geomagnetico.



## 4.2. 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.

### 4.2.1. 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.

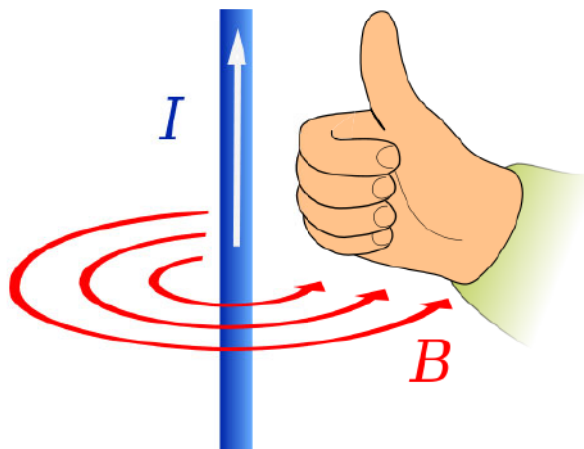


Figura 4.2 – Linee di campo magnetico indotto, regola della mano destra.

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.





Ichnusa wind power srl

iLStudio.

Engineering & Consulting Studio

## PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica

Valutazione impatto elettromagnetico sulla fauna marina

Codice documento:

C0421YR23EMFMAR00a

Data emissione:

Marzo 2023

Pagina

7 di 70

## 5. FAUNA MARINA, CAMPI ELETTRICI E MAGNETICI

Diverse specie marine si sono evolute per sviluppare la capacità di ricevere e/o utilizzare i segnali elettrici e magnetici in diversi aspetti essenziali della loro vita, quali il rilevamento di prede, predatori, ed individui del sesso opposto a fini riproduttivi, oltre che per orientarsi durante le migrazioni.

In generale, la capacità di un essere vivente di percepire accuratamente il proprio ambiente risulta essere essenziale per la sua sopravvivenza. Sensi quali la vista, l'udito, il tatto, la chemio-ricezione (gusto e olfatto) e l'equilibrio sono a noi familiari e pertanto di facile comprensione in quanto gli esseri umani li utilizzano nella vita di tutti i giorni per raccogliere informazioni ed interagire con l'ambiente esterno.

Tuttavia, è necessario tener presente che la gamma di stimoli sensoriali percepiti da altre specie animali (es. livello sonoro, lunghezza d'onda luce) può essere ben al di fuori del nostro range sensoriale, portando tali specie a percepire il mondo in modi a noi del tutto sconosciuti. Un classico esempio di questo fenomeno è fornito dall'eco-localizzazione dei cetacei; tramite un elaborato sistema di emissione e ricezione di frequenze sonore anche al di fuori del range uditivo degli esseri umani (Bladley & Stern, 2008), questi mammiferi marini sono in grado di creare una mappa dell'ambiente circostante senza dover ricorrere alla vista (Bortolotto & Manfrini, 2020) (Pavan, 2014). In altri casi, differenti habitat ed esigenze hanno portato alcune specie allo sviluppo di sistemi sensoriali meno sviluppati o completamente estranei negli esseri umani. In particolare, nell'ambiente sottomarino, la ridotta disponibilità di luce dovuta a fattori quali profondità e torbidità dell'acqua, ha esercitato una forte pressione evolutiva/selettiva sulle specie marine in favore di sistemi sensoriali come l'udito, la chemio-ricezione, l'elettro-ricezione e la magneto-ricezione.

Ai fini del presente studio, verranno considerate le specie aventi sistemi sensoriali elettromagnetici.

I sensi elettromagnetici, per quanto riguarda le specie marine, si sono evoluti secondo differenti modalità in molti taxa, con una varietà di sistemi sensoriali, a volte multipli, che include meccanismi fotochimici basati sulla magnetite, linee laterali e ampolle di Lorenzini.

In generale, gli animali aventi sistemi sensoriali elettromagnetici possono essere distinti in:

- specie magneto-sensibili, dotate di una bussola e/o di una mappa magnetica che consente il ritorno nella propria tana (in inglese *homing*) e la migrazione su brevi e lunghe distanze; gli animali magneto-sensibili generalmente rispondono a piccoli cambiamenti di inclinazione, intensità e/o direzione di un campo magnetico.
- specie elettro-sensibili, in grado di captare deboli campi elettrici col fine di rilevare prede e predatori, per comunicare con membri della stessa specie, per trovare individui del sesso opposto durante la stagione riproduttiva, e per orientarsi localmente.

Per completezza, va notato che questa non è una suddivisione rigida e che alcune specie possono essere sia elettro che magneto-sensibili.

Nel presente capitolo si riportano alcune informazioni generali in merito alla sensibilità ai campi elettrici e magnetici ed agli effetti dei campi elettromagnetici antropogenici su alcuni taxa marini.

### 5.1. Specie magneto-sensibili

Il campo magnetico terrestre è presente in tutti gli habitat del nostro pianeta ed è alla base dell'esistenza di alcuni organismi. Esso, fornisce potenziali stimoli (intensità magnetica, inclinazione) per l'orientamento delle specie magneto-sensibili.

Gli studi effettuati sulla magneto-ricezione hanno portato negli anni a focalizzare l'attenzione su specie che effettuano migrazioni a lungo raggio per scopi alimentari o riproduttivi. Prove consolidate indicano che gli stimoli magnetici ambientali naturali provenienti dalla Terra vengono utilizzati in vari contesti da un'ampia



Ichnusa wind power srl

iLStudio.

Engineering & Consulting Studio

## PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica

Valutazione impatto elettromagnetico sulla fauna marina

Codice documento:

C0421YR23EMFMAR00a

Data emissione:

Marzo 2023

Pagina

8 di 70

varietà di organismi marini.

Grazie ad esperimenti di manipolazione e condizionamento del campo magnetico in ambiente marino, è stato possibile dimostrare la capacità di alcune specie di rilevare tale campo. Le esperienze effettuate hanno portato ad indicare come magneto-sensibili i Molluschi (Lohmann & Willows, 1987), i Crostacei (Boles & Lohmann, 2003) (Ugolini, 2006), i Pesci elasmobranchi (Kalmijn, 1982), i Pesci ossei (Walker, et al., 1984) (Quinn, 2000) (Walker, et al., 1997) (Nishi, et al., 2004) e le Tartarughe marine (Lohmann, 1991). In Francia ricercatori dell'Università di Rennes (Kremers, et al., 2014) hanno osservato il comportamento di sei delfini tursiopi, allevati in un delfinario a Port Saint Pierre, messi a contatto con due dispositivi uguali per forma e densità, ma che differivano dal punto di vista magnetico. Dai risultati si evince che i delfini siano capaci di distinguere i due dispositivi e quindi è possibile considerarli magnetosensibili, ma sono necessari ulteriori studi per ottenere un risultato conclusivo.

In particolare, le tartarughe marine utilizzano punti di riferimento magnetici per orientarsi durante le lunghe migrazioni che compiono verso i loro siti riproduttivi (Lohmann, 1991); dagli studi effettuati è emersa la capacità di questi animali di utilizzare i campi magnetici terrestri per creare una "mappa" che fornisce informazioni spaziali sulla loro posizione durante gli spostamenti migratori (Lohmann, et al., 2004).

In generale, si può ritenere di buon grado che tali capacità siano presenti anche in altri organismi marini, come alcuni invertebrati (aragoste) (Boles & Lohmann, 2003); è bene precisare che sono tuttavia necessari ulteriori studi e test per averne la certezza.

### 5.2. Specie elettro-sensibili

La capacità di rilevare i campi elettrici è ben nota nei pesci elasmobranchi, una sottoclasse dei Condroitti che include squali, razze e pesci ratto olocefali. Questi animali presentano strutture anatomiche note come "Ampolle di Lorenzini", il cui scopo è il rilevamento dei deboli campi elettrici presenti nell'ambiente sottomarino. Dal punto di vista comportamentale, l'elettro-senso dei Condroitti è noto per essere utilizzato per l'orientamento e l'approccio ai campi elettrici prodotti da fonti biologiche ed antropiche (ad esempio campi elettrici e galvanici). Oltre al rilevamento diretto di stimoli elettrici, esistono modelli per l'uso del sistema elettro-recettore per rilevare, orientare e possibilmente navigare verso stimoli magnetici tramite induzione.

Questo sistema elettro-sensoriale è presente anche in altri gruppi di pesci, quali le lamprede (ordine dei *Petromyzontiformes*) e gli storioni (ordine *Acipenseriformes*, sottoclasse *Chondrostei*), ed alcuni teleostei (il gruppo più grande di pesci ossei) hanno un sistema elettro-sensoriale altamente avanzato, sebbene la maggior parte dei teleostei non lo possiedono.

### 5.3. Effetti dei campi elettromagnetici antropogenici sulla fauna marina

Le installazioni di cavi elettrici in prossimità delle acque costiere sono in costante aumento sia in numero che in capacità in tutto il mondo, a causa della crescente domanda di energia elettrica e nell'ambito delle telecomunicazioni.

La valutazione delle risposte comportamentali nelle specie ritenute sensibili è sicuramente il primo passo per determinare se una specie è impattata dal campo elettromagnetico generato da un cavidotto elettrico. Gli studi condotti in tal senso sono in numero esiguo e spesso non hanno riscontrato particolari cambiamenti comportamentali tra le specie investigate. Tra i vari studi se ne riportano alcuni nel seguente elenco.





Ichnusa wind power srl

iLStudio.

Engineering & Consulting Studio

## PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica

Valutazione impatto elettromagnetico sulla fauna marina

Codice documento:

C0421YR23EMFMAR00a

Data emissione:

Marzo 2023

Pagina

9 di 70

- In Danimarca, per il parco eolico di Nysted nel mar Baltico meridionale, è stato condotto uno studio sulla risposta di alcune specie in prossimità del cavo di esportazione sottomarino del parco. Il report sullo stato del progetto [REDACTED] riporta l'indagine di monitoraggio su eventuali cambiamenti comportamentali delle sei specie di pesci ossei più abbondanti nella zona del parco: aringa (*Clupea harengus*), anguilla comune (*Anguilla anguilla*), merluzzo atlantico (*Gadus morhua*), anguilla (*Zoarces vivipara*), scorpione di mare (*Myoxocephalus scorpius*) e passera pianuzza (*Platichthyes flesus*). Tuttavia, a seguito del monitoraggio effettuato sulle suddette specie, non si è evidenziato alcun effetto negativo o variazione comportamentale.
- Alcuni studi [REDACTED] sono stati condotti sulle razze e sulle aragoste atlantiche. Le razze, possedendo organi elettro-sensibili [REDACTED], hanno presentato un modesto aumento del comportamento esplorativo e di ricerca del cibo in risposta ai campi elettromagnetici [REDACTED], mentre nel caso per le aragoste non si è rilevata alcuna risposta evidente.
- Studi condotti in Svezia e Danimarca hanno mostrato, in presenza di cavi elettrici sottomarini, un lieve cambiamento nel comportamento delle anguille in relazione alla velocità di migrazione. Tuttavia, gli autori di tali studi [REDACTED] hanno concluso che l'impatto globale sulla migrazione è risultato trascurabile e che il cavidotto marino non costituisce alcun ostacolo per la specie.
- Nei crostacei non sono stati individuati organi che fungono da elettrorecettori, anche se sembrerebbe che i gamberi d'acqua dolce riescano a sfruttare deboli campi elettrici per scovare le prede [REDACTED].
- Studi più recenti [REDACTED] sono stati effettuati sull'aragosta americana *Homarus americanus* e sulla razza *Leucoraja erinacea* per conoscerne il comportamento in seguito alle emissioni di EMF. I risultati hanno evidenziato la capacità per entrambe le specie di sapersi muovere attraverso un EMF e di modificare il proprio comportamento, inoltre *L. erinacea* ha avuto una risposta maggiore, muovendosi quasi il doppio e leggermente più velocemente rispetto ad *H. americanus* che ha avuto una risposta comportamentale inferiore.





Ichnusa wind power srl

iLStudio.  
Engineering & Consulting Studio

## 6. I TAXA MARINI E LE RISPOSTE AI CAMPI ELETTROMAGNETICI

Nel presente capitolo sono riportate informazioni aggiuntive e più dettagliate in merito alla capacità di alcune specie marine di rilevare sia campi elettrici che magnetici. [REDACTED]

All'interno della valutazione degli impatti dovuti ai campi elettromagnetici generati dall'esercizio dei cavidotti marini saranno considerate le specie presenti nel mare della Sardegna sud-occidentale.

### 6.1. Elasmobranchi

Le informazioni esistenti nella letteratura tecnico-scientifica forniscono una forte evidenza che i pesci elasmobranchi (squali e razze) possiedono la capacità di rilevare i campi elettrici. Indicazioni più deboli hanno portato a pensare, per alcune specie, la capacità di rilevare anche i campi magnetici.

Nel dettaglio la prova della sensibilità ai campi elettrici proviene da studi fisiologici, comportamentali e anatomici su numerose specie di un'ampia gamma di famiglie all'interno della sottoclasse degli elasmobranchi.

#### 6.1.1. Elettrorecezione

Tutti i pesci elasmobranchi possiedono un sistema elettro-sensoriale unico noto come le Ampolle di Lorenzini. Sebbene questi sistemi sensoriali siano stati identificati per la prima volta da Stefano Lorenzini nel 1678, la loro struttura, fisiologia e funzione è stata studiata nel dettaglio solo di recente. Questo sistema è costituito da una vasta gamma di recettori individuali che percepiscono l'ambiente tramite gli stimoli derivanti da campi elettrici.

La loro struttura è costituita da una piccola camera sensoriale collegata a un singolo canale sub-dermico di diametro pari a circa 1 mm e di lunghezza fino a 10 cm. Il fondo del canale ospita particolari ampolle contenenti cellule recettrici. Ogni ampolla è associata a rami di nervi cranici che formano gruppi separati su ciascun lato della testa. I canali sono riempiti con un gel conduttivo e reattivo, con cui interagiscono i campi elettrici esterni fornendo un potenziale elettrico alla camera ampollare. Tale potenziale stimola le cellule recettrici e i neuroni associati che trasmettono informazioni sensoriali al cervello.

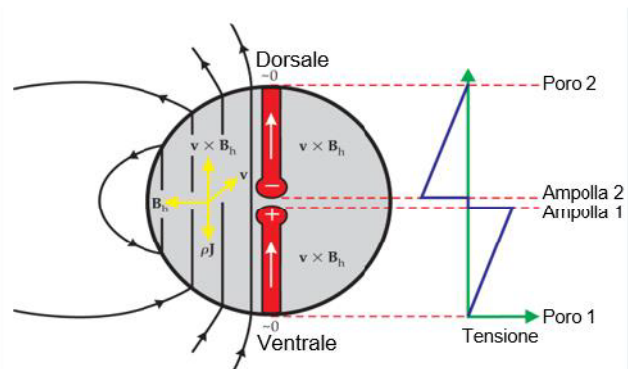
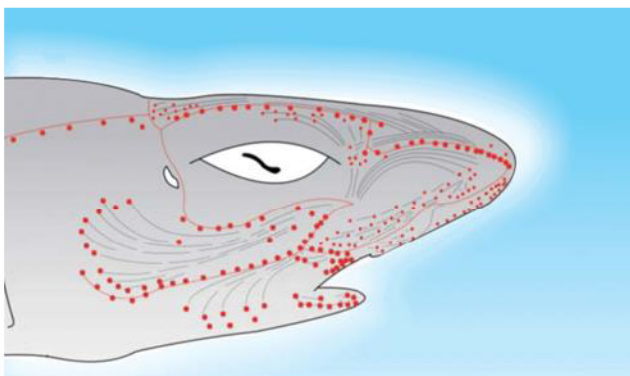


Figura 6.1 – Ampolle di Lorenzini.

Disposizione sulla testa di uno squalo (a sinistra), schema di funzionamento (a destra) (Johnsen & Lohmann, 2008).

La separazione della camera dell'ampolla sensoriale e dei pori da parte del canale intermedio rende queste strutture sensibili ai gradienti di tensione all'interno del loro ambiente, rilevati come differenza di potenziale sull'intera lunghezza del canale. Di conseguenza, i canali più lunghi sono più sensibili dei canali corti ai gradienti di campo deboli. [REDACTED]



Questi recettori sono fascici nella loro risposta per cui un animale fermo si adatterà entro pochi secondi a un campo elettrico costante e immutabile.

Tra gli studi in materia si annovera quello condotto da [REDACTED] il cui scopo è stato quello di determinare se la presenza di metalli elettropositivi potesse andare ad influenzare il comportamento degli squali (*Carcharhinus plumbeus*) e le loro modalità di nuoto sia in cattività che in esperimenti di laboratorio. I risultati hanno dimostrato che gli squali tendono a modificare il comportamento, evitando di avvicinarsi alle barre metalliche elettropositive probabilmente per una lieve irritazione (chimica o elettrica). Di fatto sono state registrate un numero inferiore di posizioni entro i 100 cm dalle barre e un numero maggiore a distanze superiori a 200 cm. Questi dati confermano lavori precedenti [REDACTED] in cui il raggio di deterrenza per *C. plumbeus* (100 cm) era maggiore di quello per i *Squalus acanthias* (10-20 cm).

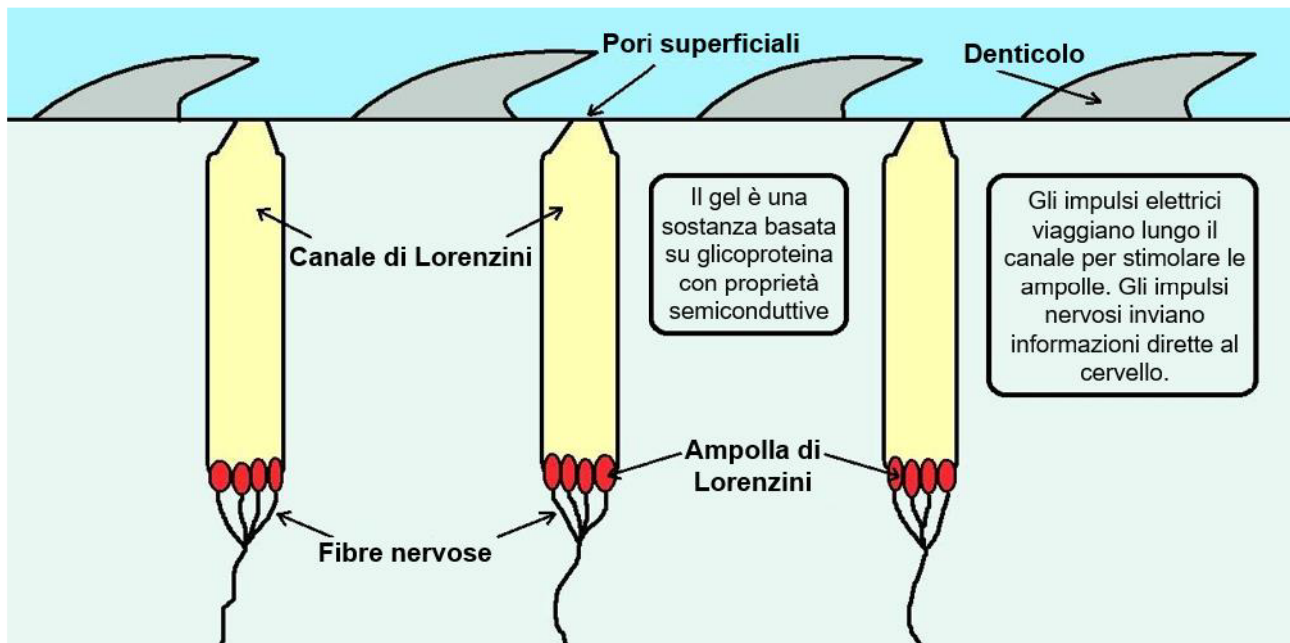


Figura 6.2 – Dettaglio delle ampolle di Lorenzini.

L'elettro-senso, oltre ad essere particolarmente utile nella navigazione e nell'orientamento, è altrettanto utile per squali e razze in altre tre funzioni, riportate nel seguente elenco puntato.

- Alimentazione: gli elasmobranchi sono in grado di captare deboli campi bioelettrici generati dalle loro prede. Da un'esperienza in laboratorio, squali gatto e razze hanno compiuto attacchi diretti ad un piccolo esemplare di platessa sepolto nella sabbia e hanno localizzato lo stesso tipo di preda, opportunamente chiusa in una apposita camera impermeabile agli odori ma permeabile al campo bioelettrico [REDACTED]. Un ulteriore caso di esempio è dato dalla specie *Cephaloscyllium ventriosum* (in inglese, swell shark) la quale utilizza segnali bioelettrici per catturare prede durante la caccia notturna [REDACTED].

In generale, gli studi riportati dimostrano come squali e razze fanno affidamento al proprio elettro-senso per localizzare prede a brevi distanze specialmente quando queste sfuggono dal loro campo visivo. L'ordine di grandezza delle distanze entro cui tali specie possono utilizzare l'elettro-senso si attesta su poche decine di centimetri dalla sorgente del campo bioelettrico.





Ichnusa wind power srl

iLStudio.  
Engineering & Consulting Studio

<b>PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE</b> PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica Valutazione impatto elettromagnetico sulla fauna marina		
Codice documento: C0421YR23EMFMAR00a	Data emissione: Marzo 2023	Pagina 12 di 70

- Riproduzione: mediante il rilevamento e la localizzazione di altri individui. È il caso della pastinaca di Haller (*Urobatis halleri*), la quale utilizza il senso elettrico per includere le interazioni sociali durante la riproduzione [REDACTED]. Infatti, durante la stagione dell'accoppiamento, gli individui di entrambi i sessi usano l'elettro-senso per localizzare le femmine con range compresi tra 0.1 e 1 m.
- Protezione: mediante il rilevamento di campi bioelettrici prodotti da potenziali predatori. Ad esempio, gli individui embrionali o giovani della specie *Raja eglantera*, possono rilevare deboli stimoli bioelettrici prodotti da predatori di uova come elasmobranchi, pesci teleostei, mammiferi marini e gasteropodi [REDACTED]. In generale, l'elettro-senso può rappresentare un'arma fondamentale durante la prima parte della vita di un individuo, con l'obiettivo di sfuggire e sopravvivere alla localizzazione dei predatori.

### 6.1.2. Magnetoricezione

Si ritiene che alcune specie appartenenti alla sottoclasse degli Elasmobranchi potrebbero avere capacità di rilevare i campi magnetici. Come riportato nell'elenco a seguire, si ipotizza che tale rilevamento sia dovuto al loro sensibile sistema di elettroricezione (ampolle) o alla presenza di appositi ricettori costituiti da cristalli nanometrici di magnetite.

- Kalmijn ha proposto un modello di induzione elettromagnetica costruito sul sistema di elettro-sensibilità presente negli elasmobranchi [REDACTED]. Tale modello è basato sulla legge di Faraday relativa ad un materiale conduttore in movimento all'interno di un campo magnetico ed alla conseguente instaurazione di una forza elettromotrice. Sotto tali assunzioni, uno squalo che nuota attraverso le linee del campo magnetico terrestre dovrebbe percepire una differenza di potenziale tra le ampolle presenti sul dorso e quelle presenti sulla pancia, dipendente dall'intensità del campo, dalla velocità e direzione del moto. A questo punto si prevede un debole flusso di corrente passante per il volume conduttore di acqua interposto tra le zone con differente potenziale. In questo modo l'animale percepisce uno stimolo elettrico costante almeno fino a quando non avvenga una variazione della velocità, direzione di navigazione o una variazione del campo magnetico esterno. I segnali elettrici indotti sul corpo dell'animale permettono di derivare informazioni riguardo al campo magnetico dell'ambiente esterno.
- Sebbene per gli elasmobranchi non si ha certezza sulla presenza di sistemi diretti di ricezione magnetica, per altre specie vi sono evidenze dell'esistenza di tali sistemi. Numerose tecniche sono state utilizzate con lo scopo di localizzare recettori di magnetite. Fino ad ora, la migliore evidenza a riguardo si è avuta sui piccioni e sulle trote. In particolare, per le trote, l'utilizzo di microscopi confocali e a forza atomica ha portato all'individuazione di cristalli di magnetite disposti in cellule, in prossimità di un nervo dedicato alle risposte agli stimoli magnetici. [REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]



Ichnusa wind power srl

iLStudio.

Engineering & Consulting Studio

## PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica

Valutazione impatto elettromagnetico sulla fauna marina

Codice documento:

C0421YR23EMFMAR00a

Data emissione:

Marzo 2023

Pagina

13 di 70

In Messico sono stati registrati i movimenti tra i rilievi sottomarini degli esemplari adulti di squalo-martello. È emerso che le tracce dei loro movimenti sono strettamente correlate con le variazioni del campo magnetico terrestre lungo le tratte migratorie, [REDACTED]. Nonostante tale comportamento risulti essere coerente con l'orientamento del campo magnetico, i meccanismi alla sua base sono ancora da determinare.

Da quanto appena illustrato, risulta esser chiaro che diverse specie di elasmobranchi facciano affidamento sugli stimoli elettrici e/o magnetici per orientarsi; tuttavia, i meccanismi alla base di questo fenomeno risultano essere ancora poco chiari e necessitano pertanto di ulteriori studi per essere propriamente compresi.

### 6.1.3. Effetti dei campi elettromagnetici generati da cavi sottomarini

La sensibilità degli elasmobranchi agli stimoli elettrici e magnetici può essere rapportata ai campi elettromagnetici prodotti dall'esercizio dei cavi di potenza sottomarini. [REDACTED]

Entrando nel merito del tema in oggetto, è d'obbligo fare riferimento agli studi sperimentali effettuati sulle specie all'interno del sottogruppo degli elasmobranchi, considerando tutti i possibili segnali comportamentali registrati durante le osservazioni.

In uno studio del 2005 si è osservato che il comportamento di giovani esemplari di squali che nuotano liberamente in grandi vasche confinate, possa essere condizionato da campi magnetici indotti da cavi in corrente continua [REDACTED]

In aggiunta, si è osservato che i neuroni primari relativi all'elettro-ricezione delle specie oggetto dello studio mostrano un elevato indice di sensibilità a campi elettrici generati da correnti alternate in range di frequenze compresi tra 1 e 10 Hz o per bande più ampie (0.01-25 Hz) in cui sono richieste tuttavia intensità del campo maggiori per poter stimolare il sistema ricettivo [REDACTED]

Tuttavia, in relazione ai campi variabili generati dai cavi in corrente alternata, sebbene le frequenze di esercizio siano nettamente al di sopra dei range sopra citati, si ritiene che l'entità delle intensità di tali campi possano essere captati dalle specie a distanze ridotte. A prova di tale supposizione, tenendo conto dello studio degli impatti EMF, si è osservata una variazione comportamentale negli elasmobranchi tra la condizione di funzionamento e non funzionamento di cavo in corrente alternata. Nel dettaglio, un gruppo di squali gatto maculati (*Scyliorhinus canicular*) sono stati osservati in prossimità del cavo di potenza in funzione, nelle zone in cui il campo magnetico indotto presenta le intensità più elevate (1-2 m dal cavo); tale fenomeno non è stato registrato nel caso di cavo spento. Considerazioni analoghe sono state possibili anche in riferimento al comportamento delle razze.

Per quanto riguarda i meccanismi di risposta, non è ancora noto se questi siano supportati da un elettro-senso ai campi alternati oppure da un senso magnetico non identificato. La risposta a tali interrogativi è rimandata a futuri studi.

#### 6.1.3.1. Potenziali impatti

Gli studi per valutare i potenziali effetti comportamentali sugli elasmobranchi dovuti all'emissione di campi elettromagnetici di origine antropica sono limitati e fanno riferimento ad un

numero ridotto delle circa 1000 specie di elasmobranchi viventi. Di conseguenza, la carenza di dati permette esclusivamente di formulare alcune considerazioni e deduzioni, che vengono riportate di seguito.

Molti squali e razze migrano e compiono movimenti stagionali lungo le coste o fra le acque costiere e quelle pelagiche. Durante gli spostamenti migratori, si può ipotizzare che gli incontri con i cavi elettrici sottomarini





Ichnusa wind power srl

iLStudio.

Engineering & Consulting Studio

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
 PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione tecnica**  
**Valutazione impatto elettromagnetico sulla fauna marina**

Codice documento:  
**C0421YR23EMFMAR00a**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

Pagina  
**14 di 70**

possano influenzare temporaneamente il loro percorso di migrazione su brevi distanze, tuttavia, il rilevamento di un'anomalia magnetica prodotta dal cavo sul fondale marino potrebbe non essere necessariamente negativo in quanto potrebbe fornire un punto di riferimento topografico facilmente riconoscibile.

Per quanto concerne invece le popolazioni stanziali che abitano nelle aree in prossimità del cavo, queste possono essere attratte, respinte o non influenzate dalla presenza dello stesso. Pertanto, in via cautelativa, si può ipotizzare che la distribuzione e le abitudini di nuoto delle popolazioni stanziali di elasmobranchi possano essere influenzate dai campi magnetici dei cavi di alimentazione anche se non vi sono ancora evidenze scientifiche che confermino questa possibilità.

Come già illustrato in precedenza, l'elettro-senso degli squali e delle razze è un importante strumento per rilevare e localizzare le prede in condizioni di scarsa visibilità o nel caso di specie che si mimetizzano con l'ambiente circostante. Gli effetti sulla predazione, mediante gli elettro-sensori, in prossimità di forti campi magnetici ambientali prodotti dai cavi di alimentazione, sono sconosciuti. I dati disponibili suggeriscono, tuttavia, che il rilevamento e l'attacco alle prede si concentra su sorgenti di campi a bassa frequenza (cioè <10 Hz).

Per quanto riguarda la riproduzione, molti pesci elasmobranchi adottano comportamenti di accoppiamento in specifiche località geografiche lungo le coste. L'elettro-senso viene utilizzato nella rilevazione degli individui del sesso opposto per l'accoppiamento. L'effetto dei cavi elettrici sugli nelle aree in cui avviene la riproduzione non risulta tuttavia noto.

**6.1.4. Riferimenti bibliografici, possibili valori di sensibilità**

La seguente tabella fornisce un elenco di specie di elasmobranchi per le quali sono state riportate informazioni sulla sensibilità ai campi elettrici e magnetici.

**Tabella 6.1 – Sensibilità ai campi elettrici e magnetici per elasmobranchi.**

Specie	Mare Sardegna sud-occidentale	Tipo Sensibilità	Valori Sensibilità	Evidenza	Riferimenti
<i>Mustelus canis</i>		E	0.005-0.01 $\mu\text{V}/\text{cm}$	Comportamentale	[REDACTED]
<i>Triakis semifasciata</i>		E	9.64 $\pm$ 10.28 V/m	Comportamentale	[REDACTED]
<i>Triakis scyllium</i>		E	0.2-10V e 0.1-5A, CC	Comportamentale	[REDACTED]
<i>Carcharhinus falciformis</i>	Possibile presenza	E	0.2-10V e 0.1-5A, CC	Comportamentale	[REDACTED]
<i>Carcharhinus leucas</i>		E	I <10 $\mu\text{A}$	Comportamentale	[REDACTED]
<i>Carcharhinus melanopterus</i>	Possibile presenza	E	0.2-10V e 0.1-5A, CC	Comportamentale	[REDACTED]
<i>Carcharhinus plumbeus</i>	Presente	E/M	medio: 0.0303 $\mu\text{V}/\text{cm}$ , / 25-100 $\mu\text{T}$	Comportamentale/ anatomica/ teorica	[REDACTED]
<i>Galeocerdo cuvier</i>	Presente	none	n/a	Nessuna risposta comportamentale per 0.2-10V e 0.1-5A, CC	[REDACTED]
<i>Prionace glauca</i>	Presente	E/M?	5 nV/cm / campo geomagnetico	Comportamentale/ osservativa	[REDACTED]
<i>Triacodon obesus</i>		E	0.2-10V e 0.1-5A, CC	Comportamentale	[REDACTED]
<i>Sphyrna lewini</i>	Presente	E/M	0.01 $\mu\text{V}/\text{cm}$ / 25- 100 $\mu\text{T}$	Comportamentale/ osservativa/ anatomica/teorica	[REDACTED]
<i>Sphyrna tiburo</i>		E	min: < 1 nV/cm; medio: 47 nV/cm	Comportamentale/ anatomica/teorica	[REDACTED]



Ichnusa wind power srl

iLStudio.

Engineering & Consulting Studio

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione tecnica**  
**Valutazione impatto elettromagnetico sulla fauna marina**

Codice documento:  
**C0421YR23EMFMAR00a**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

Pagina  
**15 di 70**

Specie	Mare Sardegna sud-occidentale	Tipo Sensibilità	Valori Sensibilità	Evidenza	Riferimenti
<i>Torpedo californica</i>		E	n/a	Comportamentale	[REDACTED]
<i>Platyrhinoidis triseriata</i>		E	n/a	Fisiologica	[REDACTED]
<i>Amblyraja radiata</i>		E	n/a	Anatomica/teorica	[REDACTED]
<i>Dipturus laevis</i>		E/M?	n/a / campo geomagnetico	Anatomica/teorica	[REDACTED]
<i>Leucoraja erinacea</i>		E	1-20 µV/cm	Fisiologica/ comportamentale/ anatomica	[REDACTED]
<i>Leucoraja ocellata</i>		E	n/a	Fisiologica/ comportamentale	[REDACTED]
<i>Raja clavata</i>	Presente	E/M	0.01 µV/cm – indotto = 0.16 mV/cm / 0.35 G	Comportamentale/ fisiologica	[REDACTED]
<i>Raja eglanteria</i>		E	0.5 e 7 Hz	Comportamentale/ fisiologica	[REDACTED]
<i>Dasyatis sabina</i>		E	0.0075 - 9.2 µV/cm; frequenza 0.1 4 8 Hz	Comportamentale/ anatomica/fisiologica	[REDACTED]
<i>Himantura granulata</i>		E	n/a	Teorica	[REDACTED]
<i>Urobatis halleri</i>		E/M	0.005 -pochi µV/cm	Comportamentale/ fisiologica	[REDACTED]
<i>Myliobatis californica</i>		M?	Campo geomagnetico	Teorica/osservativa	[REDACTED]
<i>Rhinoptera bonasus</i>		E	7.5 nV/cm	Anatomica/fisiologica	[REDACTED]
<i>Rhinoptera bonasus</i>		E	7.5 nV/cm	Anatomica/ fisiologica	[REDACTED]

## 6.2. Altri pesci

La letteratura tecnico-scientifica fornisce evidenze in merito alla possibilità, per alcune specie ittiche, di captare campi elettrici e/o magnetici. Tali evidenze sono frutto di studi di fisiologici, comportamentali e anatomici effettuati su molteplici specie appartenenti ad un ampio range di famiglie e ordini. Nel presente paragrafo si riportano i riferimenti agli studi effettuati in merito al tema in oggetto ed i possibili valori di sensibilità delle specie di pesci studiate.

### 6.2.1. Elettrorecezione

Evidenze di organi deputati all'elettro-ricezione sono comuni nei **pesci non teleostei** [REDACTED]. A tal proposito, tutti i Condritti viventi (Elasmobranchi e Holocephali) possiedono le ampolle di Lorenzini; anche per le lamprede (ordine Petromyzontiformes) e per gli storioni (ordine Acipenseriformes) vi sono evidenze sulla presenza di un senso elettrico.

Per quanto riguarda invece i **pesci teleostei**, si hanno evidenze di elettro-ricezione in due gruppi:

- siluriformi (ordine Siluriformes), di cui si ha certezza di organi elettro-sensoriali [REDACTED]
- anguilliformi (ordine Anguilliformes), in cui sono state osservate risposte ai campi elettrici, con riferimento specifico alle anguille d'acqua dolce; tuttavia, a differenza di altri gruppi, l'evidenza equivoca per gli anguilliformi suggerisce l'assenza di un senso elettrico altamente sensibile e specializzato [REDACTED]

In generale, gli organi sensoriali per l'elettro-ricezione sono classificati come [REDACTED]





Ichnusa wind power srl

iLStudio.  
Engineering & Consulting Studio

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

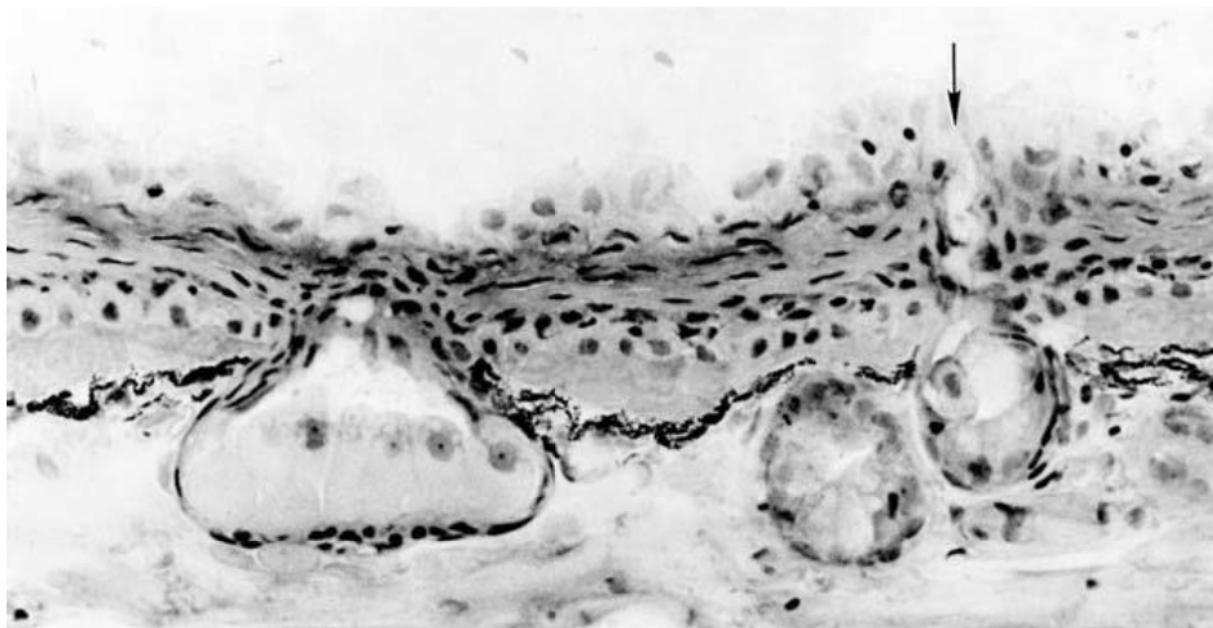
**Relazione tecnica**  
**Valutazione impatto elettromagnetico sulla fauna marina**

Codice documento:  
**C0421YR23EMFMAR00a**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

Pagina  
**16 di 70**

- ampollari, sintonizzati su campi elettrici con frequenze più basse (valori da <math><0.1</math> a 25 Hz); le ampolle di Lorenzini e organi simili sono stati trovate negli elasmobranchi, nei pesci ratto, nelle lamprede, negli storioni e nei pesci gatto (in questi ultimi vengono dette "Ampolle di teleostei");
- tuberosi, sintonizzati su campi elettrici con frequenze più alta (da 50 a valori maggiori di 2000 Hz). La presenza di ricettori tuberosi è evidente esclusivamente in due ordini di teleostei ed in particolare per pesci elettrici d'acqua dolce (ordine Gymnotiformes in Sud America e Osteoglossiformes, famiglia Mormyridae, in Africa) [REDACTED].



**Figura 6.3 – Organi elettroricettori.**

Nella foto a sinistra è presente un organo elettrorecettore tuberoso e a destra un organo ampollare [REDACTED].

Si ritiene che i ruoli funzionali per l'elettro-ricezione nei suddetti taxa siano simili a quelli descritti per gli elasmobranchi. In particolare, studi comportamentali suggeriscono che il rilevamento delle prede è il ruolo primario del senso elettrico nei pesci teleostei [REDACTED]. In aggiunta, sono state rilevate risposte, relative all'alimentazione [REDACTED], a campi elettrici a 50 Hz per diverse specie di storione, e risposte sia fisiologiche che comportamentali a campi elettrici di caratteristiche confrontabili a quelle dei campi prodotti da prede nel caso dei pesci ratto.

Altri ruoli potenziali associati al senso elettrico sono quelli necessari per il rilevamento dei predatori oltre che per funzioni sociali e riproduttive. Nel dettaglio sono state osservate diverse risposte ai campi elettrici nelle lamprede di mare maschio e femmina durante specifici periodi di vita, suggerendo un ruolo dell'elettro-ricezione nella loro riproduzione [REDACTED].

Infine si nota anche che i pesci marini con un senso elettrico possono rilevare le tensioni di induzione generate dal loro movimento attraverso il campo magnetico terrestre. Pertanto, l'uso di segnali geomagnetici per l'orientamento e/o la navigazione è un'altra funzione plausibile per il senso elettrico nei pesci.

### **6.2.2. Magnetoricezione**

Per quanto concerne gli studi focalizzati sull'eventuale presenza di organi magneto-ricettivi nei pesci, prove sperimentali hanno dimostrato la magneto-ricezione in almeno due famiglie di **teleostei** (Salmonidae e Scombridae), che risultano tuttavia privi di elettro-senso. In aggiunta sono state raccolte alcune prove per delle specie appartenenti ad altre tre famiglie (Scorpaenidae, Haemulidae e Pleuronectidae), anche in questo caso prive di elettro-senso.



Ichnusa wind power srl

iLStudio.

Engineering & Consulting Studio

## PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica

Valutazione impatto elettromagnetico sulla fauna marina

Codice documento:

C0421YR23EMFMAR00a

Data emissione:

Marzo 2023

Pagina

17 di 70

Tali evidenze portano a pensare che i pesci marini sensibili agli stimoli magnetici ma privi di elettro-senso esista un sistema recettore della magnetite, così come supportato anche da studi scientifici significativi sui pesci ossei. Infatti i primi studi hanno riportato la presenza di magnetite nella regione della fronte del tonno pinna gialla (*Thunnus albacares*) e di diverse specie di salmonidi (*Salmo trutta*, *Oncorhynchus keta*) [REDACTED]. Più recentemente cristalli di magnetite e diverse strutture di supporto sono stati identificati nella rosetta olfattiva della Trota iridea (*Oncorhynchus mykiss*) [REDACTED]. Nel dettaglio, particelle di ferro coerenti con le dimensioni e le proprietà della magnetite a dominio singolo sono state visualizzate nella rosetta olfattiva utilizzando tecniche di microscopia elettronica. Un ramo del nervo cranico trigemino, che normalmente innerva i muscoli della mascella e trasporta informazioni somatosensoriali (relative alla sensibilità tattile, propriocettiva, termica e dolorifica) al cervello, ha mostrato un piccolo ramo che si proiettava nell'epitelio chemiosensoriale del sistema olfattivo. Gli esperimenti di neurofisiologia sulle proprietà di scarica dei neuroni nel suddetto ramo del nervo trigemino hanno mostrato risposte di eccitazione ai campi magnetici pulsati, applicati attraverso la testa [REDACTED]. Tuttavia, i neuroni magneto-responsivi non hanno generato alcuna risposta in condizioni di campo invertito e di uguale intensità (polarità insensibile).

Tra gli altri studi effettuati sui pesci si ricorda che sono state trovate concentrazioni di materiale magnetico, isolate nella regione del sistema della linea laterale nell'anguilla europea (*Anguilla anguilla*) [REDACTED].

Per quanto riguarda infine i ruoli funzionali per la magneto-ricezione nei pesci, si ipotizzano l'orientamento, la navigazione e l'homing mediante utilizzo dei segnali geomagnetici [REDACTED].

Nel dettaglio, alcune specie di pesci possono utilizzare il senso magnetico per l'orientamento o l'homing all'interno di un raggio locale relativamente piccolo. Si è infatti ipotizzato l'apparente uso di un sistema di bussola per le migrazioni quotidiane del Pesce grugnitore bianco (*Haemulon plumieri*) supportato dal ruolo del senso magnetico [REDACTED]; inoltre, è stato riportato un comportamento di orientamento nella Passera di mare europea (*Pleuronectes platessa*) che suggerisce il possibile uso del senso magnetico [REDACTED]. Infine sono state riportate prove fisiologiche della presenza di un senso magnetico per lo Scorfano dalla banda scura (*Sebastes inermis*) [REDACTED].

L'uso del senso magnetico per le funzioni suddette spiegherebbe la capacità di pesci come il salmone e il tonno di compiere migrazioni a lunga distanza attraverso l'oceano aperto e, per le specie diadrome, di raggiungere i loro affluenti natali con notevole precisione. Tuttavia, nonostante il supporto di tale tesi su basi teoriche, non vi sono ancora forti evidenze in merito [REDACTED].

### 6.2.3. Effetti dei campi elettromagnetici generati da cavi sottomarini

Le sensibilità agli effetti dei campi elettromagnetici riportate in letteratura variano a seconda delle specie e degli studi condotti. Tuttavia, un confronto tra i livelli attesi dal funzionamento dei cavi sottomarini e le sensibilità segnalate rivela che numerose specie di pesci ossei sono probabilmente in grado di rilevare campi elettromagnetici indotti dai cavi di potenza.

Anche in questo caso, così come per gli elasmobranchi, sono state effettuate prove sperimentali per valutare eventuali disturbi comportamentali delle specie in oggetto.

[REDACTED]





Ichnusa wind power srl

iLStudio.

Engineering & Consulting Studio

## PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica

Valutazione impatto elettromagnetico sulla fauna marina

Codice documento:

C0421YR23EMFMAR00a

Data emissione:

Marzo 2023

Pagina

18 di 70

Per quanto riguarda invece la magneto-ricezione, gran parte delle esperienze condotte sui pesci sono state effettuate mediante la manipolazione del campo magnetico terrestre (generalmente  $\sim 50 \mu\text{T}$ ). Sebbene i livelli precisi di sensibilità ai campi magnetici non sono noti, dagli studi effettuati sono state riportate risposte a campi magnetici con intensità entro specifici range.

Entrando nel merito dello studio, è necessario effettuare anche considerazioni relative alle frequenze di esercizio tipiche dei generici cavi di potenza sottomarini. In riferimento al progetto del parco eolico offshore in oggetto, i cavi in corrente alternata (CA) comunemente usati in Europa per la trasmissione di elettricità dagli impianti eolici offshore alla costa, trasportano l'energia con frequenze pari a 50-60 Hz. Tali frequenze presentano variazioni del campo troppo elevate affinché la magnetite presente nei tessuti degli animali possa rispondere meccanicamente alle variazioni del campo elettromagnetico. Pertanto i sistemi ricettori basati sulla magnetite potrebbero non rispondere ai deboli campi magnetici indotti da correnti alternate.

I risultati della modellazione suggeriscono che un pesce dovrebbe trovarsi entro diversi metri da un cavo per rilevare un campo magnetico a 60 Hz generato da un cavo che trasporta 1000 A. Non è inoltre chiaro in che misura questo valore limite, se rilevato da un pesce magneto-ricettivo, possa interferire con il segnale del campo geomagnetico.

In conclusione, è corretto specificare che non si hanno studi relativi alle risposte di molte specie ittiche a campi elettromagnetici variabili nel tempo. Sebbene le prove esistenti suggeriscano che i sistemi di recettori ampollari sono generalmente sintonizzati su campi a bassa frequenza nell'intervallo compreso tra 0.1 a 25 Hz, non è chiaro quante specie possano rispondere a frequenze di 50-60 Hz. Mettendo da parte questa incertezza, basata sulle intensità modellate, il campo elettrico CA indotto può essere rilevabile da pesci elettro-ricettivi a più di 10 metri di distanza dal cavo.

### 6.2.3.1. Potenziali impatti

I potenziali impatti sui pesci dovuti ai campi elettromagnetici generati dall'esercizio dei cavi sottomarini dipendono dalle capacità sensoriali delle specie, dalle funzioni vitali supportate, dai suoi sistemi sensoriali magnetici o elettrici e dalle caratteristiche della evoluzione naturale della specie. Le funzioni vitali supportate dal senso elettrico e magnetico indicano che le specie in grado di rilevare campi magnetici devono affrontare potenziali impatti diversi da quelle che rilevano i campi elettrici.

Gli impatti sulle specie magneto-sensibili generati da campi magnetici alterati in prossimità di un cavo elettrico, dipendono da come le singole specie utilizzano il loro senso magnetico. Sebbene sia stato stabilito che alcune specie possano rilevare i campi magnetici, l'importanza del senso magnetico per l'orientamento o la navigazione non è stata ancora completamente compresa. Come già illustrato nei capitoli precedenti, è stato ipotizzato che alcune specie ittiche utilizzino il loro senso magnetico come strumento di navigazione per effettuare le migrazioni.

Gran parte della ricerca sulla magneto-ricezione nei pesci riguarda le specie migratrici delle famiglie Salmonidae, Anguillidae e Scombridae. Alcuni studi ipotizzano che i pesci che utilizzano il campo geomagnetico per guidare i loro movimenti, possano cambiare direzione e velocità di nuoto quando incontrano il campo magnetico generato da un cavo. Non è tuttavia noto se il campo magnetico sia



Ichnusa wind power srl

iLStudio.

Engineering & Consulting Studio

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica

Valutazione impatto elettromagnetico sulla fauna marina

Codice documento:

C0421YR23EMFMAR00a

Data emissione:

Marzo 2023

Pagina

19 di 70

utilizzato per la navigazione "locale" o per gli spostamenti su lunga distanza. Da questa prospettiva, l'estensione spaziale del campo magnetico da un cavo sottomarino rappresenterebbe un'influenza altamente localizzata rispetto alle distanze coperte dai pesci che migrano su lunghe distanze. In alcuni casi, segmenti di lunghi cavi di alimentazione possono intersecare rotte migratorie, aree di alimentazione o siti di deposizione delle uova per quelle specie sensibili ai campi elettromagnetici, e alterare quindi il loro normale comportamento. Tuttavia gli effetti ipotizzati sono attualmente non dimostrati.

Sebbene limitate, esistono alcune prove dirette delle risposte dei pesci ai cavi sottomarini. Nello specifico sono state osservate velocità di nuoto inferiori nella migrazione dell'Anguilla europea (*Anguilla anguilla*) durante l'attraversamento di un cavo in corrente continua [REDACTED]. In particolare, alcune singole anguille sono state osservate compiere una virata in prossimità del cavo, dando prova di rilevamento del campo magnetico indotto. Tuttavia le anguille hanno attraversato comunque il cavo e l'autore dello studio ha concluso che non vi era alcuna indicazione che questo costituisse un ostacolo permanente alla migrazione delle specie in oggetto.

Infine, per quanto riguarda lo storione, diversi rapporti suggeriscono una potenziale risposta comportamentale all'esposizione ai campi elettrici in corrente alternata dagli elettrodi nell'acqua [REDACTED] e ai campi magnetici CA dalle linee elettriche aeree [REDACTED].

**6.2.4. Riferimenti bibliografici, possibili valori di sensibilità**

La seguente tabella fornisce un elenco di specie di pesci per le quali sono state riportate informazioni sulla sensibilità ai campi elettrici e magnetici.

**Tabella 6.2 – Sensibilità ai campi elettrici e magnetici per altri pesci.**

Rielaborazione da: [REDACTED]

Specie	Mare Sardegna sud-occidentale	Tipo Sensibilità	Valori Sensibilità	Evidenza	Riferimenti
<i>Lampetra fluviatilis</i>		E	0.1 to 20 µV/cm	Fisiologica/anatomica	[REDACTED]
<i>Lampetra tridentate</i>		E	0.1 µV/cm - 20 µV/cm	Fisiologica	[REDACTED]
<i>Petromyzon marinus</i>	Presente	E	1 - 10 mV/cm	Fisiologica/ comportamentale/ anatomica	[REDACTED]
<i>Hydrolagus collicii</i>		E	0.2 µV/cm (5 Hz)	Fisiologica/ comportamentale/ anatomica	[REDACTED]
<i>Acipenser gueldenstaedtii</i>		E/M	0.2-6 mV/cm, (1.0-50 Hz)	Comportamentale/ osservativa/teorica	[REDACTED]
<i>Acipenser ruthenus</i>		E	0.2-6 mV/cm, (1.0-50 Hz)	Comportamentale	[REDACTED]
<i>Scaphirhynchus platyrhynchus</i>		E	<0.2 µV/cm a 4 cm	Fisiologica	[REDACTED]
<i>Anguilla anguilla</i>	Presente	E/M	0.4 mV/cm - 19 mV/cm / campo geomagnetico	Fisiologica/ comportamentale/ anatomica	[REDACTED]
<i>Anguilla rostrata</i>		E/M	0.067 mV/cm / campo geomagnetico	Fisiologica/ comportamentale/ anatomica	[REDACTED]
<i>Anguilla japonica</i>		M	Campo geomagnetico 12,663 - 192,473 nT	fisiologica	[REDACTED]
<i>Clarias batrachus</i>		M	n/a	fisiologica	[REDACTED]
<i>Ariidae</i>		E	n/a	Fisiologica/anatomica	[REDACTED]
<i>Oncorhynchus keta</i>		M	Campo geomagnetico	Comportamentale/ anatomica	[REDACTED]



Ichnusa wind power srl

iLStudio.

Engineering & Consulting Studio

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
 PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione tecnica**  
**Valutazione impatto elettromagnetico sulla fauna marina**

Codice documento:  
**C0421YR23EMFMAR00a**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

Pagina  
**20 di 70**

Specie	Mare Sardegna sud-occidentale	Tipo Sensibilità	Valori Sensibilità	Evidenza	Riferimenti
<i>Oncorhynchus nerka</i>		M	Campo geomagnetico	Comportamentale/ anatomica	
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Presente	M	50 $\mu$ T	Fisiologica/ comportamentale/ anatomica	
<i>Oncorhynchus tshawytscha</i>		M	Campo geomagnetico	Comportamentale	
<i>Salmo salar</i>		M/E?	0.5-4.0 mT; 0.6 mV/cm	Fisiologica/ comportamentale/ anatomica	
<i>Salmo trutta</i>	Presente	M	0.15 – 4.2 mT	Fisiologica/ comportamentale	
<i>Gadus morhua</i>		E	2 $\mu$ A/cm <sup>2</sup>	Comportamentale	
<i>Sebastes inermis</i>		M	n/a	Fisiologica	
<i>Haemulon plumier</i>		M?	Campo geomagnetico	Comportamentale	
<i>Thunnus albacares</i>	Presente	M	10 - 50 $\mu$ T	Comportamentale/ anatomica	
<i>Platichthys flesus</i>		none	n/a	Nessun effetto per esposizione a 3.7 mT CC per 7 settimane	
<i>Pleuronectes platessa</i>		M?	Campo geomagnetico	Comportamentale	

### 6.3. Mammiferi marini

Molte specie di cetacei effettuano migrazioni stagionali coprendo distanze nell'ordine delle migliaia di chilometri ogni anno tra le zone di alimentazione estiva situate nelle acque settentrionali e le zone di svernamento nelle acque meridionali. Per l'orientamento su tratte così lunghe, si è ipotizzato che queste specie possiedano un senso magnetico, orientato a captare il campo geomagnetico terrestre. Ad oggi, le prove del magnetismo dei cetacei sono di tipo teorico, comportamentale, fisiologico e anatomico (presenza di magnetite)

Tuttavia, si specifica che nessuno degli studi fino ad ora condotti ha determinato il meccanismo della magnetosensibilità; resta ancora molto da scoprire sulle ipotesi che i mammiferi marini usino un senso magnetico per navigare, ma la conclusione raggiunta dagli autori è che i membri dell'ordine dei Cetacei possono percepire il campo magnetico terrestre e possono pertanto usarlo per migrare su lunghe distanze.

A seguire si riportano alcuni riferimenti relativi agli studi effettuati in merito alla sensibilità dei mammiferi marini ai campi elettromagnetici.

#### 6.3.1. Elettrottezione

Studi psicofisici condotti sui delfini della Guyana (*Sotalia guianensis*) hanno dimostrato la capacità di questi cetacei di percepire i campi elettrici di almeno 4.6  $\mu$ V/cm generati dalle loro prede grazie ad un sistema di vibrisse localizzati sui lati del loro rostro. Si ritiene che questo sistema di elettrottezione sia utilizzato come senso supplementare per il rilevamento a distanza ravvicinata di specie ittiche che vivono sul fondo e in acque torbide [redacted]. Generalmente, sia i Mysticeti (balene, balenottere e megattere) che gli Odontoceti (delfini, orche, capodogli) nascono con vibrisse craniche, ma mentre i Mysticeti mantengono questo organo mecano-sensoriale per tutta la vita, nella maggior parte degli Odontoceti i peli vibrissali degenerano poco dopo la nascita e formano delle cripte vibrissali senza peli che rimangono visibili su ciascun lato della mascella superiore [redacted].

Gli adulti di delfino della Guyana possiedono una fila di 4-7 cripte su ciascun lato del rostro, che consistono in un'invaginazione ampollare del tegumento epidermico con dimensioni da 4,1 a 7,1 mm di lunghezza e da 1,2 a 4,3 mm di larghezza. Il lume è riempito con un biogel a base di glicoproteina, che viene costantemente rilasciato durante la desquamazione della pelle. Inoltre, nell'ampolla è intrappolata una rete di corneociti liberati e fibre cheratiniche. Le cripte vibrissali sono circondate da una fitta rete capillare e sono ben innervate (~300





Ichnusa wind power srl

iLStudio.

Engineering & Consulting Studio

## PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica

Valutazione impatto elettromagnetico sulla fauna marina

Codice documento:

C0421YR23EMFMAR00a

Data emissione:

Marzo 2023

Pagina

21 di 70

assoni) nei due terzi inferiori di ciascuna cripta dai rami infraorbitali del nervo trigemino. Gli autori (Czech-Damal, et al., 2012) ipotizzano che il biogel nel lume della cripta vibrissale possieda un'elevata conduttività elettrica e aumenti la sensibilità ai gradienti di tensione e che le fibre nervose intraepiteliali che si trovano vicino al lume siano responsabili del meccanismo di trasduzione.

Dato che anche altre specie di delfini, come il tursiope, possiedono cripte vibrissali da adulti e utilizzano una strategia di alimentazione bentonica simile a quella del delfino della Guyana, non è da escludere che l'elettroreazione sia presente in altri membri della famiglia dei Delphinidae [REDACTED]. L'elettroreazione passiva può essere un contributo prezioso all'interno dell'elaborazione multisensoriale delle balene dentate, che è stata ridotta dalla perdita dell'olfatto e dalla riduzione del sistema vestibolare. Tuttavia, al momento i dati sull'elettroreazione dei cetacei sono molto limitati e sono pertanto necessari ulteriori studi per avere un quadro più chiaro.

### 6.3.2. Magnetorecezione

In merito alle capacità magneto-ricettive dei mammiferi marini, si riportano alcuni riferimenti dei principali studi effettuati in merito.

Facendo riferimento ad un primo studio, è stato dimostrato indirettamente che la presenza di un possibile senso magnetico funzionale nei cetacei sia alla base dei fenomeni di spiaggiamento che riguardano esemplari altrimenti sani. Su questa base si è affermato che "gli spiaggiamenti vivi di cetacei sono esclusivamente errori commessi da animali che tentano di utilizzare la topografia geomagnetica per l'orientamento" [REDACTED]. L'analisi delle circostanze che circondano tali spiaggiamenti può identificare il meccanismo sensoriale responsabile dell'errore [REDACTED].

[REDACTED] Le mappe topografiche geomagnetiche illustrano le distorsioni locali dei campi magnetici terrestri risultanti da caratteristiche geologiche. Le aree con rocce contenenti materiali con proprietà magnetiche aumentano il campo locale totale e sono note come anomalie elevate. Aree con altre proprietà geologiche distorcono il campo e diminuendo il campo totale, determinando basse anomalie o minimi magnetici. [REDACTED]

[REDACTED] I risultati ottenuti dallo studio hanno indicato un'associazione con luoghi di spiaggiamento e minimi magnetici che si intersecavano con la costa, suggerendo, in ultima analisi, che i cetacei possiedono un sistema sensoriale magnetico.

Nell'ambito di un altro studio, sono state mappate le posizioni di spiaggiamento da dataset estrapolati sulla base di rilievi aeromagnetici (dati geomagnetici raccolti tramite aerei) per la costa orientale degli Stati Uniti e sono stati sviluppati metodi per dimostrare associazioni statisticamente affidabili tra i siti di spiaggiamento e le posizioni in cui i minimi magnetici si intersecano con la costa [REDACTED]. I risultati dello studio hanno indicato una forte correlazione tra le posizioni di spiaggiamento e i minimi magnetici da Cape Cod, Massachusetts a Cape Canaveral, in Florida, in cinque specie: Lagenorinco acuto (*Leucopleurus acutus*), Balenottera comune (*Balaenoptera physalus*), Globicefalo (*Globicephala melas*), Tursiope (*Tursiops truncatus*) e Stenella maculata atlantica (*Stenella frontalis*). In uno studio contiguo [REDACTED] sono stati confrontati 421 spiaggiamenti di cetacei vivi con le variazioni spaziali e temporali nei campi geomagnetici dal Texas al Maine. È stato scoperto che gli spiaggiamenti vivi possono essere associati a minimi geomagnetici nei *Globicephala melas*, *Globicephala macrorhynchus*, *Stenella striata*, *Stenella plagiodon/frontalis*, *Lagenorhynchus acutus*, *Balaenoptera physalus*, *Delphinus delphis*, *Phocoena phocoena*, *Physeter macrocephalus* e *Kogia breviceps*. Di contro, le posizioni di spiaggiamento di altre specie, tra cui il Tursiope, il Grampo, il Capodoglio pigmeo e le specie della famiglia Ziphiidae, non sono state statisticamente correlate alle anomalie geomagnetiche. Nella tabella a seguire si riportano, per alcune specie, le possibili variazioni di campo





Ichnusa wind power srl

iLStudio.  
Engineering & Consulting Studio

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione tecnica**  
**Valutazione impatto elettromagnetico sulla fauna marina**

Codice documento:  
C0421YR23EMFMAR00a

Data emissione:  
Marzo 2023

Pagina  
22 di 70

magnetico percepito dagli individui (indice di sensibilità).

**Tabella 6.3 – Specie per cui le località di spiaggiamento sono collegate ai minimi geomagnetici.**

Nome comune	Specie	Sensibilità [ $\mu$ T]
Balenottera comune	<i>Balaenoptera physalus</i>	<0.001
Capodoglio	<i>Physeter macrocephalus</i>	<0.05
Cogia di De Blainville	<i>Kogia breviceps</i>	<0.001
Globicefalo	<i>Globicephala melaena</i>	<0.01
Globicefalo di Gray	<i>G. macrorhynchus</i>	<0.01
Stenella striata	<i>Stenella coeruleoalba</i>	<0.05
Stenella maculate atlantica	<i>S. frontalis</i>	<0.05
Lagenorinco acuto	<i>Lagenorhynchus acutus</i>	<0.001
Delfino comune	<i>Delphinus delphis</i>	<0.01
Focena	<i>Phocoena phocoena</i>	<0.01

A valle degli studi effettuati, si è concluso che un sistema sensoriale geomagnetico esiste nei cetacei ed è importante per la migrazione a lunga distanza.

Uno studio ha trovato che la correlazione delle posizioni di spiaggiamento per i Tursiopi da Cape Hatteras a Cape Cod con i minimi geomagnetici era statisticamente significativa, ma questa relazione non era evidente quando si considerava un'area geografica più ampia (dal Texas al Maine). L'autore tuttavia non ha fornito una spiegazione per questo risultato apparentemente in conflitto.

Per quanto riguarda alcune specie di delfini, sono state tracciate aggregazioni di luoghi comuni di avvistamento da indagini aeree sulla topografia del fondo e sulle mappe di contorno del campo magnetico del Southern California Bight. I risultati hanno indicato che nella California meridionale, la direzione e l'orientamento della nuotata del Delfino comune non erano associati a schemi geomagnetici, ma erano associati alla topografia del fondale. Questi ultimi risultati indicano che i delfini non si basano esclusivamente sui campi geomagnetici, ma utilizzano anche segnali aggiuntivi (ad esempio la topografia inferiore) per spostarsi.

Le Balenottere comuni si avvistano con relativa abbondanza nell'Atlantico nord-orientale e sono note per effettuare migrazioni stagionali in direzione nord/sud. Tuttavia, sono disponibili poche informazioni su quali segnali vengono rilevati o seguiti durante queste migrazioni. Su questo tema sono state effettuate simulazioni su avvistamenti di balenottere da Cape Cod a Cape Hatteras per verificare se le posizioni delle balene erano casuali rispetto ai gradienti del campo geomagnetico e alla batimetria durante le migrazioni. Dallo studio è stato scoperto che le posizioni di avvistamento erano statisticamente associate ad aree con alti gradienti di campo geomagnetico durante l'estate e con bassa intensità di campo e basso gradiente in autunno. Nessuna associazione con i parametri batimetrici è stata trovata in nessuna stagione. L'autore ha concluso che le balenottere, e forse altri Mysticeti, riconoscono e si associano alle caratteristiche del campo geomagnetico indipendentemente da altri stimoli geofisici e che questa associazione con le caratteristiche del campo geomagnetico è correlata ai modelli di migrazione stagionale.

Nello studio condotto si è cercato di testare la capacità dei delfini di captare e recepire il campo magnetico sfruttando dei barili di plastica perforati sospesi in acqua mediante l'utilizzo di una canna, contenenti blocchi magnetici di neodimio e blocchi smagnetizzati. Grazie a registrazioni video si



Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**  
Engineering & Consulting Studio

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

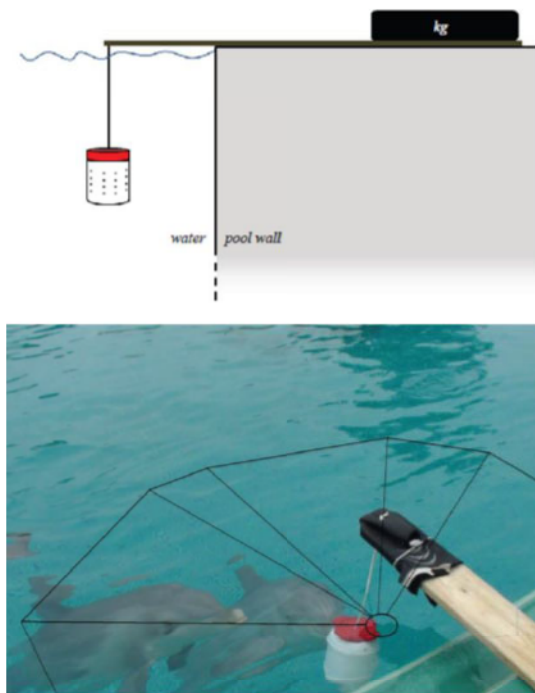
**Relazione tecnica**  
**Valutazione impatto elettromagnetico sulla fauna marina**

Codice documento:  
**C0421YR23EMFMAR00a**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

Pagina  
**23 di 70**

è notato che i comportamenti dei delfini avvenivano in un range di 1,5 m intorno alla canna per cui i fotogrammi ricavati sono stati sovrapposti con una bordatura nera per delimitarne l'area. Le risposte dei delfini nei confronti dei due diversi blocchi sono ad oggi la prima evidenza comportamentale nei confronti degli stimoli magnetici nei cetacei.



**Figura 6.4 – Magnetoricezione nei mammiferi marini.**

Allestimento dell'esperimento: la circonferenza segna la posizione del coperchio del barile quando pende dall'asse di legno senza essere toccato dai delfini

Nel 2020 il biologo marino Davis Randall, dopo aver studiato per circa 37 anni le foche di Weddell (*Leptonychotes weddellii*), ha condotto una ricerca per determinare se fosse presente in questi mammiferi la capacità sensoriale di rilevare il campo magnetico terrestre per orientarsi sotto il ghiaccio antartico. Le *L. weddellii* sono capaci di immergersi sotto il ghiaccio e di trattenere il respiro per poco più di 15 min, dopo di che necessitano di tornare ai loro fori respiratori per evitare l'annegamento. L'ipotesi di Randall era che le foche presentassero una sorta di bussola interna per spostarsi in condizioni di scarsa illuminazione durante l'inverno polare per localizzare i fori nella lastra ghiacciata dopo aver percorso centinaia di metri nell'oscurità. Dai risultati si è reso evidente che le foche di Weddell utilizzino:

- 1) elementi visivi sopra la testa per brevi distanze (90 m) come la luce delle stelle e della luna o disturbi nel manto nevoso e crepe naturali nel ghiaccio che persistono da giorni a settimane;
- 2) l'udito subacqueo per orientarsi verso le vocalizzazioni di altre foche più distanti come punto di riferimento geografico;
- 3) le vibrisse mistaciali per percepire il movimento e i vortici generati da un altro animale che nuota, in quanto la scia idrodinamica persiste per circa 3 min in acqua ferma.



Ichnusa wind power srl

iLStudio.

Engineering & Consulting Studio

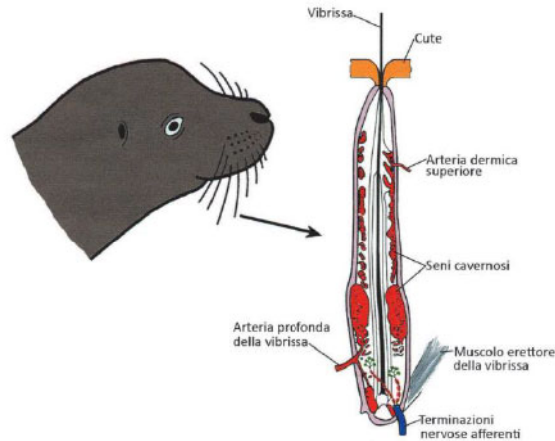


Figura 6.5 – Vibrisse per la percezione delle vibrazioni [REDACTED]

Nonostante questi esiti, il lavoro non ha portato a nessuna prova a sostegno della capacità magneto-sensibile delle foche di Weddell a causa, probabilmente, di variazioni di intensità del campo geomagnetico troppo basse per essere rilevate [REDACTED].

[REDACTED]

### 6.3.2.1. Evidenza anatomica

[REDACTED]

[REDACTED]

### 6.3.2.2. Evidenze comportamentali e fisiologiche

Uno studio sperimentale ha previsto l'esposizione di alcuni delfini (Delphinidae) a campi magnetici permanenti durante l'osservazione di reazioni comportamentali (movimento, esalazioni acute e attività acustica) e fisiologiche (elettrocardiogramma). I risultati hanno mostrato reazioni a intensità di campo magnetico di 32, 108 e 168  $\mu\text{T}$  rispettivamente nel 79%, 63% e 53% delle prove, indicando che i delfini sono sensibili ai campi magnetici permanenti [REDACTED].

### 6.3.3. Effetti dei campi elettromagnetici generati da cavi sottomarini

Ai fini della valutazione degli impatti o dei rischi per i mammiferi marini, la conoscenza del generico campo magnetico generato dall'esercizio di cavi di potenza, separato da tutti i parametri ambientali, non fornisce informazioni adeguate. Infatti se si considera il campo magnetico ambientale, questo è il computo sia del dipolo geomagnetico dominante sia del campo residuo che deriva dalle caratteristiche magnetiche locali della crosta terrestre e che può variare notevolmente su distanze relativamente brevi. Pertanto le interazioni tra il sistema





Ichnusa wind power srl

iLStudio.

Engineering & Consulting Studio

## PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica

Valutazione impatto elettromagnetico sulla fauna marina

Codice documento:

C0421YR23EMFMAR00a

Data emissione:

Marzo 2023

Pagina

25 di 70

di cavi e il campo magnetico terrestre sono sito-specifiche e dipendono da fattori quali intensità, forma, direzione ed estensione spaziale del campo magnetico risultante (cavo + geomagnetico). Inoltre, la distanza tra i conduttori e la profondità dell'interramento del cavo, influiscono sull'intensità del campo magnetico risultante. I cavi CC possono essere fissati insieme per ridurre al minimo il campo magnetico, o possono essere sepolti in trincee separate (cioè da 0.5 a 10 m di distanza) per ridurre al minimo l'interruzione totale dell'alimentazione in caso di rottura del singolo cavo.

Per quanto detto, con l'obiettivo di stimare un impatto sulle specie in oggetto, risulta più efficace effettuare considerazioni in relazione alla sensibilità ipotizzata della singola specie.

Con tale spirito, uno studio ha ipotizzato che le balene abbiano una soglia di rilevamento per i gradienti di intensità magnetica (cioè i cambiamenti nei livelli del campo magnetico con la distanza) dello 0,1% del campo magnetico terrestre [REDACTED]. A tal proposito, i campi magnetici previsti dai cavi di alimentazione sottomarini esistenti possono avere intensità maggiori del campo magnetico terrestre. In generale, i risultati delle modellazioni indicano che i tipici cavi in corrente alternata interrati a una profondità di 1m emettono intensità di campo maggiori di 0.05 $\mu$ T fino a 20 m sopra il cavo e 20 m lungo il fondale marino. Tuttavia tali considerazioni risultano limitate, se non sono note le caratteristiche dell'elettrodoto; per tale motivo, si rimanda al capitolo 9 per la valutazione caso-specifica delle suddette distanze.

Va notato infine che un campo magnetico di piccola intensità, variabile nel tempo può essere percepito in modo diverso, o addirittura non rilevato da organismi marini sensibili rispetto al campo geomagnetico statico persistente generato dalla Terra. Gli studi di correlazione suggeriscono che è probabile che i membri dell'Ordine dei Cetacei siano in grado di rilevare i campi magnetici in corrente continua emessi dai cavi sottomarini nelle vicinanze di 50 m sopra e fuori fino a 68 m orizzontalmente da un cavo "medio", sebbene non si sappia come i cetacei avrebbero risposto a questi campi.

### 6.3.3.1. Potenziali impatti

Anche se la bibliografia suggerisce che i cetacei possono percepire il campo geomagnetico e usarlo per navigare durante le migrazioni, tuttavia non è chiaro se utilizzino esclusivamente il campo geomagnetico o se questo è di supporto ad altri segnali locali. Inoltre non è noto quali componenti del campo geomagnetico sono effettivamente rilevati (componente orizzontale o verticale, l'intensità del campo o l'angolo di inclinazione). Non è nemmeno noto quali effetti possano avere su questi animali le perturbazioni nel campo geomagnetico in prossimità di cavi elettrici interrati.

Risulta comunque plausibile che i mammiferi marini siano molto sensibili a cambiamenti nei campi magnetici [REDACTED]. Per tale motivo esiste la possibilità che gli animali reagiscano alle variazioni locali del campo geomagnetico causate dai campi elettromagnetici dei cavi di alimentazione.

Sebbene manchino informazioni sugli effetti specifici dei campi elettromagnetici generati dai cavi sottomarini, i potenziali rischi di effetti sono legati alla vicinanza degli animali ai cavi. Pertanto, le specie che si nutrono vicino o nel benthos (ad es. delfini che si nutrono di specie bentopelagiche o i beluga e balene grigie che si nutrono di specie bentoniche) possono avere un maggiore potenziale di esposizione rispetto a quelle specie che si nutrono lungo tutta la colonna d'acqua.

In conclusione, nonostante le considerazioni riportate sui possibili effetti, non ci sono prove scientifiche su quale sarebbe la risposta dei mammiferi marini all'esposizione dei campi magnetici indotti.

### 6.3.4. Riferimenti bibliografici, possibili valori di sensibilità

La seguente tabella fornisce un elenco di specie di mammiferi marini per le quali sono state riportate informazioni sulla sensibilità ai campi elettrici e magnetici.



Tabella 6.4 – Sensibilità ai campi elettrici e magnetici per mammiferi marini.

Rielaborazione da: [REDACTED]

Specie	Mare Sardegna sud-occidentale	Tipo Sensibilità	Valori Sensibilità	Evidenza	Riferimenti
<i>Balaenoptera physalus</i>	Presente	M	0.05 $\mu$ T; campo geomagnetico	Teorica	[REDACTED]
<i>Megaptera novaeangliae</i>		M	campo geomagnetico	Anatomica	[REDACTED]
<i>Physeter macrocephalus</i>	Presente	M	0.05 $\mu$ T; campo geomagnetico	Teorica	[REDACTED]
<i>Kogia breviceps</i>		M	0.05 $\mu$ T; campo geomagnetico	Teorica	[REDACTED]
<i>Kogia simis</i>		-			[REDACTED]
<i>Ziphiidae</i>		-			[REDACTED]
<i>Ziphius cavirostris</i>	Presente	-			[REDACTED]
<i>Tursiops truncatus</i>	Presente	M	0.05 $\mu$ T; campo geomagnetico	Comportamentale/ fisiologica/ anatomica/ teorica	[REDACTED]
<i>Delphinus delphis</i>	Presente	M	0.05 $\mu$ T; campo geomagnetico	Anatomica/teorica	[REDACTED]
<i>Globicephala melas</i>	Presente	M	0.05 $\mu$ T; campo geomagnetico	Teorica	[REDACTED]
<i>Globicephala macrorhynchus</i>		M	0.05 $\mu$ T	Teorica	[REDACTED]
<i>Lagenorhynchus acutus</i>		M	0.05 $\mu$ T	Teorica	[REDACTED]
<i>Stenella coeruleoalba</i>	Presente	M	0.05 $\mu$ T; campo geomagnetico	Teorica	[REDACTED]
<i>Stenella plagiodon/frontalis</i>		M	0.05 $\mu$ T	Teorica	[REDACTED]
<i>Grampus griseus</i>	Presente	-		Teorica	[REDACTED]
<i>Phocoena phocoena</i>	Presente	M	0.05 $\mu$ T	Teorica	[REDACTED]
<i>Phocoenoides dalli</i>		M		Anatomica	[REDACTED]
<i>Sotalia guianensis</i>		E	4.6 $\mu$ V/cm	Anatomica/ Comportamentale	[REDACTED]

## 6.4. Rettili – Tartarughe marine

È noto che le tartarughe marine possiedono una sensibilità geomagnetica utilizzata per l'orientamento, la navigazione e la migrazione. Le tartarughe marine sono in grado di utilizzare i campi magnetici della Terra in due modi [REDACTED]:

- per informazioni direzionali o di orientamento per mantenere la rotta in una particolare direzione;
- in un modo più complesso per informazioni posizionali o di tipo cartografico per valutare una posizione rispetto a una specifica destinazione geografica.

La prova della capacità delle tartarughe marine di rilevare i campi magnetici consiste, per la maggior parte, in studi osservazionali e sperimentali.

### 6.4.1. Elettrorecezione

Risulta noto che le tartarughe marine non possiedono un elettro-senso, motivo per cui non si riportano ulteriori considerazioni in merito all'elettro-riccezione.

### 6.4.2. Magnetorecezione

Nello studio del senso magnetico delle tartarughe, la maggior parte degli studi sperimentali sull'orientamento e la navigazione sia in laboratorio che sul campo si sono concentrati sui piccoli di tartarughe marine quali la Tartaruga verde (*Chelonia mydas*), la Tartaruga comune (*Caratta caretta*) e la Tartaruga liuto (*Dermochelys*





Ichnusa wind power srl

iLStudio.

Engineering & Consulting Studio

## PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica

Valutazione impatto elettromagnetico sulla fauna marina

Codice documento:

C0421YR23EMFMAR00a

Data emissione:

Marzo 2023

Pagina

27 di 70

*coriacea*), a causa della poca maneggevolezza degli esemplari adulti a causa delle loro grandi dimensioni [REDACTED]. I metodi sperimentali includono l'osservazione degli spostamenti delle tartarughe marine e la manipolazione sensoriale (utilizzando ad esempio occhiali protettivi per bloccare i segnali visivi e potenti magneti trasportati sulle teste delle tartarughe). Più di recente, studi di telemetria satellitare hanno fornito informazioni sui processi di navigazione delle tartarughe marine e hanno permesso agli scienziati di ricostruire le rotte migratorie [REDACTED]. A questi si aggiungono prove anatomiche che hanno riscontrato la presenza di magnetite nella dura madre delle tartarughe verdi [REDACTED].

La vita della tartaruga marina può essere considerata una serie continua di migrazioni, con ogni fase migratoria che, avendo obiettivi differenti, comporta l'utilizzo di diversi meccanismi di capacità sensoriali. Ad esempio, le tartarughe giovani e adulte migrano verso luoghi specifici (e diversi) per nutrirsi e accoppiarsi. I piccoli iniziano la vita orientandosi verso l'oceano aperto e usando segnali di luce visivi bassi sull'orizzonte. Una volta nell'oceano, i piccoli si affidano inizialmente ai segnali delle onde per stabilire e mantenere le loro direzioni offshore e poi a un certo punto si ipotizza che questi inizino ad usare il campo magnetico terrestre [REDACTED]. Dai piccoli di *Caretta caretta* rintracciati nelle acque della Florida, gli studiosi hanno scoperto che gli individui mantenevano la stessa rotta anche dopo aver raggiunto le acque al largo, dove le direzioni delle onde non coincidono più con il loro corso stabilito. Questi risultati indicano che i piccoli di *Caretta caretta* possono orientarsi lungo i campi magnetici della Terra, suggerendo l'uso dell'orientamento magnetico.

Nell'Oceano Atlantico, i piccoli rimangono nelle correnti marine a vortice dell'Atlantico per molti anni anche se tale fase della vita risulta poco definita. Successivamente, la maggior parte delle specie di tartarughe marine naviga verso le acque costiere per nutrirsi e quando raggiungono la maturità sessuale, compiono la loro prima migrazione verso la loro spiaggia natale per accoppiarsi o deporre le uova. La migrazione dei nuovi nati verso i luoghi di alimentazione o di tartarughe mature verso i luoghi di riproduzione o di nidificazione è complessa, con un luogo specifico o una destinazione obiettivo. Una migrazione così complessa richiede il tipo di mappa o le informazioni di posizione dal campo magnetico terrestre [REDACTED].

### 6.4.2.1. Migrazione a lungo e breve raggio

Le Tartarughe marine giovani e adulte hanno la capacità di migrare tra i luoghi di alimentazione e le spiagge di nidificazione natali, separate da centinaia o migliaia di chilometri. Le migrazioni verso le spiagge di nidificazione avvengono dopo anni trascorsi in lontani habitat costieri o oceanici dove si nutrono. Il modo esatto in cui le Tartarughe marine navigano verso luoghi specifici non è completamente compreso.

Uno studio [REDACTED] ha suggerito la possibilità che le Tartarughe utilizzino una strategia e una serie di segnali per navigare nelle vicinanze dell'area di alimentazione o della spiaggia di nidificazione, e un'altra serie di segnali per individuare effettivamente l'obiettivo.

Più recentemente, uno studio [REDACTED] ha dimostrato che le Tartarughe verdi e le Tartarughe caretta si affidano a più segnali per compiere una navigazione specifica a lungo raggio, che può essere suddivisa in due fasi, riportate nel seguente elenco.

- In una prima fase, le tartarughe usano il loro senso della mappa magnetica per giungere nelle vicinanze dell'area bersaglio.
- In una seconda fase, le tartarughe usano segnali locali (molto probabilmente olfattivi, non magnetici) per individuare la destinazione finale.

In ogni posizione del globo, le linee del campo geomagnetico si intersecano sulla superficie terrestre con un angolo di inclinazione specifico e prevedibile. Le Tartarughe caretta sono in grado di rilevare sia l'angolo di inclinazione che l'intensità del campo e possono anche distinguere i campi magnetici di diverse regioni oceaniche [REDACTED].

Uno studio sui loro spostamenti condotti al largo della costa sud-orientale degli Stati Uniti mostra non solo che





Ichnusa wind power srl

iLStudio.

Engineering & Consulting Studio

## PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica

Valutazione impatto elettromagnetico sulla fauna marina

Codice documento:

C0421YR23EMFMAR00a

Data emissione:

Marzo 2023

Pagina

28 di 70

I piccoli sono in grado di rilevare l'angolo di inclinazione e l'intensità del campo da diverse regioni oceaniche, ma che un cambiamento di tali parametri può influenzare il loro corso di direzione. I piccoli di *Caretta caretta* catturati dalla loro spiaggia natale in Florida sono stati esposti in laboratorio ad angoli di inclinazione e intensità di campo che corrispondono a diverse posizioni all'interno del vortice atlantico. I piccoli esposti ad un angolo di inclinazione e ad un'intensità simile a quella della Florida settentrionale nuotavano verso sud (come normalmente avrebbero fatto per entrare nel Vortice del Nord Atlantico). I piccoli esposti a un angolo di inclinazione e un'intensità simili al bordo nord-orientale del vortice atlantico nuotavano verso sud (come avrebbero fatto per rimanere all'interno del vortice), e quelli esposti a un angolo di inclinazione e intensità come quello della parte più meridionale del vortice, nuotavano verso ovest nord-ovest.

Questi risultati dimostrano che le caratteristiche specifiche del campo magnetico suscitano risposte di orientamento nei cuccioli di tartaruga marina.

Gli esperimenti di spostamento indicano che le giovani tartarughe utilizzano le informazioni magnetiche come componente di una mappa di navigazione classica per migrare verso specifiche località geografiche. Il fatto che sia noto che le singole tartarughe marine lasciano l'oceano aperto e si stabiliscono in aree di alimentazione molto diverse indica che la capacità delle tartarughe giovani di navigare verso luoghi specifici si basano, in parte, sulla loro esperienza e conoscenza del campo magnetico terrestre.

Gli effetti del mascheramento del campo magnetico terrestre sulla capacità di homing delle Tartarughe marine verdi adulte sono stati esaminati posizionando potenti magneti sulle teste degli individui che erano stati spostati dal loro sito di riproduzione nell'Oceano Indiano [REDACTED]. Le tartarughe con i magneti impiegavano più tempo per ritornare a casa e seguivano percorsi più contorti rispetto alle tartarughe di controllo. I ricercatori hanno inoltre scoperto che i magneti hanno avuto un effetto negativo sulla navigazione delle tartarughe quando sono stati attaccati a queste durante il processo di homing, nonché per le tartarughe esposte solo ai magneti (non attaccati alle loro teste) durante il trasferimento al sito di rilascio.

Questi risultati possono essere interpretati in due modi. Il primo è che le tartarughe possono usare il loro senso magnetico per ricavare informazioni generali sulla direzione dello spostamento durante il trasporto. L'altro è che l'applicazione di potenti magneti potrebbe causare effetti persistenti sui magneto-ricettori delle tartarughe anche dopo la rimozione [REDACTED].

La maggior parte delle tartarughe con trattamento magnetico alla fine è tornata nel loro sito di riproduzione, sebbene i loro percorsi fossero meno diretti delle tartarughe senza magneti [REDACTED]. Questi risultati indicano meccanismi alternativi sconosciuti che le tartarughe marine possono utilizzare se necessario, per trovare le loro aree di nidificazione anche con un senso magnetico alterato [REDACTED].

### 6.4.3. Effetti dei campi elettromagnetici generati da cavi sottomarini

Molti esperimenti di spostamento e manipolazione sensoriale hanno dimostrato che i cambiamenti nell'intensità del campo e nell'angolo di inclinazione possono far deviare le tartarughe dalla loro direzione originale. I meccanismi per le capacità sensoriali delle tartarughe marine non sono noti e ad oggi non ci sono dati sugli impatti dei campi magnetici generati dall'esercizio dei cavi sottomarini. I piccoli e i giovani che utilizzano acque relativamente poco profonde vicino la costa e vicino i cavi elettrici non sarebbero in grado di evitare alterazioni del campo magnetico che si estendono potenzialmente fino a 50 m dal fondo, e potrebbero quindi essere temporaneamente influenzati.

È noto che le tartarughe marine usano più segnali (sia geomagnetici che non magnetici) per la navigazione e la migrazione. Tuttavia, le conclusioni sugli effetti dei campi magnetici dei cavi elettrici sono ancora ipotetiche in quanto non è noto come le tartarughe marine rilevano o elaborano le fluttuazioni nel campo magnetico terrestre. Inoltre, alcuni esperimenti hanno dimostrato la capacità di compensare gli "errori", quindi l'importanza assoluta del campo geomagnetico non è chiara.



#### 6.4.4. Caso studio della *Caretta caretta*

Le tartarughe marine *Caretta caretta* è distribuita a livello globale ed è considerata la specie di tartaruga marina più abbondante.

Sono stati condotti molteplici studi sperimentali (spostamento e manipolazione del campo magnetico in laboratorio) per determinare se le tartarughe marine sono in grado di percepire il campo geomagnetico. Il risultato di questi studi suggerisce che le tartarughe marine *Caretta* (e presumibilmente altre specie) usano la sensibilità geomagnetica (oltre ad altri segnali non magnetici) per l'orientamento, la navigazione e la migrazione.

Le *Caretta caretta* in genere vivono in acque costiere durante tutte le fasi della loro vita. La potenziale esposizione ai campi magnetici emessi dai cavi elettrici sottomarini può verificarsi durante:

- le lunghe migrazioni degli adulti tra i siti di nidificazione e di alimentazione;
- il movimento dei piccoli verso il largo;
- il primo ritorno dei giovani nelle aree di alimentazione costiera dopo un massimo di 12 anni nelle zone al largo.

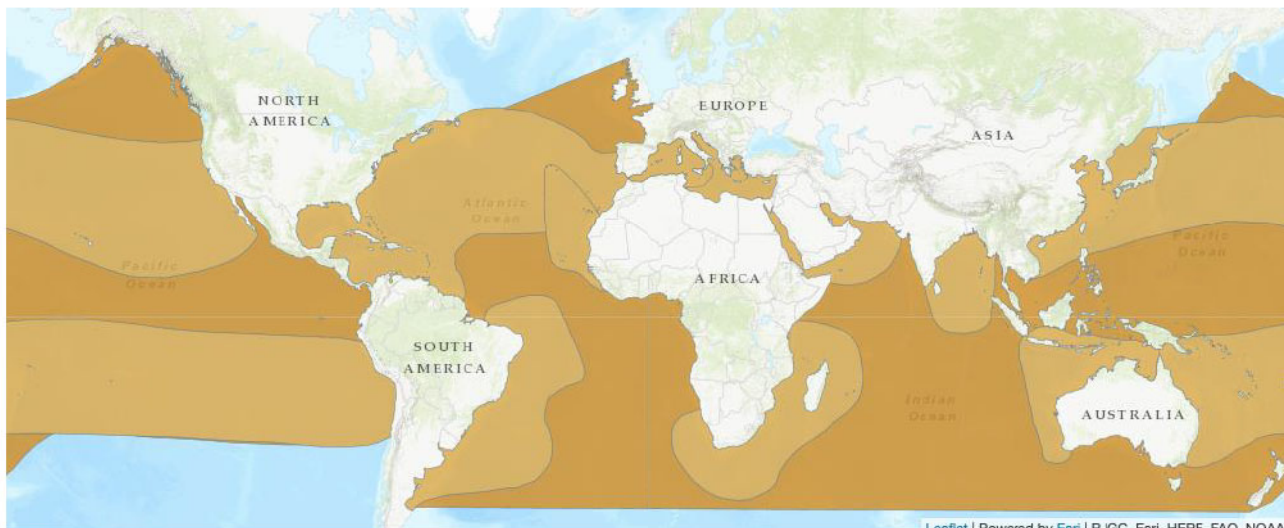


Figura 6.6 – Distribuzione globale delle tartarughe *Caretta caretta* (in marrone).

L'alimentazione è preferibilmente bentonica e nelle acque costiere, ed è probabile che i giovani di questa specie trascorrono l'80-94% del tempo sotto la superficie del mare [redacted].

#### 6.4.5. Riferimenti bibliografici, possibili valori di sensibilità

La seguente tabella fornisce un elenco di specie di rettili marini per le quali sono state riportate informazioni sulla sensibilità ai campi elettrici e magnetici.

Tabella 6.5 – Sensibilità ai campi elettrici e magnetici per rettili marini.

Rielaborazione da: [redacted]

Specie	Mare Sardegna sud-occidentale	Tipo Sensibilità	Valori Sensibilità	Evidenza	Riferimenti
<i>Caretta caretta</i>	Presente	M	0.00469-4000µT	Sperimentale (spostamenti e vasche)	[redacted]





Ichnusa wind power srl

iLStudio.  
Engineering & Consulting Studio

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica  
Valutazione impatto elettromagnetico sulla fauna marina

Codice documento:  
C0421YR23EMFMAR00a

Data emissione:  
Marzo 2023

Pagina  
30 di 70

Specie	Mare Sardegna sud-occidentale	Tipo Sensibilità	Valori Sensibilità	Evidenza	Riferimenti
<i>Chelonia mydas</i>	Presente	M	29.3-200 $\mu$ T	Sperimentale/ (spostamenti e vasche) / (osservazioni satellitari)	[REDACTED]
<i>Lepidochelys kempii</i>		M	Campo geomagnetico	Teorica	[REDACTED]
<i>Dermochelys coriacea</i>	Presente	M	Campo geomagnetico	Sperimentale	[REDACTED]

## 6.5. Invertebrati

Le informazioni esistenti forniscono la prova della risposta ai campi elettrici o magnetici in almeno tre categorie di invertebrati marini (*Mollusca*, *Arthropoda* ed *Echinodermata*).

La prova della sensibilità ai campi elettromagnetici proviene da studi fisiologici e comportamentali su un piccolo numero di invertebrati marini o acquatici. Studi sugli effetti biologici hanno dimostrato la risposta ai campi magnetici nello sviluppo di embrioni di echinodermi e nei processi cellulari in un mitile, questo solo con studi di tossicità che hanno preso in considerazione campi ad alta intensità, oltre la gamma di quelli previsti dai cavi sottomarini.

### 6.5.1. Elettrocezione

Gli studi dedicati all'approfondimento dell'elettro-riccezione negli invertebrati risultano essere pochi. Un ventennio fa, [REDACTED] ipotizzò che i gruppi di invertebrati come i molluschi, gli artropodi o persino gli anellidi potessero possedere un senso elettrico, anche se questo non era ancora stato rilevato fisicamente sulle specie. Due studi più recenti affermano di aver riportato le prime prove di una risposta comportamentale degli invertebrati a un campo elettrico [REDACTED]. Nel dettaglio è stata riportata una risposta comportamentale di un gambero d'acqua dolce (*Cherax destructor*) a campi elettrici di basso livello del tipo generato da potenziali prede e conspecifici. [REDACTED]

Ulteriori esperimenti hanno esaminato le risposte immediatamente dopo l'inizio dello stimolo, che ha evocato responsi comportamentali inclusi i movimenti degli artigli, delle antenne o delle gambe. Questi movimenti immediati sono risultati spesso seguiti dal camminare o dall'allargare gli artigli. Anche gli studi su un altro gambero d'acqua dolce (*Procambarus clarkii*) hanno dimostrato risposte ai campi elettrici, sebbene a intensità più elevate [REDACTED]. La stimolazione del *P. clarkii* con campi elettrici in corrente continua con frequenze di 4Hz, 10Hz, 100Hz e 1000Hz ha portato a risposte comportamentali solo per campi elettrici [REDACTED]. Le risposte più evidenti al campo elettrico sono state riportate a 4 Hz. Le registrazioni elettrofisiologiche delle afferenze sensoriali hanno mostrato risposte agli odori del cibo e alla stimolazione meccanica, nonché ai campi elettrici. Ciò ha suggerito ai ricercatori che i campi elettrici stimolano i neuroni chemio-sensoriali e mecano-sensoriali, i recettori dei campi elettrici non specializzati, e per tali motivi i campi elettrici potrebbero non essere rilevati per l'individuazione della preda.

I ruoli funzionali ipotizzati per un elettro-senso di un invertebrato sarebbero gli stessi di quelli dimostrati per i pesci. Il rilevamento delle prede è suggerito come funzione primaria mentre l'identificazione di predatori e conspecifici sono altri possibili ruoli. [REDACTED]





Ichnusa wind power srl

iLStudio.

Engineering & Consulting Studio

## PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica

Valutazione impatto elettromagnetico sulla fauna marina

Codice documento:

C0421YR23EMFMAR00a

Data emissione:

Marzo 2023

Pagina

31 di 70

### 6.5.2. Magnetoricezione

Prove sperimentali dimostrano la magneto-ricezione nei molluschi e negli artropodi marini. Sebbene gran parte di queste prove provenga dal lavoro svolto negli ultimi 20 anni, la magnetite biogenica è nota nei molluschi marini da quasi cinque decenni. Uno studio [REDACTED] ha descritto la scoperta della magnetite nei cappings denticoli dei chitoni (*Polyplacophora*). L'autore ha indicato che questo era il primo riscontro di magnetite biogenica in un organismo marino e ha ipotizzato che la magnetite possa funzionare per guidare l'"istinto di ricerca" dei chitoni. Ulteriori analisi hanno indicato, tuttavia, che la magnetite nei denticoli di chitone, che funge da agente indurente, era magnetizzata in modo troppo debole e casuale per funzionare anche come bussola [REDACTED].

Recenti indagini sul senso magnetico nei molluschi si sono concentrate sul nudibranco (*Tritonia diomedea*). Lohmann e Willows [REDACTED] hanno condotto esperimenti comportamentali con la *T. diomedea* ed hanno dimostrato la capacità di questa specie di derivare informazioni direzionali dal campo magnetico terrestre e di utilizzare queste informazioni per l'orientamento. Lohmann [REDACTED] quindi ha studiato i meccanismi neurali alla base di queste capacità. I neuroni dei pedali nel cervello hanno risposto con una maggiore attività elettrica ai cambiamenti nel campo geomagnetico. Gli autori hanno ipotizzato che i neuroni identificati facciano parte del percorso sottostante per il senso magnetico o per l'orientamento geomagnetico.

Con i suoi grandi neuroni identificabili, *T. diomedea* è un organismo modello per tali analisi elettrofisiologiche dei meccanismi neurali per il senso magnetico. Ulteriori indagini con *T. diomedea* hanno identificato ulteriori neuroni del pedale e neuropeptidi coinvolti nel sistema magneto-sensoriale [REDACTED].

Altri studi hanno rivelato possibili ruoli funzionali per la magneto-ricezione nella specie *T. diomedea*. Willows (1999) ha studiato se e perché questo nudibranco si orienta utilizzando il campo magnetico terrestre nel suo ambiente naturale. Gli animali sono stati spostati dalle loro posizioni originali da subacquei e il movimento è stato monitorato su due o più cicli di marea. La maggior parte degli animali sembrava utilizzare segnali geomagnetici per muoversi in una direzione verso la costa (rispetto ai segnali del campo geomagnetico nei siti di raccolta, anche se non necessariamente verso la costa nel sito di rilascio). L'autore ha suggerito che il movimento verso la costa può rappresentare un adattamento al frequente spostamento da parte delle correnti di marea e durante le risposte di fuga dei predatori, il che consente agli individui di rimanere in prossimità di fonti di cibo e compagni che si trovano in habitat vicino alla costa. Uno studio del macrobenthos sopra e intorno al cavo SwePol in corrente continua non ha rilevato alcun cambiamento evidente nella composizione delle specie, suggerendo che il campo magnetico in prossimità del cavo non ha influenzato le risorse bentoniche [REDACTED].

La magneto-ricezione è stata segnalata anche per diversi gruppi di artropodi marini. Gran parte del lavoro è stato svolto con l'aragosta spinosa caraibica (*Panulirus argus*). Uno studio [REDACTED] ha dimostrato che l'isopode marino, *Idotea baltica basteri*, possiede anche una bussola magnetica. Le loro scoperte hanno indicato che questa specie utilizza il campo magnetico terrestre per orientarsi rispetto alla costa e che può cambiare il punto di regolazione della bussola magnetica in base a segnali locali. Sono state anche riportate alcune prove di un possibile senso magnetico negli anfipodi. All'interno di un altro studio [REDACTED] sono stati condotti esperimenti in cui la cancellazione del campo geomagnetico aumentava i movimenti del corpo nelle specie *Talorchestia martensii*, che sono stati descritti come "scansione" del campo magnetico. [REDACTED]

Si ipotizza che il ruolo funzionale del senso magnetico degli invertebrati sia l'orientamento, la navigazione e l'homing utilizzando segnali geomagnetici. L'uso del senso magnetico per queste funzioni potrebbe spiegare la capacità delle aragoste spinose di navigare durante la migrazione e di localizzare la loro tana domestica.



Ichnusa wind power srl

iLStudio.  
Engineering & Consulting Studio

### 6.5.3. Effetti dei campi elettromagnetici generati da cavi sottomarini

Gran parte del lavoro sulla magneto-ricezione negli invertebrati ha comportato la manipolazione del campo magnetico terrestre [REDACTED], da cui non sono stati evidenziati livelli accurati di sensibilità.

In generale non esiste alcuna prova diretta di impatti sugli invertebrati da campi elettromagnetici sottomarini. Pochissimi invertebrati marini sono stati studiati per la sensibilità ai campi elettrici o magnetici, motivo per cui i dati disponibili risultano limitati. Inoltre, questi studi di magneto-orientamento sono focalizzati sul comportamento degli adulti mobili e gli effetti sui loro stadi larvali pelagici sono scarsamente studiati. Pertanto, una ricerca sui potenziali impatti sugli invertebrati da campi elettromagnetici antropogenici deve solo fare affidamento su stime e molto probabilmente potrebbe trascurare una serie di specie sensibili.

Tuttavia, ciò che si sa sulla sensibilità degli invertebrati rispetto ai livelli previsti di campi elettromagnetici fornisce alcune indicazioni per considerare i potenziali impatti. I potenziali impatti sugli invertebrati da campi elettromagnetici per un particolare cavo sottomarino dipenderebbero dalle capacità sensoriali di una specie, dalle funzioni vitali supportate dai suoi sistemi sensoriali magnetici o elettrici e dalle caratteristiche della storia naturale della specie. Le funzioni vitali supportate dal senso elettrico e magnetico indicano che le specie in grado di rilevare campi magnetici devono affrontare potenziali impatti diversi da quelli che rilevano i campi elettrici.

Le specie di invertebrati elettrosensibili che sono state finora identificate hanno soglie di sensibilità superiori al livello modellato dei campi elettrici indotti dai cavi sottomarini e quindi non sarebbero influenzati da quei campi. Qualsiasi impatto su specie magneto-sensibili dovuto ad un campo magnetico alterato in prossimità di un cavo dipenderebbe da come una specie usa il suo senso magnetico. Come con i pesci, gli invertebrati che utilizzano il campo geomagnetico per guidare i loro movimenti attraverso un'area con un cavo sottomarino possono essere confuse quando incontrano il campo magnetico del cavo [REDACTED]. Possono cambiare la direzione del viaggio in base al campo modificato. Alcuni invertebrati possono utilizzare un senso magnetico per l'orientamento o l'homing all'interno di un raggio locale relativamente piccolo e le capacità di homing basate su un senso magnetico potrebbero essere influenzate in prossimità di determinati sistemi di cavi.

### 6.5.4. Riferimenti bibliografici, possibili valori di sensibilità

La seguente tabella fornisce un elenco di specie di invertebrati per le quali sono state riportate informazioni sulla sensibilità ai campi elettrici e magnetici.

Tabella 6.6 – Sensibilità ai campi elettrici e magnetici per invertebrati.

Rielaborazione da: [REDACTED]

Specie	Mare Sardegna sud-occidentale	Tipo Sensibilità	Valori Sensibilità	Evidenza	Riferimenti
<i>Tritonia diomedea</i>		M	Campo geomagnetico	Comportamentale: orientamento	[REDACTED]
<i>Mytilus edulis</i>	Presente		n/a	Esposizione a 3.7 mT CC per 7 settimane	[REDACTED]
<i>Mytilus galloprovincialis</i>	Presente	M	300-700 µT	Fisiologica	[REDACTED]



Ichnusa wind power srl

iLStudio.  
Engineering & Consulting Studio

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione tecnica**  
**Valutazione impatto elettromagnetico sulla fauna marina**

Codice documento:  
**C0421YR23EMFMAR00a**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

Pagina  
**33 di 70**

Specie	Mare Sardegna sud-occidentale	Tipo Sensibilità	Valori Sensibilità	Evidenza	Riferimenti
<i>Saduria entomon</i>			n/a	Esposizione a 3.7 mT CC per 7 settimane	[REDACTED]
<i>Idotea baltica basteri</i>	Presente	M	Campo geomagnetico	Comportamentale: orientamento	[REDACTED]
<i>Talorchestia martensii</i>		M	Campo geomagnetico	Comportamentale	[REDACTED]
<i>Crangon crangon</i>	Presente		n/a	Esposizione a 3.7 mT CC per 7 settimane	[REDACTED]
<i>Homarus vulgaris</i>	Presente		n/a	No risposte a 500 Hz 0.2 T o a 50Hz 0.8 T campo magnetico	[REDACTED]
<i>Order Decapoda</i>	Presente	M	1-400 $\mu$ T 0.001-100 Hz	Fisiologica	[REDACTED]
<i>Procambarus clarkii</i>		E	20 mV/cm; 8.08 mT	Comportamentale/ Fisiologica	[REDACTED]
<i>Cherax destructor</i>		E	Densità corrente: 0.4 $\mu$ A/cm <sup>2</sup>	Comportamentale	[REDACTED]
<i>Panulirus argus</i>		M	Campo geomagnetico	Comportamentale/ Anatomica	[REDACTED]
<i>Rhithropanopeus harrisi</i>			n/a	Esposizione a 3.7 mT CC per 7 settimane	[REDACTED]
<i>Lytechinus pictus</i>		M	30 mT	Fisiologica	[REDACTED]
<i>Strongylocentrotus purpuratus</i>		M	30 mT	Fisiologica	[REDACTED]





## 7. OPERE ELETTRICHE MARINE

Le opere elettriche relative alla parte a mare dell'impianto sono state progettate e saranno realizzate in conformità alle leggi vigenti e alle normative di settore, quali CEI, EN, IEC e ISO applicabili. I cavi sottomarini previsti per il trasporto dell'energia elettrica possono essere differenziati per tipo in:

- cavi dinamici inter-array da 66 kV per il collegamento tra gli aerogeneratori e la sottostazione offshore;
- cavi dinamici di esportazione da 220 kV per la prima sezione dei cavidotti dalla sottostazione offshore galleggiante fino ai punti di touch down sul fondale marino;
- cavi statici di esportazione da 220 kV dai punti di touch down fino ai punti di giunzione a terra.

### 7.1. Cavo inter-array AT

I cavi inter-array in AT, di tipo dinamico, hanno il compito di collegare gli aerogeneratori alla sottostazione di trasformazione offshore. Generalmente il cavo è collegato alla fondazione galleggiante mediante appositi vincoli ed è opportunamente protetto da un j-tube (struttura in acciaio e materiale sintetico installata per il corretto inserimento dei cavi all'interno delle fondazioni offshore galleggianti).

#### 7.1.1. Struttura e dimensioni del cavo dinamico in corrente alternata a 66 kV

Il cavo dinamico inter-array in AT è un cavo tripolare in corrente alternata composto da 3 conduttori disposti secondo una configurazione ad elica ed opportunamente isolati e protetti dall'ambiente marino esterno; ai conduttori si aggiunge anche un cavo di segnale in fibra ottica.

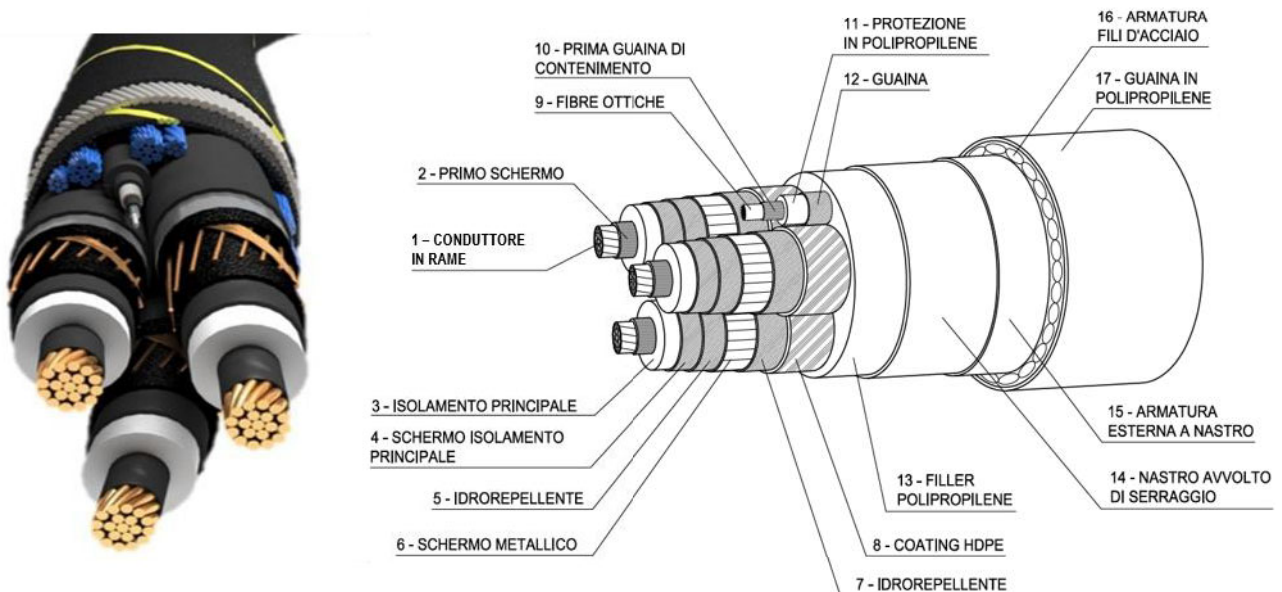


Figura 7.1 – Composizione tipica di un cavo marino tripolare.

Come mostrato in Figura 7.1 il generico cavo è composto dai seguenti strati:

- conduttore in rame e corrispettivo strato schermante;
- isolamento principale e corrispettivo strato schermante;
- idrorepellente e corrispettivo schermo metallico;
- idrorepellente protetto con polietilene ad alta densità HDPE (in inglese, *High-Density PolyEthylene*);
- riempitivo in polipropilene;
- armatura esterna a nastro in polipropilene;



Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**  
Engineering & Consulting Studio

<b>PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE</b>		
PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica Valutazione impatto elettromagnetico sulla fauna marina		
Codice documento: <b>C0421YR23EMFMAR00a</b>	Data emissione: <b>Marzo 2023</b>	Pagina <b>35 di 70</b>

- armatura in fili di acciaio zincato lavato con bitume;
- guaina protettiva in polipropilene.

Di seguito, in forma tabellare, si riportano le caratteristiche dimensionali ed elettriche principali del cavo tripolare in esame.

**Tabella 7.1 – Caratteristiche principali del cavo tripolare dinamico da 66 kV.**

Diametro esterno del cavo [mm]	148 +/- 3
Area sezione del conduttore [mm <sup>2</sup> ]	240
Tensione nominale [kV]	66
Frequenza di esercizio [Hz]	50
Portata di corrente [A]	fino a 912

## 7.2. Cavi di esportazione

I cavi di esportazione collegano le sottostazioni di trasformazione offshore ai punti di giunzione a terra (Transition Junction Bay - TJB), operando ad una tensione nominale di 220 kV.

### 7.2.1. Struttura e dimensioni del cavo dinamico e statico in corrente alternata a 220 kV

Il cavo dinamico e quello statico di esportazione in AT (prima sezione del cavidotto) è tripolare in corrente alternata con 3 conduttori disposti secondo una configurazione ad elica ed opportunamente isolati e protetti dall'ambiente marino esterno. Gli strati che compongono il generico cavo sono riconducibili a quelli relativi al cavo inter-array.

Di seguito, in forma tabellare, si riportano le caratteristiche dimensionali ed elettriche principali del cavo tripolare in esame.

**Tabella 7.2 – Caratteristiche principali dei cavi tripolari di esportazione a 220 kV.**

Diametro esterno del cavo [mm]	224
Area sezione del conduttore [mm <sup>2</sup> ]	630
Tensione nominale [kV]	220
Frequenza di esercizio [Hz]	50
Portata di corrente [A]	715

### 7.2.2. Modalità di posa del cavo statico in corrente alternata a 220 kV

Le modalità di posa previste fanno per lo più riferimento al cavo di esportazione statico. Infatti, i cavi dinamici di inter-array e di esportazione si sviluppano interamente all'interno della colonna d'acqua con posizionamento dinamico, a meno del punto di appoggio sul fondale marino (in inglese *touch-down point*).

Per il cavo di esportazione statico sono previste differenti modalità di posa, mutuamente utilizzate a seconda delle caratteristiche ambientali (biocenosi), batimetriche e geotecniche del fondale. Tali modalità, riportate nell'elenco a seguire, garantiscono il posizionamento statico oltre che la protezione del cavo; l'elenco è riportato seguendo un ordine spaziale di utilizzo delle modalità di posa, a partire dalla sottostazione offshore fino al punto di giunzione a terra (TJB).





- Protezione del cavidotto marino all'interno di una trincea scavata nel fondale mediante l'utilizzo della tecnica del trenching o Jet-trenching. Tale soluzione è per lo più prevista su fondali sabbiosi, ove le operazioni di scavo sul fondale marino mantengono un carattere di reversibilità. In figura si riporta il suddetto schema di trincea; le curve nere tratteggiate rappresentano fasi intermedie dello scavo mentre la curva tratteggiata marrone indica la fase finale. Nel dettaglio, al centro è rappresentata la sezione dello scavo in un istante di tempo durante le operazioni, ai lati il cumulo di materiale scavato. La linea continua marrone indica la condizione finale a seguito delle operazioni di ripristino del fondale.

### TRINCEA SU FONDALE MARINO (SCALA 1:50)

### SEZIONE TRASVERSALE

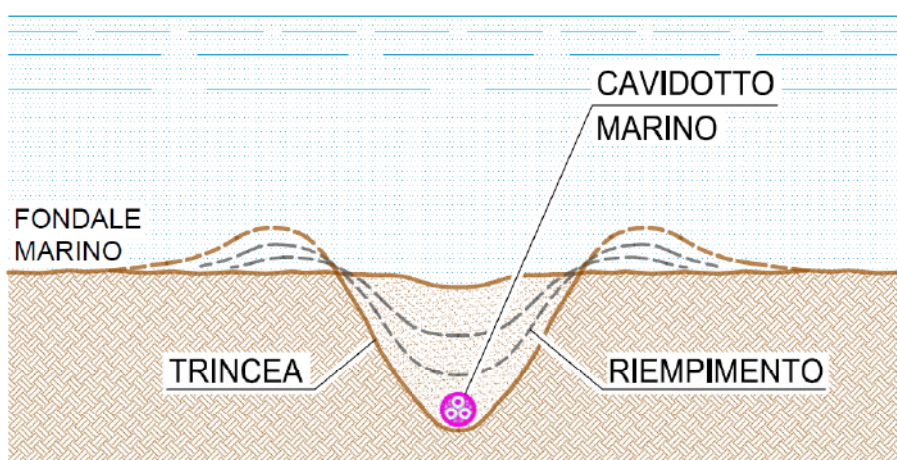


Figura 7.2 – Cavidotto marino in trincea su fondale marino.

Elaborazione iLStudio.

- Protezione del cavidotto marino mediante massi (in inglese, *rock-dumping*). In questa configurazione il cavo risulta adagiato sul fondale e protetto superiormente da un cumulo di massi opportunamente trasportati e posati da idonea nave (*rock-dumping vessel*).

### PROTEZIONE MEDIANTE MASSI (SCALA 1:50)

### SEZIONE TRASVERSALE

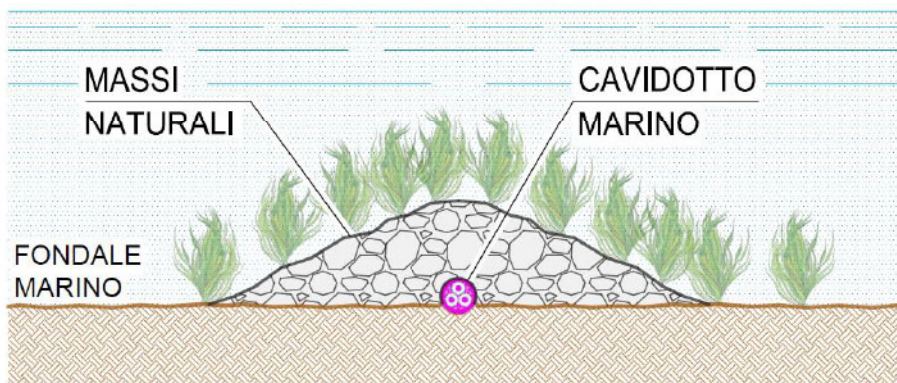


Figura 7.3 – Protezione del cavidotto marino mediante massi.

Elaborazione iLStudio.





Ichnusa wind power srl

iLStudio.  
Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE  
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica  
Valutazione impatto elettromagnetico sulla fauna marina

Codice documento:  
C0421YR23EMFMAR00a

Data emissione:  
Marzo 2023

Pagina  
37 di 70

- Protezione del cavidotto marino mediante materassi in calcestruzzo (in inglese, *concrete mattresses*). In questa configurazione il cavo è adagiato sul fondale e protetto superiormente da una struttura costituita da blocchetti in calcestruzzo uniti tramite una fune in polipropilene. La struttura, risulta flessibile e facilmente adattabile alla forma del cavo e del fondale.

### PROTEZIONE MEDIANTE MATERASSI (SCALA 1:50)

#### SEZIONE TRASVERSALE

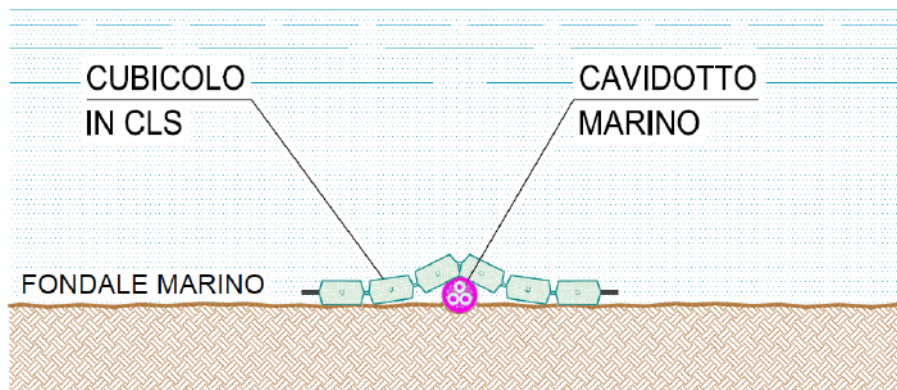


Figura 7.4 – Protezione del cavidotto marino mediante materassi in calcestruzzo.

Elaborazione iLStudio.

- Protezione del cavidotto mediante l'utilizzo di gusci modulari in ghisa, ancorati al fondale con appositi chiodi di fissaggio. Tale soluzione è prevista laddove si sviluppano praterie di posidonia ovvero entro circa 4km dalla costa o altre biocenosi di pregio che necessitano una installazione con la minima impronta sul fondale.

### PROTEZIONE MEDIANTE GUSCI MODULARI (SCALA 1:50)

#### SEZIONE TRASVERSALE

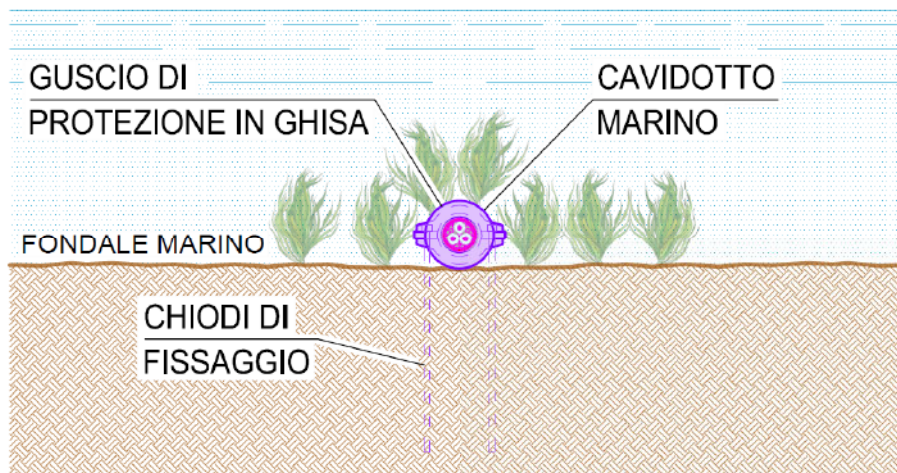


Figura 7.5 – Protezione del cavidotto marino mediante gusci in ghisa.

Elaborazione iLStudio.



Ichnusa wind power srl

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

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione tecnica**  
**Valutazione impatto elettromagnetico sulla fauna marina**

Codice documento:  
**C0421YR23EMFMAR00a**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

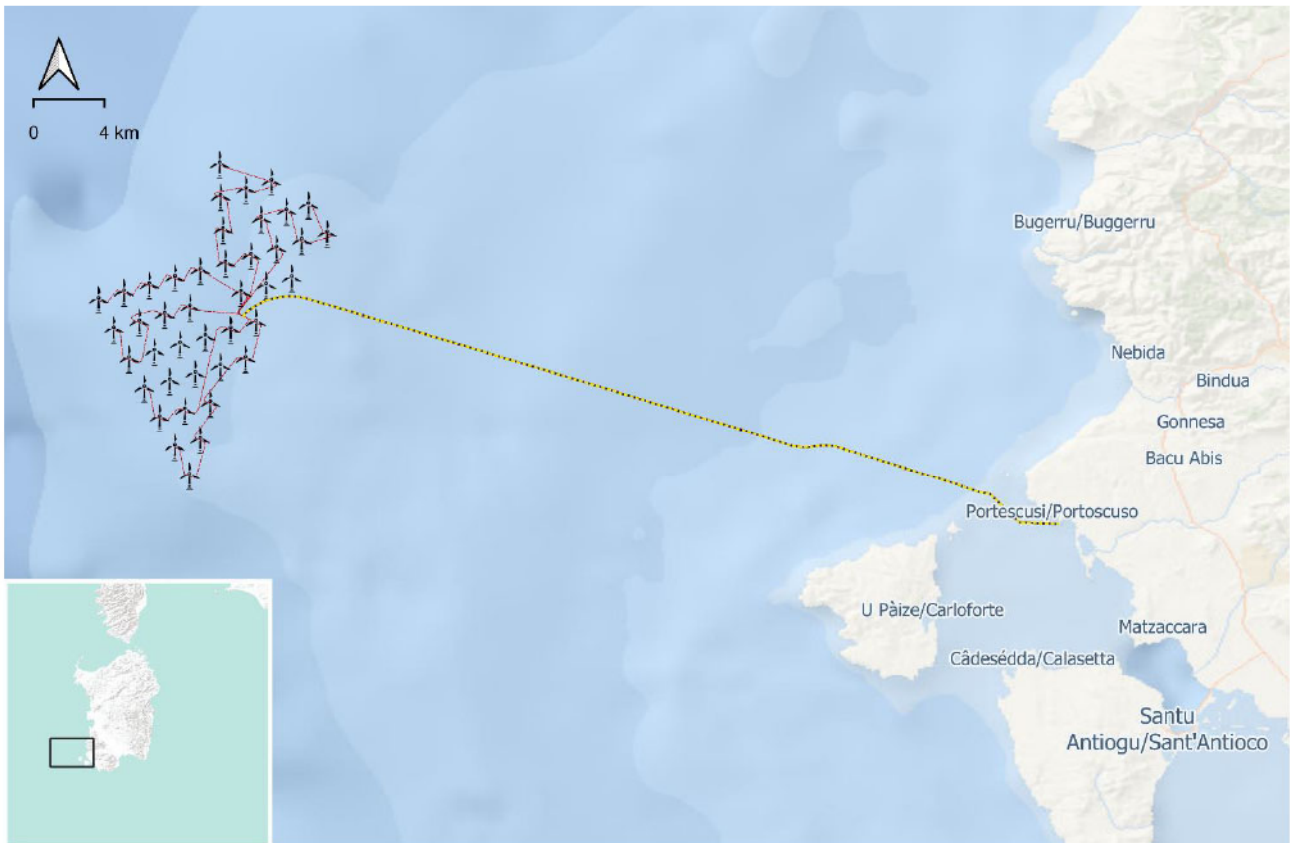
Pagina  
**38 di 70**

### 7.3. Ubicazione delle opere

Il tracciato seguito dai cavi sottomarini è stato determinato da un'approfondita analisi geognostica e geotecnica che ha individuato gli affioramenti e le stratigrafie in profondità.

I cavi di esportazione (dinamico e statico) si sviluppano a partire dalle due sottostazioni offshore (FOS) fino ai due punti di giunzione a terra (TJB), coprendo una distanza in pianta di circa 48 e 50 km. Considerando i tratti in pendenza, si stima una lunghezza totale del cavo di esportazione di oltre 50 km.

I cavi inter-array si sviluppano tra gli aerogeneratori, secondo 6 differenti rami, fino a raggiungere le due sottostazioni offshore.



#### PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE

Tracciato dell'elettrodotto marino di esportazione e posizionamento della rete di cavi inter-array

Elaborazione iLStudio

#### LEGENDA

Turbina eolica



Elettrodotto marino di esportazione 220kV



Rete cavi inter-array 66kV



**Figura 7.6 – Tracciato dell'elettrodotto marino di esportazione e posizionamento della rete di cavi inter-array.**

Elaborazione iLStudio.



## 8. MODELLI DI CALCOLO

Il calcolo del campo magnetico indotto dal funzionamento dei cavi marini è stato condotto sulla base dell'implementazione in ambiente Matlab di opportuni modelli fisici e matematici descritti nel presente capitolo.

### 8.1. Campo magnetico indotto per cavi paralleli

Per il caso di una o più terne composte secondo cavi paralleli, la valutazione è effettuata in relazione alle caratteristiche geometriche e 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 106-11) è di tipo bidimensionale ed è 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 considerano:

- tutti i conduttori rettilinei, paralleli, orizzontali e di lunghezza infinita;
- le correnti concentrate negli assi centrali dei conduttori in cavo;
- che per le linee in cavo interrato non si tenga conto delle correnti indotte negli schermi;
- il fondale perfettamente trasparente dal punto di vista magnetico.

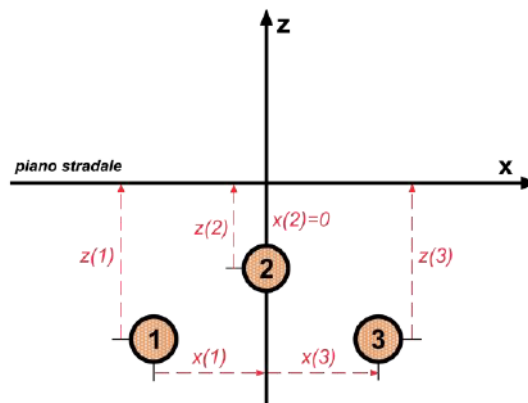


Figura 8.1 – Posizione delle singole fasi.

Immagine rielaborata da CEI 106-11.

La procedura di calcolo si svolge secondo i seguenti step.

- 1) 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);
- 2) 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  $B_x$ ,  $B_y$  e  $B_z$ , secondo la nomenclatura di Figura 8.1 ed attraverso le relazioni seguenti.

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

- 3) Per il generico punto P, si valuta il valore efficace dell'induzione magnetica  $B$  in accordo alla seguente





equazione.

$$B(x_P, y_P) = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2} \quad \text{eq. (3)}$$

Nelle precedenti,  $B_x$ ,  $B_y$  e  $B_z$  rappresentano i valori efficaci delle componenti spaziali del vettore induzione magnetica,  $\mu$  la permeabilità magnetica del mezzo,  $I_i$  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 ai conduttori stessi.

## 8.2. Campo magnetico indotto per cavi elicordati

Nel caso di una o più terne per cui i cavi sono avvolti ad elica tra di loro, il calcolo del campo magnetico tiene conto delle caratteristiche del profilo elicoidale e di quelle geometriche ed elettriche dei cavi. Il modello utilizzato prevede [redacted], nella sua formulazione esatta, l'utilizzo delle funzioni di Bessel modificate del primo e secondo tipo e delle loro rispettive derivate.

Indicati con  $p$  e con  $\alpha$  rispettivamente il passo e il raggio dell'elica e con  $I$  la corrente circolante nei cavi, si considerino le componenti del campo magnetico indotto rispetto ad un sistema di coordinate cilindriche in cui:

- $r$  è direzione radiale rispetto all'asse della terna elicordata;
- $\phi$  è la direzione azimutale;
- $z$  è direzione longitudinale della terna elicordata.

Tramite opportune considerazioni relative alle 3 componenti del campo magnetico rispetto al suddetto sistema di coordinate, si può ridurre il problema a 2 sole componenti relative ad un sistema di coordinate "elicoidali". Più precisamente, considerato un punto nello spazio, il campo magnetico può essere valutato come somma vettoriale di una componente radiale rispetto all'asse della terna e di una componente binormale, avente direzione perpendicolare ad un'elica immaginaria di passo  $p$  passante per il punto considerato. La terza componente  $s$ , tangenziale all'elica immaginaria, risulta per costruzione nulla.

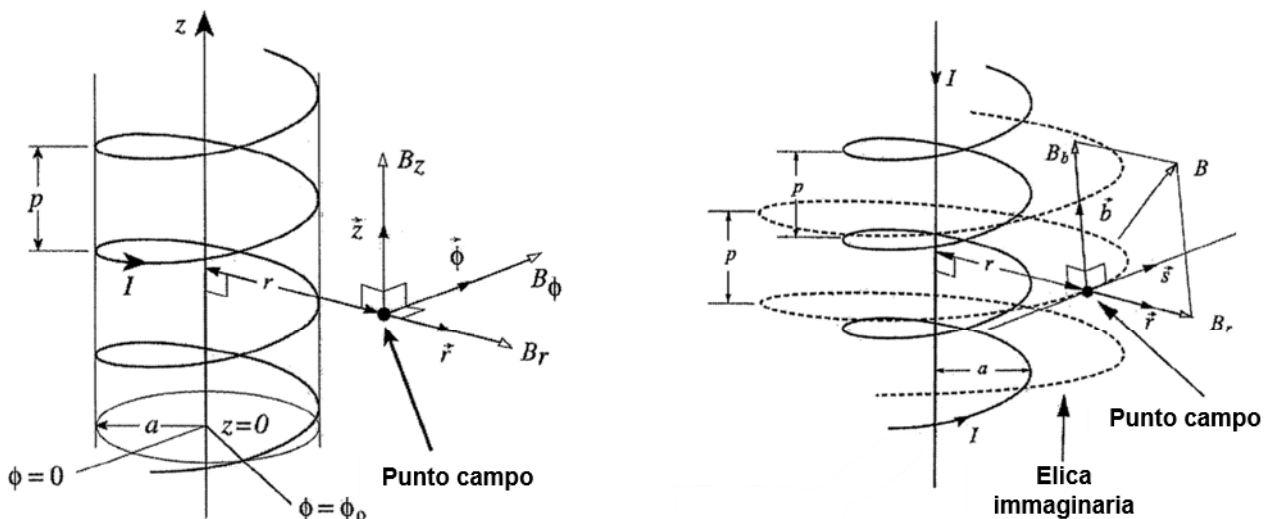


Figura 8.2 – Sistema di coordinate cilindriche (sx) e sistema di coordinate "elicoidali" (dx).

In conclusione, riportano di seguito i valori efficaci della componente radiale  $B_r$  e binormale  $B_b$ , nonché della loro risultante  $B$  corrispondente al valore del campo magnetico in un generico punto.



Ichnusa wind power srl

iLStudio.

Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE  
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica  
Valutazione impatto elettromagnetico sulla fauna marina

Codice documento:  
C0421YR23EMFMAR00a

Data emissione:  
Marzo 2023

Pagina  
41 di 70



$$B = \frac{3}{2} B_0 \gamma^2 \left[ nm I'_n(n\eta) I'_m(m\eta) \left[ (\mp 1)(\mp 1) K'_n(n\gamma) K'_m(m\gamma) + \frac{1 + \gamma^2}{\gamma^2} K_n(n\gamma) K_m(m\gamma) \right] \cos(\pm n \mp m) \Phi \right]^{1/2} \quad \text{eq. (6)}$$

con:

- $B_0 = \frac{\mu I \alpha}{\pi r^2}$ ;
- $\mu$  permeabilità magnetica nel mezzo;
- $\gamma = kr$ ;
- $\eta = k\alpha$ ;
- $k = \frac{2\pi}{p}$ ;
- $I_\nu(z)$  funzione di Bessel modificata del primo tipo;
- $K_\nu(z)$  funzione di Bessel modificata del secondo tipo.



## 9. CALCOLO DELLE EMISSIONI ELETTROMAGNETICHE

Nel presente capitolo si quantificano le emissioni elettromagnetiche previste durante l'esercizio dei cavi sottomarini, grazie ad una fase di calcolo che ha permesso di applicare i modelli descritti nel capitolo 8 al caso di studio in esame.

### 9.1. Campo magnetico indotto

I modelli descritti nel paragrafo precedente sono stati implementati in ambiente MATLAB ed hanno permesso di tracciare l'andamento del campo magnetico indotto sul generico piano ortogonale ad uno o più cavi tripolari. È dato inoltre ampio spazio a rappresentazioni grafiche delle linee di campo corrispondenti ai valori di sensibilità delle specie magneto-sensibili presenti nell'area di progetto, già indicati in forma tabellare all'interno del capitolo 6.

I calcoli sono stati effettuati per i soli due cavi statici di esportazione da 220 kV, con l'obiettivo di valutare le distanze entro il quale i cavi stessi potrebbe influenzare il comportamento delle specie marine presenti nell'area di progetto.

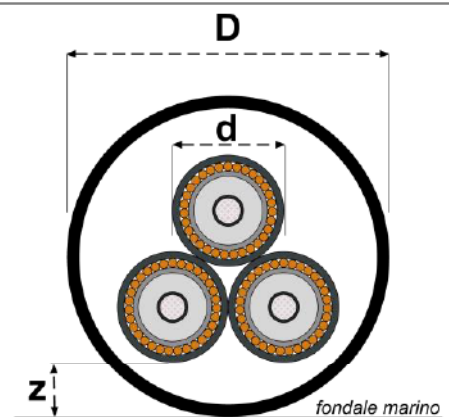
Per facilitare la comprensione dei risultati esposti si introduce il concetto di "fascia di influenza", corrispondente all'area giacente sul generico piano ortogonale ai conduttori, all'interno della quale una determinata specie marina magneto-sensibile può essere influenzata dagli effetti del cavo in esercizio.

#### 9.1.1. Input di calcolo – modalità di posa e caratteristiche del cavo

Ai fini del calcolo, in via conservativa, la modalità di posa considerata è quella relativa al cavo tripolare posto sul fondale marino e protetto con materassi in calcestruzzo. Essa rappresenta la soluzione meno ingombrante nonché quella che permette alle specie marine il massimo avvicinamento al cavo e che determina dunque la massima fascia di influenza possibile.

Tabella 9.1 – Valori di input. Modalità di posa: cavo tripolare su fondale marino.

Simbolo	Descrizione	Unità di misura	Valore
D	Diametro cavo tripolare	mm	224
d	Diametro cavo unipolare	mm	79.2
P*	Passo di elicordatura	m	3.60
I <sub>EFF</sub>	Corrente Efficace	A	715
$\varphi_1$	Angolo fase cavo 1	gradi [°]	0
$\varphi_2$	Angolo fase cavo 2	gradi [°]	120
$\varphi_3$	Angolo fase cavo 3	gradi [°]	-120



\*per un cavo tripolare da 630mm<sup>2</sup> è suggerito un passo di elicordatura di 3.6m

Si precisa che, adottando sia il modello bidimensionale presente nella norma CEI 211-4 che quello relativo a conduttori disposti ad elica, non viene considerato l'effetto schermante dell'armatura del cavo (generalmente a filamenti di rame su materiale semiconduttivo). Ciò implica l'utilizzo dell'ipotesi di cavo nudo, evidentemente conservativa nel calcolo del campo magnetico indotto.





### 9.1.1.1. Scelta del cavo elicordato come BAT

L'attenzione del proponente all'aspetto ambientale del progetto, nonché la propensione a minimizzare gli impatti delle opere sullo scenario di base, ha portato alla scelta di utilizzare cavi marini tripolari elicordati, con l'obiettivo di ridurre fortemente il campo magnetico indotto dalla corrente circolante.

La disposizione dei tre conduttori, avvolti attorno ad un asse secondo tre profili elicoidali, garantisce un effetto di parziale annullamento del campo magnetico indotto, determinato dalla somma di componenti di segno opposto. Nel grafico seguente per il caso di conduttori attraversati da una corrente di 200A e disposti secondo una circonferenza di raggio pari a 0.01m, sono rappresentati gli andamenti del campo magnetico rispetto alla distanza sia per il caso di conduttori disposti ad elica (in verde) sia per conduttori rettilinei (rosso).

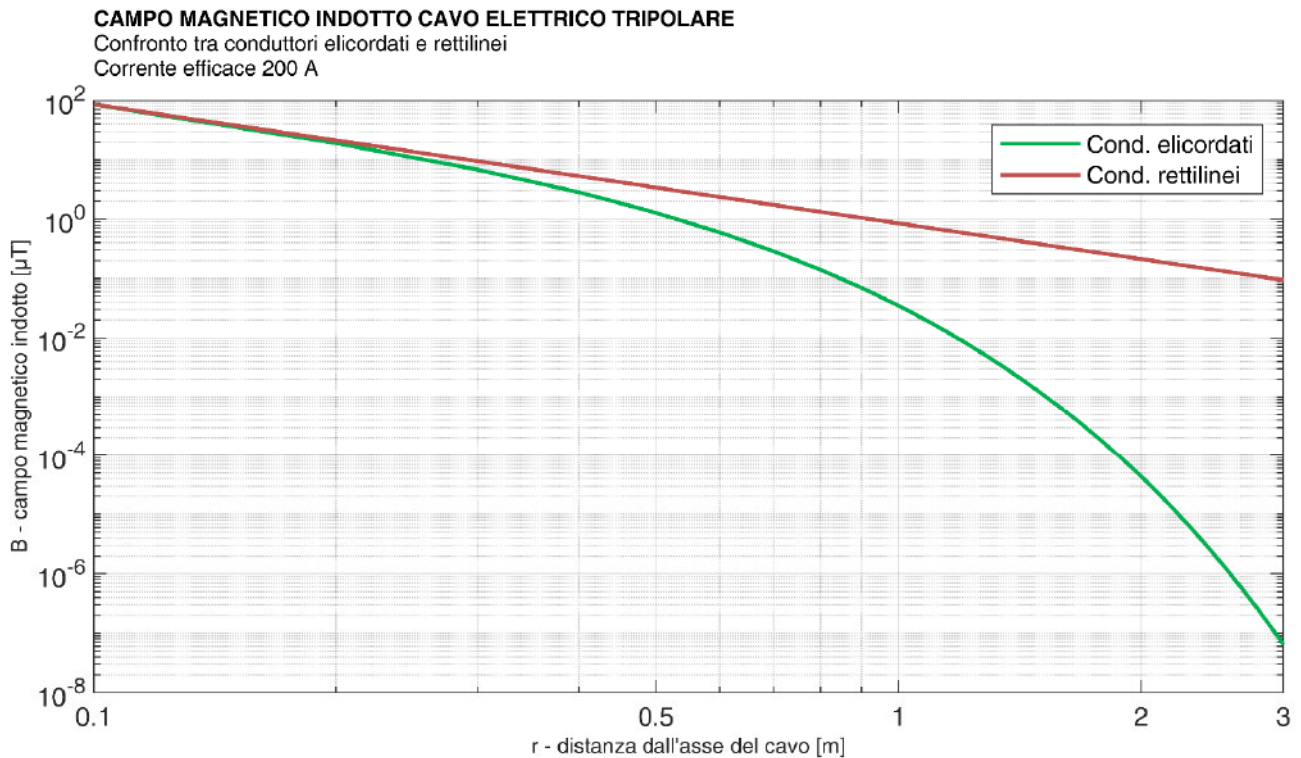


Figura 9.1 – Campo magnetico indotto, confronto tra conduttori elicordati e rettilinei.

Si può notare come già ad una distanza di 50cm il valore del campo magnetico indotto si riduca da un valore di circa 3.4µT per conduttori rettilinei a 1.3µT per conduttori elicordati. Allontanandosi dall'asse del cavo, l'andamento del campo magnetico indotto per il caso elicordato vede un aumento della decrescenza fino a registrare una differenza di 8 ordini di grandezza rispetto al caso rettilineo a soli 3 metri di distanza.



Ichnusa wind power srl

iLStudio.  
Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE  
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica  
Valutazione impatto elettromagnetico sulla fauna marina

Codice documento:  
C0421YR23EMFMAR00a

Data emissione:  
Marzo 2023

Pagina  
44 di 70

### 9.1.2. Campo magnetico indotto sul piano ortogonale al generico cavo

Nel presente paragrafo è riportato in forma grafica il comportamento del campo magnetico indotto sul piano ortogonale al generico cavo. I valori associati alla barra colorata sono riportati in micro-Tesla  $\mu\text{T}$ .

#### CAMPO MAGNETICO INDOTTO CAVO DI ESPORTAZIONE MARINO AT

Mappa sul piano ortogonale al cavo statico - dettaglio cavo tripolare

Tensione nominale 220 kV - Corrente efficace 715 A

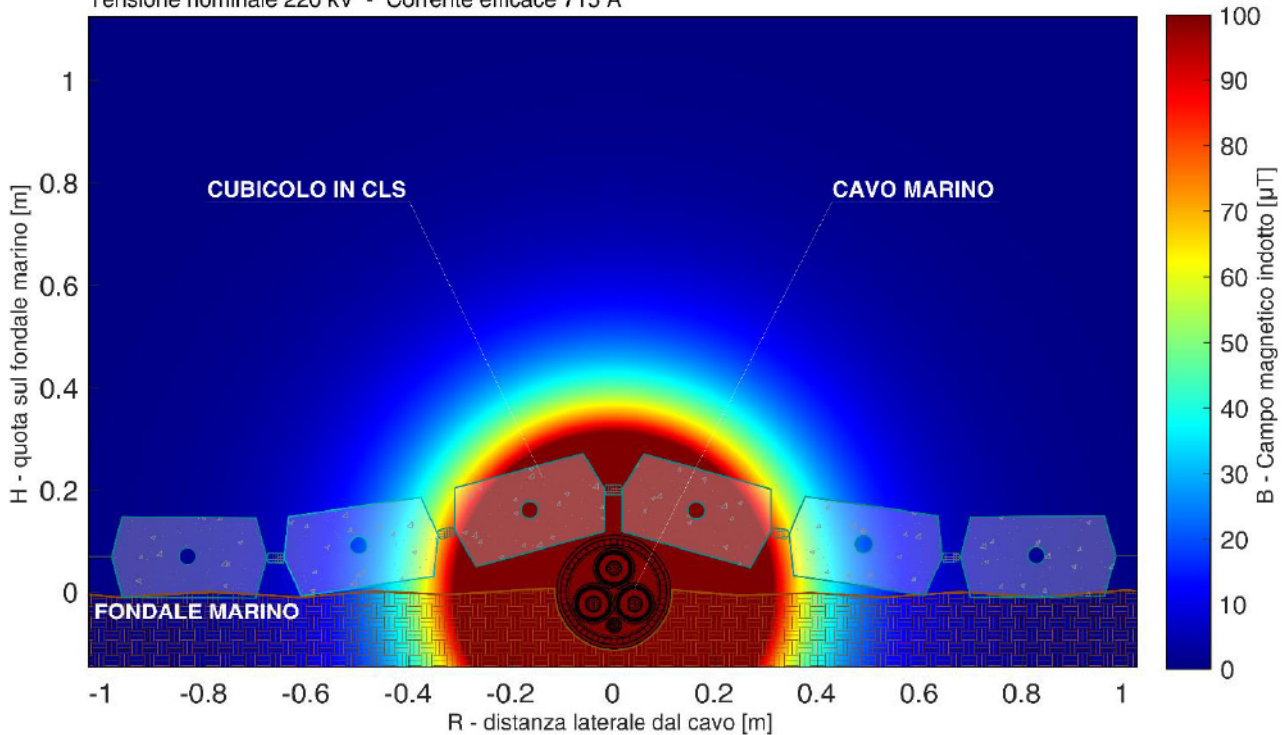


Figura 9.2 – Mappa del campo magnetico indotto sul piano ortogonale al cavo. Materassi in cls.

Elaborazione iLStudio.

In Figura 9.2 la mappa cromatica è corredata dal dettaglio del tipico di posa con la protezione dei materassi in calcestruzzo (in trasparenza).

Dalla mappa si evince l'andamento circolare delle linee di campo attorno al cavo. Tale andamento è giustificato dalla disposizione compatta a trifoglio dei singoli conduttori all'interno del cavo.

In aggiunta, confrontando i colori della mappa con i valori riportati sulla barra graduata si può notare che le intensità di campo superiori ai 20  $\mu\text{T}$  sono circoscritte nel raggio di circa 0.6 m dal cavo. Ciò è in linea con la legge di Biot-Savart che nella sua forma più semplice, relativa ad un filo rettilineo infinito percorso da corrente, descrive il campo magnetico indotto con andamento decrescente iperbolico rispetto alla distanza.





Ichnusa wind power srl

iLStudio.  
Engineering & Consulting Studio

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica  
Valutazione impatto elettromagnetico sulla fauna marina

Codice documento:  
C0421YR23EMFMAR00a

Data emissione:  
Marzo 2023

Pagina  
45 di 70

### 9.1.3. Campo magnetico indotto sul piano ortogonale ai due cavi di esportazione

La modalità di posa e gli input di calcolo riportati nel paragrafo 9.1.1 sono stati applicati per simulare i campi magnetici generati da entrambi i cavi di esportazione. In tal modo è risultato necessario applicare il principio di sovrapposizione degli effetti, tenendo conto della posizione reciproca tra i due cavi che risultano correre paralleli e distanziati di circa 20m a partire dalla FOS, fino a convergere nel pozzetto di giunzione.

Ai fini della valutazione degli impatti elettromagnetici sulla fauna marina, l'inter-distanza tra i due cavi di esportazione risulta essere sufficientemente elevata da poter trascurare la sovrapposizione degli effetti generati dalle due terne percorse da corrente. Tale assunzione è giustificata dal seguente grafico in cui è rappresentato l'andamento del campo magnetico indotto dai due cavi (in ciano e verde) al variare della distanza dal punto medio. La curva tratteggiata di colore nero rappresenta la somma dei campi generati dai due cavi; dal grafico si può notare come questa tenda asintoticamente alle singole curve dei due campi, motivo per cui la distanza tra i due cavi è tale da non generare significative variazioni di campo dovute alla sovrapposizione degli effetti.

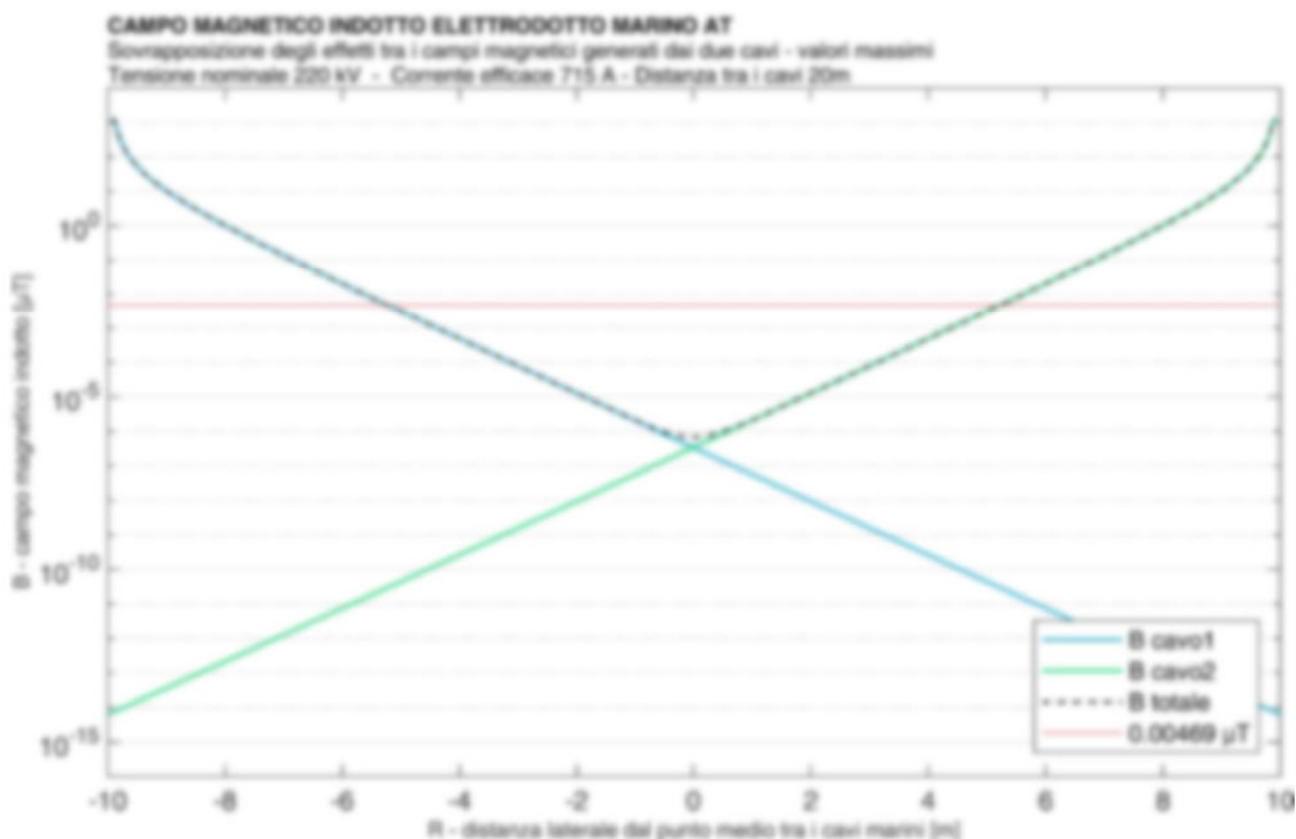


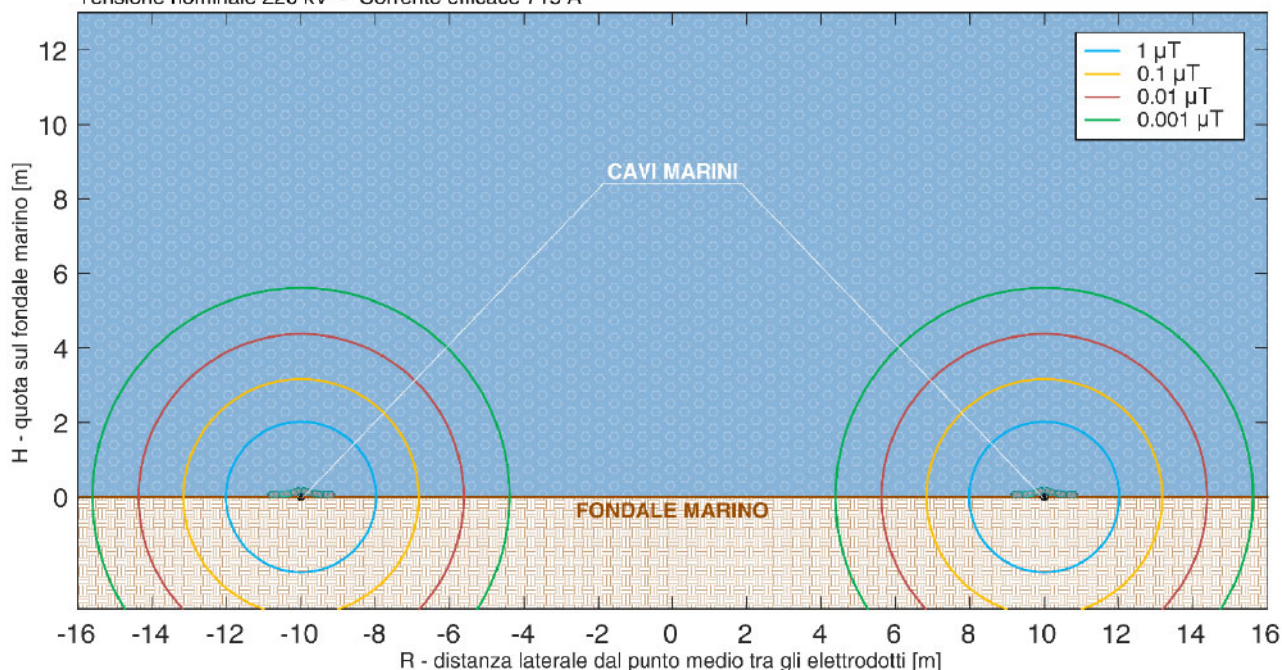
Figura 9.3 – Sovrapposizione degli effetti tra i due campi magnetici generati dai due cavi.

Elaborazione iLStudio.

Inoltre, laddove è visibile un aumento del campo magnetico dovuto alla sovrapposizione degli effetti (intersezione tra la curva ciano e verde), questo è circoscritto a bassi valori di campo, ben al di sotto (oltre tre ordini di grandezza) del valore di sensibilità di circa  $4.69 \times 10^{-3} \mu\text{T}$  associato alla specie più sensibile ai campi elettromagnetici (*Caretta caretta*).

Per completezza si riporta di seguito un grafico rappresentante le linee di campo magnetico indotto dai due elettrodotto per valori di 1, 0.1, 0.01 e 0.001  $\mu\text{T}$ . Anche se relative a valori particolarmente contenuti, le linee permettono di comprendere l'andamento generale del campo magnetico.



**CAMPO MAGNETICO INDOTTO ELETTRODOTTO MARINO AT**Linee di campo magnetico indotto a 1, 0.1, 0.01 e 0.001  $\mu\text{T}$   
Tensione nominale 220 kV - Corrente efficace 715 A**Figura 9.4 – Linee di campo magnetico indotto dai due elettrodotti.**

Elaborazione iLStudio.

Per quanto detto, nella valutazione degli impatti sui taxa marini riportata a seguire, il calcolo della fascia di influenza è stato effettuato per il generico cavo avente medesime proprietà degli elettrodotti; sono comunque riportate considerazioni aggiuntive relative al posizionamento dei due elettrodotti.

#### 9.1.4. Taxa marini, sensibilità ai campi magnetici: fasce di influenza

La capacità di alcune specie di utilizzare un “senso magnetico” per fini riproduttivi, di alimentazione o per l’orientamento durante la navigazione, può scontrarsi con la presenza di campi magnetici indotti dai cavi elettrici marini che possono alterare i comportamenti dei singoli individui. I risultati esposti, grazie alle informazioni raccolte dalla bibliografia esistente, tentano di valutare l’ampiezza della fascia di influenza. Con tale spirito si dà spazio ad un confronto diretto tra il campo magnetico indotto previsto dall’esercizio dei cavi e gli intervalli di sensibilità magnetica ipotizzati per le specie presenti nel mare della Sardegna sud-occidentale, riportati nelle tabelle all’interno del capitolo 6.

Gli studi sperimentali e le osservazioni finora effettuate sulle specie marine hanno quindi portato a delineare dei possibili range di ricettività o ancora meglio valori di sensibilità ai gradienti di campo magnetico. Tuttavia si deve precisare che spesso tali studi risultano limitati e non sufficienti a descrivere con completezza i comportamenti delle specie in oggetto.

A seguire, per ogni classe o sottoclasse marina, è riportata una tabella riassuntiva contenente un’elaborazione grafica e la quantificazione del raggio della fascia di influenza del cavo in riferimento alle singole specie.

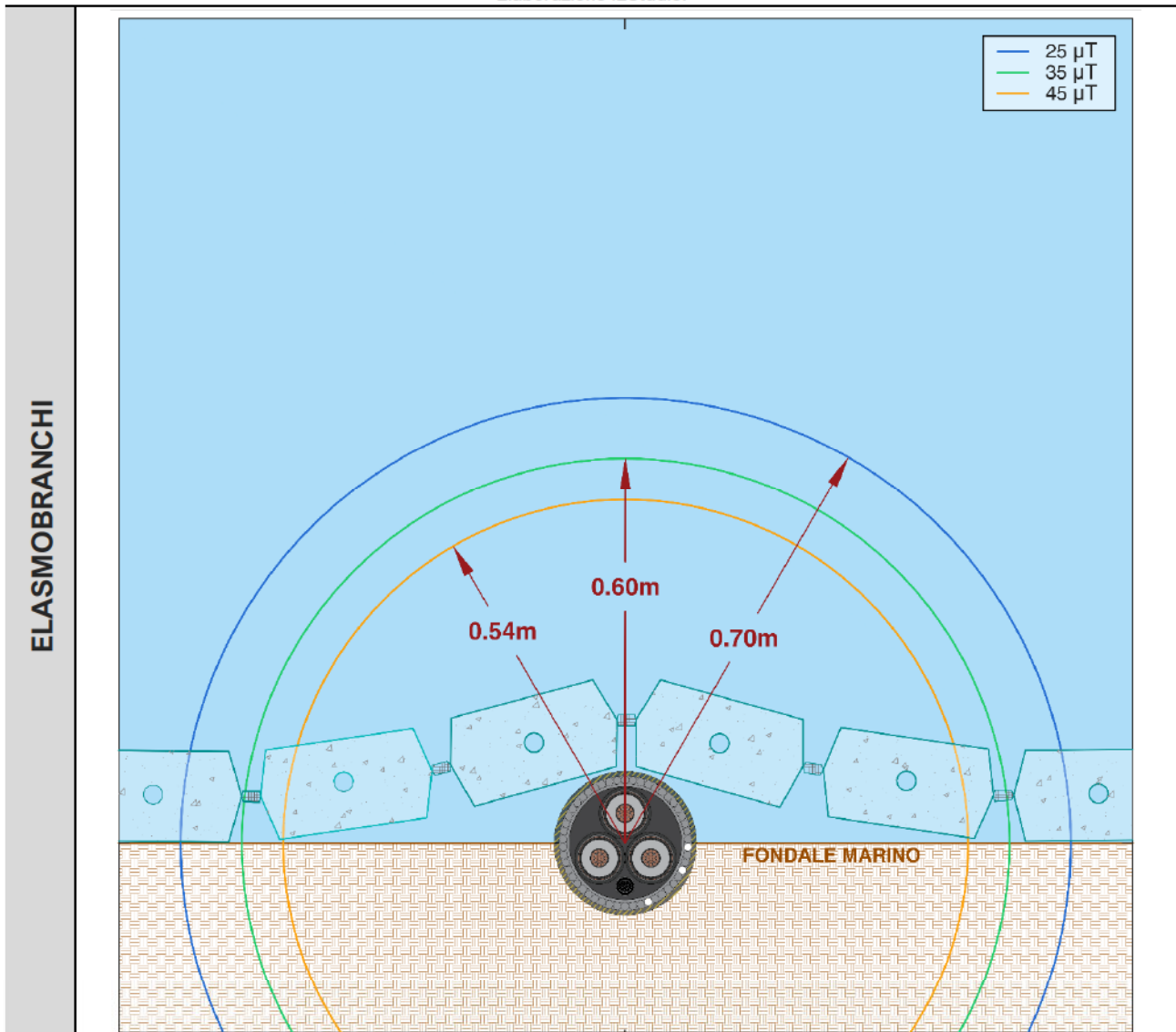


### 9.1.4.1. Elasmobranchi

In riferimento alle specie riportate in Tabella 6.1 appartenenti alla sottoclasse degli elasmobranchi, nel presente paragrafo si quantificano le fasce di influenza relative ai campi magnetici indotti per lo squalo grigio, lo squalo azzurro, lo squalo martello smerlato e la razza chiodata. Tali specie risultano essere quelle presenti nel Mare della Sardegna sud-occidentale e riportano evidenze di tipo comportamentale, anatomico e fisiologico in merito alla loro possibilità di captare campi magnetici.

Tabella 9.2 – Elasmobranchi: fascia di influenza.

Elaborazione iLStudio.



Specie	Presenza mare Sardegna sud-occidentale	Sensibilità [ $\mu\text{T}$ ]	Fascia di influenza [m]
Squalo grigio ( <i>Carcharhinus plumbeus</i> )	Certa	25-100	0.70
Squalo azzurro ( <i>Prionace glauca</i> )	Certa	Geo. ~43-46	0.54
Squalo martello smerlato ( <i>Sphyrna lewini</i> )	Certa	25-100	0.70
Razza chiodata ( <i>Raja clavata</i> )	Certa	35	0.60

Dai risultati ottenuti, per quanto riguarda lo **squalo grigio** e lo **squalo martello smerlato**, la fascia di influenza attorno al cavo risulta particolarmente contenuta, essendo pari a circa 0.7m. XXXXXXXXXX



Ichnusa wind power srl

iLStudio.

Engineering & Consulting Studio

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione tecnica**  
**Valutazione impatto elettromagnetico sulla fauna marina**

Codice documento:  
**C0421YR23EMFMAR00a**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

Pagina  
**48 di 70**

Per la **razza chiodata** la fascia di influenza risulta ancora più contenuta (~0.60m) se si considera un valore di sensibilità proposto pari a 35  $\mu$ T.

In generale, si deve sempre tener conto del fatto che i valori di sensibilità proposti sono frutto di studi e osservazioni sui comportamenti delle specie, motivo per cui non sono da considerarsi come limiti certi. Tuttavia, in relazione ai campi variabili generati dai cavi in corrente alternata, per gli elasmobranchi si ritiene che tali campi possano essere captati dalle specie solo a distanze ridotte. Infatti [REDACTED], è stato osservato che gli squali gatto maculati (*Scyliorhinus canicular*) tendevano ad avvicinarsi solo in prossimità del cavo di potenza in funzione, nelle zone in cui il campo magnetico indotto presenta le intensità più elevate (1-2 m dal cavo). Considerazioni analoghe sono state trasposte anche in riferimento al comportamento delle razze.

In conclusione le fasce di influenza riscontrate per alcune specie di elasmobranchi risultano di dimensioni particolarmente contenute e dunque trascurabili in riferimento ai valori di sensibilità proposti dalla bibliografia esistente.



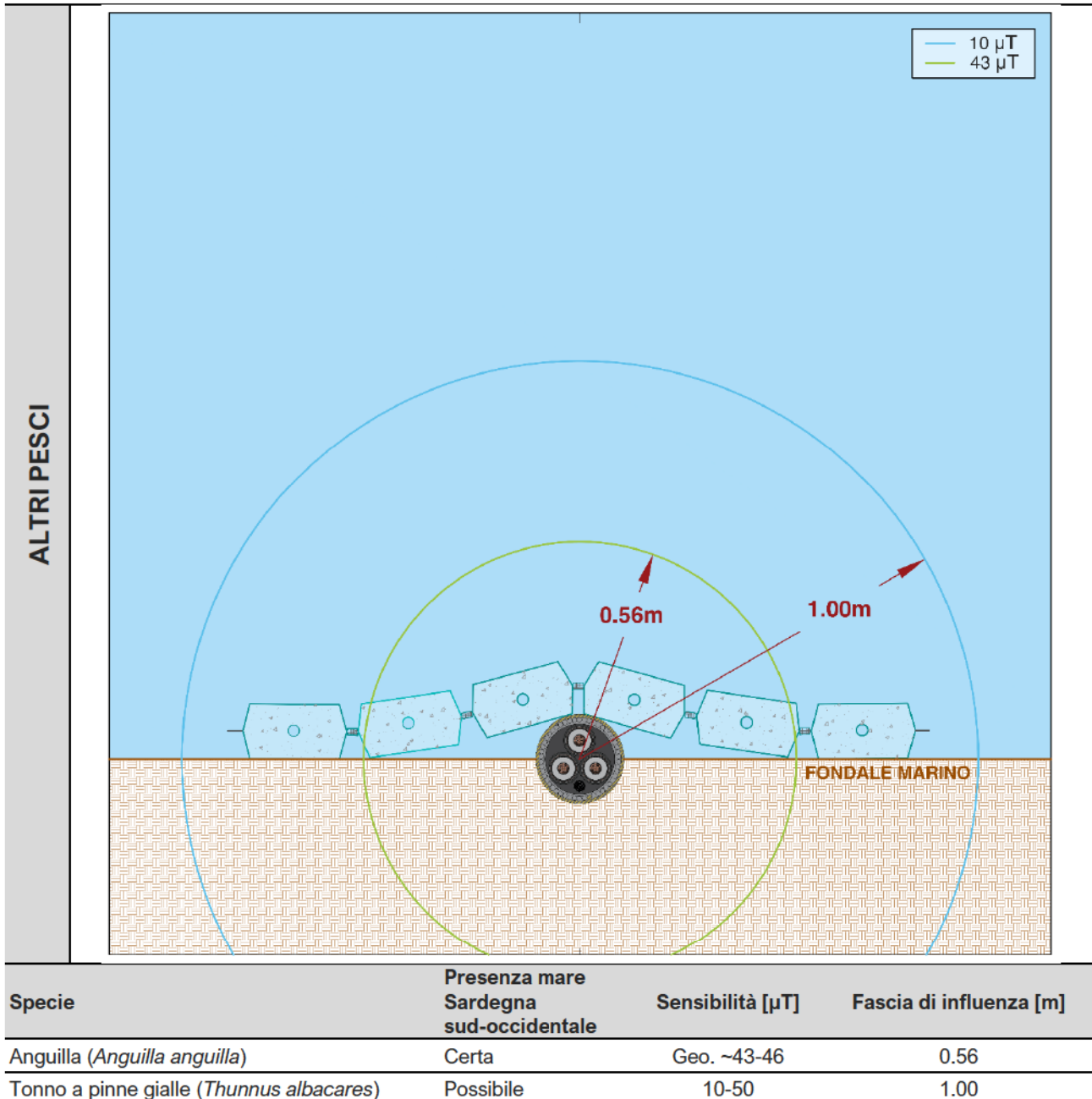


### 9.1.4.2. Altri pesci

In riferimento alle specie di altri pesci riportate nella Tabella 6.2, nel presente paragrafo si quantificano le fasce di influenza relative ai campi magnetici indotti per l'anguilla, la trota, la trota iridea e il tonno a pinne gialle. Tali specie risultano essere quelle presenti nel Mare della Sardegna sud-occidentale e riportano evidenze di tipo comportamentale, anatomico e teorico in merito alla loro capacità di captare campi magnetici.

Tabella 9.3 – Altri pesci: fascia di influenza.

Elaborazione iLStudio.



Per altri pesci (con presenza certa o possibile nell'area di progetto) le fasce di influenza legate ai campi magnetici generati dai cavi risultano particolarmente contenute. Per la specie più sensibile, il tonno a pinne gialle, si prevede una fascia di influenza di circa 1m, a fronte di un valore minimo di sensibilità di circa 10  $\mu\text{T}$ . Per quanto detto, si ritiene che l'impatto legato ai campi magnetici indotti sulle specie elencate sia trascurabile.

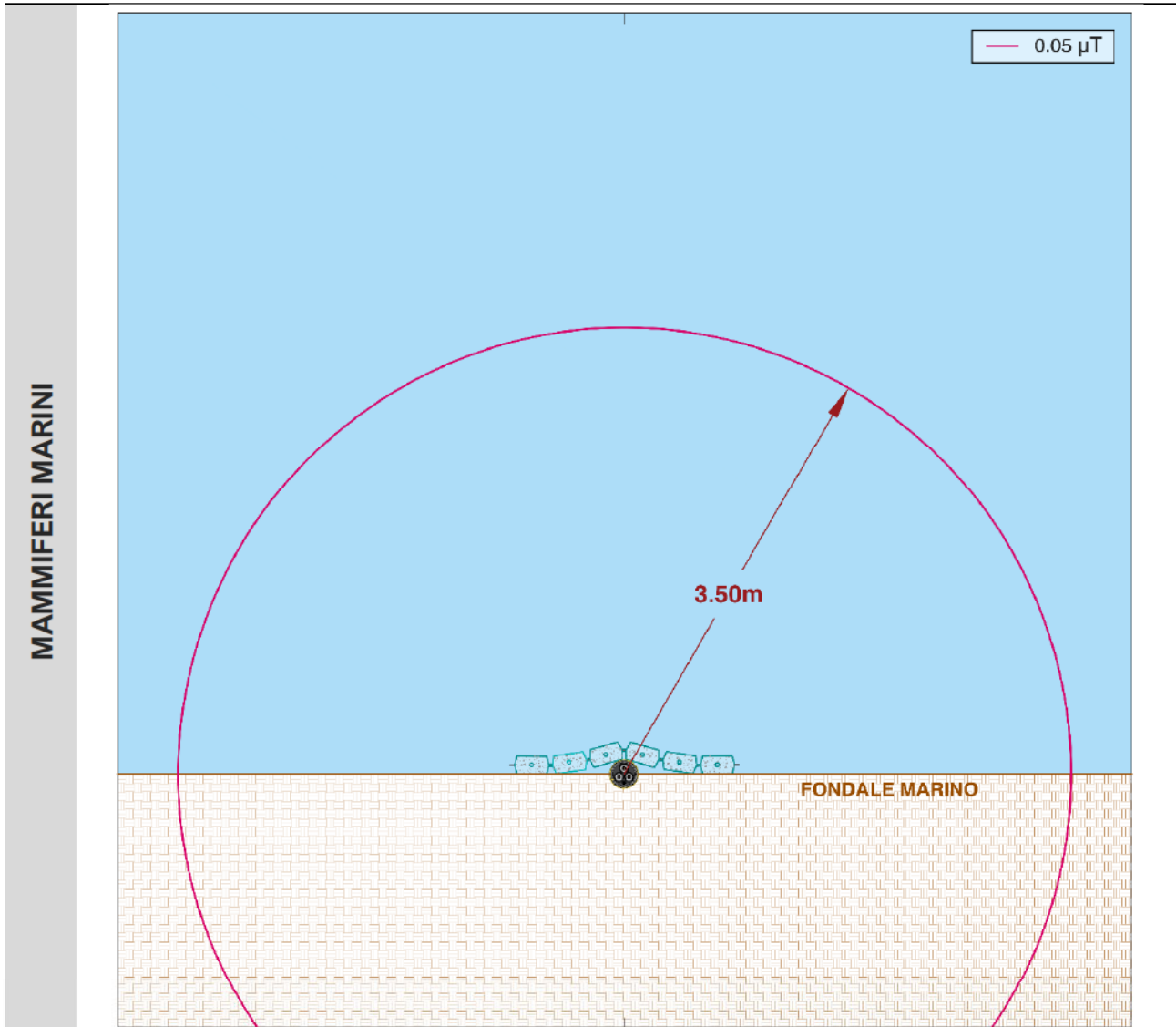


### 9.1.4.3. Mammiferi marini

In riferimento alle specie riportate in Tabella 6.4 appartenenti ai mammiferi marini, nel presente paragrafo si quantificano le fasce di influenza relative ai campi magnetici indotti per la balenottera comune, il capodoglio, il tursiope, il delfino comune, il globicefalo e la stenella striata. Tali specie risultano essere quelle presenti nel Mare della Sardegna sud-occidentale e riportano evidenze di tipo comportamentale, anatomico, teorico e fisiologico in merito alla loro capacità di captare campi magnetici.

**Tabella 9.4 – Mammiferi marini: fascia di influenza.**

Elaborazione iLStudio.



Specie	Presenza mare Sardegna sud-occidentale	Sensibilità [ $\mu\text{T}$ ]	Fascia di influenza [m]
Balenottera comune ( <i>Balaenoptera physalus</i> )	Certa		
Capodoglio ( <i>Physeter macrocephalus</i> )	Certa		
Tursiope ( <i>Tursiops truncatus</i> )	Certa		
Delfino comune ( <i>Delphinus delphis</i> )	Certa	0.05	3.50
Globicefalo ( <i>Globicephala melas</i> )	Certa		
Focena comune ( <i>Phocoena phocoena</i> )	Certa		
Stenella striata ( <i>Stenella coeruleoalba</i> )	Certa		



Ichnusa wind power srl

iLStudio.  
Engineering & Consulting Studio

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

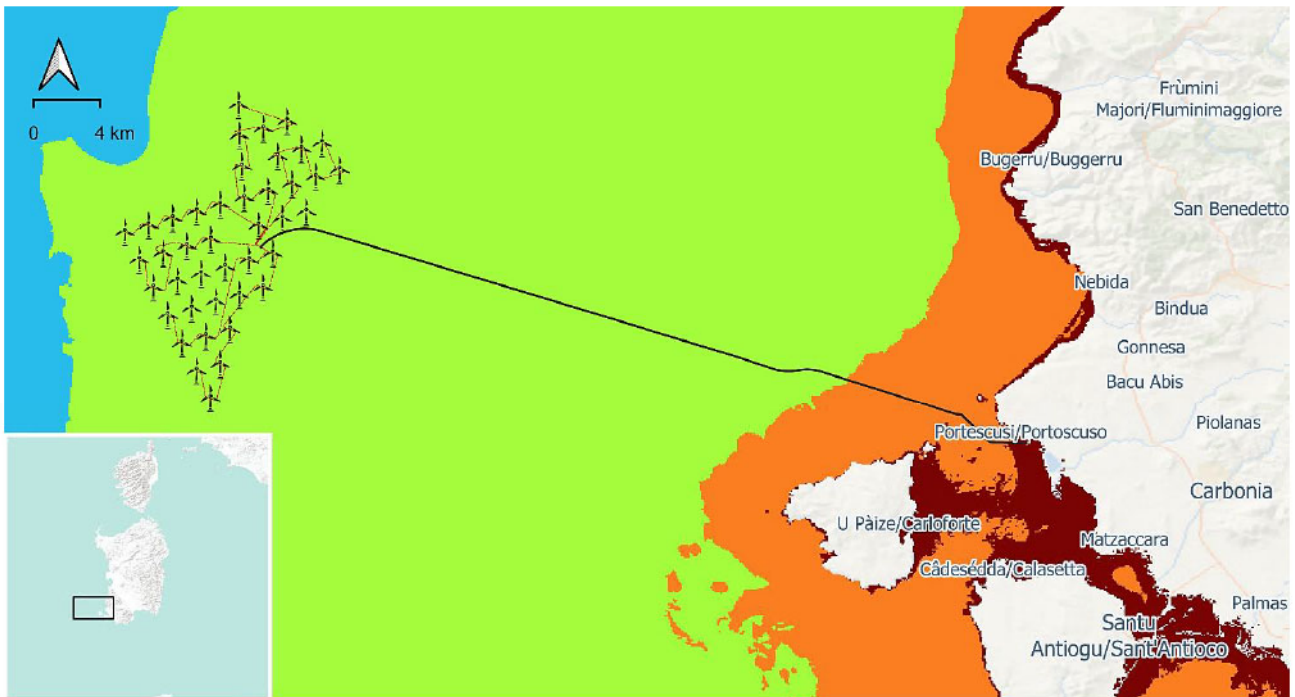
**Relazione tecnica**  
**Valutazione impatto elettromagnetico sulla fauna marina**

Codice documento:  
**C0421YR23EMFMAR00a**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

Pagina  
**51 di 70**

La fascia di influenza associata alle specie appartenenti ai mammiferi marini è pari a circa 3.5m. Anche in questo caso, l'impronta della fascia di influenza ha dimensioni trascurabili se si tiene conto dell'intera area compresa tra il parco eolico e la costa. Inoltre, come mostrato in Figura 9.5, l'elettrodotto di esportazione marino si sviluppa quasi del tutto su fondali profondi oltre 100 m (area in verde), relegando così la fascia di influenza a meno del 4% dell'intera colonna d'acqua.



**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**

Tracciato dell'elettrodotto marino di esportazione su batimetria dell'area di progetto

Elaborazione iLStudio

**LEGENDA**

- Turbina eolica
- Elettrodotto marino di esportazione 220kV
- Cavo inter-array 66kV

**Batimetria (m)**



**Figura 9.5 – Tracciato dell'elettrodotto marino di esportazione su batimetria dell'area di progetto.**

Elaborazione iLStudio.



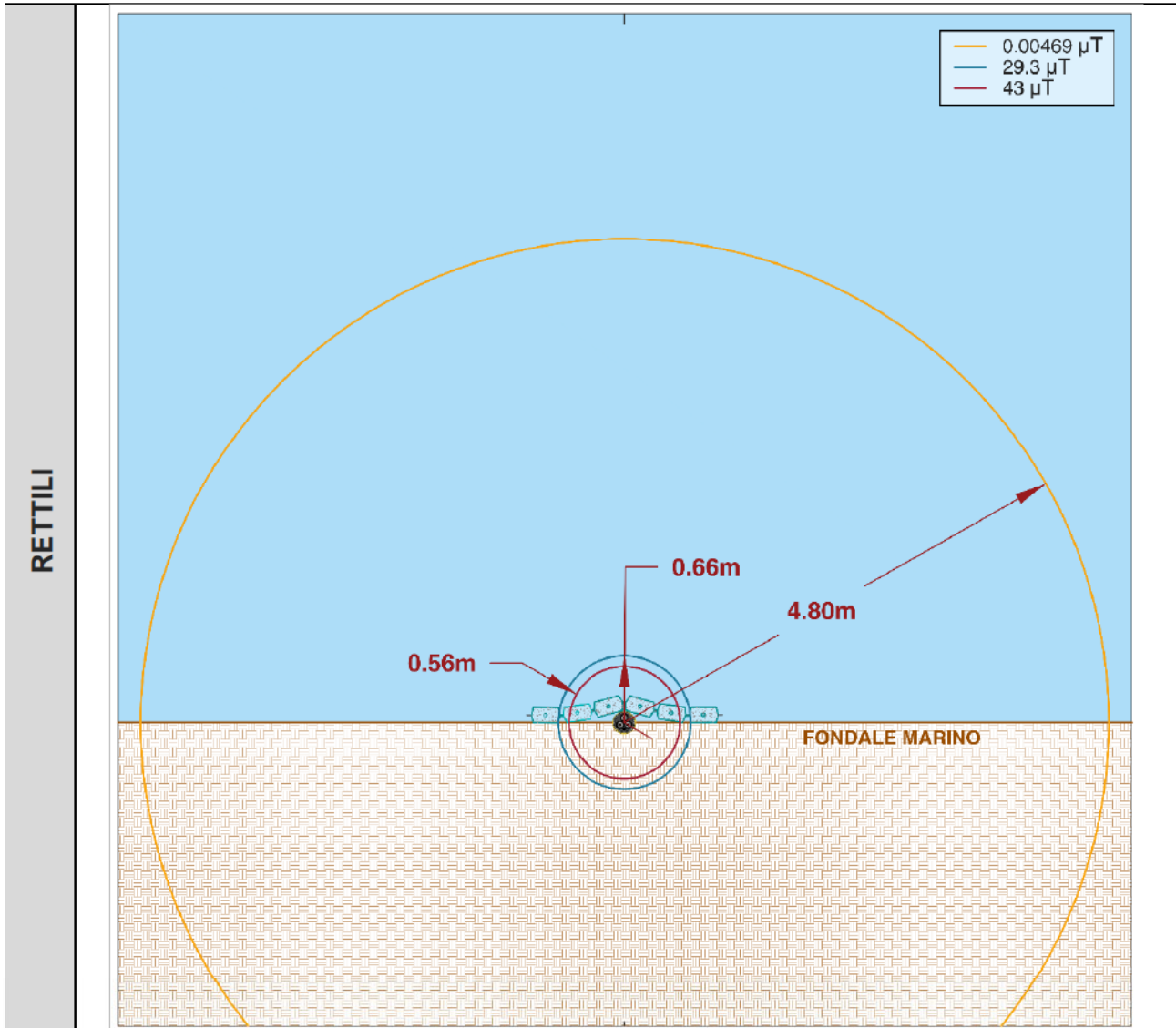


#### 9.1.4.4. Rettili – tartarughe marine

In riferimento alle specie riportate Tabella 6.5 ed appartenenti alla classe dei rettili marini, nel presente paragrafo si quantificano le fasce di influenza relative ai campi magnetici indotti per la tartaruga comune, la tartaruga verde e la tartaruga liuto. Tali specie risultano essere quelle presenti Mare della Sardegna sud-occidentale e riportano evidenze di tipo comportamentale, anatomico e teorico in merito alla loro capacità di captare campi magnetici.

**Tabella 9.5 – Rettili – tartarughe marine: fascia di influenza.**

Elaborazione iLStudio.



Specie	Presenza mare Sardegna sud-occidentale	Sensibilità [ $\mu\text{T}$ ]	Fascia di influenza [m]
Tartaruga comune ( <i>Caretta caretta</i> )	Certa	0.00469-4000	4.80
Tartaruga verde ( <i>Chelonia mydas</i> )	Certa	29.3-200	0.66
Tartaruga liuto ( <i>Dermochelys coriacea</i> )	Certa	Geo. ~43-46	0.56

Nel mare della Sardegna sud-occidentale risulta certa la presenza della specie *Caretta caretta* e la possibile presenza del *Dermochelys coriacea*. Da bibliografia è documentato che le prove di sensibilità geomagnetica per le Tartaruga comune variano da 0.00469 a 4000  $\mu\text{T}$  [redacted]. Tali valori hanno determinato una fascia di influenza di circa 4.80m.



Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**

Engineering & Consulting **Studio**

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica

Valutazione impatto elettromagnetico sulla fauna marina

Codice documento:

**C0421YR23EMFMAR00a**

Data emissione:

**Marzo 2023**

Pagina

**53 di 70**

Posto che la vita della tartaruga marina può essere vista come una serie continua di migrazioni, paragonando la lunghezza di una classica rotta migratoria di queste specie con la fascia di influenza sopra indicata, quest'ultima può risultare poco rilevante ai fini del successo della migrazione stessa. Inoltre, i trattamenti magnetici sperimentali condotti sulle tartarughe (magneti permanenti sulla testa), hanno dimostrato che queste sono state in grado di tornare nel loro sito di riproduzione, sebbene i loro percorsi fossero meno diretti delle tartarughe prive di magneti [REDACTED]. Tale scoperta ha indicato meccanismi alternativi, sconosciuti agli studiosi, che queste specie possono utilizzare per trovare le loro aree di nidificazione anche con un senso magnetico alterato [REDACTED], mostrando una grande capacità di compensare gli "errori".

In conclusione, considerando che dagli studi comportamentali emerge la capacità di una vera navigazione verso una posizione obiettivo tale da richiedere anche una "mappa" che fornisca informazioni spaziali sulla posizione corrente dell'animale [REDACTED] a lungo andare, si potrebbe ipotizzare che il campo magnetico indotto dal cavo possa rappresentare un punto di riferimento magnetico per le specie.

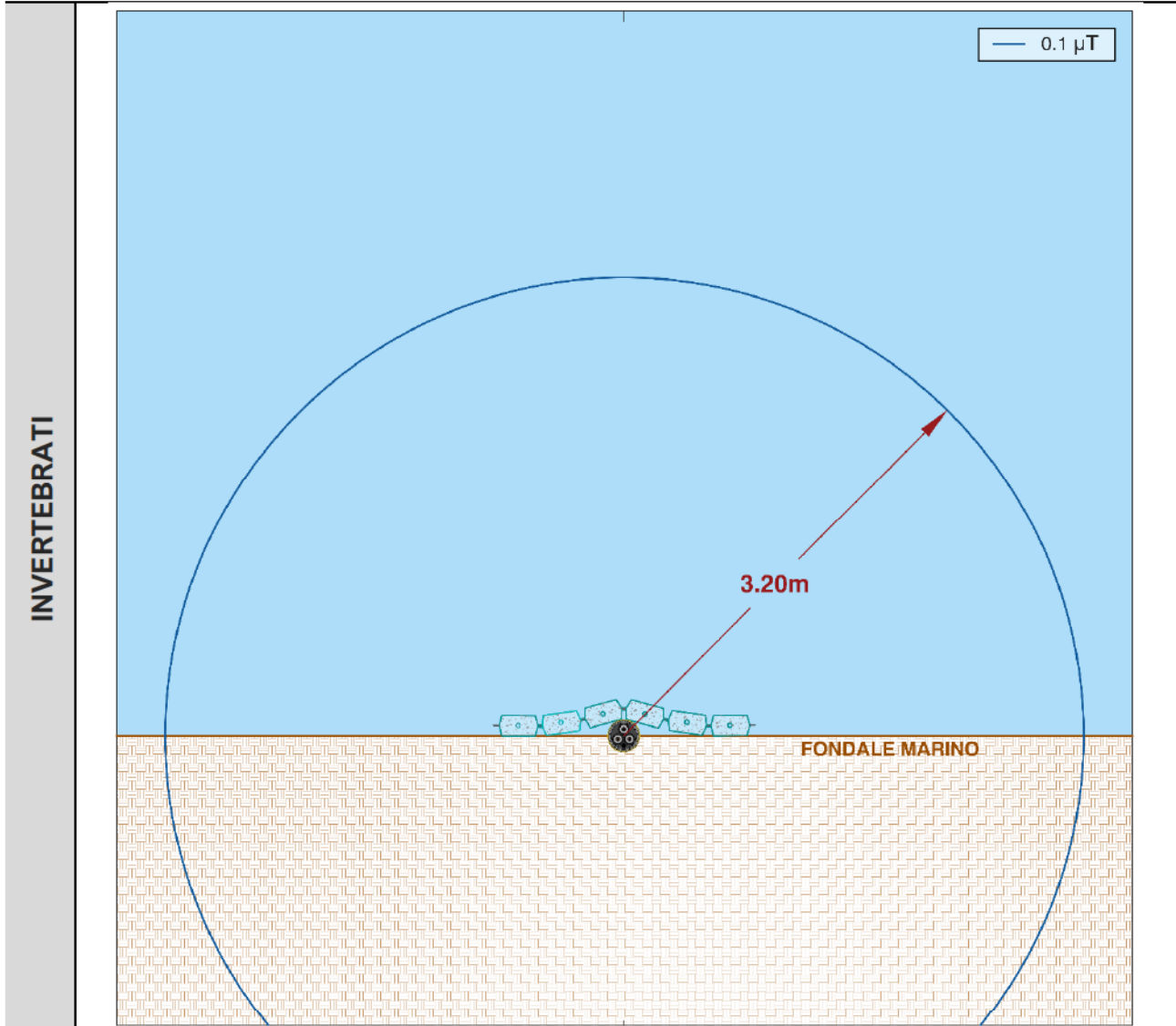


### 9.1.4.5. Invertebrati

In riferimento alle specie riportate in Tabella 6.6 appartenenti al gruppo degli invertebrati, si quantificano le fasce di influenza relative ai campi magnetici indotti per il *mitilo*, *l'idotea balthica* e per l'ordine dei decapodi. Tali specie, presenti nel Mare della Sardegna sud-occidentale, riportano evidenze di tipo comportamentale, anatomico e teorico in merito alla loro capacità di captare campi magnetici.

Tabella 9.6 – Invertebrati: fascia di influenza.

Elaborazione iLStudio.



Specie	Presenza mare Sardegna sud-occidentale	Sensibilità [ $\mu\text{T}$ ]	Fascia di influenza [m]
Mitilo ( <i>Mytilus galloprovincialis</i> )	Certa	0.1	3.20
<i>Idotea balthica</i>	Certa		
Decapodi ( <i>Order Decapoda</i> )	Certa		

Per gli invertebrati presenti, corrispondenti al *Mytilus galloprovincialis*, all'*Idotea balthica* e ai Decapodi, ai fini del calcolo è stato utilizzato un valore di sensibilità pari a  $0.1\mu\text{T}$ . Tale valore è stato suggerito da studi teorici condotti su altri gruppi di animali marini. Infatti, è stato ritenuto probabile che anche per gli invertebrati la sensibilità sia confrontabile a  $100\text{ nT}$

La fascia di influenza per queste specie risulta pari a circa  $3.20\text{m}$  e ritenuta del tutto trascurabile.





<b>PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE</b>		
PROGETTO DEFINITIVO		
<b>Relazione tecnica</b> <b>Valutazione impatto elettromagnetico sulla fauna marina</b>		
Codice documento: <b>C0421YR23EMFMAR00a</b>	Data emissione: <b>Marzo 2023</b>	Pagina <b>55 di 70</b>

## 9.2. Campo elettrico indotto

Sebbene in fase di esercizio si prevede che il campo elettrico, determinato dalla tensione applicata sui conduttori, sia interamente schermato dagli strati metallici e dall'armatura posta attorno ad ogni conduttore, tuttavia è corretto effettuare delle considerazioni in merito al campo elettrico indotto dal campo magnetico variabile, generato a sua volta dalle correnti circolanti nei cavi.

All'interno dello studio "Impact of EMF from Sub-sea cables on marine organisms" [redacted] è stato valutato numericamente l'andamento del campo elettrico indotto con la distanza, in riferimento ad un cavo tripolare con distanza tra conduttori pari a 7cm e corrente di esercizio pari a 100A. Tuttavia, considerando che il campo elettrico indotto è proporzionale al valore di corrente che circola nel conduttore, secondo la relazione:

$$E_i = -\frac{\gamma^2 I}{2\pi\sigma} K_0(\gamma r_i) \quad \text{con } i = 1,2,3. \quad \text{eq. (7)}$$

utilizzando il fattore di scala tra le intensità di corrente, è possibile stimare l'andamento del campo per il cavo di esportazione del parco eolico offshore, avente distanze tra i conduttori di circa 7cm. Per completezza, nell'eq. (7) si indica con  $E_i$  il campo elettrico indotto dall' $i$ -esimo conduttore,  $\sigma$  la conduttività elettrica (S/m),  $I$  l'intensità di corrente (A),  $r_i$  distanza dall' $i$ -esimo conduttore,  $K_0$  funzione di Bessel del secondo tipo,  $\gamma = \sqrt{i\omega\mu\sigma}$ ,  $\mu$  permeabilità magnetica del mezzo,  $\omega$  la frequenza di esercizio.

Per cui, considerando le medesime condizioni di posa e caratteristiche elettriche del cavo, si propone nella figura di seguito l'andamento del campo elettrico indotto in funzione della distanza da uno dei due cavi di esportazione marino del parco eolico offshore.

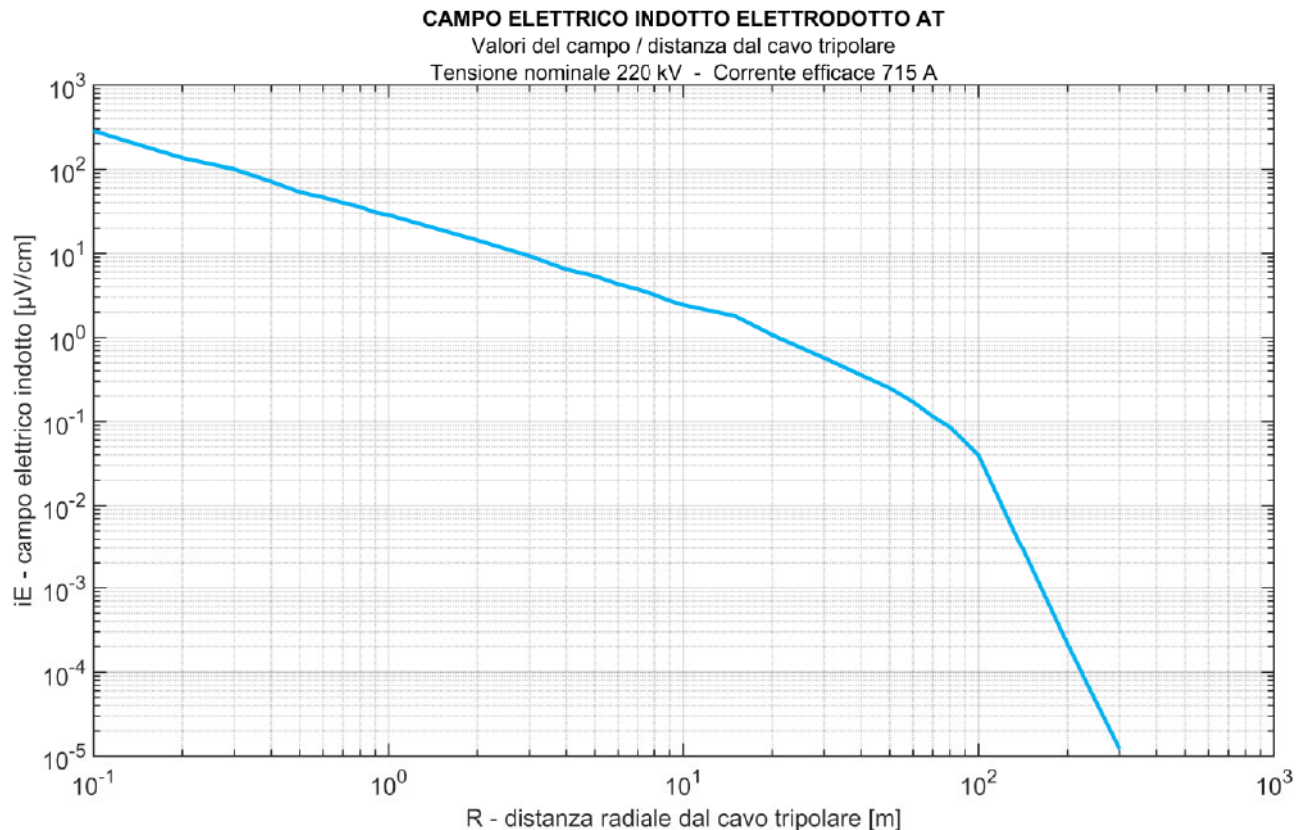


Figura 9.6 – Campo elettrico indotto da uno dei cavi marini tripolari.

Elaborazione iLStudio.

In riferimento ai campi elettrici indotti, l'unica specie che presenta un possibile valore (pari a 0.16mV/cm =



Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**

Engineering & Consulting **Studio**

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica

Valutazione impatto elettromagnetico sulla fauna marina

Codice documento:

**C0421YR23EMFMAR00a**

Data emissione:

**Marzo 2023**

Pagina

**56 di 70**

160 $\mu$ V/cm) di sensibilità dedotto dalla bibliografia è la razza chiodata (*raja clavata*) [REDACTED].  
Dalla figura precedente si evince che, per tale valore di sensibilità la distanza di influenza dal cavo risulta pari a circa 15-20 cm. A valle del risultato, si può affermare che la distanza di influenza risulta trascurabile.



Ichnusa wind power srl

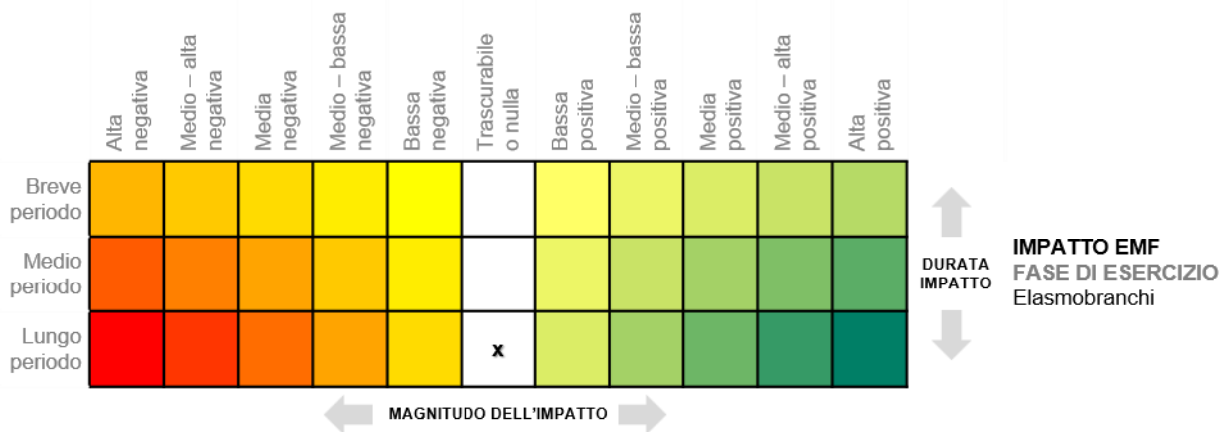
iLStudio.  
Engineering & Consulting Studio

## 10. CONCLUSIONI

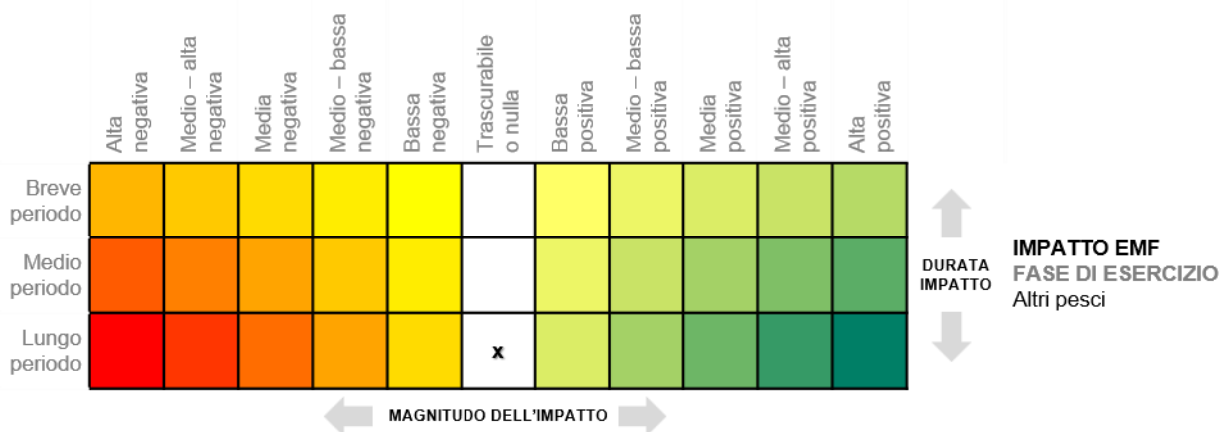
Nel presente documento è stato trattato il tema dell'impatto elettromagnetico sulla fauna marina generato dall'esercizio dei cavi sottomarini del parco eolico flottante nel mare della Sardegna sud-occidentale. Con l'obiettivo di quantificare un impatto, il proponente ha condotto uno studio sia di tipo bibliografico, in riferimento alla ricerca di valori di sensibilità dei taxa marini ai campi elettromagnetici, che di modellazione del campo magnetico indotto prodotto dai cavi.

Mediante l'introduzione del concetto di "fascia di influenza" è stato possibile prevedere la dimensione delle zone attorno al cavo in cui possano verificarsi variazioni comportamentali e disturbi in generale alle specie sensibili a campi elettrici e magnetici. In particolare, con riferimento all'area dell'impianto, tale studio è stato effettuato per specie appartenenti a elasmobranchi, mammiferi marini, rettili marini e invertebrati.

Per gli elasmobranchi, date le modeste dimensioni della fascia di influenza (~0.7m), è stato valutato un impatto trascurabile e di lunga durata in relazione alla vita utile del parco eolico.



Per gli altri pesci, date le modeste dimensioni della fascia di influenza (~1m), è stato valutato un impatto trascurabile e di lunga durata in relazione alla vita utile del parco eolico.



Per i mammiferi marini, è stato valutato un impatto trascurabile e di lunga durata in relazione alla vita utile del parco eolico, poiché anche in questo caso la fascia di influenza risulta avere ridotte dimensioni (~3.5m).





Ichnusa wind power srl

iLStudio.  
Engineering & Consulting Studio

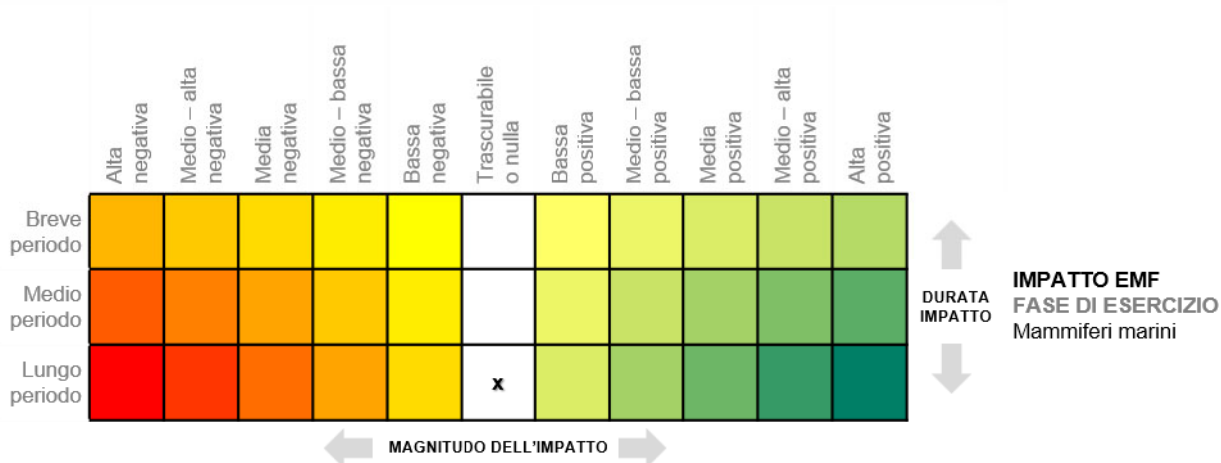
**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione tecnica**  
**Valutazione impatto elettromagnetico sulla fauna marina**

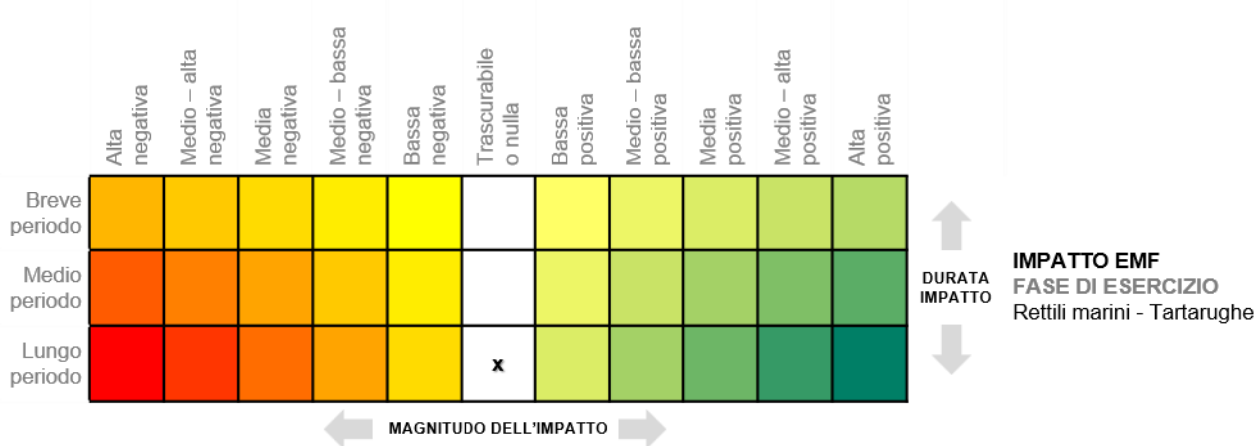
Codice documento:  
**C0421YR23EMFMAR00a**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

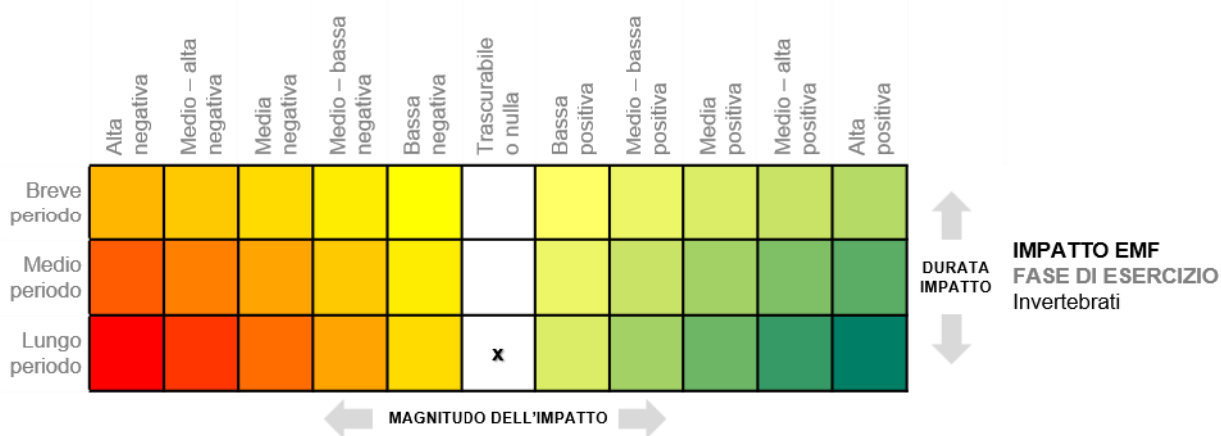
Pagina  
**58 di 70**



Per le specie appartenenti ai rettili marini, con maggior interesse per la specie *Caretta caretta* le dimensioni più significative della fascia di influenza hanno portato a valutare un impatto trascurabile e di lunga durata.



Per gli invertebrati è stato valutato un impatto trascurabile e di lunga durata.



Infine, per completezza, si ritiene necessario valutare l'impatto relativo alle emissioni elettromagnetiche sulla fauna marina sia in fase di costruzione (posa dei cavi) che di dismissione. Per entrambe le fasi, considerando che i conduttori non sono percorsi da corrente e dunque non inducono alcun campo magnetico, è stato valutato un impatto nullo e di breve durata.



Ichnusa wind power srl

iLStudio.  
Engineering & Consulting Studio

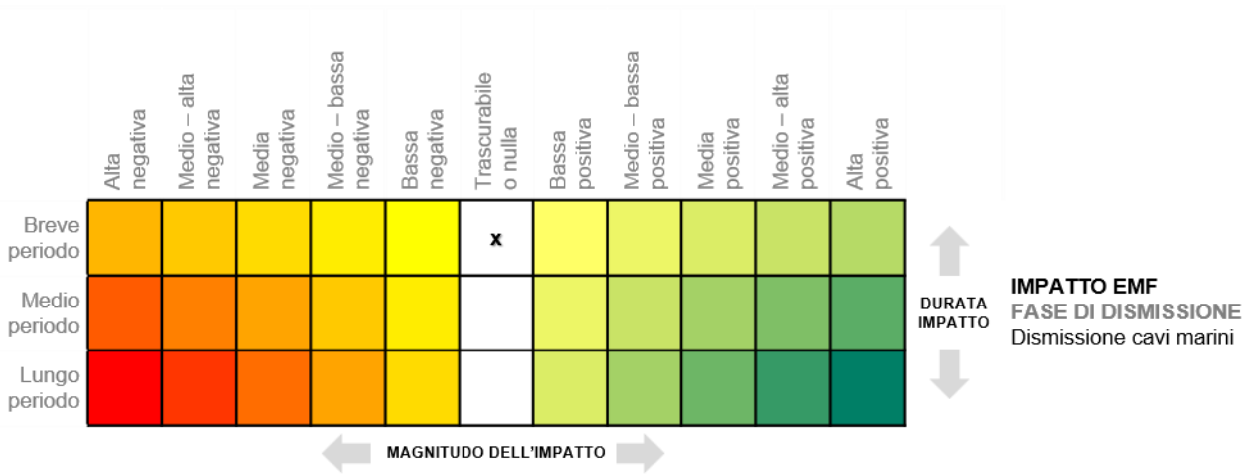
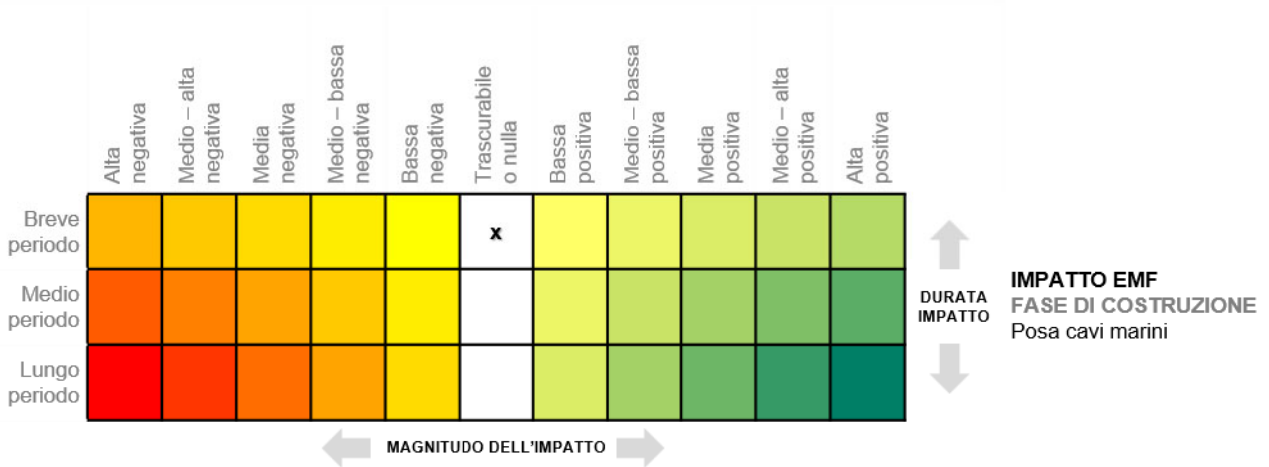
**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione tecnica**  
**Valutazione impatto elettromagnetico sulla fauna marina**

Codice documento:  
**C0421YR23EMFMAR00a**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

Pagina  
**59 di 70**





Ichnusa wind power srl

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

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione tecnica**  
**Valutazione impatto elettromagnetico sulla fauna marina**

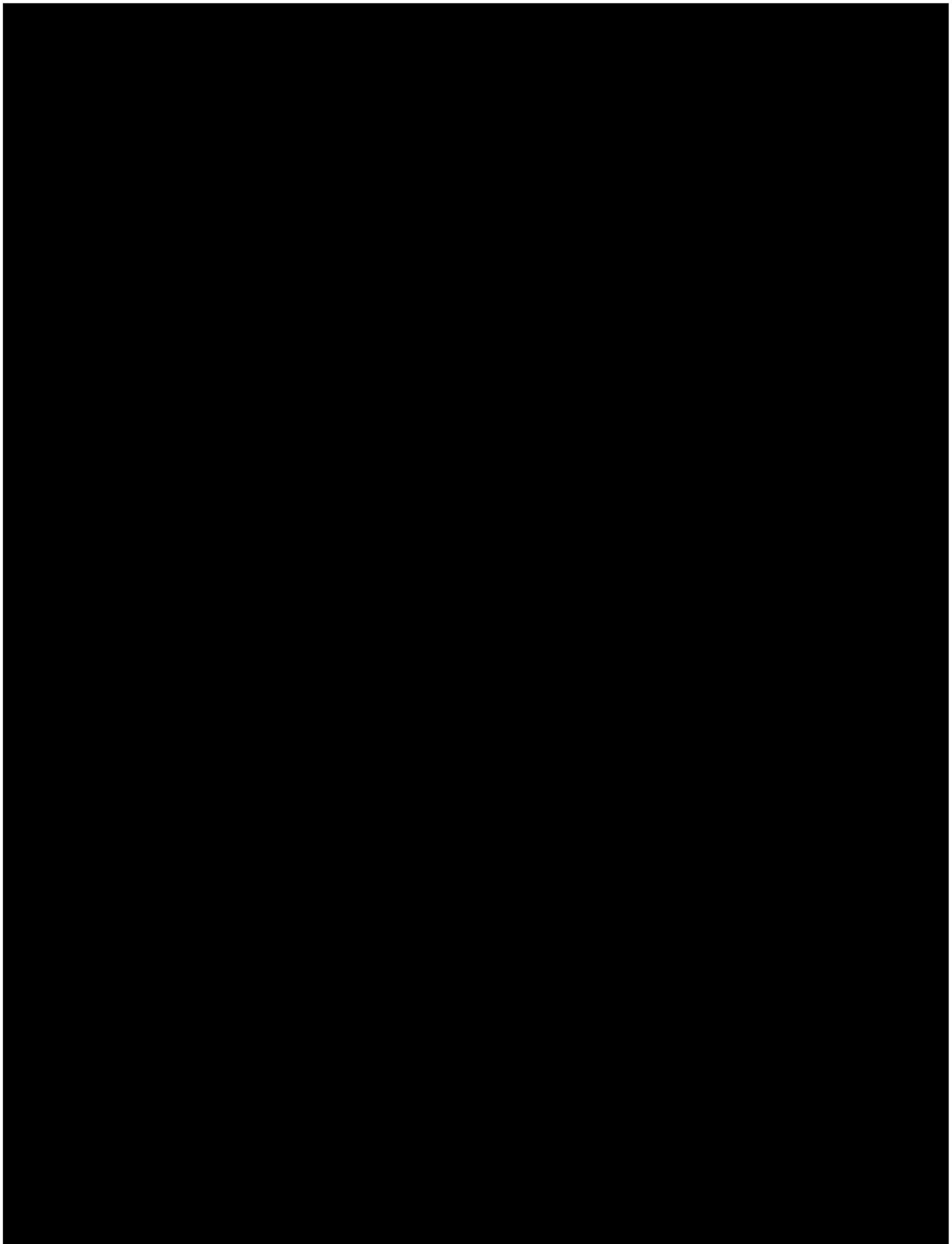
Codice documento:  
**C0421YR23EMFMAR00a**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

Pagina  
**60 di 70**

## RIFERIMENTI

---







Ichnusa wind power srl

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

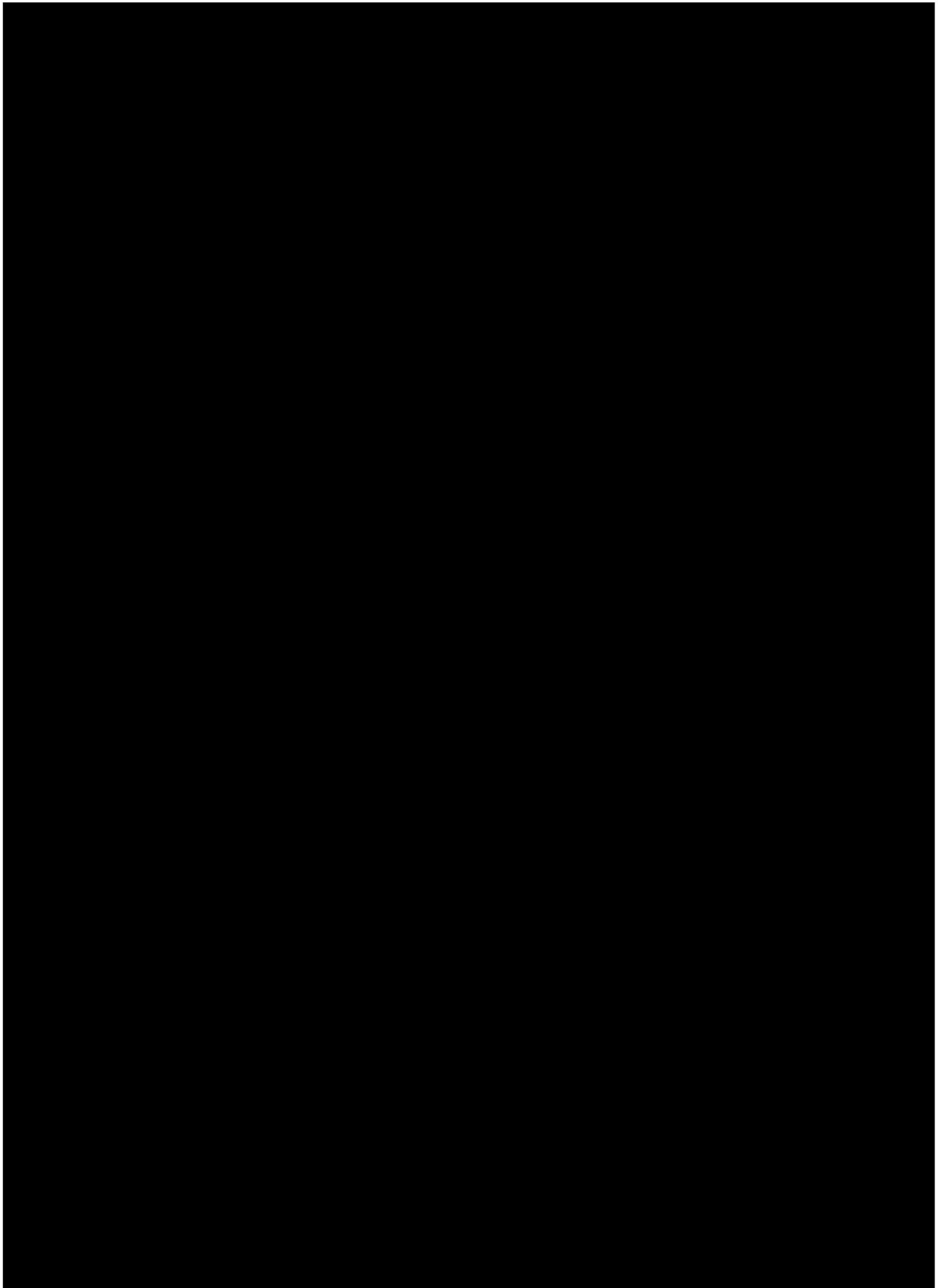
**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione tecnica**  
**Valutazione impatto elettromagnetico sulla fauna marina**

Codice documento:  
**C0421YR23EMFMAR00a**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

Pagina  
**61 di 70**





Ichnusa wind power srl

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

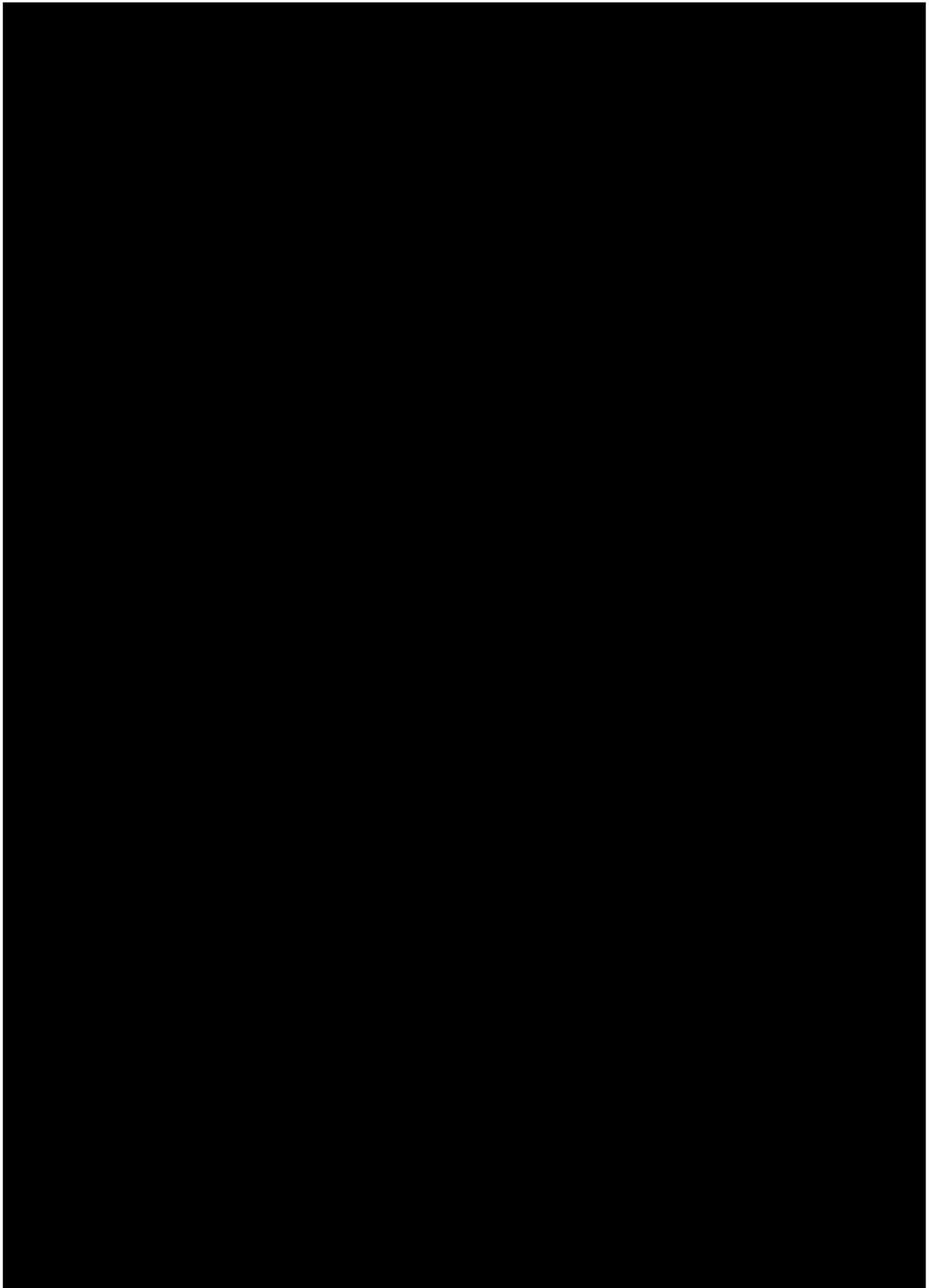
**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione tecnica**  
**Valutazione impatto elettromagnetico sulla fauna marina**

Codice documento:  
**C0421YR23EMFMAR00a**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

Pagina  
**62 di 70**





Ichnusa wind power srl

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

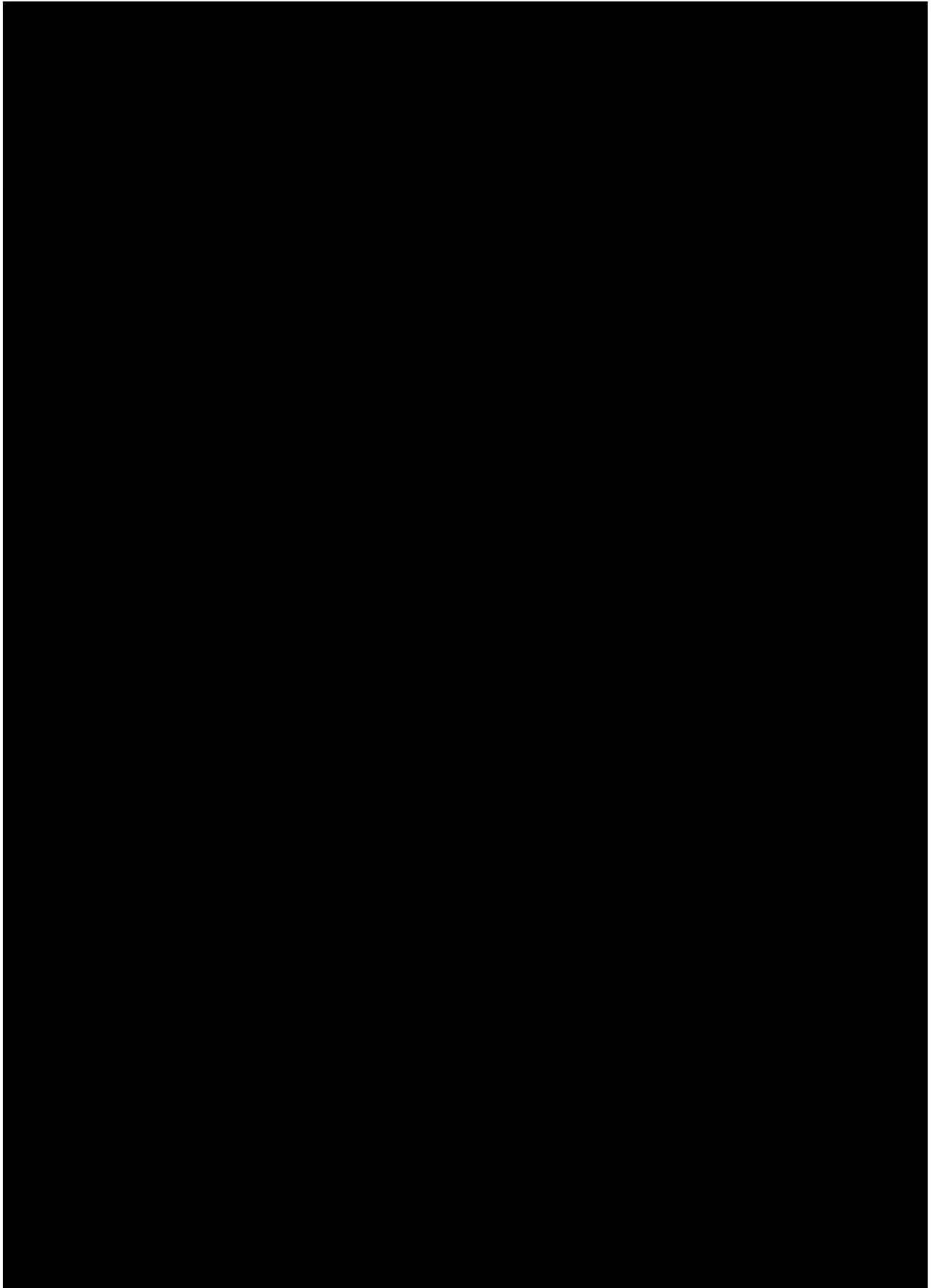
**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione tecnica**  
**Valutazione impatto elettromagnetico sulla fauna marina**

Codice documento:  
**C0421YR23EMFMAR00a**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

Pagina  
**63 di 70**







Ichnusa wind power srl

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

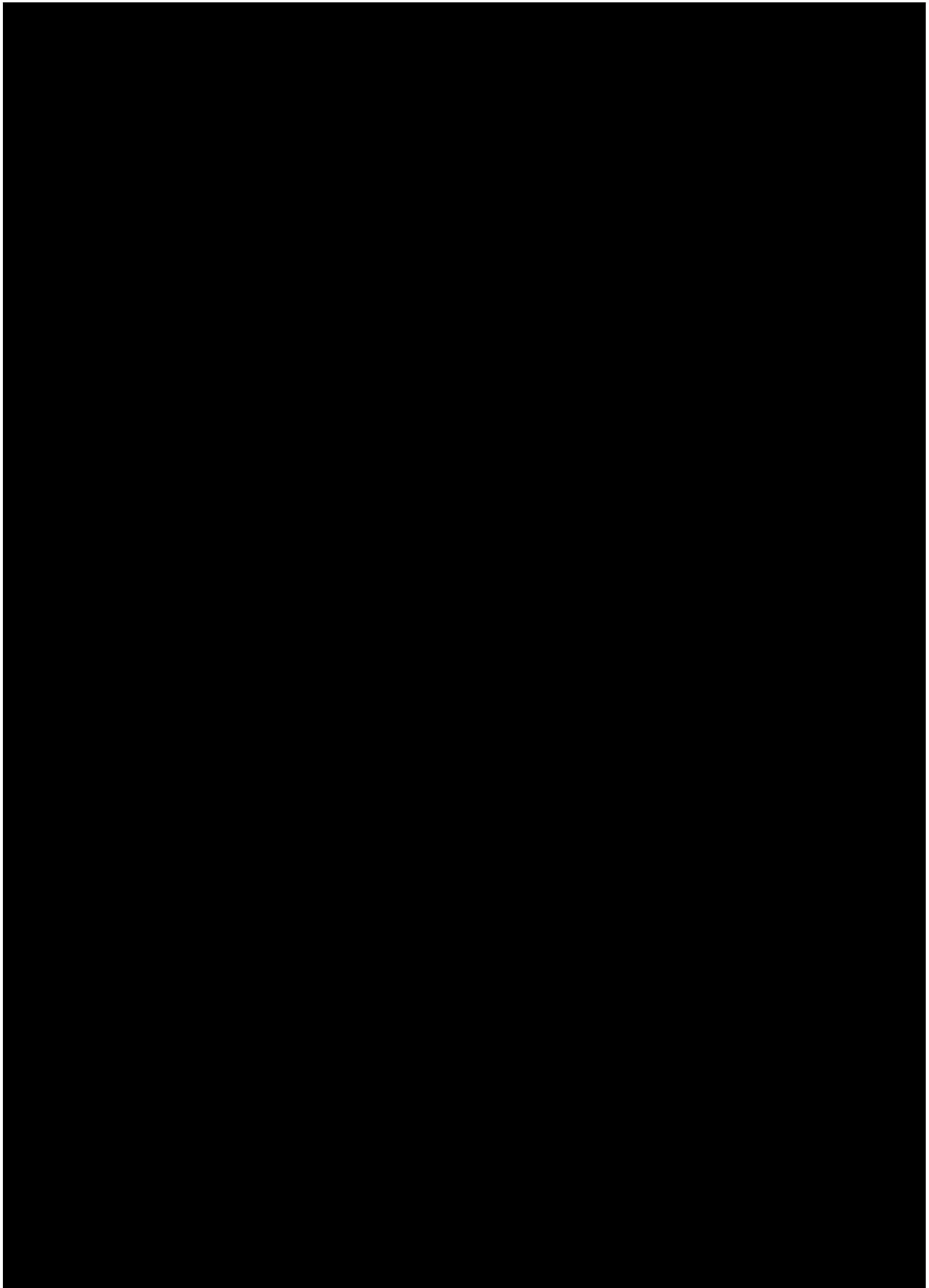
**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione tecnica**  
**Valutazione impatto elettromagnetico sulla fauna marina**

Codice documento:  
**C0421YR23EMFMAR00a**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

Pagina  
**64 di 70**





Ichnusa wind power srl

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

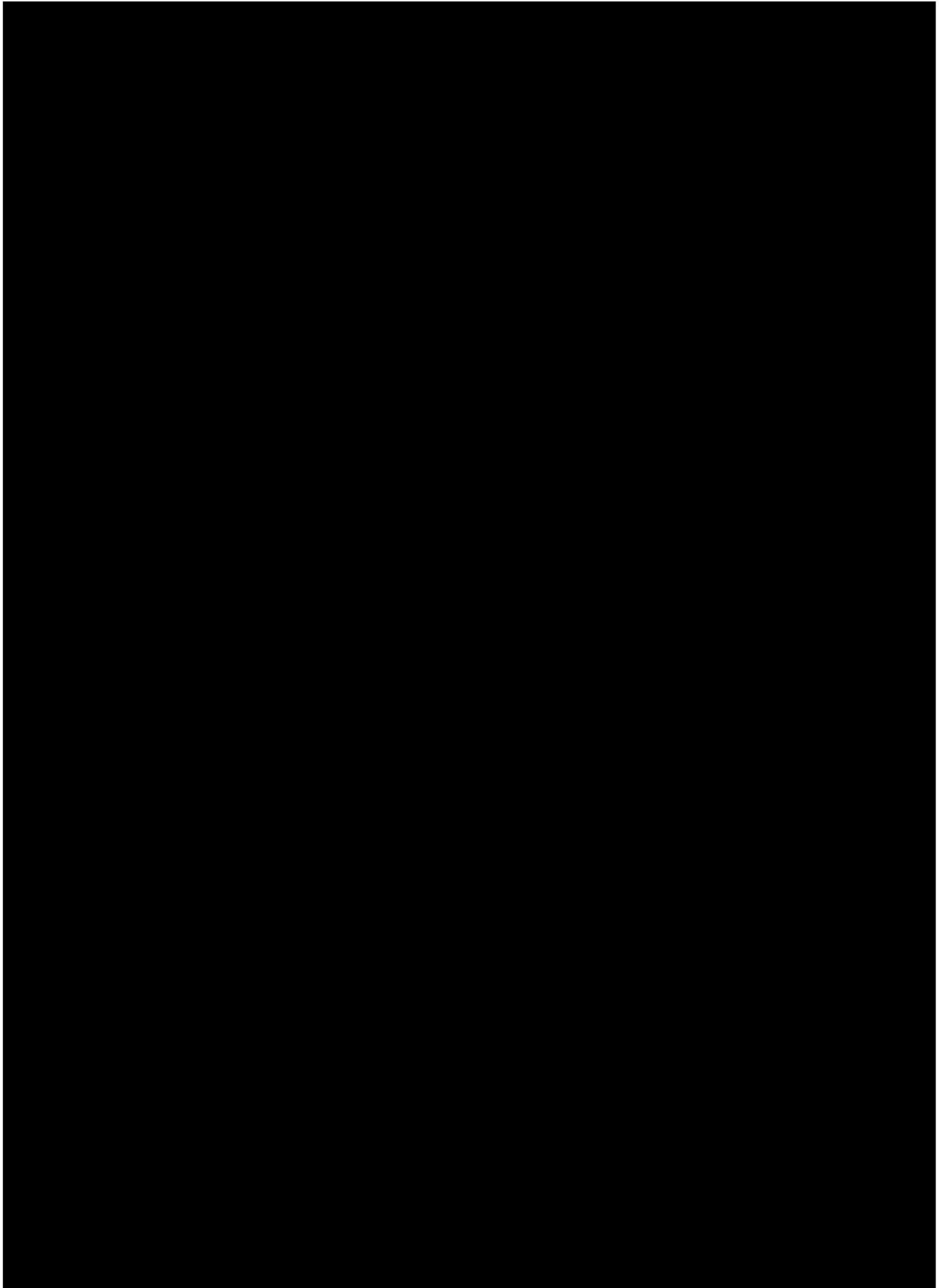
**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione tecnica**  
**Valutazione impatto elettromagnetico sulla fauna marina**

Codice documento:  
**C0421YR23EMFMAR00a**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

Pagina  
**65 di 70**





Ichnusa wind power srl

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

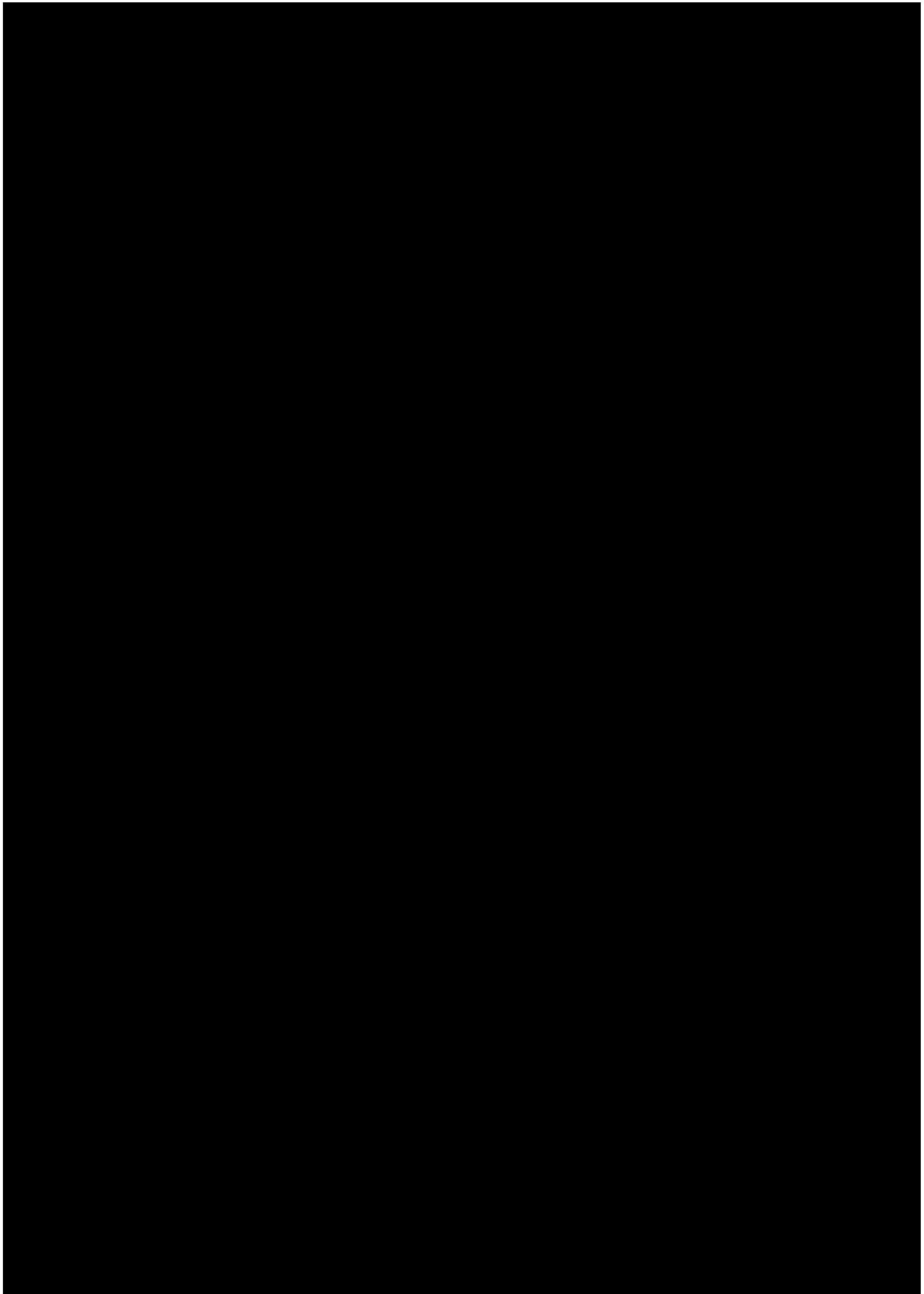
**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione tecnica**  
**Valutazione impatto elettromagnetico sulla fauna marina**

Codice documento:  
**C0421YR23EMFMAR00a**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

Pagina  
**66 di 70**







Ichnusa wind power srl

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

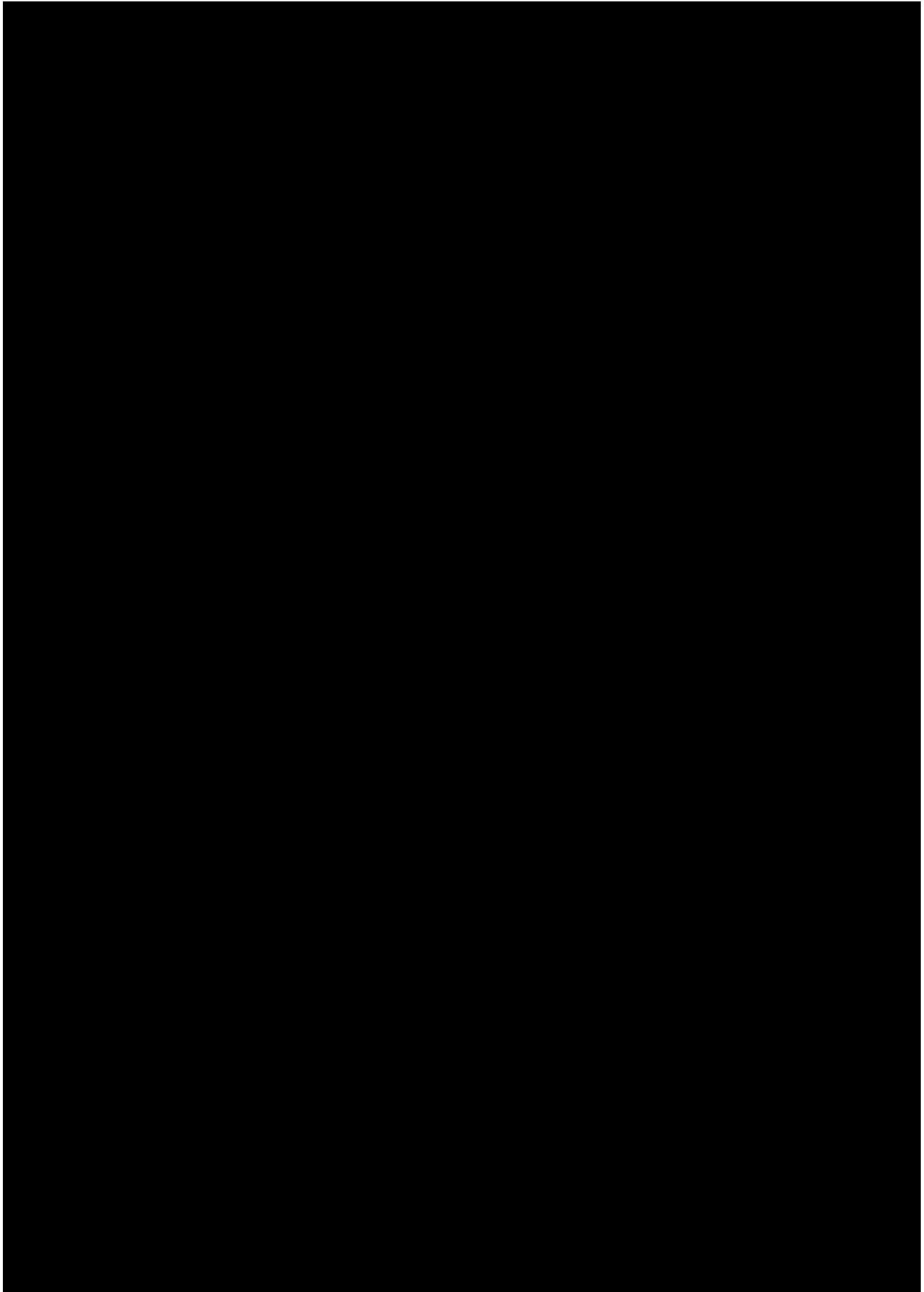
**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione tecnica**  
**Valutazione impatto elettromagnetico sulla fauna marina**

Codice documento:  
**C0421YR23EMFMAR00a**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

Pagina  
**67 di 70**





Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**

Engineering & Consulting **Studio**

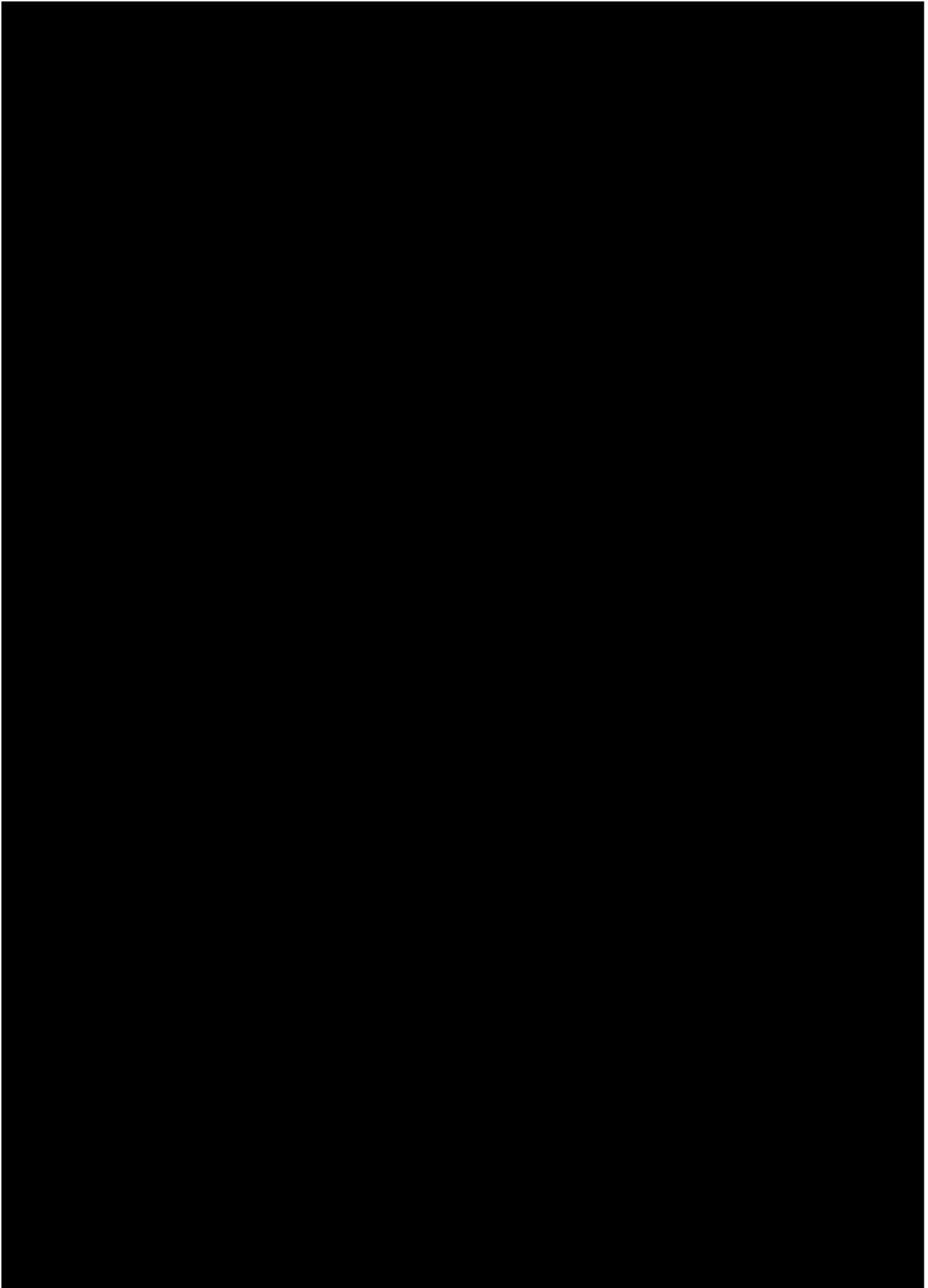
**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione tecnica**  
**Valutazione impatto elettromagnetico sulla fauna marina**

Codice documento:  
**C0421YR23EMFMAR00a**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

Pagina  
**68 di 70**





Ichnusa wind power srl

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

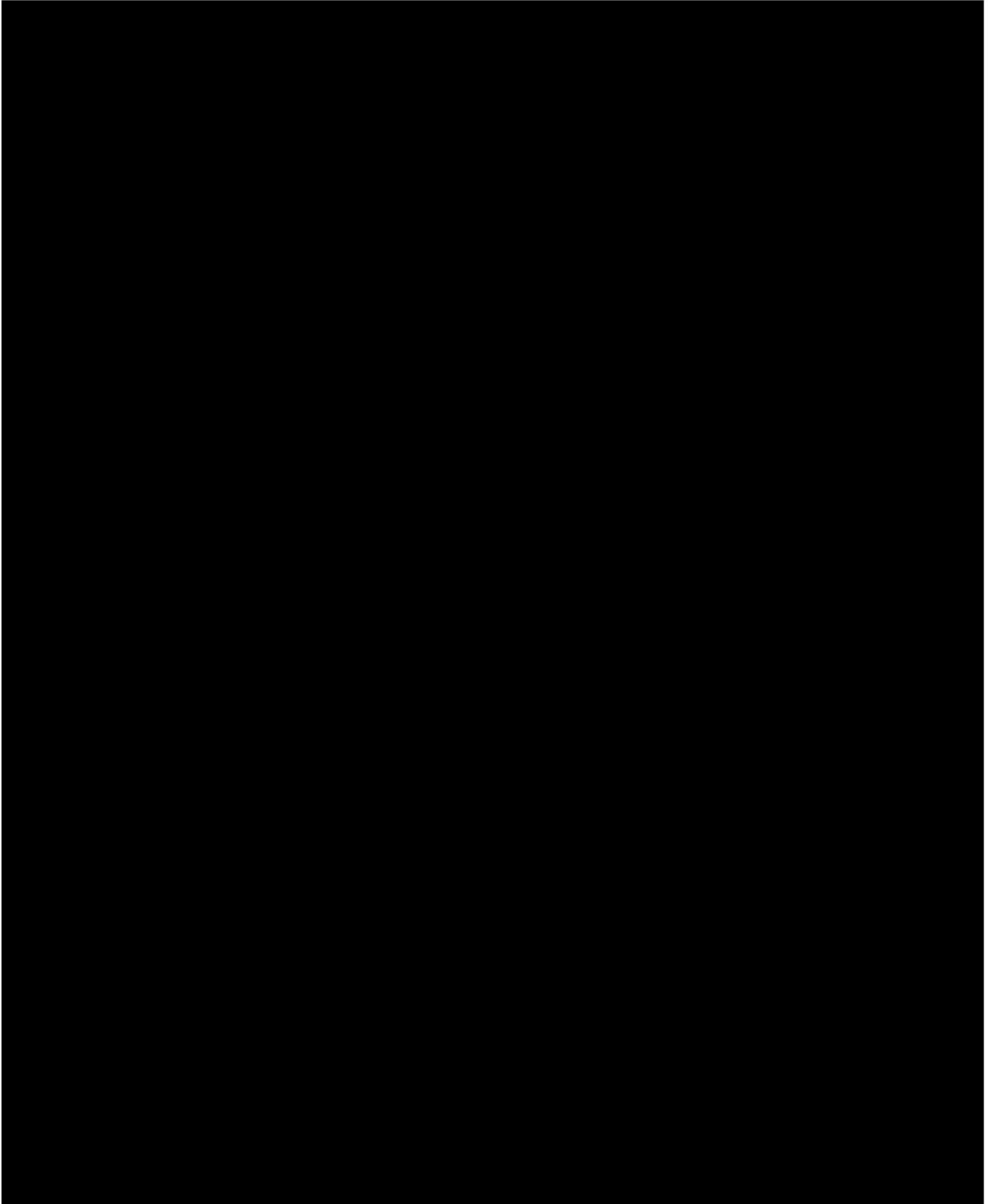
**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione tecnica**  
**Valutazione impatto elettromagnetico sulla fauna marina**

Codice documento:  
**C0421YR23EMFMAR00a**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

Pagina  
**69 di 70**







Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**

Engineering & Consulting **Studio**

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica

Valutazione impatto elettromagnetico sulla fauna marina

Codice documento:

**C0421YR23EMFMAR00a**

Data emissione:

**Marzo 2023**

Pagina

**70 di 70**

*Il presente documento, composto da n. 77 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, Marzo 2023*

*Dott. Ing. Luigi Severini*