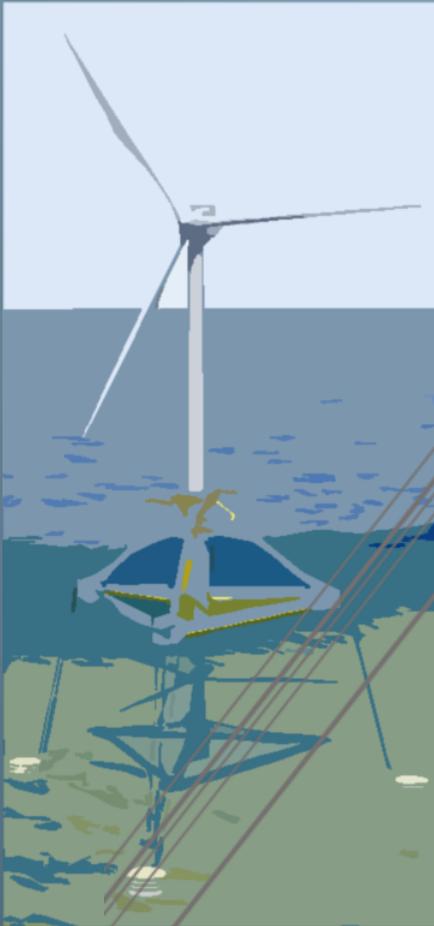




Ichnusa wind power srl

Progetto Definitivo

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



BR00

C0421BR00POSELE01a

**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
ELETTRODOTTO MARINO

Progetto

Dott. Ing. Luigi Severini

Ord. Ing. Prov. TA n.776

Elaborazioni

iLStudio.

Engineering & Consulting **Studio**





Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica
Elettrodotto marino

Codice documento:
C0421BR00POSELE01a

Data emissione:
Giugno 2024

Pagina
I di VII

SOMMARIO

1.	SCOPO DEL DOCUMENTO	1
2.	FINALITÀ DELL'OPERA E DEI LAVORI	2
3.	TIPOLOGIA DEL SETTORE DI INTERVENTO	4
3.1.	Geologia dei fondali.....	4
3.1.1.	Geomorfologia	4
3.1.2.	Stratigrafia	5
3.2.	Area SIN Sulcis-Iglesiente	8
3.2.1.	Caratterizzazione ambientale della fascia marino-costiera.....	9
4.	MODALITÀ DI ESECUZIONE DEI LAVORI DI POSA/ESCAVO	12
4.1.	Opere interessate dalla movimentazione di fondale marino.....	12
4.1.1.	Rete di cavi marini inter-array.....	12
4.1.2.	Elettrodotto marino di esportazione	14
4.1.3.	Aspetti costitutivi del cavo statico	14
4.1.4.	Caratteristiche elettriche del cavo statico	15
4.2.	Sistemi di posa e protezione dei cavi marini.....	15
4.2.1.	Preparazione del fondale marino	15
4.2.2.	Protezione per interrimento	16
4.2.3.	Altri sistemi di protezione (senza interrimento).....	20
4.2.4.	Intersezione con altre infrastrutture	24
4.3.	Strategia di protezione/interrimento	25
4.3.1.	Strategie di protezione alternative	29
4.3.2.	Strategia di interrimento	29
4.3.3.	Dispersione del sedimento durante le attività di scavo	34
5.	CARATTERIZZAZIONE DELLA ZONA DI INTERVENTO.....	40
5.1.	Analisi del Macrozoobenthos	40
5.1.1.	Risultati.....	41
5.2.	Cartografia degli habitat dei fondali	50
5.2.1.	Morfotipi.....	50
5.2.2.	Habitat.....	54
6.	CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI DI RISULTA DELL'ESCAVO	55
6.1.	Caratteristiche fisiche.....	55
6.1.1.	Analisi macroscopica	55
6.1.2.	Analisi granulometrica	56



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting **Studio**

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica
Elettrodotto marino

Codice documento:
C0421BR00POSELE01a

Data emissione:
Giugno 2024

Pagina
II di VII

6.1.3. Contenuto d'acqua e peso specifico	58
6.2. Caratteristiche chimiche	59
6.2.1. Determinazione delle concentrazioni di mercurio	59
6.2.2. Determinazione delle concentrazioni dei metalli (Al, As, Cd, Cr totale, Cu, Pb, Ni, Zn)	59
6.2.3. Determinazione idrocarburi.....	60
6.2.4. Determinazione del TOC (Carbonio organico totale)	64
6.2.5. Determinazione del TBT (tributilstagno).....	65
6.2.6. Azoto e fosforo totale	65
6.2.7. Determinazione dei pescidi.....	66
6.3. Analisi ecotossicologiche sui sedimenti	68
6.3.1. Sintesi dei risultati	69



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica
Elettrodotto marino

Codice documento:
C0421BR00POSELE01a

Data emissione:
Giugno 2024

Pagina
III di VII

INDICE DELLE FIGURE

Figura 2.1 – Ubicazione parco eolico.	2
Figura 3.1 – Aree marine di indagine, interessate dalle operazioni di movimentazione del fondale.	4
Figura 3.2 – Mappa della batimetria del fondale.	5
Figura 3.3 – Dati sismici UHR estrapolati nell’area indagata.	6
Figura 3.4 – Dati sismici UHR estrapolati nell’area ECC indagata.	7
Figura 3.5 – Dati sismici UHR estrapolati nell’area ECC indagata.	7
Figura 3.6 – Elettrodotto marino di esportazione, intersezione con area SIN Sulcis-Iglesiente.	8
Figura 4.1 – Configurazione Lazy-S del cavo.	13
Figura 4.2 – Costruzione tipica di un cavo dinamico.	13
Figura 4.3 – Costruzione tipica di un cavo statico.	15
Figura 4.4 – Tipico di posa interrata dell’elettrodotto marino.	16
Figura 4.5 – ROV jet trencher, (a sinistra) componenti principali, (a destra) fase di posa del cavo.	17
Figura 4.6 – Scavatrincee a catena.	18
Figura 4.7 – Esempio di dispositivo per la posa in trincea del cavo.	18
Figura 4.8 – Scava-trincee a trascinamento, (a sinistra) componenti principali, (a destra) fase di posa del cavo.	19
Figura 4.9 – Esempio di posa con tecnica.	19
Figura 4.10 – Tipico di posa dell’elettrodotto marino con protezione in massi naturali.	20
Figura 4.11 – Tipico di posa dell’elettrodotto marino con protezione a materassi in cls.	21
Figura 4.12 – Esempio di posa con protezione a materassi in cls (rendering).	21
Figura 4.13 – Esempio di materassi reattivi per applicazioni in aree contaminate e reimpianto di Posidonia Oceanica.	22
Figura 4.14 – Esempio di utilizzo di materassi zavorrati per interventi di reimpianto di Posidonia oceanica.	23
Figura 4.15 – Tipico di posa dell’elettrodotto marino con protezione in elementi tubolari modulari.	23
Figura 4.16 – Esempio di posa con protezione in elementi modulari tubolari.	24
Figura 4.17 – Infrastrutture sottomarine esistenti nell’area vasta di progetto.	24
Figura 4.18 – Soluzioni per l’attraversamento dei cavi di terze parti.	25
Figura 4.19 – Strategia di protezione e interrimento.	27
Figura 4.20 – Dimensioni della trincea.	30
Figura 4.21 – Zone di valutazione della torbidità.	34
Figura 4.22 – Distribuzione spaziale della media annuale delle massime concentrazioni di sedimento sospeso in termini totali nello strato di fondo. La curva in bianco indica il limite della fascia con presenza di Prateria di Posidonia.	35



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting **Studio**

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica
Elettrodotto marino

Codice documento:
C0421BR00POSELE01a

Data emissione:
Giugno 2024

Pagina
IV di VII

Figura 4.23 – Distribuzione spaziale del tempo di persistenza (in ore) media annuale delle concentrazioni di sedimento sospeso superiori a 10 mg/l, nello strato di fondo. La curva in bianco indica il limite della fascia con presenza di Prateria di Posidonia	36
Figura 4.24 – Distribuzione spaziale media annuale dei massimi accumuli al fondo di sedimento, in termini totali (somma delle tre frazioni, argilla, limo e sabbia). La curva in bianco indica il limite della fascia con presenza di Prateria di Posidonia.....	37
Figura 4.25 – Rappresentazione delle altezze d'onda significative (curva in rosso) e direzioni medie di propagazione (freccie in blu – il verso è di provenienza) al largo durante la mareggiata studiata. Periodo: 10.12.2021-12.12.2021.	38
Figura 4.26 – Mappa delle concentrazioni di sedimento sospeso al fondo al picco della mareggiata	39
Figura 5.1 – Stazioni di campionamento.	40
Figura 5.2 – Dendogramma ottenuto con la Cluster analysis.	47
Figura 5.3 – Modello di ordinamento ottenuto dall'MDS.	47
Figura 5.4 – Risultati della valutazione dello stato ecologico (Cattivo: 0.0-0.2; Povero: 0.2-0.4; Moderato: 0.4-0.53; Buono: 0.53-0.77; Elevato: 0.77-1.0) basata sull'indice M-AMBI per le stazioni dell'area in esame.....	49
Figura 5.5 – Morfotipi.....	50
Figura 5.6 – Tipologie di habitat.	54
Figura 6.1 – Diagramma triangolare di Shepard modificato Schlee relativo ai campioni 01, 02 e 03.....	58
Figura 6.2 – Diagramma triangolare di Shepard relativo ai campioni 04 e 05.....	58
Figura 6.3 – Aliquota dei campioni 01, 02, 03, 04, e 05 dove si evidenzia la granulometria grossolana dei campioni 01, 02 e 03.	69



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica Elettrodotto marino		
Codice documento: C0421BR00POSELE01a	Data emissione: Giugno 2024	Pagina V di VII

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 3.1 – Descrizione unità sismiche area principale.	6
Tabella 3.2 – Descrizione unità sismiche area EEC.	6
Tabella 4.1 – Consuntivo delle caratteristiche elettriche e dimensionali della rete inter-array.	14
Tabella 4.2 – Consuntivo delle caratteristiche elettriche e dimensionali dell'elettrodotto marino di esportazione.	15
Tabella 4.3 – Matrice di rischio per valutazione CBRA interrimento cavi.	25
Tabella 4.4 – Definizione delle frequenze (sx) e delle conseguenze(dx).	26
Tabella 4.5 – Matrice di applicabilità delle tecniche di interrimento cavi.	26
Tabella 4.6 – Strategia di posa e interrimento.	28
Tabella 4.7 – Profondità di interrimento preliminari per ogni tratto di elettrodotto.	31
Tabella 4.8 – Riepilogo dimensioni della trincea.	31
Tabella 4.9 – Stima dei volumi di scavo.	32
Tabella 4.10 – Stima dei tempi di scavo.	33
Tabella 5.1 – Elenco stazioni e sigla dei campioni del macrozoobenthos.	40
Tabella 5.2 – Composizione del Macrozoobenthos.	41
Tabella 4.4 – Elenco delle specie di macrozoobenthos per campione con l'indicazione del relativo numero di	41
Tabella 4.5 – Lista delle specie con inquadramento tassonomico.	43
Tabella 4.6 – Valori degli indici ecologici per ciascuna stazione.	46
Tabella 4.7 – Classificazione dello stato di qualità ambientale secondo l'indice M-AMBI.	48
Tabella 4.8 – Valori di riferimento per la valutazione dello stato ambientale tramite l'indice M-AMBI.	49
Tabella 4.9 – Risultati dell'indice AMBI e M-AMBI per le stazioni dell'area esaminata.	49
Tabella 4.10 – Morfotipi identificati sulla base delle caratteristiche acustiche del fondale e relativa intepretazione.	51
Tabella 4.11 – Facies acustiche e interpretazione degli habitat bentonici.	52
Tabella 6.1 – Valori percentili.	57
Tabella 6.2 – Parametri statistici di Folk & Ward.	57
Tabella 6.3 – Composizione Granulometrica.	57
Tabella 6.4 – Contenuto d'acqua e peso specifico.	59
Tabella 6.5 – Concentrazione di Mercurio.	59
Tabella 6.6 – Concentrazione dei metalli.	60
Tabella 6.7 – IPA – PCB – TPH C>12 – VOC C<12.	63
Tabella 6.8 – Carbonio organico totale.	65
Tabella 6.9 – Carbonio organico totale.	65



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting **Studio**

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica
Elettrodotto marino

Codice documento:
C0421BR00POSELE01a

Data emissione:
Giugno 2024

Pagina
VI di VII

Tabella 6.10 – Concentrazione dei metalli.....	66
Tabella 6.11 – Pesticidi.....	67
Tabella 6.12 – Composizione della batteria di biosaggi per i 5 campioni sottoposti alla caratterizzazione ecotossicologica.....	69
Tabella 6.13 – Valori di ammonio totale (NH ₄ +) misurati nei campioni 01, 02, 03, 04, 05.	71



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting **Studio**

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica
Elettrodotto marino

Codice documento:
C0421BR00POSELE01a

Data emissione:
Giugno 2024

Pagina
VII di VII

INDICE DELLE VOCI

AIS	Automatic Identification System
ALARP	As Low As Reasonably Practical
BAT	Best Available Technology
CBRA	Carbon Trust Cable Burial Risk Assessment
EIG	Europe India Gateway
FOS	Floating Offshore Substation
HDPE	High Density PolyEthylene
IAC	Inter-Array Cable
Ofec	Offshore export cable
Oncc	Onshore connection cable
Onec	Onshore export cable
MAG	MAGnetometriche
MBES	Multi Beam Echo Sounder
RTN	Rete Trasmissione Nazionale
ROV	Remotely Operated Vehicle
SBP	Sub Bottom Profiler
SIN	Siti Interesse Nazionale
SSS	Side Scan Sonar
TJB	Transition Joint Bay
UHR	Ultra-High Resolution
WTG	Wind Turbine Generator



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica
Elettrodotto marino

Codice documento:
C0421BR00POSELE01a

Data emissione:
Giugno 2024

Pagina
1 di 73

1. SCOPO DEL DOCUMENTO

Il documento in oggetto presenta una descrizione generale delle operazioni di posa di cavi elettrici marini nell'ambito del progetto per la realizzazione di un parco eolico flottante nel Mare della Sardegna sud-occidentale.

La relazione rientra dunque nella documentazione necessaria per l'autorizzazione alla movimentazione dei fondali marini derivante dall'attività di posa in mare di cavi e condotte di cui al comma 5 dell'art. 109 del D.Lgs.152/2006.

Si precisa che la relazione è predisposta conformemente all'Allegato A e Allegato B/2 del D.M. 24/01/1996 (Ministero dell'Ambiente), così come sancito dall'art.1 del medesimo decreto. Il documento segue dunque il medesimo schema descrittivo riportato all'interno del suddetto allegato B/2, riportando:

- finalità dell'opera e dei lavori;
- tipologia del settore di intervento;
- modalità di esecuzione dei lavori di escavo;
- caratterizzazione della zona di intervento;
- caratterizzazione dei materiali di risulta dell'escavo.

Si evidenzia che, in fase di progetto esecutivo e comunque prima dell'inizio dei lavori, il proponente provvederà a redigere opportuni elaborati riguardanti il Piano di caratterizzazione del materiale escavato o mobilitato, un rapporto di classificazione del materiale escavato o mobilitato e un Piano di Monitoraggio ambientale.



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica
Elettrodotto marino

Codice documento:
C0421BR00POSELE01a

Data emissione:
Giugno 2024

Pagina
2 di 73

2. FINALITÀ DELL'OPERA E DEI LAVORI

La movimentazione dei fondali marini derivante dall'attività di posa in mare di cavi rientra nell'ambito della realizzazione di un parco eolico offshore posizionato ad oltre 35 km al largo delle coste sud-occidentali della Sardegna.

La produzione di energia da fonti energetiche rinnovabili (FER) è un leitmotiv nell'ambito di pianificazione energetica sia a livello comunitario che nazionale e regionale, strettamente connesso al concetto ormai fondamentale di transizione verde o ecologica, ovvero al processo di decarbonizzazione.

Nello scenario disegnato dall'attuale periodo storico ben si pone la finalità del progetto, che con una potenza da installare di 504 MW, consentirà una produzione a regime fino a 1647 GWh/anno, corrispondenti al fabbisogno annuale di circa 610 mila famiglie, consentendo di evitare la produzione di oltre 500 mila ton/anno di emissioni di CO₂.

L'impianto si compone di 42 aerogeneratori ad asse orizzontale (WTG) di potenza nominale pari a 12 MW e due sottostazioni elettriche di trasformazione (FOS) sostenuti da innovative fondazioni galleggianti.

L'utilizzo di questi sistemi offre il vantaggio di poter utilizzare 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.

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.

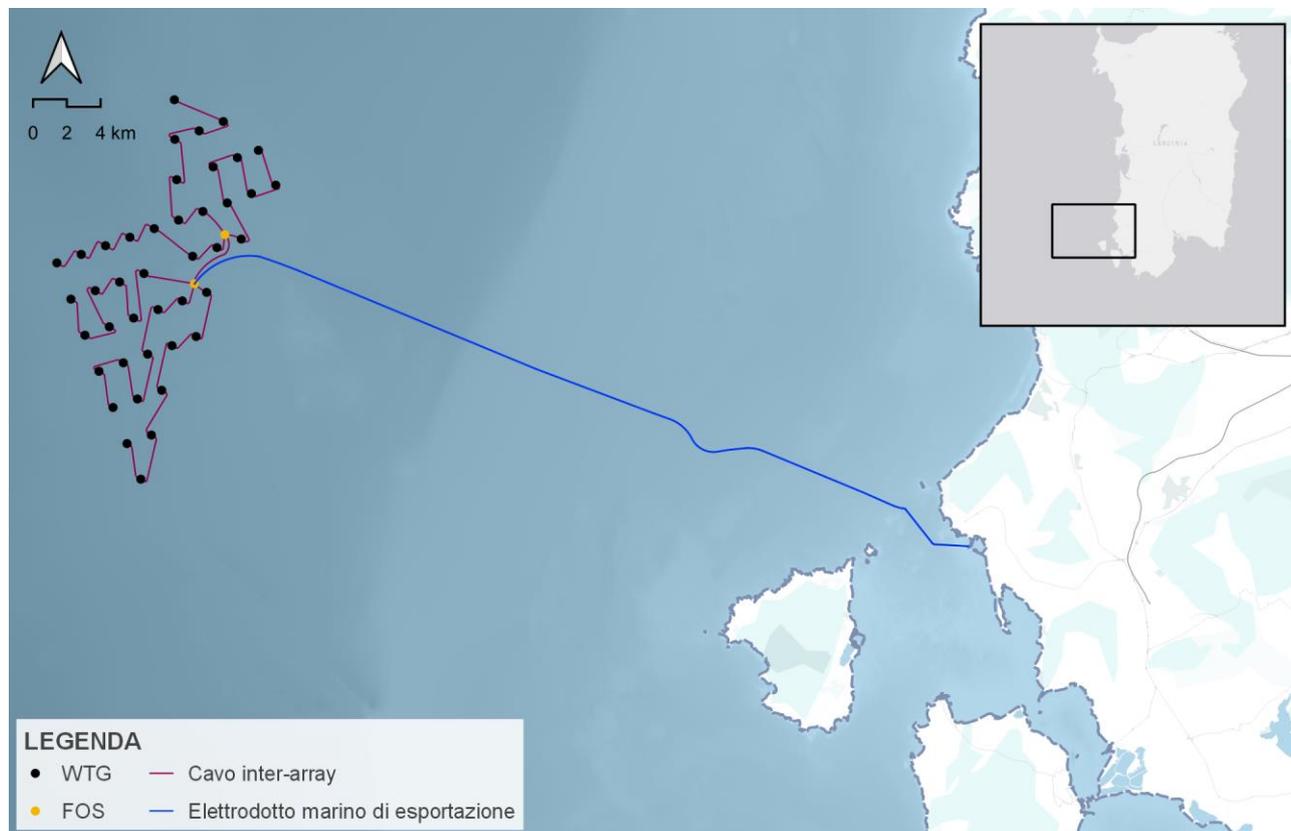


Figura 2.1 – Ubicazione parco eolico.
Elaborazione iLStudio.



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting **Studio**

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica Elettrodotto marino		
Codice documento: C0421BR00POSELE01a	Data emissione: Giugno 2024	Pagina 3 di 73

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 - lac) 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 sottomarino (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 - Onec), presso una sottostazione elettrica di trasformazione e consegna in località Portovesme, ove sarà effettuata l'elevazione della tensione nominale da 220kV a 380kV. Da qui, un breve elettrodotto di consegna interrato (Onshore delivery cable - Ondc), permetterà la connessione alla nuova sezione a 380kV all'interno della esistente stazione TERNA Sulcis.

Ai fini della presente relazione si specifica che le opere interessate da movimentazione di fondale marino sono:

- cavi marini inter-array;
- elettrodotto marino di esportazione (costituito da 2 cavi tripolari).



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica
Elettrodotto marino

Codice documento:
C0421BR00POSELE01a

Data emissione:
Giugno 2024

Pagina
4 di 73

3. TIPOLOGIA DEL SETTORE DI INTERVENTO

L'area marina interessata dalle future operazioni di movimentazione del fondale, individuata secondo criteri di ridotta pendenza ed elevata stabilità, rientra all'interno della Piattaforma Continentale Italiana ed è concettualmente divisibile in due macro zone:

- area del parco eolico, per una superficie totale di ~106 km², posta ad oltre 35km dalla costa in direzione nord-ovest rispetto all'Isola di San Pietro;
- area dell'elettrodotto di esportazione, corrispondente ad un corridoio di circa 45 km compreso tra Portovesme e l'area del parco eolico.

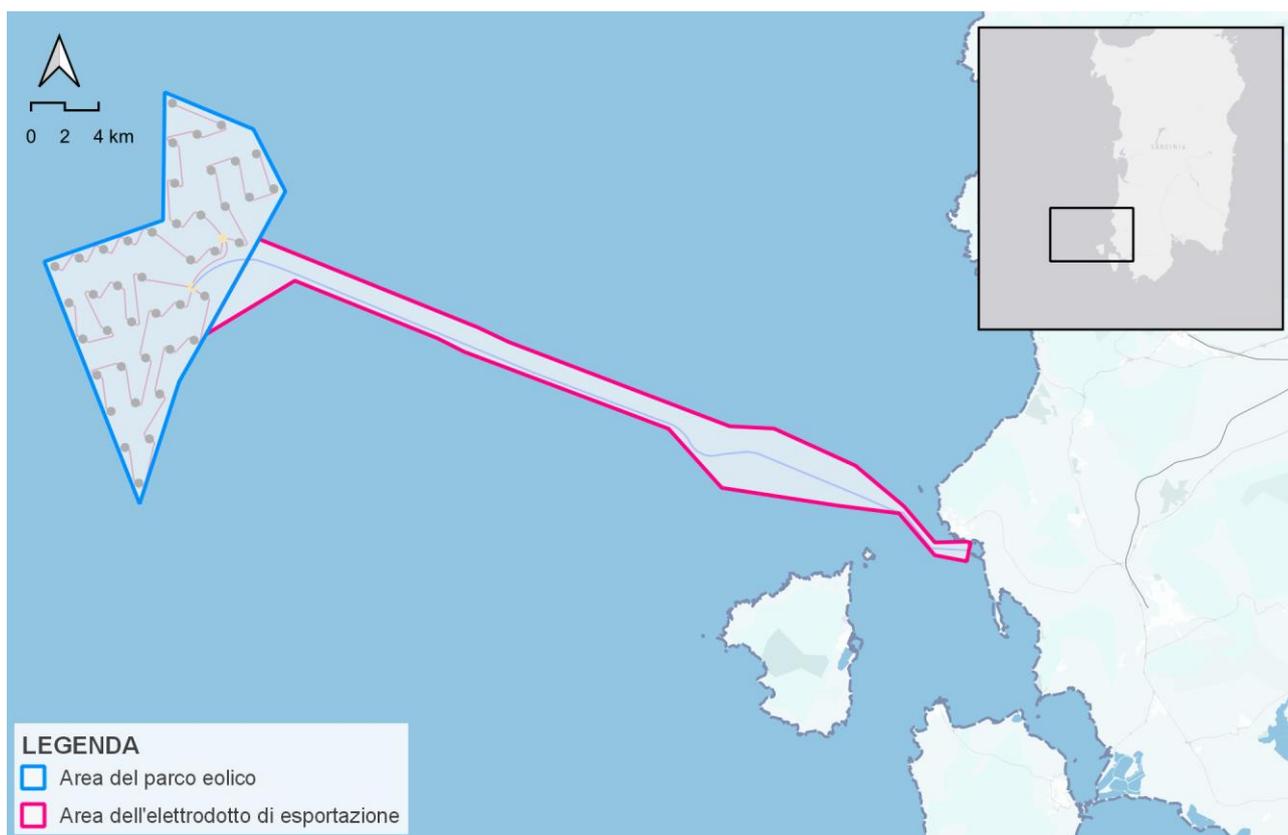


Figura 3.1 – Aree marine di indagine, interessate dalle operazioni di movimentazione del fondale.

Elaborazione iLStudio.

3.1. Geologia dei fondali

Al fine di caratterizzare le aree marine di intervento, la Proponente ha incaricato le società Fugro Italy S.p.A. Next Geosolutions Europe SpA di effettuare una campagna di indagini geofisiche sia a largo che in prossimità della costa sud-occidentale sarda.

3.1.1. Geomorfologia

La batimetria nell'area del parco eolico varia da circa -330 m fino a circa -720 m; le pendenze medie dei fondali sono generalmente inferiori a 2°; quelle massime, di circa 8°, sono tutte riscontrabili su di un pendio allungato con direzione NW-SW sito nella parte settentrionale dell'area principale orientato NW-SE ed attribuibili ad una possibile inizio della scarpata nella parte occidentale. È stato inoltre individuato un altro versante allungato nella parte orientale, orientato N-S.

L'area è caratterizzata generalmente da un basso *backscatter* che trova corrispondenza in prossimità dei



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica
Elettrodotto marino

Codice documento:
C0421BR00POSELE01a

Data emissione:
Giugno 2024

Pagina
5 di 73

sedimenti fangosi mentre le aree a maggior *backscatter*, nel settore centrale, trovano corrispondenza dove sono presenti i maggiori affioramenti rocciosi.

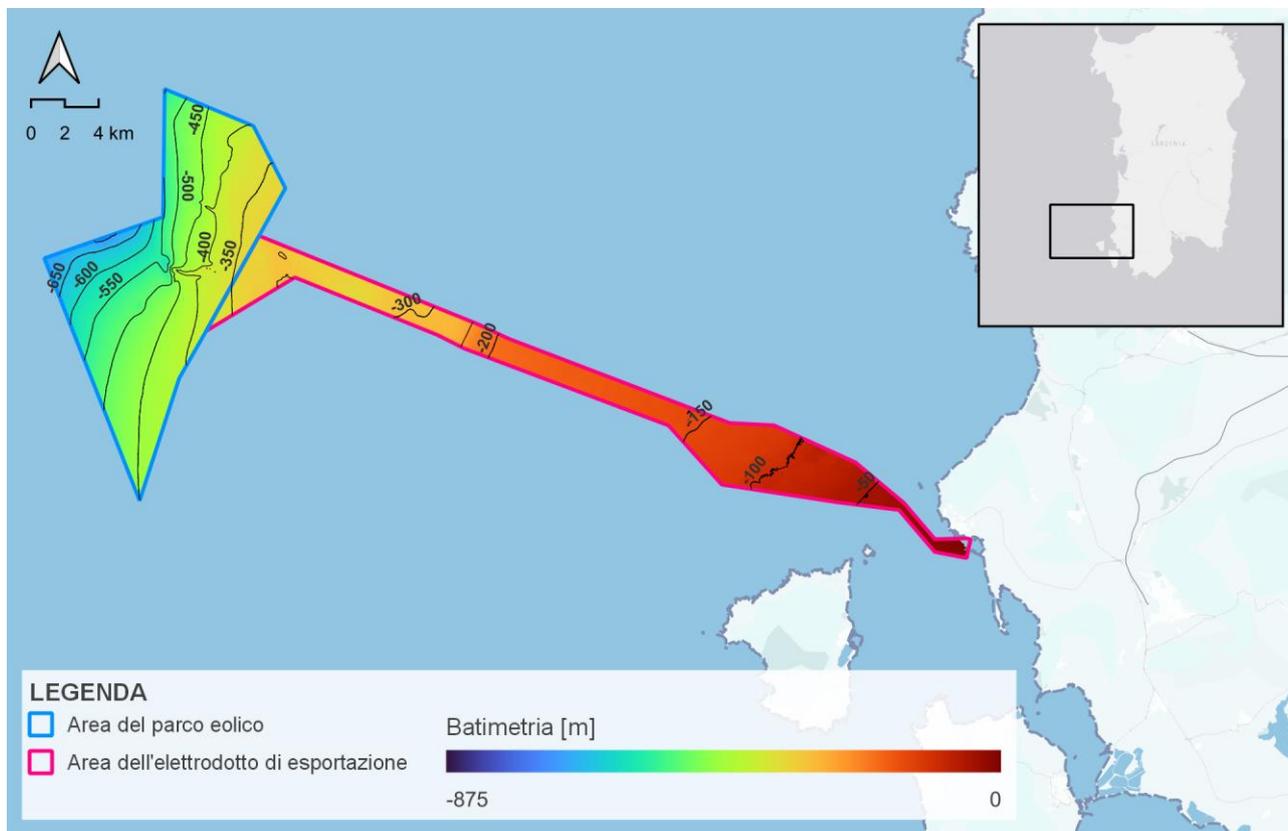


Figura 3.2 – Mappa della batimetria del fondale.

Rilievo durante la campagna oceanografica presso il sito.

I fondali marini all'interno del sito indagato sono inoltre caratterizzati dalla presenza di numerosi solchi lasciati da reti a strascico, per lo più addensati nelle medesime aree, mentre solchi più profondi sono stati rinvenuti nella parte centrale dell'area, in direzione NW-SE e SW-NE.

L'area dell'elettrodotto marino è caratterizzata da una batimetria che varia tra 385 m e 2.7 m, con pendenze media di circa 1° e pendenze massime di 40° in alcuni casi isolati all'interno della parte *near-shore*.

L'area presenta un *backscatter* variabile da moderato a basso in corrispondenza del passaggio fra sedimenti relativamente fangoso-argillosi, sabbioso argillosi e sabbiosi con aree a *backscatter* elevato in corrispondenza degli affioramenti rocciosi.

3.1.2. Stratigrafia

L'interpretazione è avvenuta sulla base di dati acquisiti SBP e UHR interpolati nell'area, sulle diverse informazioni geologiche regionali note e combinate all'interpretazione delle facies sismiche osservate.

Per l'area del parco eolico la stratigrafia sismica è stata riassunta da una sequenza di cinque unità che rappresentano un cuneo di progradazione continentale formatosi nell'ultimo ciclo eustatico (Pleistocene-Olocene), una sequenza stratigrafica miocenica (Miocene) poggiante su di un basamento vulcanico (Figura 3.3).



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica
Elettrodotto marino

Codice documento:
C0421BR00POSELE01a

Data emissione:
Giugno 2024

Pagina
6 di 73

Tabella 3.1 – Descrizione unità sismiche area principale.

Cronostratigrafia	Unità	Riflettori principali		Note
		Top	Base	
Olocene	A	Fondale marino	H10	Sequenza sedimentaria progradante verso la piattaforma esterna
Quaternario-Pliocene sup.	B	H10	H20	
Pliocene medio-Pliocene inf.	C	H20	H30	Sequenza sedimentaria a stratificazione ondulata (fagliata e piegata) con la profondità sempre più caotica
Messiniano-Miocene medio	D	H30	H40	Sequenza sedimentaria stratificata con orizzonti sub-paralleli
Miocene medio-Miocene inf.	E	H40	Inf.	Roccia Vulcanica (Bedrock acustico)

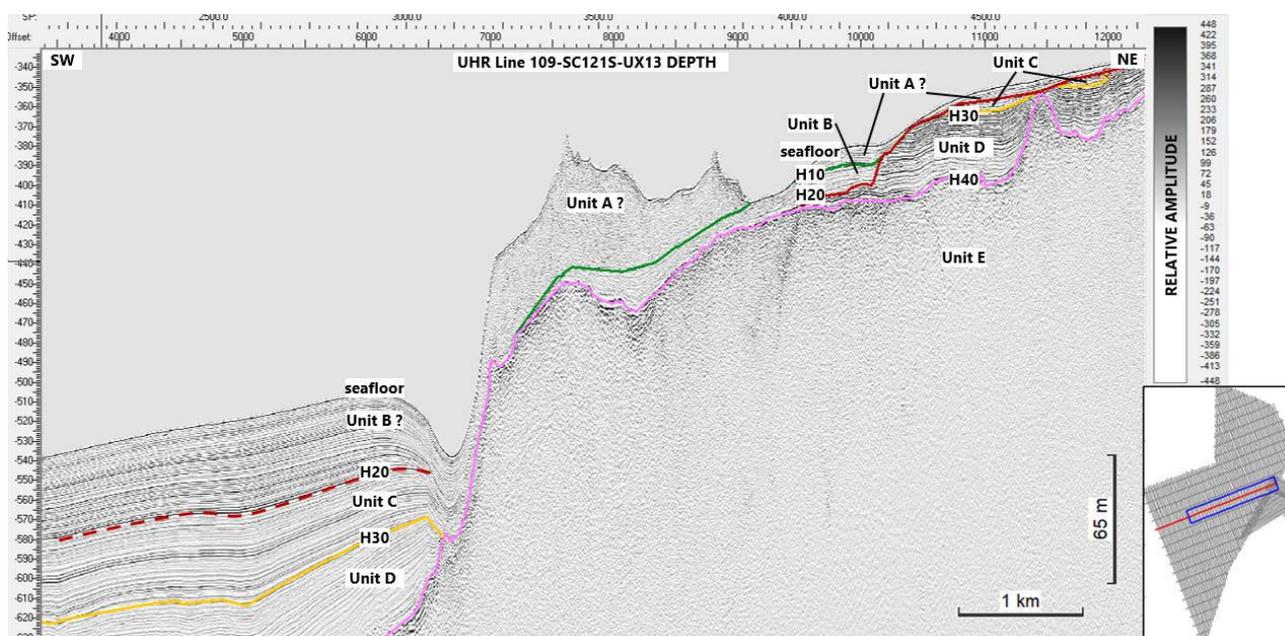


Figura 3.3 – Dati sismici UHR estrapolati nell'area indagata.

Per l'area dell'elettrodotto marino la stratigrafia sismica è stata riassunta da una sequenza di cinque unità (Tabella 3.2) che rappresentano relativamente un cuneo di progradazione continentale formatosi nell'ultimo ciclo eustatico (Pleistocene-Olocene), una sequenza stratigrafica miocenica (Miocene) poggiante su di un basamento vulcanico (Figura 3.4 e Figura 3.5).

Tabella 3.2 – Descrizione unità sismiche area EEC.

Cronostratigrafia	Unità	Riflettori principali		Note
		Top	Base	
Olocene	A	Fondale marino	H10	Sequenza sedimentaria progradante verso la piattaforma esterna
Quaternario-Pliocene sup.	B	H10	H20	
Pliocene medio-Pliocene inf.	C	H20	H30	Sequenza sedimentaria a stratificazione ondulata (fagliata e piegata) con la profondità sempre più caotica
Messiniano-Miocene medio	D	H30	H40	Sequenza sedimentaria stratificata con orizzonti sub-paralleli
Miocene medio-Miocene inf.	E	H40	Inf.	Roccia Vulcanica (Bedrock acustico)



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica
Elettrodottto marino

Codice documento:
C0421BR00POSELE01a

Data emissione:
Giugno 2024

Pagina
7 di 73

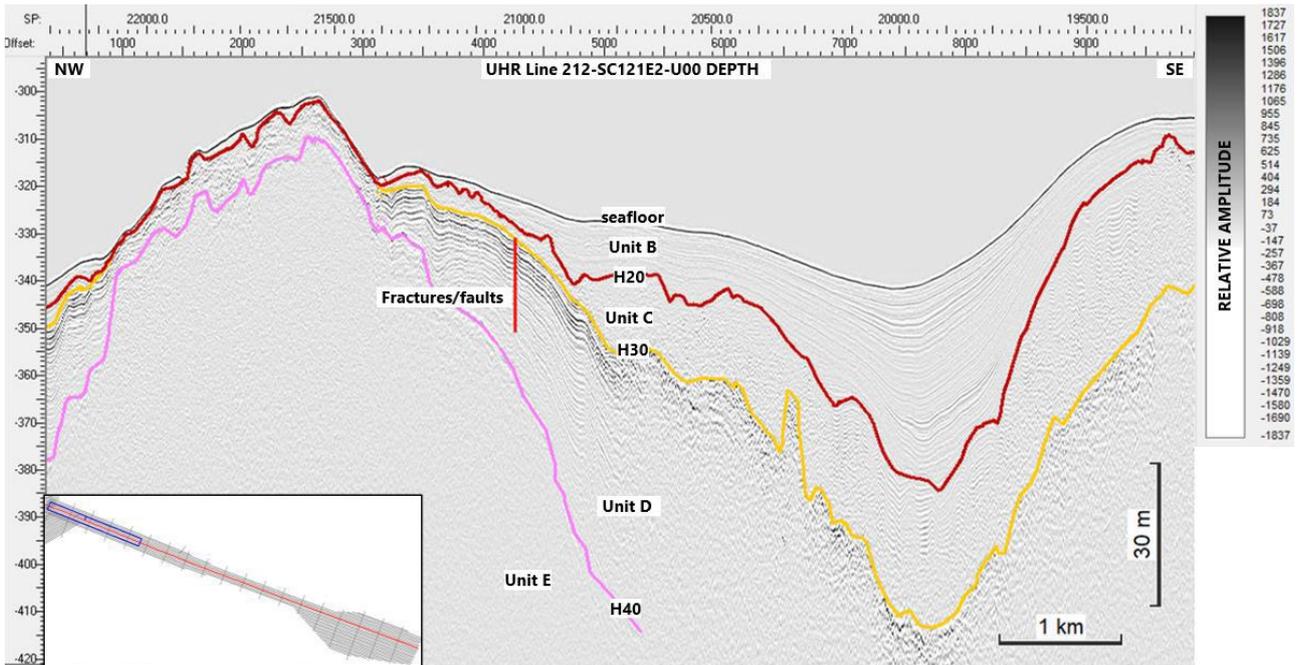


Figura 3.4 – Dati sismici UHR estrapolati nell'area ECC indagata

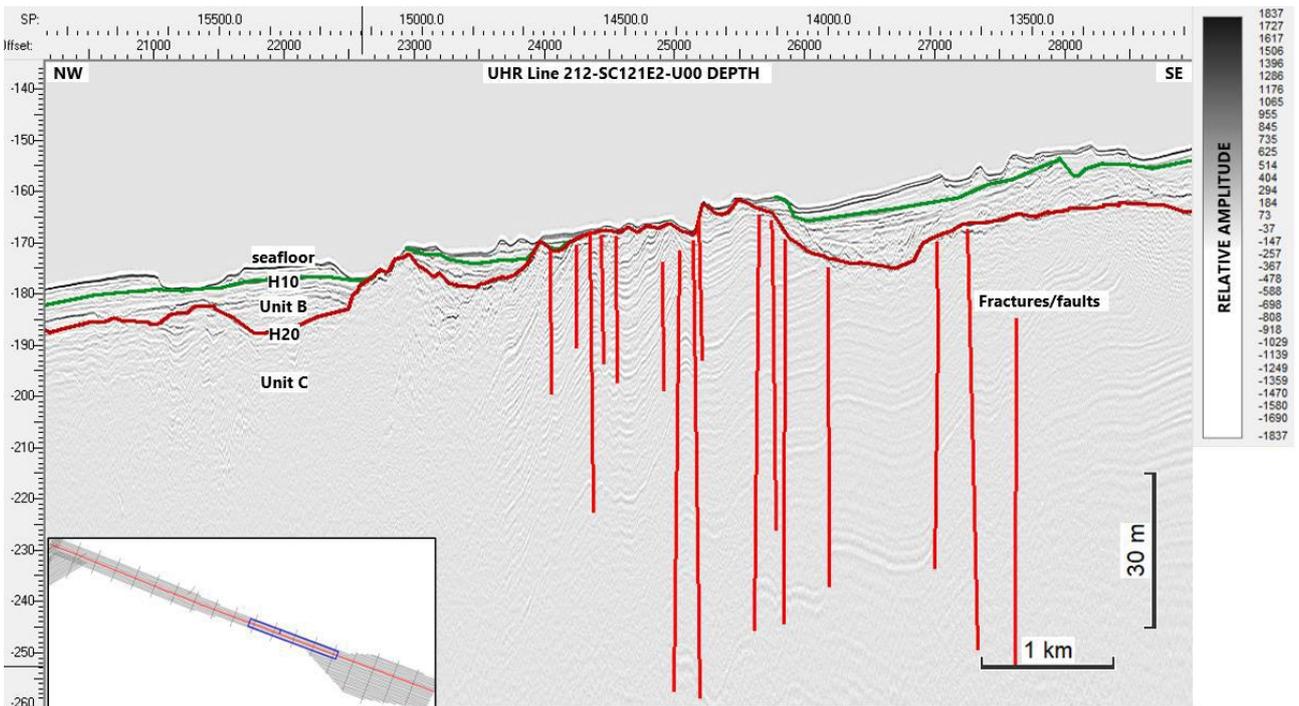


Figura 3.5 – Dati sismici UHR estrapolati nell'area ECC indagata



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica
Elettrodotto marino

Codice documento:
C0421BR00POSELE01a

Data emissione:
Giugno 2024

Pagina
8 di 73

3.2. Area SIN Sulcis-Iglesiente

Le operazioni di posa dell'elettrodotto marino ricadono parzialmente all'interno del Sito di Interesse Nazionale (SIN) "Sulcis-Iglesiente-Guspinese" il cui perimetro è stato definito dal D.M. 28/10/2016 (G.U. 267 del 15/11/2016) "Ridefinizione della perimetrazione del sito di bonifica di interesse nazionale "Sulcis - Iglesias - Guspinese".

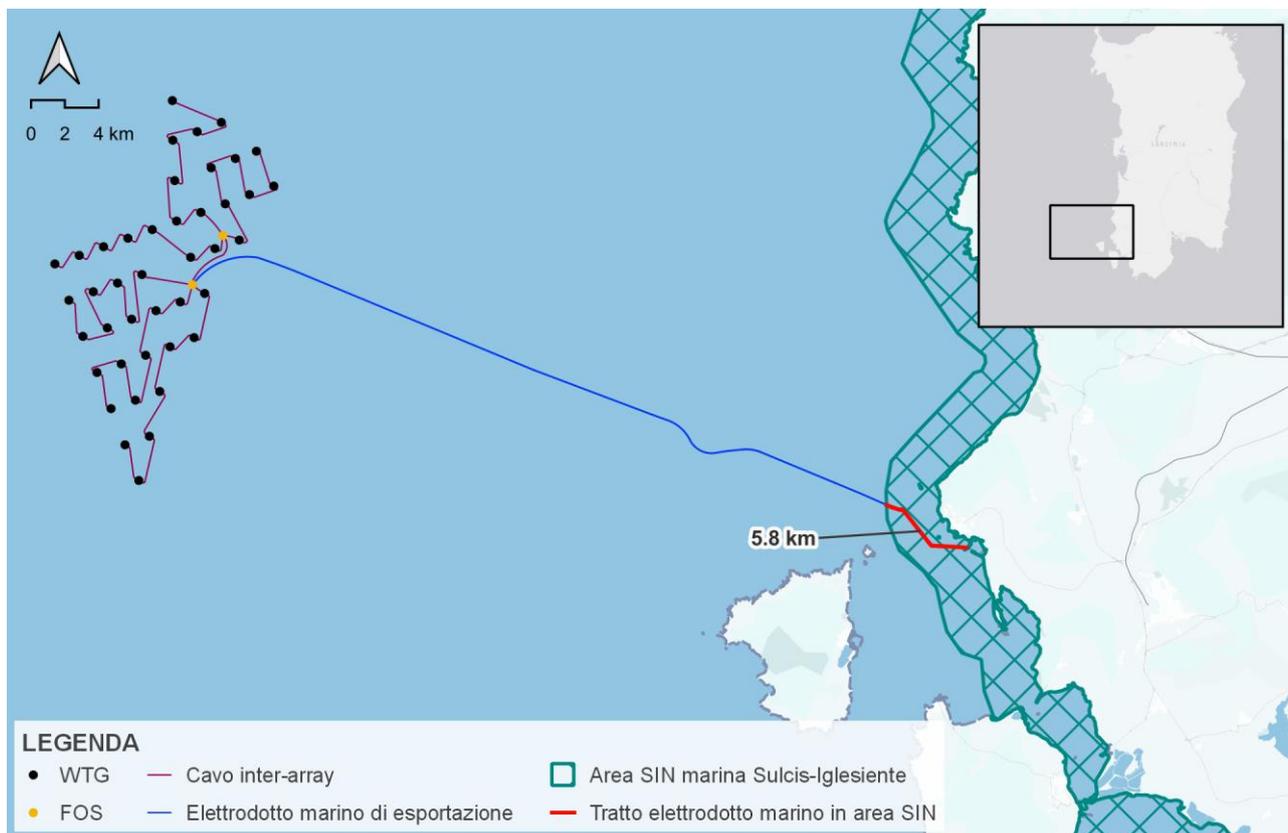


Figura 3.6 – Elettrodotto marino di esportazione, intersezione con area SIN Sulcis-Iglesiente.

L'area perimetrata del SIN "Sulcis-Iglesiente-Guspinese" ha un'estensione a mare di circa 32415 ettari; l'elettrodotto marino interseca tale perimetrazione per una distanza di circa 5.8km.

Lo stato e la tipologia delle contaminazioni sono legati alle lavorazioni specifiche realizzate nel tempo sulle aree. Il Sulcis-Iglesiente-Guspinese, è la zona della Sardegna che presenta un maggior grado di compromissione, in senso areale, del territorio per via della secolare vocazione dell'area all'attività estrattiva, legata alla presenza di importanti risorse minerarie. In queste aree è diffusa la contaminazione di suoli e acque sotterranee da metalli pesanti, con valori di concentrazione superiori ai già elevati valori di fondo naturale. Il problema principale è costituito dalla presenza, distribuita nelle singole aree minerarie, degli ingenti volumi di residui della lavorazione del minerale, naturalmente ricchi in metalli pesanti, sui quali per decenni, spesso per centinaia di anni, l'azione degli agenti atmosferici ha causato la dispersione delle sorgenti della contaminazione e la diffusione della contaminazione stessa in seno alle matrici ambientali.

Le aree industriali dedicate alla metallurgia del Piombo, dello Zinco e dell'Alluminio, in particolare l'area di Portovesme, sono caratterizzate dalla presenza prevalente di contaminanti metallici sino a concentrazioni dell'ordine delle unità percentuali nei riporti utilizzati per la realizzazione dei piazzali industriali, con la conseguente contaminazione dei suoli e delle acque sotterranee (MiTE, s.d.).

Con il Decreto del Presidente del Consiglio dei ministri del 23 aprile 1993 è stato approvato il "Piano di disinquinamento per il risanamento del territorio del Sulcis Iglesias", costituito dai Comuni di Carbonia,



Ichnusa wind power srl

iLStudio.

Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica
Elettrodotto marino

Codice documento:
C0421BR00POSELE01a

Data emissione:
Giugno 2024

Pagina
9 di 73

Gonnesa, Portoscuso, Sant'Antioco e San Giovanni Suergiu e già dichiarato "Area ad elevato rischio di crisi ambientale", con il Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri del 30 novembre 1990, a norma dell'articolo 6 della Legge n. 305/1989.

Tale Piano di disinquinamento rappresenta uno strumento di indirizzo per la pianificazione delle attività a valenza ambientale nel territorio di riferimento.

L'area perimetrata del SIN comprende dunque un territorio caratterizzato da un insieme di stabilimenti industriali di grandi dimensioni, la cui presenza genera un notevole impatto preponderante rispetto alle restanti attività sia industriali che antropiche. Uno degli obiettivi del Piano è la realizzazione di adeguate infrastrutture di smaltimento dei rifiuti industriali alla luce di una situazione di inquinamento non trascurabile.

3.2.1. Caratterizzazione ambientale della fascia marino-costiera

Di seguito si riportano i risultati delle attività di caratterizzazione ambientale previste nel "Piano di caratterizzazione ambientale dell'area marina prospiciente il sito di bonifica di interesse nazionale del Sulcis – Iglesiente – Guspinese", redatto dall'ICRAM ed approvato dal MATTM in sede di conferenza dei servizi decisoria del 27 Marzo 2007, nel tratto compreso tra Capo Altana e Punta S'Aliga, nel Comune di Portoscuso.

Potenziale Redox, PH, Peso Specifico.

Su tutti i campioni prelevati sono state eseguite determinazioni di Peso Specifico, Potenziale Redox e PH.

La misura del potenziale redox, evidenzia condizioni ossidanti per tutti i campioni prelevati con valori compresi tra un minimo di 19 mV e un massimo di 27 mV.

Nel seguito si riporta la trattazione di dettaglio dei risultati analitici:

Potenziale Redox, PH, Peso Specifico

Su tutti i campioni prelevati sono state eseguite determinazioni di Peso Specifico, Potenziale Redox e PH. La misura del potenziale redox, evidenzia condizioni ossidanti per tutti i campioni prelevati con valori compresi tra un minimo di 19 mV e un massimo di 27 mV.

Azoto, Fosforo, TOC, Cianuri

Su tutti i campioni prelevati sono state eseguite determinazioni di azoto, fosforo, TOC. Per quanto riguarda l'azoto dall'esame complessivo dei risultati analitici si evince che circa l'82% dei campioni ha un valore compreso tra 101 e 480 mg/kg mentre il 10% circa presentano concentrazioni inferiori a 101 mg/kg. In un campione prelevate nel sondaggio PS02/0015 è stato riscontrato una concentrazione inferiore al limite strumentale. Il campione prelevato nel sondaggio PS02/0018 (intervallo di profondità 0,30-0,50 m) presenta una concentrazione in azoto pari a 846,00 mg/kg.

I risultati relativi al fosforo evidenziano valori compresi tra un minimo di 10 mg/kg ed un massimo di 518 mg/kg. Il 15% circa dei campioni presentano valori superiore ai 300 mg/kg.

La determinazione del TOC (Carbonio Organico Totale) mostra valori compresi tra un minimo di 1073 mg/kg e un massimo di 37910 mg/kg. Nei campioni prelevati nell'area sommersa la media dei valori si attesta a circa 6000 mg/kg. In corrispondenza di un sondaggio, PS02/0014 i valori superano i 30000 mg/kg (rispettivamente 37919 e 31030 mg/kg). Nell'arenile di Portovesme i valori si attestano mediamente a circa 5000 mg/kg e 3500 mg/kg.

Le determinazioni eseguite sul contenuto in cianuri non hanno mai riscontrato la loro presenza nei sedimenti dei fondali.



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica
Elettrodotto marino

Codice documento:
C0421BR00POSELE01a

Data emissione:
Giugno 2024

Pagina
10 di 73

Contaminanti Organici, TBT, BTEX e Cianuri (sedimenti marini)

I test di laboratorio hanno evidenziato esito negativo per quanto concerne i contenuti dei contaminanti in oggetto.

Diossine, Furani e Amianto

Le analisi eseguite sui campioni prelevati dal livello superficiale non hanno evidenziato superamenti dei valori tabellari.

Contaminanti inorganici

L'analisi dei campioni prelevati nel fondale marino ha permesso di ricostruire la distribuzione della contaminazione alle varie profondità indagate.

I superamenti dei limiti corrispondenti ai Valori di Intervento ICAM sono relativi ai contaminanti inorganici quali: cadmio, mercurio, piombo, rame e zinco.

Mercurio

La contaminazione da Mercurio presenta una diffusione areale nel settore più a Nord mentre nelle aree centrali e meridionali risulta essere pressoché puntuale.

Piombo

Per quanto riguarda il piombo (CSC 100 mg/kg) la contaminazione nel settore marino riguarda 3 sondaggi, ubicati nel settore più a Nord e all'imboccatura del porto industriale di Portovesme.

Zinco

Per quanto riguarda lo zinco (CSC 170 mg/kg) i risultati analitici mostrano un livello di contaminazione piuttosto diffuso sia arealmente che in profondità, raggiungendo mediamente la profondità di 2 metri.

La contaminazione da Zinco risulta diffusa arealmente nel settore estremo Nord e Sud e in corrispondenza dell'imboccatura del Porto di Portovesme.

Cadmio

Dai risultati analitici relativi al cadmio (CSC 1,4 mg/kg) si evince una contaminazione areale pressoché simile a quanto riscontrato nel caso dello zinco.

La contaminazione da Zinco risulta diffusa arealmente nel settore estremo Nord e Sud e in corrispondenza dell'imboccatura del Porto di Portovesme.

Analisi batteriologiche

Gli esami eseguiti sui campioni di sedimenti marini non hanno rilevato la presenza di Spore di clostridi solfito riduttori, Escherichia coli e Streptococchi fecali.

Contaminanti Organici e Cianuri

I test di laboratorio hanno evidenziato esito negativo per quanto concerne i contenuti dei contaminanti in oggetto.

Diossine, furani e amianto

Le analisi eseguite sui campioni prelevati dal livello superficiale non hanno evidenziato superamenti dei valori tabellari.



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting **Studio**

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica
Elettrodotto marino

Codice documento:
C0421BR00POSELE01a

Data emissione:
Giugno 2024

Pagina
11 di 73

Contaminanti inorganici

L'analisi dei campioni prelevati negli arenili mostra una contaminazione cadmio, piombo, rame e zinco solo per quanto riguarda Portovesme.

Analisi batteriologiche

Gli esami eseguiti sui campioni di arenile non hanno rilevato la presenza di Salmonella, di Streptococchi fecali e di Escherichia coli.

Per quanto riguarda i Miceti sono state riscontrate, in entrambi gli arenili, concentrazioni con valori compresi tra un minimo di 20 e 400 UFC/g.



Ichnusa wind power srl

iLStudio.

Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica
Elettrodotto marino

Codice documento:
C0421BR00POSELE01a

Data emissione:
Giugno 2024

Pagina
12 di 73

4. MODALITÀ DI ESECUZIONE DEI LAVORI DI POSA/ESCAVO

Dopo una breve trattazione sugli elettrodotti marini e tipi di cavi previsti, si riporta a seguire una descrizione dei sistemi di posa e delle metodologie di installazione previste per le opere in oggetto, corredati da una stima dei ratei e tempi di escavazione.

Infine, saranno indicate specifiche informazioni per il caso in esame in merito alla localizzazione dell'opera e delle diverse attività di posa, alla lunghezza dei tratti in trincea e relativi ratei di escavazione.

Le informazioni riportate sono frutto di studi e valutazioni effettuate sia dalla Società Proponente che da Società di consulenza tecnica con riconosciuta e certificata esperienza nei settori di cui in oggetto. In particolare, la presente relazione si basa su:

- “Cable burial risk assessment” prodotto dalla Cathie, realtà di livello internazionale che offre soluzioni di ingegneria geologica, geospaziale, geofisica e geotecnica nel settore offshore;
- “Studio di dispersione dei sedimenti durante le attività di scavo” condotto dalla società WSP Italia.

4.1. Opere interessate dalla movimentazione di fondale marino

Come già detto, le opere interessate da movimentazione di fondale marino sono:

- cavi marini inter-array;
- elettrodotto marino di esportazione.

4.1.1. Rete di cavi marini inter-array

L'energia prodotta dai singoli aerogeneratori è collettata verso le sottostazioni elettriche FOS mediante una rete di cavi inter-array a 66 kV AC. Rispetto allo standard 33 kV, di tipico impiego nella prima generazione di parchi eolici offshore, l'utilizzo di cavi a 66 kV introduce una serie di vantaggi tra cui l'incremento della portata elettrica della singola stringa; l'aumento della portata, ovvero della capacità di trasporto dell'energia, si traduce nella possibilità di aumentare il numero di generatori connessi su una singola linea con il beneficio di una minor lunghezza complessiva dei cavi e di un minor numero di baie di commutazione sulla sottostazione elettrica offshore (minore complessità impiantistica, maggiore affidabilità, minore impatto ambientale). Ciò configura l'utilizzo di cavi inter-array a 66 kV come BAT (Best Available Technology) nello scenario dei futuri impianti eolici offshore.

Al di là del livello di tensione elettrica, una delle principali differenze nella progettazione dei cavi inter-array per impianti su fondazione galleggiante rispetto al caso di sistemi su fondazione fissa è la natura *dinamica* dei cavi. Questi, infatti, devono poter assecondare il movimento della struttura galleggiante senza che vi si generi un carico significativo; non devono, in altre parole, fungere da linee di ormeggio.

A questo scopo, il design del cavo spesso adotta una configurazione *lazy-S* mediante applicazione di *moduli di galleggiamento* collegati su particolari sezioni del cavo. La caratteristica forma ad S compensa il movimento della fondazione galleggiante evitando il tensionamento del cavo. Proprio l'esistenza di questi movimenti di compensazione richiede tuttavia specifici requisiti di resistenza non solo rispetto a sollecitazioni di tipo statico ma anche e soprattutto in relazione a carichi affaticanti cosicché, nella costruzione tipica, cavi di questo tipo presentano più ordini di armature come si vedrà nel successivo paragrafo sugli aspetti costruttivi.

Per quanto detto, il cavo assume una natura dinamica all'interno della colonna d'acqua, fino al contatto con il fondale marino (*touchdown point*). Le tratte di cavo tra due touchdown point successivi potranno essere eventualmente secondo uno dei sistemi di posa riportati nel presente capitolo. La tecnica adottata sarà in ogni caso, a parità di protezione desiderata del cavo e in coerenza con i risultati delle analisi di rischio, quella in grado di minimizzare l'impatto ambientale sul fondale marino.

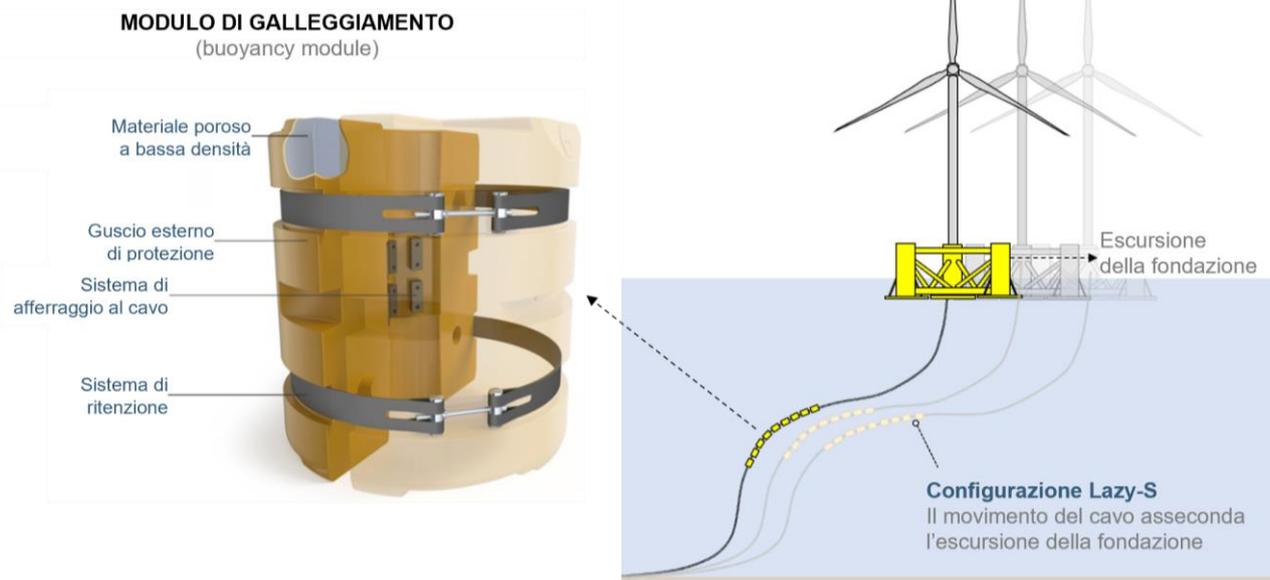


Figura 4.1 – Configurazione Lazy-S del cavo.

4.1.1.1. Aspetti costitutivi del cavo dinamico

La costruzione tipica del cavo dinamico prevede, tra gli altri, i seguenti elementi eventualmente variabili in relazione al costruttore o ai requisiti specifici di progettazione:

- conduttori elettrici (3 per sistemi trifase, tipicamente in rame o alluminio);
- rivestimento per l'isolamento elettrico dei conduttori;
- guaine dei conduttori;
- riempimento;
- fibre ottiche,
- guaina interna;
- armatura;
- guaina esterna.

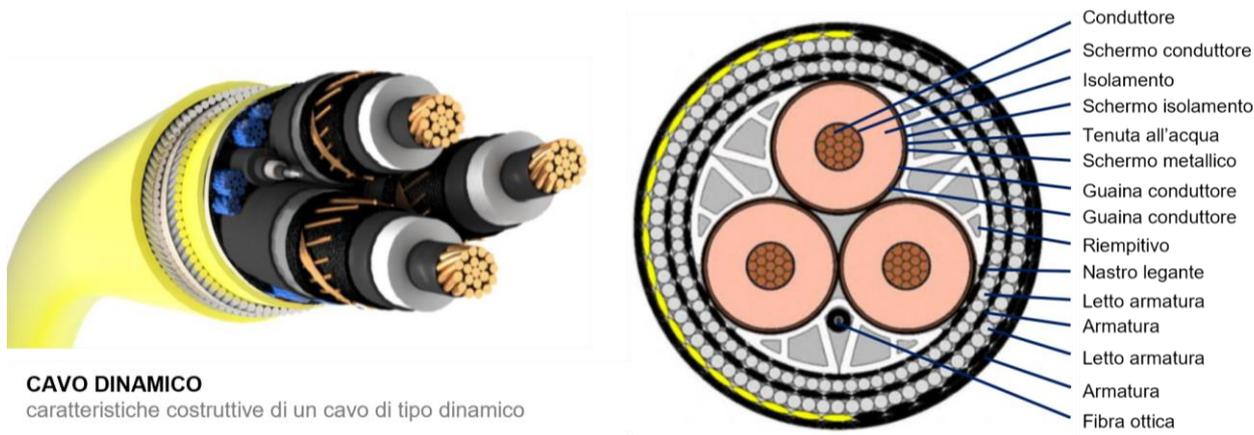


Figura 4.2 – Costruzione tipica di un cavo dinamico.

Elaborazione iLStudio.

Il design dei fasci di armatura deve garantire la resistenza ai carichi di installazione (derivanti ad esempio dal tiro) e quelli di esercizio (carichi dinamici indotti sulla campata libera tra l'aerogeneratore e il punto di contatto



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica Elettrodotto marino

Codice documento:
C0421BR00POSELE01a

Data emissione:
Giugno 2024

Pagina
14 di 73

sul fondale). In presenza di carichi assiali elevati l'azione di torsione indotta dallo sviluppo elicoidale dei fili d'armatura può indurre un significativo trasferimento di carico al nucleo interno del cavo; in tal caso è preferibile l'impiego di soluzioni con doppio ordine di armature ad eliche contrapposte.

4.1.1.2. Caratteristiche elettriche del cavo dinamico

I conduttori elettrici della rete inter-array sono dimensionati in relazione alla portata elettrica nei diversi tratti di stringa; in generale, la corrente trasportata aumenta muovendosi dall'aerogeneratore terminale verso la sottostazione elettrica FOS. Le sezioni sono dunque ottimizzate e variabili tra un minimo di 240 e un massimo di 630 mm² nell'ipotesi di utilizzo di conduttori in rame. La tabella seguente riporta il consuntivo delle caratteristiche elettriche delle linee inter-array.

Tabella 4.1 – Consuntivo delle caratteristiche elettriche e dimensionali della rete inter-array.

RETE CAVI INTER-ARRAY	
Numero di tratte inter-array	42 + 1 FOS Interlink
Tensione elettrica operativa	66 kV AC
Sezione elettrica	tra 240 e 630 mm ² (conduttori in rame)
Lunghezza totale della rete inter-array	~ 150 km

4.1.2. Elettrodotto marino di esportazione

L'elettrodotto di esportazione congiunge il lato AT 220 kV di ciascuna sottostazione elettrica FOS al relativo punto di giunzione onshore TJB a partire dalla quale l'energia elettrica prodotta dall'impianto viene convogliata, mediante elettrodotto terrestre interrato 220 kV, verso il punto di consegna alla rete elettrica nazionale nei pressi della stazione elettrica RTN TERNA Sulcis di Portoscuso. Il progetto prevede, in uscita da ciascuna FOS, l'impiego di un singolo cavo tripolare, 2 in totale, con struttura ibrida statica-dinamica, ottenuto mediante giunzione di una sezione dinamica e di una sezione statica; la prima interessa il tratto discendente dalla FOS fino al relativo touchdown point, la seconda corrisponde invece al tratto orizzontale in contatto col fondale e non soggetto a carichi di tipo dinamico (se non di piccola entità). Anche in questo caso è prevedibile la posa del tratto dinamico in configurazione lazy-S per assecondare l'escursione delle FOS mentre l'installazione sul fondale sarà di tipo misto, in relazione alle specifiche condizioni geofisiche e geotecniche, con eventuale combinazione di tratti in trincea, tratti in appoggio semplice sul fondale con idonee misure di protezione.

4.1.3. Aspetti costitutivi del cavo statico

La costruzione di un cavo statico può ritenersi consolidata sulla scorta delle molteplici esperienze maturate in diversi progetti offshore internazionali. Il progetto prevede tuttavia una soluzione tecnica all'avanguardia che utilizza cavi a 220 kV con elevata capacità in corrente. La struttura del cavo è simile a quella analizzata per i cavi dinamici, sono quindi previsti in generale:

- conduttori elettrici (3 per sistemi trifase, tipicamente in rame o alluminio);
- rivestimento per l'isolamento elettrico dei conduttori;
- guaine dei conduttori;
- riempimento;
- fibre ottiche,
- guaina interna;
- armatura;
- guaina esterna.

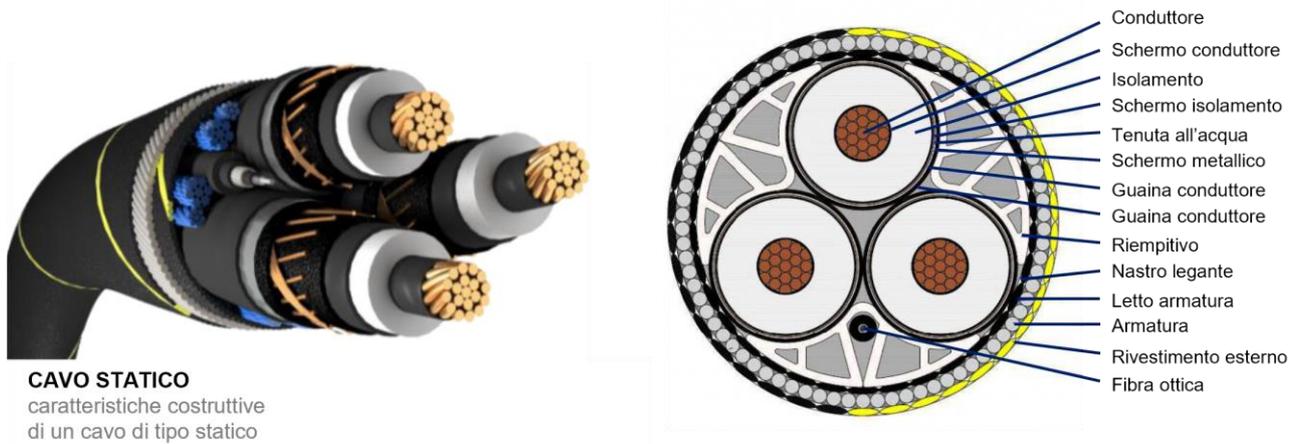


Figura 4.3 – Costruzione tipica di un cavo statico.

Elaborazione iLStudio.

4.1.4. Caratteristiche elettriche del cavo statico

I conduttori elettrici dei cavi di esportazione sono dimensionati in relazione alla portata elettrica determinata al livello operativo di tensione (220 kV) e alla potenza nominale dell'impianto (252 MW per sottoparco); le sezioni elettriche, il tipo e la lunghezza stimata della tratta dalla FOS al TJB sono riportate in tabella.

Tabella 4.2 – Consuntivo delle caratteristiche elettriche e dimensionali dell'elettrodotto marino di esportazione.

CAVI MARINO DI ESPORTAZIONE	
Tensione elettrica operativa	220 kV AC
Sezione elettrica	630 mm ² (conduttori in rame)
Lunghezza totale (per cavo fino al TJB)	~52 km (incl. ~1 km in cavo dinamico dalla FOS al touchdown)

4.2. Sistemi di posa e protezione dei cavi marini

La posa dei cavi marini verrà effettuata mediante una apposita imbarcazione posa cavi durante condizioni meteorologiche stabili per le operazioni offshore, caratterizzate da venti poco intensi e mare poco mosso. Il mezzo marino sarà dotato di tutte le attrezzature necessarie alla movimentazione ed al controllo dei cavi sia durante le fasi di imbarco del cavo che durante la posa.

La protezione dei cavi marini dalle perturbazioni antropogeniche (es. pesca, ancoraggio delle imbarcazioni) e naturali (es. azione delle correnti) richiederà l'applicazione di idonei sistemi nelle aree a maggiore rischio, soprattutto sottocosta.

Dopo alcuni cenni in merito alle attività preliminari da svolgere prima della posa dei cavi, a seguire si riporta una descrizione delle metodologie di posa per interrimento ed alternative.

4.2.1. Preparazione del fondale marino

Le operazioni di scavo e/o di posa di un cavo sono necessariamente precedute da alcune attività di preparazione del fondale marino per garantire la mitigazione di alcuni rischi dovuti ad agenti esterni.

Di seguito viene fornita una descrizione di alto livello delle attività di preparazione del fondale marino necessarie per l'interrimento dei cavi:



Ichnusa wind power srl

iLStudio.

Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica
Elettrodotto marino

Codice documento:
C0421BR00POSELE01a

Data emissione:
Giugno 2024

Pagina
16 di 73

- indagine sul percorso con MBES - indagine geofisica per catturare in dettaglio tutte le caratteristiche del fondale marino (compresa la batimetria e il tipo di sedimenti) e le potenziali ostruzioni su scala locale;
- sondaggio del percorso con SBP - sondaggio per caratterizzare (in via preliminare) a scala locale il substrato superficiale (entro i primi 3 m) e l'estensione laterale delle diverse unità;
- indagine geotecnica sul tracciato - in genere comprende una campagna di vibro-carotaggi e CPT al di sotto del fondale, con intervalli di 1 km, per caratterizzare i terreni e la profondità locale della testa rocciosa e per effettuare la verifica a terra dell'interpretazione geofisica;
- indagine sulle anomalie magnetiche - indagine geofisica dettagliata per caratterizzare in dettaglio tutte le potenziali ostruzioni metalliche a scala locale, compreso ordigni inesplosi;
- bonifica, se necessario, da eventuali ordigni inesplosi;
- bonifica dei massi, se necessario;
- grappinaggio (in inglese, *Pre-Lay Grapple Run*) per liberare il percorso da qualsiasi ostacolo come reti da pesca, corde, lenze, ecc;
- ispezione degli attraversamenti - ispezione di tutti gli attraversamenti per verificare che le condizioni siano quelle previste dalla soluzione adottata e dall'accordo sull'attraversamento.

4.2.2. Protezione per interrimento

In generale l'interrimento del cavo determina un modesto impatto sull'ambiente e sulla fauna, limitato al solo periodo dei lavori, terminati i quali è possibile la ricolonizzazione naturale della zona interessata.

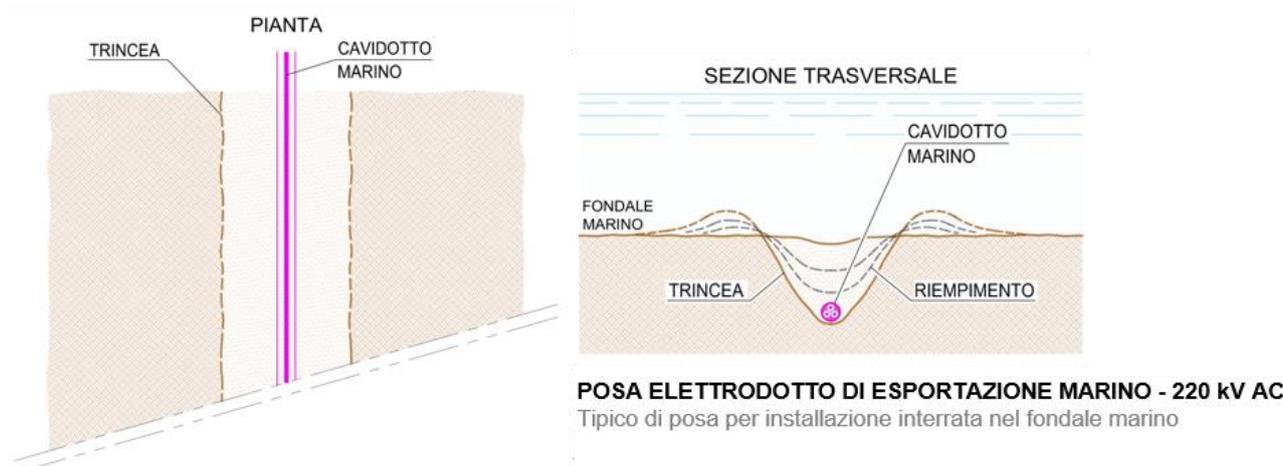


Figura 4.4 – Tipico di posa interrata dell'elettrodotto marino.

Elaborazione iLStudio.

Per il caso in esame, la metodologia di installazione individuata è quella della posa e interrimento simultanei mediante *trencher* o aratro. Si presume quindi che i cavi vengano posati e interrati in un'operazione simultanea, con l'attrezzatura per l'interrimento rimorchiata dalla nave posacavi, nel caso di un aratro, oppure azionata da remoto nel caso di un ROV. Questo approccio offre una protezione immediata al cavo, gestendone la tensione meccanica mentre entra nella trincea.

In base alle proprietà del fondale sono stati individuate come possibili tecniche quelle con sistemi a getto pressurizzato (*jet trenching*), sistemi taglia roccia meccanici o con escavatori a catena (*mechanical trenching*), sistemi a trascinamento (*cable ploughs*) o una combinazione di essi. In aggiunta, per casi particolari si tiene conto anche dell'adozione di *trenching chirurgico*.



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica
Elettrodotto marino

Codice documento:
C0421BR00POSELE01a

Data emissione:
Giugno 2024

Pagina
17 di 73

4.2.2.1. Scava-trincee a getto – jet trenching

I trencher a getto fluidificano il sedimento pompando acqua marina ad alta pressione attraverso un sistema di ugelli montato su supporti mobili. La tecnica è evidentemente adatta a fondali soffici costituiti da sabbie a grana fine/media o argille morbide mentre risulta più difficilmente applicabile a fondali con argille molto rigide o aree di sabbia grossolana e ghiaia.

Durante l'operazione di scavo, il cavo affonda nel sedimento fluidizzato penetrando nella trincea per gravità. La trincea è successivamente riempita, grazie al riassetto del materiale fluidificato e al collasso delle pareti; in genere si può prevedere un riempimento completo nel caso di argille, mentre per la sabbia è usuale una certa perdita di materiale fine, con conseguente riduzione della profondità di copertura (fino al 70-60% della profondità di abbassamento nelle sabbie molto fini).

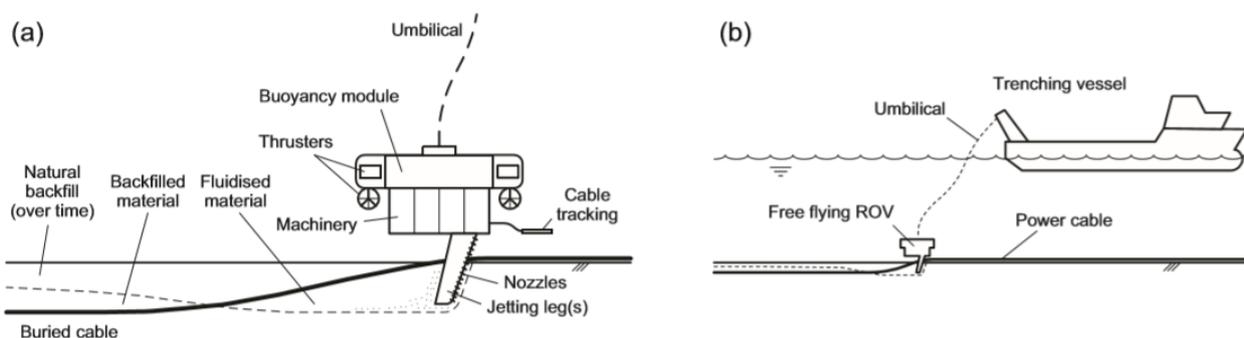


Figura 4.5 – ROV jet trencher, (a sinistra) componenti principali, (a destra) fase di posa del cavo.

Fonte: (The Crown Estate, 2019).

La velocità di esecuzione di scavo con *jet trencher* dipende dalle caratteristiche del fondale e del substrato, tuttavia in media si tiene conto di un avanzamento approssimativo pari a 300 metri all'ora, ovvero circa 7.2 km al giorno.

4.2.2.2. Scava-trincee meccaniche – mechanical trenching

I sistemi di trenching di tipo meccanico realizzano la trincea mediante una vera e propria operazione di taglio del fondale marino realizzata ad opera di un *cutter*. Le scava-trincee meccaniche sono generalmente adatte in presenza di terreni duri (es. argille rigide) mentre sono poco consigliabili in situazioni con terreni granulari per i quali da un lato la silice determina un'elevata usura dei taglienti, dall'altro i fianchi della trincea tendono a collassare prima che il cavo si adagi sul fondo dello scavo. Per quest'ultima eventualità, esistono sul mercato sistemi ibridi che implementano dispositivi a getto e che ritardano il collasso della trincea consentendo l'affondamento del cavo.

In genere si procede con lo scavo simultaneo e la posa del prodotto, anche se in condizioni particolarmente onerose (ad esempio, rocce ad alta resistenza) si preferisce uno scavo pretagliato seguito dalla posa del prodotto.

Nelle sabbie, la trincea verrebbe successivamente (parzialmente) riempita, grazie al collasso delle pareti della trincea, ma durante lo scavo una parte significativa del materiale verrebbe evacuata dalla trincea, con conseguente riduzione della profondità di copertura. Nelle argille e nelle rocce, le pareti aperte della trincea sarebbero generalmente stabili, quindi si prevede una copertura limitata, con la maggior parte del materiale evacuato al di fuori della trincea e distribuito su cumuli laterali. Il materiale accumulato lateralmente, in base alle condizioni idrodinamiche, potrebbe essere soggetto a mobilità e risultare nel tempo un riempimento naturale della trincea.



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica
Elettrodotto marino

Codice documento:
C0421BR00POSELE01a

Data emissione:
Giugno 2024

Pagina
18 di 73

Le frese a catena sono generalmente limitate a profondità di interrimento di 1-2 m, a causa della lunghezza della catena; tuttavia, dati i requisiti di interrimento previsti (profondità della trincea generalmente < 1 m), ciò non dovrebbe limitare l'idoneità dell'utensile.

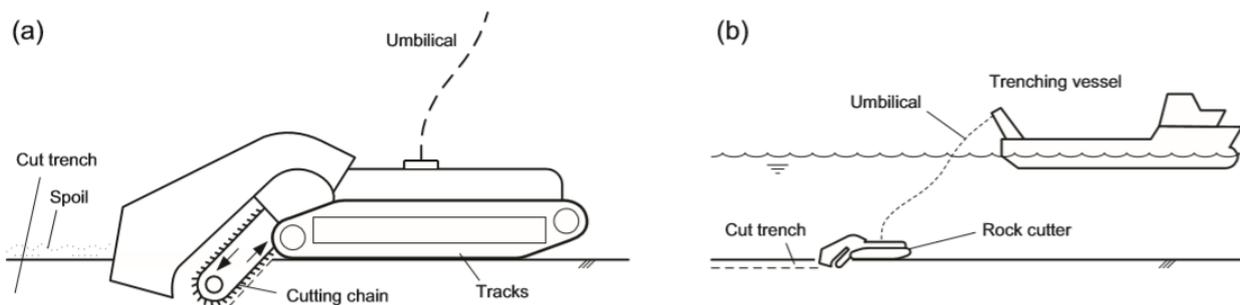


Figura 4.6 – Scavatrincee a catena.

A sinistra componenti principali, a destra fase di preparazione alla posa del cavo. Fonte: (The Crown Estate, 2019).



Figura 4.7 – Esempio di dispositivo per la posa in trincea del cavo.

Fonte: <https://www.seatools.com>.

La velocità di esecuzione di scavo con *mechanical trencher* dipende dalle caratteristiche del fondale e del substrato, tuttavia in media si tiene conto di un avanzamento approssimativo pari a 100 metri all'ora, ovvero circa 2.4 km al giorno.

4.2.2.3. Scava-trincee a trascinamento – cable ploughs

I sistemi scava-trincee a trascinamento operano per mezzo di un aratro specificamente progettato per diversi tipi di terreno e profondità di posa. L'operazione di scavo si realizza per l'azione di traino esercitata sull'aratro da una imbarcazione da tiro in grado di fornire la necessaria forza di traino.

La fase di scavo e di posa del cavo possono avvenire simultaneamente; si parla in tal caso di aratri non dislocanti. Al contrario, aratri dislocanti sono utilizzati per pre-tagliare la trincea in condizioni di terreno molto duro; in tal caso la trincea resta aperta ed è necessario, dopo la posa del cavo, un secondo passaggio di ricoprimento.

Tale tecnologia è adatta per argille di bassa o media resistenza che possono essere tranciate; meno indicata per sabbie dense che possono aumentare la forza di traino e la probabilità di fuoriuscita dell'aratro. Il materiale fine, come il limo o la sabbia fine, potrebbe aumentare la resistenza all'aratura e causare una riduzione della profondità di interrimento o rallentare le operazioni. Una combinazione tra sistema a getto fluidificante ed aratro aumenterebbe le prestazioni e migliorerebbe il livello di efficacia.

I generici aratri a cavo non sono adatti per lo scavo di trincee in argille e rocce a più alta resistenza (da



estremamente deboli a mediamente forti), anche se in queste condizioni potrebbero essere impiegati aratri da roccia: questi sono tipicamente dotati di denti aggressivi in grado di penetrare in argille e rocce ad alta resistenza.

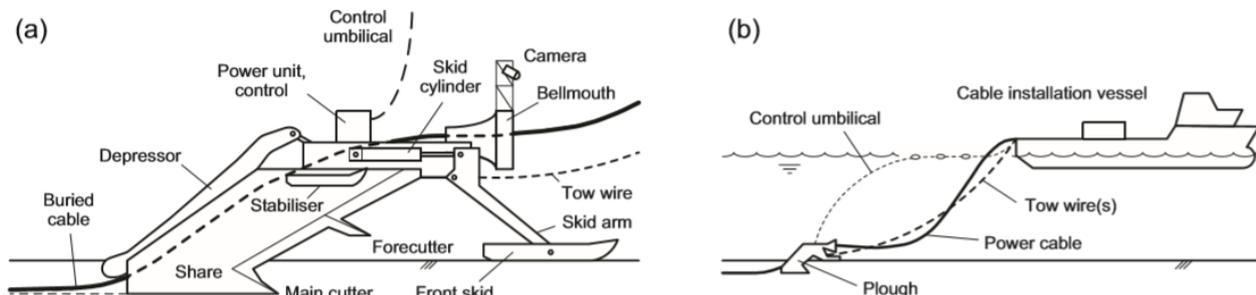


Figura 4.8 – Scava-trincee a trascinamento, (a sinistra) componenti principali, (a destra) fase di posa del cavo.

Fonte: (The Crown Estate, 2019).

La velocità di esecuzione di scavo con aratro dipende dalle caratteristiche del fondale e del substrato, tuttavia in media si tiene conto di un avanzamento approssimativo pari a 300 metri all'ora, ovvero circa 7.2 km al giorno.

4.2.2.4. Trenching chirurgico

Il Trenching chirurgico consiste in un insieme di soluzioni avanzate, che comprendono macchinari subacquei unici nel loro genere e protocolli operativi volti a ridurre al minimo l'impatto ambientale durante l'interramento dei cavi sottomarini, soprattutto in aree caratterizzate dalla presenza di biocenosi di pregio, come la *Posidonia oceanica* e la *Cymodocea*.

Questa tecnica prevede l'utilizzo di diverse tecniche di interrimento, come *Trenching*, *Jetting* e *Backfilling*, finalizzate non solo alla protezione dei cavi ma anche alla successiva ricostruzione delle aree interne interessate dallo scavo per favorire il reimpianto o la ricrescita naturale delle fanerogame.

In presenza di *Posidonia* su substrati rocciosi o sedimentari, si utilizza una macchina a galleggiamento controllato dotata di una catena di scavo, trainata da un sistema di ancore e verricelli. Questa macchina ha un'elevata galleggiabilità che le consente di ridurre il disturbo del fondale dovuto alla trazione.

La tecnica di trenching chirurgico rappresenta una valida alternativa alle tradizionali tecniche di scavo e rappresenta una tecnica a basso impatto ambientale in quanto garantisce:

- minore movimentazione di materiale;
- basso impatto sul fondale determinato dalle minori dimensioni della trincea e dalla ridotta movimentazione durante lo scavo;
- minor intorbidimento dell'acqua.



Figura 4.9 – Esempio di posa con tecnica di trenching chirurgico.



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica
Elettrodotto marino

Codice documento:
C0421BR00POSELE01a

Data emissione:
Giugno 2024

Pagina
20 di 73

4.2.3. Altri sistemi di protezione (senza interrimento)

Qualora le caratteristiche geotecniche, morfologiche o fisico-chimiche del fondale o la presenza di altre infrastrutture sommerse (es. cavi marini, condotte sottomarine, etc.), non permetta la realizzazione della trincea, la protezione del cavo può essere effettuata attraverso tecniche di copertura del cavo; queste mirano a proteggere il cavo da dall'impatto di agenti esterni (ad es. ancore) e dall'affaticamento a causa delle forti correnti.

A seguire le tecniche di copertura individuate.

4.2.3.1. Protezione con massi naturali – rockdumping

La protezione con rocce naturali (rockdumping) prevede il ricoprimento del cavo mediante pietrame al fine di proteggerlo dall'azione di reti, ancore e correnti marine di fondo. Questo metodo è generalmente utilizzato come protezione in corrispondenza di intersezioni tra infrastrutture o dove non sia possibile raggiungere una minima profondità di sepoltura del cavo.

Per proteggere il cavo in situazioni in cui vi sono ancoraggi di emergenza o da reti da pesca, la protezione rocciosa deve essere in grado di sopportare i carichi d'impatto orizzontali, che dipendono principalmente dalla forma e dalla massa dell'ancora o della rete, dalla velocità della nave e dalla direzione di tiro e dalle condizioni del fondale.

Per il dimensionamento della protezione rocciosa, ovvero lo spessore, è necessario effettuare una stima della possibile penetrazione da parte di ancore di diverse dimensioni nella barriera. Tuttavia, la pratica ha dimostrato che una copertura rocciosa minima di 0.2-0.3 m è generalmente sufficiente a fornire una protezione adeguata da un singolo trascinarsi di reti da pesca. È comunque prassi comune specificare una copertura rocciosa di ~0.5 m per garantire la protezione da più passate e/o tenere conto di alcune perdite di materiale dovute all'erosione.

Dal punto di vista ambientale, l'impatto dovuto al posizionamento di tali protezioni è da ritenersi limitato, in quanto la crescita di bio-sistemi marini (biocenosi) potrebbe essere compatibile con lo strato di roccia aggiunto.

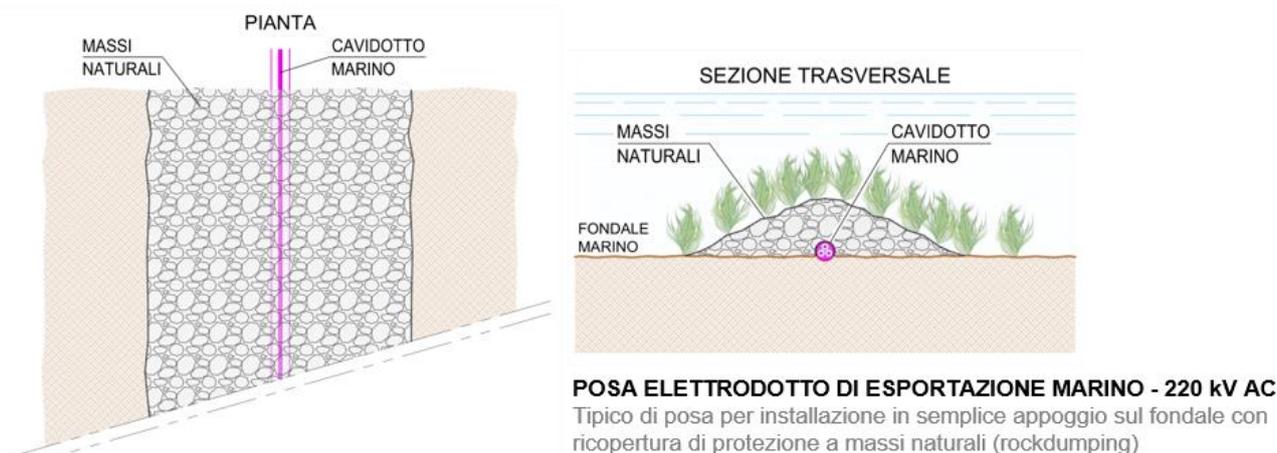


Figura 4.10 – Tipico di posa dell'elettrodotto marino con protezione in massi naturali.

Elaborazione iLStudio.

4.2.3.2. Protezione con materassi in calcestruzzo

I materassi standard sono costituiti da reticoli di blocchi di calcestruzzo sagomati e segmentati, collegati da apposite funi in polipropilene; tali strutture possono essere posate sul cavo per stabilizzarlo e schermarlo; le dimensioni indicative dei materassi sono 6m x 9m. Sono tipicamente utilizzati per attraversare utenze di cavi esistenti o per prevenire problemi di stabilità sul fondo.



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica
Elettrodotto marino

Codice documento:
C0421BR00POSELE01a

Data emissione:
Giugno 2024

Pagina
21 di 73

I materassi possono anche essere posizionati sopra il cavo per fornire protezione dagli attrezzi da pesca; in questo caso è necessario effettuare idonee valutazioni per assicurare che le reti da pesca abbiano una probabilità contenuta di impigliarsi e trascinare i materassi lontano dal cavo.

Allo stesso modo, i materassi standard potrebbero fornire un certo grado di protezione contro l'impatto delle ancore. Andrebbe dunque svolto un design specifico della struttura, tenendo conto di apposite analisi di penetrazione dedicate, al fine di garantire la protezione idonea contro ancore di differenti dimensioni.

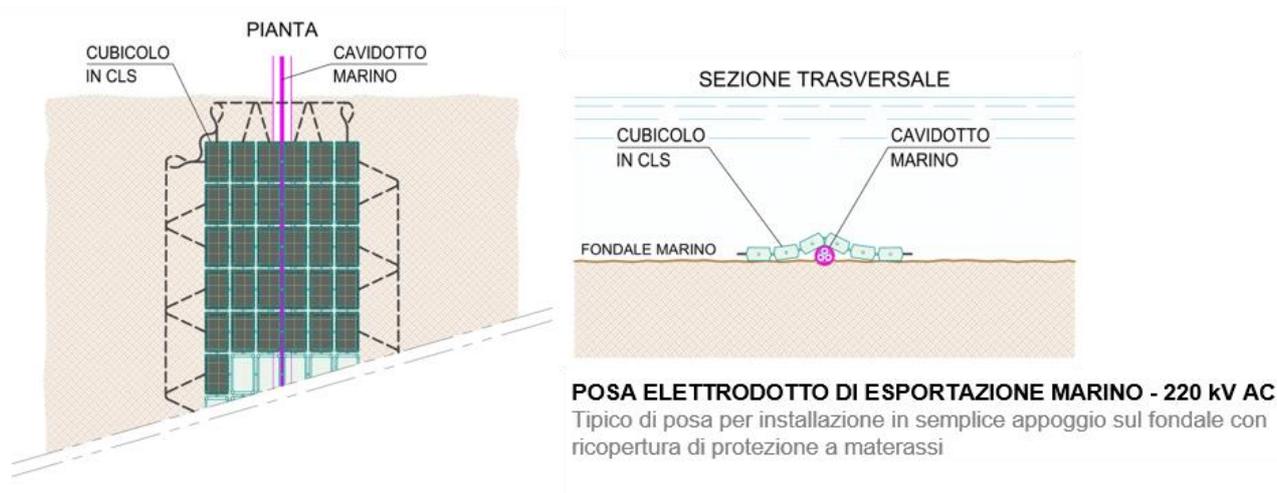


Figura 4.11 – Tipico di posa dell'elettrodotto marino con protezione a materassi in cls.

Elaborazione iLStudio.



Figura 4.12 – Esempio di posa con protezione a materassi in cls (rendering).

Fonte: <https://tdnenergy.com>

Questo tipo di protezione offre i seguenti vantaggi:

- possibilità di protezione simultanea di più cavi;
- buona capacità di adattamento al fondale;
- maggiore facilità di posa mediante gru e imbarcazioni più piccole.

4.2.3.3. Protezione con materassi reattivi

La tecnica del *capping* prevede il contenimento in situ, cioè sott'acqua, dei materiali di scarto inquinati. Questa tecnica elimina la necessità di scavare e smaltire il materiale contaminato al di fuori del sito, e quindi è adatta ad aree inquinate (SIN). Il fondale compromesso è in questo modo ricoperto o isolato con una combinazione



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica
Elettrodotto marino

Codice documento:
C0421BR00POSELE01a

Data emissione:
Giugno 2024

Pagina
22 di 73

di membrana impermeabile, sabbia, ghiaia e strati di protezione dall'erosione.

Analogamente ai materassi standard, questa tecnica potrebbe fornire un certo grado di protezione contro l'impatto delle ancore.

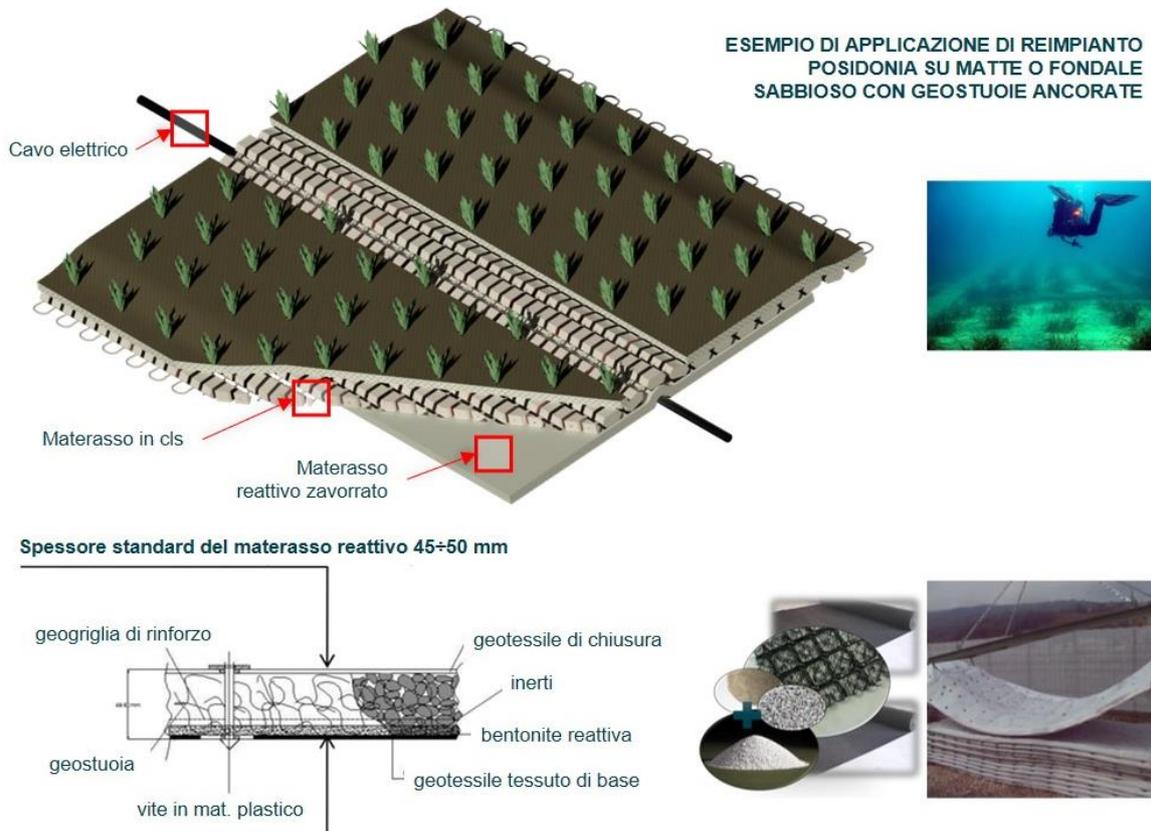


Figura 4.13 – Esempio di materassi reattivi per applicazioni in aree contaminate e reimpianto di Posidonia Oceanica.

Elaborazione iLStudio, immagini Maccaferri, Officine Maccaferri Italia S.r.l.

L'adozione di tecniche di posa e protezione cavi con speciali materassi reattivi, del tipo in Figura 4.13, è quindi in grado di:

- garantire la minima dispersione di contaminanti e intorbidimento delle acque durante le operazioni di posa;
- consentire una azione di bonifica selettiva dei sedimenti all'interno dell'area di posa mediante l'utilizzo di reattivi *tailor made* selezionati in base alla natura dei contaminanti rilevati;
- garantire il livello di protezione richiesto per il buon funzionamento dei cavi elettrici;
- consentire il reimpianto in loco delle praterie di Posidonia.

La tecnica così proposta costituisce a tutti gli effetti una BAT per installazioni in aree che presentano elementi di pregio naturalistico e contaminazione.

La tecnica può essere utilizzata in combinazione con speciali elementi reattivi per interventi di *remediation* localizzati in aree contaminate ed offre inoltre la possibilità di creare substrato per il reimpianto di biocenosi di pregio (*Posidonia oceanica*).



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica
Elettrodotto marino

Codice documento:
C0421BR00POSELE01a

Data emissione:
Giugno 2024

Pagina
23 di 73

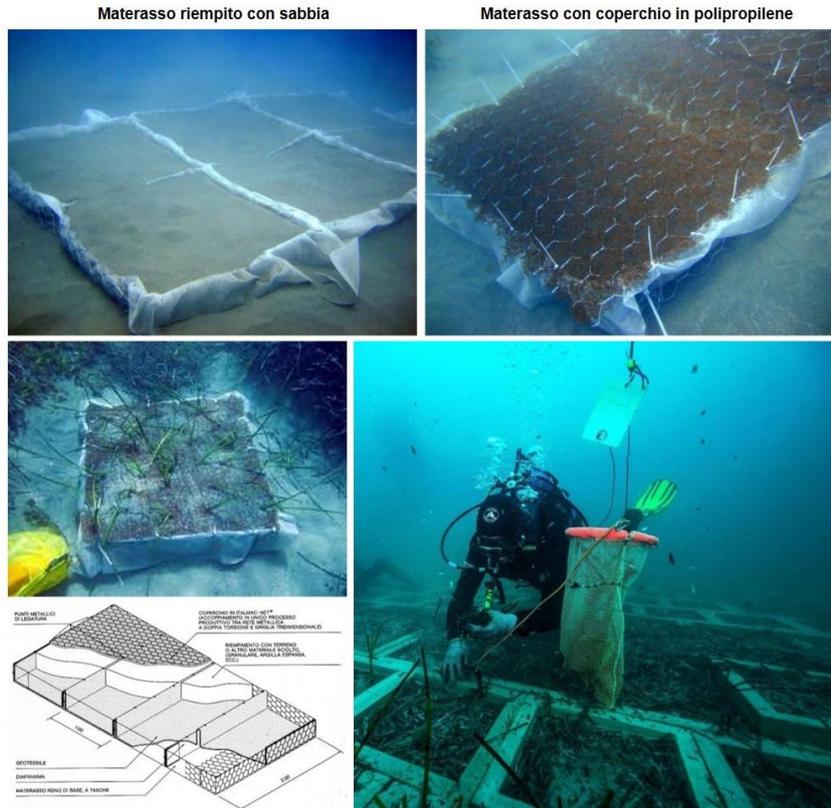


Figura 4.14 – Esempio di utilizzo di materassi zavorrati per interventi di reimpianto di Posidonia oceanica.

Fonte: Maccaferri e ISPRA.

4.2.3.4. Protezione con sistemi di armatura dei cavi

I sistemi di armatura dei cavi possono essere utilizzati per proteggere il cavo da problemi di abrasione e/o fatica. Tra questi si distinguono armature leggere (utilizzate principalmente per fornire rigidità aggiuntiva e resistenza al carico puntuale, adatte in condizioni di corrente limitata), tubi/gusci in ghisa (sistema che garantisce una maggiore stabilità sul fondo in condizioni di corrente elevata).

Questi sistemi potrebbero anche fornire un certo livello di protezione dall'impatto di attrezzi da pesca e oggetti, anche se è da valutare il rischio di impiglio.



POSA ELETTRODOTTO DI ESPORTAZIONE MARINO - 220 kV AC
Tipico di posa per installazione in appoggio sul fondale con copertura di protezione modulare in ghisa

Figura 4.15 – Tipico di posa dell'elettrodotto marino con protezione in elementi tubolari modulari.

Elaborazione iLStudio.

Nelle aree in cui sono presenti biocenosi di particolare interesse naturalistico (*Posidonia oceanica*), l'utilizzo di conchiglie protettive in ghisa può essere una soluzione di ammissibile ove sia impossibile effettuare TOC.



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting Studio



Figura 4.16 – Esempio di posa con protezione in elementi modulari tubolari.

Fonte: <https://www.farinia.com>.

4.2.4. Intersezione con altre infrastrutture

L'area marina vasta interessata dalle infrastrutture offshore del parco è sede di diverse infrastrutture sottomarine per la trasmissione di potenza elettrica e le telecomunicazioni. La progettazione del layout è stata condotta in modo da minimizzare, compatibilmente con altri vincoli, il numero di intersezioni con infrastrutture di rete esistenti; sulla base delle migliori informazioni disponibili alla data di stesura del presente documento, non si prevedono intersezioni con infrastrutture cavo esistenti; in una successiva fase di progetto, sulla base di più aggiornate informazioni e/o scelte tecniche, si presentasse la necessità di intersezione con servizi terzi, saranno messe in atto specifiche strategie di crossing, ormai standardizzate, e finalizzate alla migliore protezione e sicurezza operativa.



PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE

Ubicazione impianto offshore su tracciati infrastrutture di terze parti

Elaborazione iLStudio su dati EmodNET Human Activities

LEGENDA

Strutture e impianti

- Rete inter-array IAC 66kV
- Elettrodotto di esportazione Ofec 220kV
- WTG
- FOS

Figura 4.17 – Infrastrutture sottomarine esistenti nell'area vasta di progetto.

Elaborazione iLStudio su dati (EMODnet, 2022).

L'attraversamento (crossing), da concordare con gli enti gestori dei servizi coinvolti, prevederà il transito del cavo al di sopra del servizio da attraversare. Al fine di minimizzare le interferenze di segnale, il crossing avverrà operando una separazione fisica tra le infrastrutture mediante l'interposizione di materassi, rockdumping o una



combinazione delle due metodologie a seconda delle specifiche condizioni di posa. Sarà comunque valutata e applicata la migliore soluzione tra le combinazioni materassi–materassi, materassi–roccia, roccia–roccia in relazione alle specifiche esigenze di tutela delle opere e dell’ambiente.

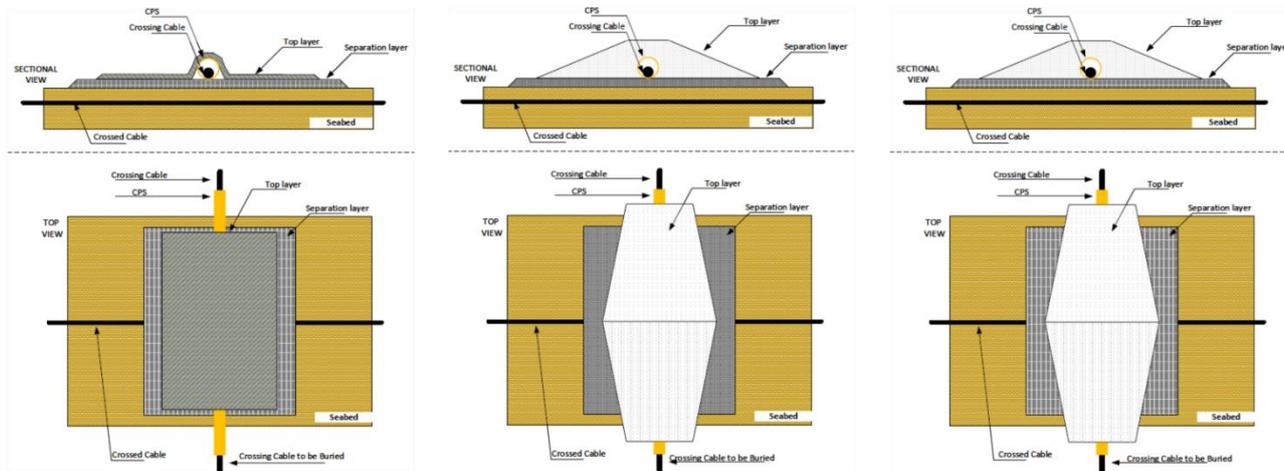


Figura 4.18 – Soluzioni per l'attraversamento dei cavi di terze parti.

Elaborazione iLStudio.

4.3. Strategia di protezione/interramento

La valutazione dei rischi derivanti dalle differenti tipologie di posa (CBRA, *Cable Burial Risk Assessment*) ha identificato le possibili cause di criticità sui cavi operando una classificazione in “elementi di pericolo primari” ed “elementi di pericolo secondari”. Un elemento di pericolo primario ha un impatto diretto sul cavo e può causarne il danneggiamento. Tra questi:

- le ancore delle navi che, una volta calate, potrebbero impattare o impigliarsi sul cavo;
- le attività di pesca, in particolare lo strascico, i cui attrezzi potrebbero danneggiare i cavi;
- i fenomeni di instabilità del fondale marino che potrebbe causare stress e/o danni da fatica.

Gli elementi di pericolo secondari non hanno impatto diretto (ovvero non danneggiano un cavo) ma possono determinare un aumento del rischio di danni da elementi di pericolo primari. Sono esempi di elementi di pericolo secondari:

- la mobilità dei sedimenti;
- l’instabilità dei versanti e altri fenomeni naturali come terremoti, in cui lo spostamento dei sedimenti superficiali può ridurre o eliminare del tutto la copertura di un cavo precedentemente interrato.

Il metodo CBRA esamina ciascun pericolo identificato in base alla frequenza di accadimento e alla magnitudo delle conseguenze previste. Il risultato combinato di frequenza e magnitudo indica se il rischio è *Inaccettabile*, *Accettabile al livello minimo ragionevole (As Low As Reasonably Practical, ALARP)* o *Accettabile*.

Tabella 4.3 – Matrice di rischio per valutazione CBRA interrimento cavi.

		Conseguenze				
		1	2	3	4	5
Frequenza	1					
	2				INACCETTABILE	
	3			ALARP		
	4		ACCETTABILE			
	5					

**Tabella 4.4 – Definizione delle frequenze (sx) e delle conseguenze(dx).**

Freq.	Definizione	Periodo di ritorno	Cons.	Definizione
1	Mai sentito nel settore	Superiore a 100 mila anni	1	Danni trascurabili
2	Sentito nel settore	Tra 10 mila e 100 mila anni	2	Danni minori, esposizione ad altri pericoli
3	Incidente avvenuto nelle vicinanze	Tra mille e 10 mila anni	3	Danni localizzati, nessuna riduzione di capacità
4	Avviene spesso nel settore	Tra 100 e 1000 anni	4	Danni maggiori o sostituzione di piccole sezioni, riduzione di capacità
5	Avviene spesso nel sito	Inferiore a 100 anni	5	Danni estesi, sostituzione di sezioni e perdita di capacità significative

L'idoneità di ciascuno dei metodi di interrimento proposti ai paragrafi precedenti è stata valutata sulla base della matrice di idoneità riportata in Tabella 4.5. La valutazione è riferita alle aree esterne alla perimetrazione SIN, dal momento che, nelle acque del sito di interesse nazionale, saranno ovunque evitate operazioni di scavo per annullare o ridurre per quanto possibile la dispersione di contaminanti nella colonna d'acqua.

Il traffico che si prevede intersecherà il percorso dei cavi è stato stimato su base AIS; i principali contributi sono relativi al traffico commerciale pesante (cargo / tanker) e alla pesca. Nell'ambito della valutazione di rischio, è stato derivato un modello di traffico rappresentativo delle condizioni durante l'esercizio del progetto. Combinando il modello di traffico con le caratteristiche di potenziale affondamento delle ancore, la valutazione probabilistica del rischio indica un livello ALARP / Accettabile sia per i cavi di esportazione sia per quelli inter-array ovvero non sono necessarie ulteriori misure di protezione per la mitigazione di questo elemento di pericolo.

Tabella 4.5 – Matrice di applicabilità delle tecniche di interrimento cavi.

	APPLICABILE	Interrimento conseguibile
	PARZIALMENTE APPLICABILE	Interrimento potenzialmente conseguibile
	NON APPLICABILE	Interrimento non conseguibile

Il principale elemento di rischio per i cavi è invece costituito dalle attività connesse alla pesca per le quali vi sono evidenze che confermano l'utilizzo di reti a strascico in diverse aree lungo l'Ofec e all'interno della prevista area del parco la quale, tuttavia, sarà interdetta alla navigazione e alle attività di pesca attraverso apposito avviso ai naviganti emanato dall'Autorità competente. L'interrimento del cavo ad una profondità di 0.4÷0.5 m rispetto al livello fondale si ritiene comunque sufficiente per una efficace mitigazione del rischio.

Gli elementi di pericolo secondari caratteristici dell'area vasta di indagine si ritiene, invece, abbiano un minore impatto sul profilo di rischio; già in fase di progettazione del percorso cavo infatti, sulla base degli esiti delle campagne oceanografiche eseguite in situ, sono state evitate aree ad elevata pendenza e instabilità mentre gli effetti legati a calamità naturali potrebbero essere in parte mitigati attraverso le misure di cui sopra.

L'analisi di rischio svolta ha dunque permesso di definire la strategia di protezione ed interrimento sia per l'area dell'elettrodotto marino che per quella del parco eolico interessata dalla posa dei cavi inter-array. A seguire si riporta una mappa ed una tabella dettagliata con le tipologie di posa individuate per ogni tratto, di cui sono indicate le coordinate geografiche degli estremi.



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica
Elettrodotto marino

Codice documento:
C0421BR00POSELE01a

Data emissione:
Giugno 2024

Pagina
27 di 73

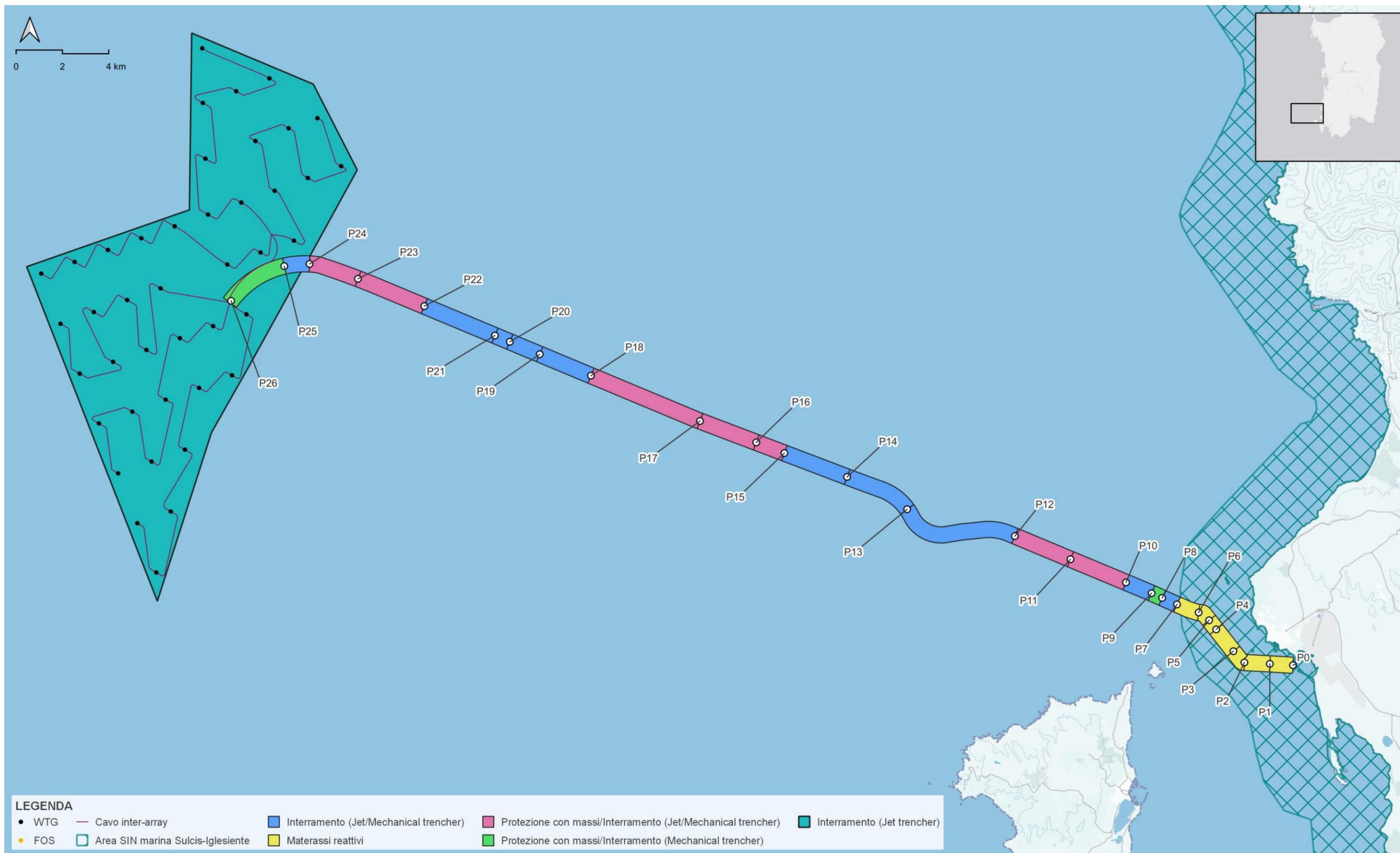


Figura 4.19 – Strategia di protezione e interrimento



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica
Elettrodotto marino

Codice documento:
C0421BR00POSELE01a

Data emissione:
Giugno 2024

Pagina
28 di 73

Tabella 4.6 – Strategia di posa e interrimento.

ID	Easting	Northing	Progres. [km]	Lungh. [km]	Strategia di posa
	SR: WGS84/UTM 32N (EPSG: 32632)				
P0	447255	4338529	0		
	TRATTO 1			1	Materassi reattivi
P1	446256	4338584	1		
	TRATTO 2			1.1	Materassi reattivi
P2	445158	4338644	2.1		
	TRATTO 3			0.7	Materassi reattivi
P3	444682	4339130	2.8		
	TRATTO 4			1.2	Materassi reattivi
P4	443941	4340074	4		
	TRATTO 5			0.5	Materassi reattivi
P5	443632	4340468	4.5		
	TRATTO 6			0.6	Materassi reattivi
P6	443181	4340804	5.1		
	TRATTO 7			1	Materassi reattivi
P7	442246	4341152	6.1		
	TRATTO 8			0.7	Interramento (Jet/Mechanical trencher)
P8	441606	4341435	6.8		
	TRATTO 9			0.5	Protezione con massi/Interramento (Mechanical trencher)
P9	441149	4341638	7.3		
	TRATTO 10			1.2	Interramento (Jet/Mechanical trencher)
P10	440043	4342105	8.5		
	TRATTO 11			2.6	Protezione con massi/Interramento (Jet/Mechanical trencher)
P11	437644	4343106	11.1		
	TRATTO 12			2.6	Protezione con massi/Interramento (Jet/Mechanical trencher)
P12	435244	4344107	13.7		
	TRATTO 13			5.2	Interramento (Jet/Mechanical trencher)
P13	430589	4345264	18.9		
	TRATTO 14			3	Interramento (Jet/Mechanical trencher)
P14	427996	4346661	21.9		
	TRATTO 15			2.9	Interramento (Jet/Mechanical trencher)
P15	425285	4347690	24.8		
	TRATTO 16			1.3	Protezione con massi/Interramento (Jet/Mechanical trencher)
P16	424070	4348152	26.1		
	TRATTO 17			2.6	Protezione con massi/Interramento (Jet/Mechanical trencher)
P17	421639	4349075	28.7		
	TRATTO 18			5.1	Protezione con massi/Interramento (Jet/Mechanical trencher)
P18	416931	4351035	33.8		
	TRATTO 19			2.4	Interramento (Jet/Mechanical trencher)
P19	414716	4351960	36.2		
	TRATTO 20			1.4	Interramento (Jet/Mechanical trencher)
P20	413424	4352499	37.6		
	TRATTO 21			0.7	Interramento (Jet/Mechanical trencher)
P21	412778	4352769	38.3		
	TRATTO 22			3.3	Interramento (Jet/Mechanical trencher)
P22	409733	4354040	41.6		
	TRATTO 23			3.1	Protezione con massi/Interramento (Jet/Mechanical trencher)
P23	406867	4355220	44.7		
	TRATTO 24			2.2	Protezione con massi/Interramento (Jet/Mechanical trencher)
P24	404774	4355861	46.9		
	TRATTO 25			1.1	Interramento (Jet/Mechanical trencher)
P25	403682	4355766	48		
	TRATTO 26			2.9	Protezione con massi/Interramento (Mechanical trencher)
P26	401386	4354266	50.8		



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica
Elettrodotto marino

Codice documento:
C0421BR00POSELE01a

Data emissione:
Giugno 2024

Pagina
29 di 73

4.3.1. Strategie di protezione alternative

Nelle zone in cui le operazioni di scavo sono difficilmente attuabili, come ad esempi attraversamenti di cavi, transizioni dinamiche di cavi, pendii ripidi e aree rocciose o semplicemente zone in cui vi è un divieto, è stata definita una strategia di protezione alternativa.

Sulla base delle analisi svolte, per le opere in oggetto sono previste le seguenti strategie di protezione:

- per il tratto dell'elettrodotto di esportazione prossimo alla costa si prevede l'utilizzo di materassi reattivi nell'area SIN per una lunghezza di circa 6.1 km;
- per l'elettrodotto di esportazione, si prevedono due transizioni dinamiche di circa 750m per ogni FOS, per un totale di 1500m;
- per l'area del parco eolico, con riferimento ai cavi inter-array, si prevedono 74 transizioni dinamiche di circa 750m in ingresso/uscita dagli aerogeneratori e 6 in ingresso alle FOS.

Si fa notare che nell'area marina perimetrata come Sito di Interesse Comunitario, col fine di evitare operazioni di scavo con conseguente movimentazione di materiale contaminato, sono stati proposti materassi reattivi.

Per quanto concerne invece le porzioni dei cavi dinamici, si raccomandano i seguenti elementi di protezione tipici per la protezione da carichi idrodinamici e da altri pericoli naturali:

- irrigidimento della curva dinamica;
- moduli di galleggiamento;
- protezione delle toccate;
- terminazione in linea del giunto di transizione;
- ancore di trattenuta/ritorno.

In riferimento a possibili attraversamenti la soluzione migliore risulta il posizionamento di massi, laddove lo scavo in trincea non sarebbe possibile; in particolare, è stata specificata una copertura rocciosa di circa 0.5 m per garantire la protezione contro attrezzature da pesca ed altri rischi, compresa la possibilità di perdite di materiale dovute all'erosione.

4.3.1.1. Stima preliminare delle dimensioni delle aree di occupazione del fondale marino

In via preliminare è stata effettuata una stima delle superfici di fondale occupate da protezioni alternative all'interramento. In dettaglio si è tenuto conto esclusivamente dei tratti interessati dalla posa con materassi reattivi, poiché le transizioni dinamiche sopra indicate non determinano occupazione di suolo.

In conclusione, posta una larghezza del materasso reattivo pari a circa 6m, e considerato che tale posa è prevista a partire dal TRATTO 1 sino al TRATTO 7 per una lunghezza totale di 5.9 km, si stima una superficie di fondale occupato per un singolo cavo pari a circa 35000 m² (3.5 ha). Per l'intero elettrodotto composto da due cavi, la superficie occupata risulta pari a circa 70000 m² (7ha).

4.3.2. Strategia di interrimento

Sulla base delle informazioni disponibili e a valle della analisi effettuate, risulta che la maggior parte dei percorsi cavo sarebbe adatta all'interrimento; infatti, per i cavi di esportazione è stata stimata una lunghezza possibile per l'interrimento pari all'86% dell'intero tracciato (circa 44 km), mentre l'area del parco eolico risulta totalmente disponibile ad interrimento (100%).

Come già detto, per la sola parte del corridoio dell'elettrodotto di esportazione collocata all'interno dell'area SIN non è previsto lo scavo in trincea, col fine di evitare movimentazione e dispersione di sedimento inquinato.

La sezione della trincea è intrinsecamente definita da alcune dimensioni notevoli riguardanti sia la larghezza



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica
Elettrodotto marino

Codice documento:
C0421BR00POSELE01a

Data emissione:
Giugno 2024

Pagina
30 di 73

che la profondità di scavo. In particolare, si definisce:

- Profondità Minima di Interramento – PMI, la profondità minima da mantenere per la superficie esterna superiore del cavo rispetto al livello medio del fondale, stimata sulla base delle possibili interferenze con attrezzi da pesca ed ancore;
- Margine di Sicurezza – MS, sommato alla PMI e definito in base all'esperienza; tale valore tiene conto di incertezze quali l'accuratezza della misurazione, la mobilità di piccoli sedimenti e l'instabilità degli strumenti di interramento;
- Tolleranza dovuta alla Mobilità del Fondale – TMF, sommata alla PMI;
- Profondità di Interramento – PI, la profondità della superficie esterna superiore del cavo rispetto al livello del fondale, considerando i valori di MS e TMF ($PI = PMI + MS + TMF$);
- Diametro del Cavo – DC;
- Profondità di Trincea – PT, la profondità della superficie esterna inferiore del cavo rispetto al livello del fondale marino ($PT = PI + DC$).

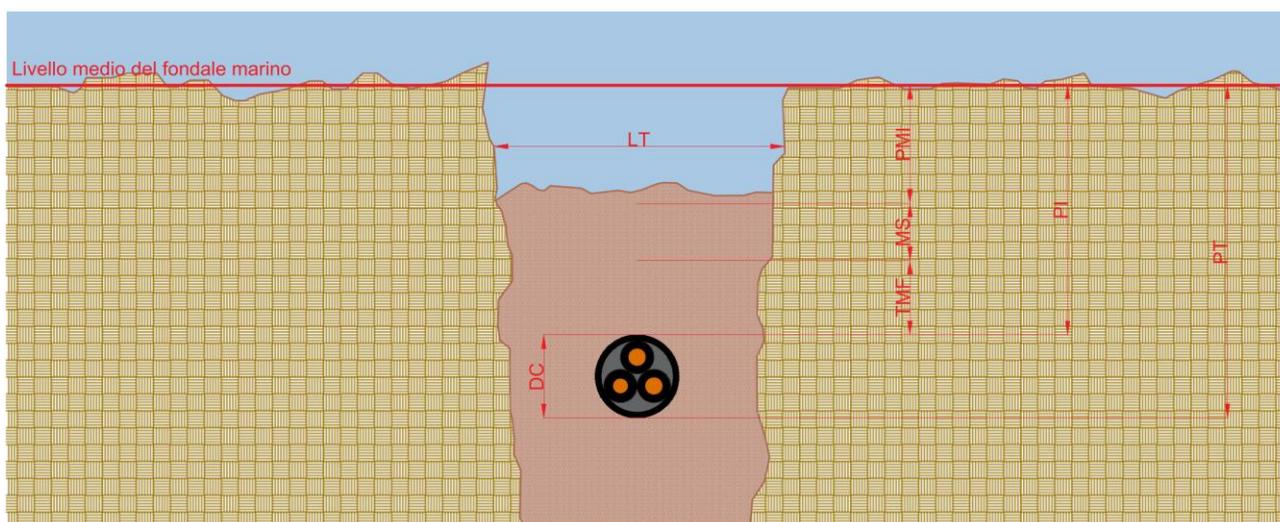


Figura 4.20 – Dimensioni della trincea.

Per il caso in esame è stato considerato un diametro del cavo pari a 0.2m ed una larghezza della trincea che oscilla tra 0.4 e 0.7m.

In merito alle dimensioni legate alle profondità sopra indicate, queste sono state calcolate per ogni singolo tratto, poiché dipendenti dalla geologia locale del fondale marino e da alcuni *hazard* individuati in fase di studio. Infatti, come già detto, il CBRA ha tenuto conto di pericoli primari legati a cause esterne che possono avere un impatto rilevante sul cavo, causandone il danneggiamento. Di questi si ricorda la possibile interferenza con attrezzi da pesca e ancore delle navi e i fenomeni di instabilità del fondale e/o mobilità del sedimento.

Per ogni tratto di cavo è stato dunque individuato il pericolo principale e, al netto delle densità di traffico marittimo e attività di pesca ivi presenti, per differenti profondità di interramento sono state valutate idonee frequenze medie annuali di accadimento (periodi di ritorno) di guasto del cavo. Il confronto con valori soglia di frequenza ha permesso di definire dunque la Profondità Minima di Interramento (PMI) accettabile per ridurre al minimo la possibilità di guasti legati ad agenti esterni.

A seguire si riporta una tabella recante tutte le profondità della trincea per ogni tratto di elettrodotto marino e per l'area interessata dalla posa dei cavi inter-array. Per i tratti compresi tra 1 e 6 non è riportato alcun valore in virtù del fatto che si prevede protezione mediante materassi reattivi.



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica
Elettrodotto marino

Codice documento:
C0421BR00POSELE01a

Data emissione:
Giugno 2024

Pagina
31 di 73

Tabella 4.7 – Profondità di interrimento preliminari per ogni tratto di elettrodotto.

-	PMI [m]	MS [m]	TMF [m]	PI [m]	PT [m]
TRATTO 1	-	-	-	-	-
TRATTO 2	-	-	-	-	-
TRATTO 3	-	-	-	-	-
TRATTO 4	-	-	-	-	-
TRATTO 5	-	-	-	-	-
TRATTO 6	-	-	-	-	-
TRATTO 7	-	-	-	-	-
TRATTO 8	0.3	0.2	0.25	0.75	0.95
TRATTO 9	0.2	0.2	0	0.4	0.6
TRATTO 10	1.8	0.2	0	2	2.2
TRATTO 11	1	0.2	0.25	1.45	1.65
TRATTO 12	0.2	0.2	0.25	0.65	0.85
TRATTO 13	0.3	0.2	0.25	0.75	0.95
TRATTO 14	0.3	0.2	0	0.5	0.7
TRATTO 15	0.3	0.2	0	0.5	0.7
TRATTO 16	0.2	0.2	0	0.4	0.7
TRATTO 17	0.3	0.2	0	0.5	0.7
TRATTO 18	0.3	0.2	0	0.5	0.7
TRATTO 19	0.3	0.2	0	0.5	0.7
TRATTO 20	0.3	0.2	0	0.5	0.7
TRATTO 21	0.3	0.2	0	0.5	0.7
TRATTO 22	0.3	0.2	0	0.5	0.7
TRATTO 23	0.3	0.2	0	0.5	0.7
TRATTO 24	0.3	0.2	0	0.5	0.7
TRATTO 25	0.3	0.2	0	0.5	0.7
TRATTO 26	0.3	0.2	0	0.5	0.7
AREA PARCO EOLICO (inter-array)	0.3	0.2	0	0.5	0.7

Per la sola area del parco eolico, ipotizzando l'interdizione alla navigazione, si può affermare che i cavi saranno soggetti ad un basso rischio legato a contatti con attrezzi da pesca ed ancore. In base a ciò, risulterebbe sufficiente un interrimento pari a circa 0.5m per fornire una protezione sicura.

A seguire si riporta una tabella riepilogativa delle dimensioni possibili per le trincee interessate dalla posa dei cavi in progetto.

Tabella 4.8 – Riepilogo dimensioni della trincea.

Larghezza di Scavo – LS [m]	0.4-0.7
Profondità Minima di Interrimento – PMI [m]	0.3 - 1.8
Margine di Sicurezza – MS [m]	0.2
Tolleranza dovuta alla mobilità del fondale [m]	0 – 0.25
Profondità di Interrimento – PI [m]	0.4 – 2
Diametro del Cavo – DC [m]	0.2
Profondità della Trincea – PT [m]	0.6 – 2.2

Si precisa comunque che, solo in fase ante-operam di progetto e a seguito di indagini più dettagliate che permettano di localizzare con assoluta precisione le biocenosi di pregio o interferenze puntuali con elementi geomorfologici notevoli, sarà possibile definire una strategia di posa definitiva che adoperi azioni di micro-



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica
Elettrodotto marino

Codice documento:
C0421BR00POSELE01a

Data emissione:
Giugno 2024

Pagina
32 di 73

localizzazione con l'intento di minimizzare gli impatti sull'ambiente marino, controllando comunque i rischi legati alle interferenze con agenti esterni.

4.3.2.1. Stima preliminare dei volumi di escavazione

Sulla base delle analisi svolte e dei risultati ottenuti si propone una stima preliminare dei volumi di materiale escavato e dei tempi necessari alle attività. Per ovvi motivi si tralasciano i tratti di elettrodotto interessati da strategie di protezione alternative.

Ai fini del calcolo sono state utilizzate le lunghezze della trincea riportate in Tabella 4.6, le profondità di trincea (PT) riportate in Tabella 4.7 e, in via conservativa, la massima larghezza di trincea (LT) riportata in Tabella 4.8.

Nella a tabella si riporta il calcolo del volume movimentato (VM) per ogni singola tratta dell'elettrodotto interrato.

Tabella 4.9 – Stima dei volumi di scavo.

-	Lungh. [m]	PT [m]	LT [m]	VM [m ³]
TRATTO 1	-	-	-	-
TRATTO 2	-	-	-	-
TRATTO 3	-	-	-	-
TRATTO 4	-	-	-	-
TRATTO 5	-	-	-	-
TRATTO 6	-	-	-	-
TRATTO 7	-	-	-	-
TRATTO 8	700	0.95	0.7	466
TRATTO 9	500	0.6	0.7	210
TRATTO 10	1200	2.2	0.7	1848
TRATTO 11	2600	1.65	0.7	3003
TRATTO 12	2600	0.85	0.7	1547
TRATTO 13	5200	0.95	0.7	3458
TRATTO 14	3000	0.7	0.7	1470
TRATTO 15	2900	0.7	0.7	1421
TRATTO 16	1300	0.7	0.7	637
TRATTO 17	2600	0.7	0.7	1274
TRATTO 18	5100	0.7	0.7	2499
TRATTO 19	2400	0.7	0.7	1176
TRATTO 20	1400	0.7	0.7	686
TRATTO 21	700	0.7	0.7	343
TRATTO 22	3300	0.7	0.7	1617
TRATTO 23	3100	0.7	0.7	1519
TRATTO 24	2200	0.7	0.7	1078
TRATTO 25	1100	0.7	0.7	539
TRATTO 26	2900	0.7	0.7	1421
TOTALE PER CAVO	44800	-	-	26212
TOTALE PER ELETTRODOTTO (2 cavi)	89600			52424

Dalle stime effettuate risulta che, sulla base dell'attuale strategia di posa preliminare, si prevede una movimentazione di materiale escavato per la posa dell'elettrodotto marino di esportazione pari a circa 54000 m³.

Tale volume sarà in buona parte recuperato durante le operazioni di ricoprimento e affossamento del singolo



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica
Elettrodotto marino

Codice documento:
C0421BR00POSELE01a

Data emissione:
Giugno 2024

Pagina
33 di 73

cavo; la restante parte sarà dispersa sul fondale marino entro pochi metri dal tracciato del cavo.

4.3.2.2. Stima preliminare dei tempi di escavazione

Per la stima dei tempi necessari alle sole operazioni di scavo delle trincee, in riferimento all'elettrodotto marino di esportazione, in via del tutto conservativa, per ogni tratto di cavo è stata presa in considerazione la velocità di scavo associata al mezzo di installazione che risulti più lento, tra quelli possibilmente utilizzabili per le generiche caratteristiche del fondale.

Tabella 4.10 – Stima dei tempi di scavo.

-	Mezzo	Velocità [m/h]	Lungh. [m]	Tempo [h]
TRATTO 1	-	-	-	-
TRATTO 2	-	-	-	-
TRATTO 3	-	-	-	-
TRATTO 4	-	-	-	-
TRATTO 5	-	-	-	-
TRATTO 6	-	-	-	-
TRATTO 7	-	-	-	-
TRATTO 8	Jet Trencher	300	700	2.3
TRATTO 9	Mechanical Trencher	200	500	2.5
TRATTO 10	Jet Trencher	300	1200	4
TRATTO 11	Jet Trencher	400	2600	6.5
TRATTO 12	Jet Trencher	400	2600	6.5
TRATTO 13	Jet Trencher	400	5200	13
TRATTO 14	Jet Trencher	400	3000	7.5
TRATTO 15	Jet Trencher	400	2900	7.3
TRATTO 16	Jet Trencher	400	1300	3.3
TRATTO 17	Jet Trencher	400	2600	6.5
TRATTO 18	Jet Trencher	400	5100	12.8
TRATTO 19	Jet Trencher	400	2400	6
TRATTO 20	Jet Trencher	400	1400	3.5
TRATTO 21	Jet Trencher	400	700	1.8
TRATTO 22	Jet Trencher	400	3300	8.3
TRATTO 23	Jet Trencher	300	3100	10.3
TRATTO 24	Jet Trencher	300	2200	7.3
TRATTO 25	Jet Trencher	400	1100	2.8
TRATTO 26	Mechanical Trencher	200	2900	14.5
TOTALE PER CAVO	-	-	44800	127
TOTALE PER ELETTRODOTTO (2 cavi)	-	-	89600	254

Dalle stime effettuate, per l'esecuzione degli scavi per la posa dell'elettrodotto marino di esportazione, è stato stimato un tempo necessario pari a circa 254 ore; considerando l'operatività continua della nave posa cavi (24 ore), si stima un periodo pari a 10.5 giorni.



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica
Elettrodotto marino

Codice documento:
C0421BR00POSELE01a

Data emissione:
Giugno 2024

Pagina
34 di 73

4.3.3. Dispersione del sedimento durante le attività di scavo

A supporto della presente relazione, la Proponente ha deciso di commissionare una valutazione degli effetti in termini di pennacchi di torbida che si generano durante la fase di posizionamento dei cavi ed all'accumulo di sedimento conseguente.

Infatti, durante la realizzazione della trincea accade che la frazione più fine (pelitica) del sedimento costituente il fondale rimane in sospensione ed è soggetta al trasporto, per effetto delle correnti.

Attraverso l'analisi degli esiti di specifici studi modellistici di dettaglio (idrodinamica tridimensionale e dispersione dei sedimenti), si riporta dunque una valutazione quantitative delle concentrazioni di sedimento in sospensione e di estensione dell'area potenzialmente interessata da condizioni di torbidità e dalla deposizione dei sedimenti in seguito alle operazioni di escavo per la posa dei cavi.

4.3.3.1. Risultati

I risultati ottenuti mediante l'applicazione del modello MIKE 3 MT sono riportati come:

- Distribuzione spaziale della concentrazione massima di sedimento sospeso, in termini totali (somma delle tre frazioni, argilla, limo e sabbia) nello strato di fondo.
- Distribuzione spaziale del tempo di persistenza di concentrazioni del sedimento superiori a 10 mg/l, riferiti ad un intero periodo di simulazione (5 giorni).
- Distribuzione spaziale dell'accumulo massimo di sedimento (coincidente con la fine del periodo di simulazione), in termini totali (somma delle tre frazioni, argilla, limo e sabbia).

Prima di procedere al commento delle risultanze, col fine di individuare un termine di paragone con cui stimare un impatto, si precisa che a livello internazionale la concentrazione di 2 mg/l viene diffusamente considerata la soglia al di sotto della quale l'acqua è da considerarsi "limpida" e per valori di concentrazione di sedimento inferiori a tale soglia nessuna specie può essere "perturbata". L'acqua inizia in genere ad essere definita "torbida" quando i valori di concentrazione di sedimento sospeso superano i 10 mg/l; questa è la soglia a cui si è fatto riferimento per l'analisi della persistenza.

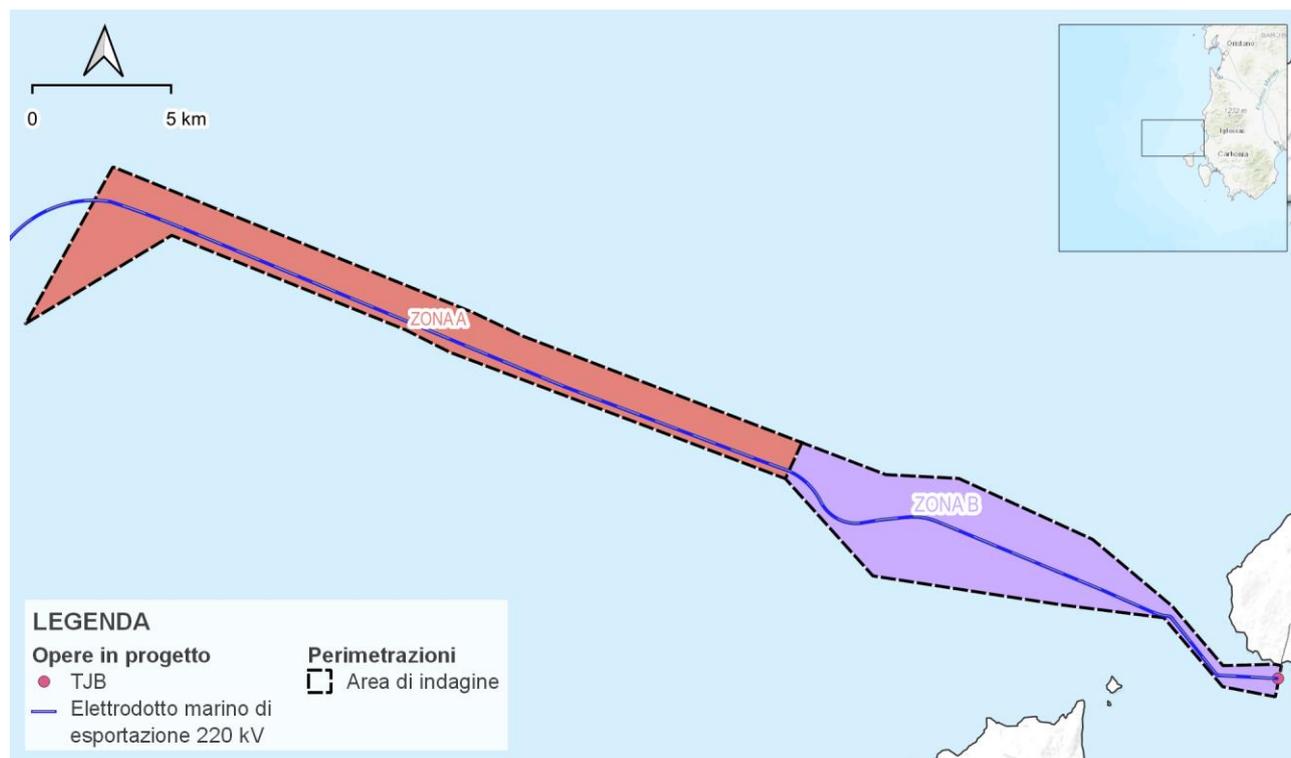


Figura 4.21 – Zone di valutazione della torbidità.



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica
Elettrodotto marino

Codice documento:
C0421BR00POSELE01a

Data emissione:
Giugno 2024

Pagina
35 di 73

Le considerazioni finali sono state sviluppate secondo due zone (Zona A e Zona B) differenti legate da condizioni mareografiche differenti oltre che da differenze di profondità notevoli (Figura 4.21).

Tutte le mappe riportate a seguire, i massimi di concentrazione e di accumulo sono calcolati come valore medio dei massimi valori riscontrati in ogni punto del dominio di calcolo durante ogni singola simulazione su tutto il periodo (5 giorni). Le mappe non sono pertanto rappresentative di uno specifico istante temporale, ma individuano gli involuipi delle condizioni peggiori che si possono raggiungere in diversi istanti, durante il periodo di esecuzione delle operazioni.

La mappa in Figura 4.22 riguardante il sedimento sospeso, mostra che il pennacchio di torbida si estende su una fascia lievemente più ampia nel secondo tratto, ossia per profondità superiori ai 200 m (zona B), a causa della maggiore percentuale della frazione fine dei sedimenti che costituiscono il fondale, rispetto al primo tratto (58.5% nella zona B rispetto a 13.5% nella zona A). Le differenze sono lievemente attenuate dalla maggiore densità secca (seppur in maniera modesta) che caratterizza la zona A (1327 kg/m^3 rispetto a 1203 kg/m^3 della zona B) che comporta, a parità di volume, una maggiore massa solida dragata e, pertanto, un maggior tasso di sedimento rilasciato durante le operazioni.

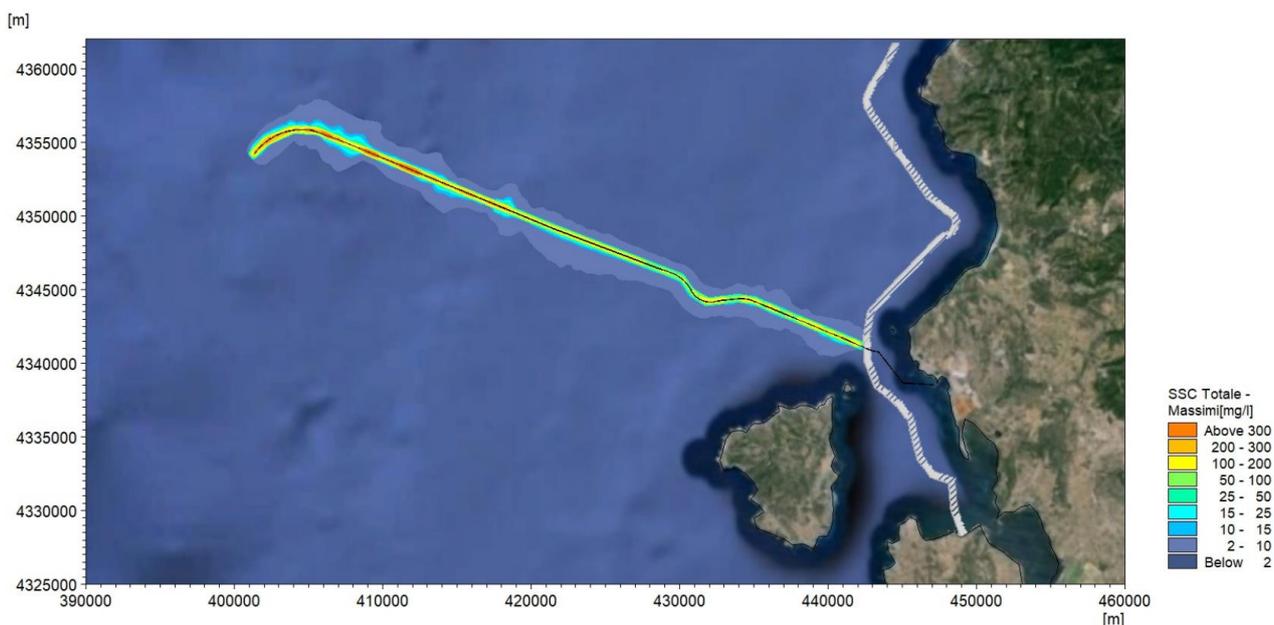


Figura 4.22 – Distribuzione spaziale della media annuale delle massime concentrazioni di sedimento sospeso in termini totali nello strato di fondo. La curva in bianco indica il limite della fascia con presenza di Prateria di Posidonia.

Se si fa riferimento alla soglia di 2 mg/l , il pennacchio di torbida, centrato sul tracciato dei cavi, presenta una larghezza massima di circa 4 km. Tuttavia, le concentrazioni maggiori, sopra i 200 mg/l , si presentano esclusivamente in prossimità del tracciato e già ad una distanza di mediamente 400 m le concentrazioni si riducono significativamente e rientrano nell'ordine di 10 mg/l .

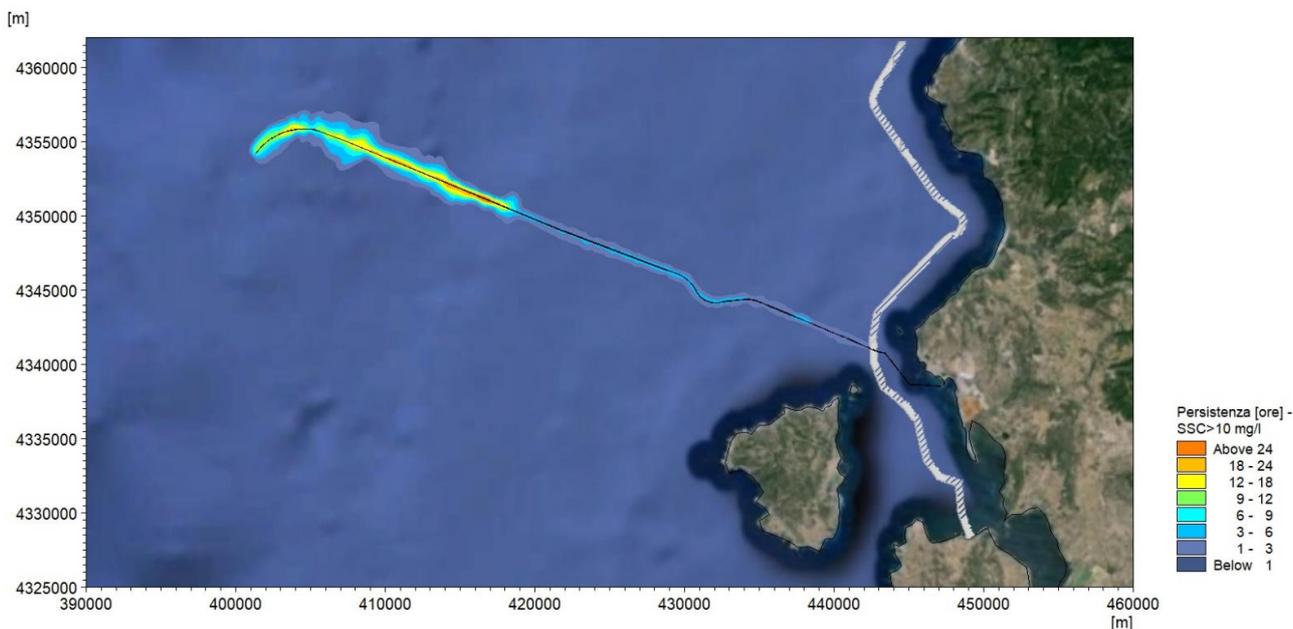


Figura 4.23 – Distribuzione spaziale del tempo di persistenza (in ore) media annuale delle concentrazioni di sedimento sospeso superiori a 10 mg/l, nello strato di fondo. La curva in bianco indica il limite della fascia con presenza di Prateria di Posidonia

Facendo riferimento al tempo di persistenza di concentrazioni del sedimento superiori a 10 mg/l Figura 4.23, tale concentrazione viene superata per un periodo superiore ad 1 ora durante le operazioni in un corridoio centrato sui tracciati, ampio mediamente circa 900 m per la zona A, e variabile tra 1 km e 3.5 km per la zona B; nuovamente la differenza tra le due zone è da attribuirsi alla diversa percentuale di fini, oltre al maggiore idrodinamismo in prossimità del fondale che caratterizza la prima parte del tracciato. Infatti, all'aumentare delle profondità le velocità di corrente diminuiscono; questa condizione fa sì che il pennacchio di torbida abbia un'estensione orizzontale limitata, ma di maggiore persistenza. In generale i risultati mostrano inoltre che le concentrazioni al fondo (ossia nello strato dove si presentano le concentrazioni più elevate) tendono ad esaurirsi (raggiungendo valori al di sotto della soglia di 10 mg/l) dopo un periodo di tempo variabile a seconda della particolare idrodinamica locale, ma comunque non superiore alle 4-5 ore (durate le operazioni) per la zona A, mentre per la zona B, lungo il tracciato della trincea la persistenza è mediamente pari a 18 ore, con valori poco superiori alle 24 ore in alcuni tratti.

Le tre frazioni granulometriche considerate, argilla, limo e sabbia, presenti in percentuali differenti, presentano una diversa velocità di sedimentazione che comporta un maggiore o minore tempo di permanenza del sedimento nella colonna d'acqua. In generale, il modello ha evidenziato che il pennacchio di sedimenti sospesi è determinato per lo più dalla frazione argillosa, mentre la frazione sabbia tende a depositarsi subito al fondo.

Dal punto di vista del sedimento depositato (Figura 4.24) si osserva un accumulo massimo dell'ordine di un paio di centimetri nella zona A e di quasi 3 cm nella zona B che si verifica lungo il tracciato interessato dalle operazioni di trenching. Se si considerano depositi minimi di materiale pari a un millimetro, la fascia interessata è ampia mediamente circa 600 m centrata sui tracciati dei cavi. Si evidenzia che l'approccio modellistico che è stato seguito ipotizza che il 50% del volume dragato si depositi immediatamente: questa quota parte di volume non viene pertanto immesso nel modello e quindi non rientra nel bilancio di massa complessivo. Le analisi sono dunque incentrate sul restante 50% del volume dragato (spill) soggetto alle dinamiche di trasporto e sedimentazione.

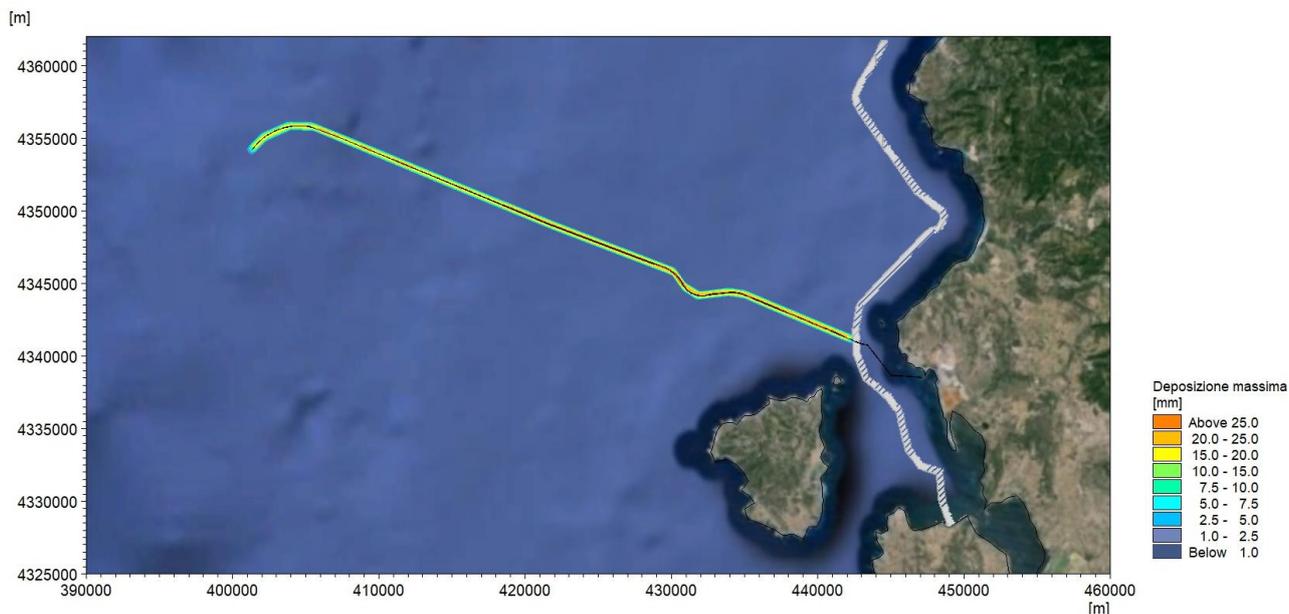


Figura 4.24 – Distribuzione spaziale media annuale dei massimi accumuli al fondo di sedimento, in termini totali (somma delle tre frazioni, argilla, limo e sabbia). La curva in bianco indica il limite della fascia con presenza di Prateria di Posidonia.

Si precisa che la fascia dove è presente la Prateria di Posidonia è interessata da condizioni di torbidità inferiori ai 2 mg/l (acqua limpida).

In generale e con particolare riferimento agli accumuli di sedimento al fondo, non sono state ravvisate particolari criticità in quanto, i valori massimi sono particolarmente esigui, ovvero nell'ordine di 3cm e limitati alle aree adiacenti al percorso del generico cavo.

Infine, in merito all'aumento dei livelli di torbidità all'interno della colonna d'acqua, si rammenta che si tratta comunque di impatti reversibili e di breve periodo (massimo 24 ore per la condizione più svantaggiosa), motivo per cui è ragionevole pensare che entro pochi giorni a seguito delle attività di installazione si possa ristabilire la condizione persistente nello scenario ante operam.

4.3.3.1.1. Confronto con la torbidità generata da una mareggiata

Con lo scopo di comparare le condizioni di torbidità sopra descritte, a seguire si riporta il confronto con la torbidità naturale che si genera per effetto di una mareggiata nell'area nearshore interessata dalla posa dell'elettrodotto, tra l'isola di San Pietro e la costa di Portoscuso.

Come mareggiata di riferimento è stato selezionato un evento caratterizzato da altezze d'onda elevate, ma frequenti; nello specifico, la mareggiata è stata individuata tale da presentare al picco un valore di altezza d'onda significativa più prossimo a quello calcolato per un periodo di ritorno 1 anno, ossia pari a 6.24 m. La direzione media di propagazione della mareggiata, è stata individuata con provenienza dal settore prevalente, ossia dalle direzioni comprese tra 300°N e 345°N. Poiché il periodo simulato dal punto di vista della circolazione generale è il 2021, è stata selezionata una mareggiata con le caratteristiche sopra descritte all'interno di questo anno.

Come mareggiata di riferimento è stata considerata quella avvenuta a Dicembre 2021 (picco di mareggiata: 11/12/2021 ore 7:00) le cui caratteristiche, in termini di altezza d'onda significativa e direzione nel tempo, nel punto al largo estratto dal database MWM, sono rappresentate nella figura seguente.



Figura 4.25 – Rappresentazione delle altezze d'onda significative (curva in rosso) e direzioni medie di propagazione (freccie in blu – il verso è di provenienza) al largo durante la mareggiata studiata. Periodo: 10.12.2021-12.12.2021.

Risultati

Per calcolare le tensioni tangenziali generate al fondo dalla mareggiata, i volumi di sedimento che potenzialmente vengono messi in sospensione e le relative concentrazioni in colonna d'acqua è stato applicato il modello MIKE 3 MT.

Nella fascia litoranea più vicina alla costa, ossia indicativamente fino ad una profondità di circa 10 m, le concentrazioni di sedimenti messi in sospensione durante una mareggiata nello strato di fondo sono risultate maggiori di 1000 mg/l, ossia superiori alle concentrazioni che si riscontrano lungo il tracciato durante le operazioni di scavo. Questi risultati confermano che la torbidità generata durante le operazioni di movimentazione di sedimenti è inferiore rispetto a quanto accade naturalmente sotto-costa durante una mareggiata con periodo di ritorno 1 anno.



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica
Elettrodotto marino

Codice documento:
C0421BR00POSELE01a

Data emissione:
Giugno 2024

Pagina
39 di 73

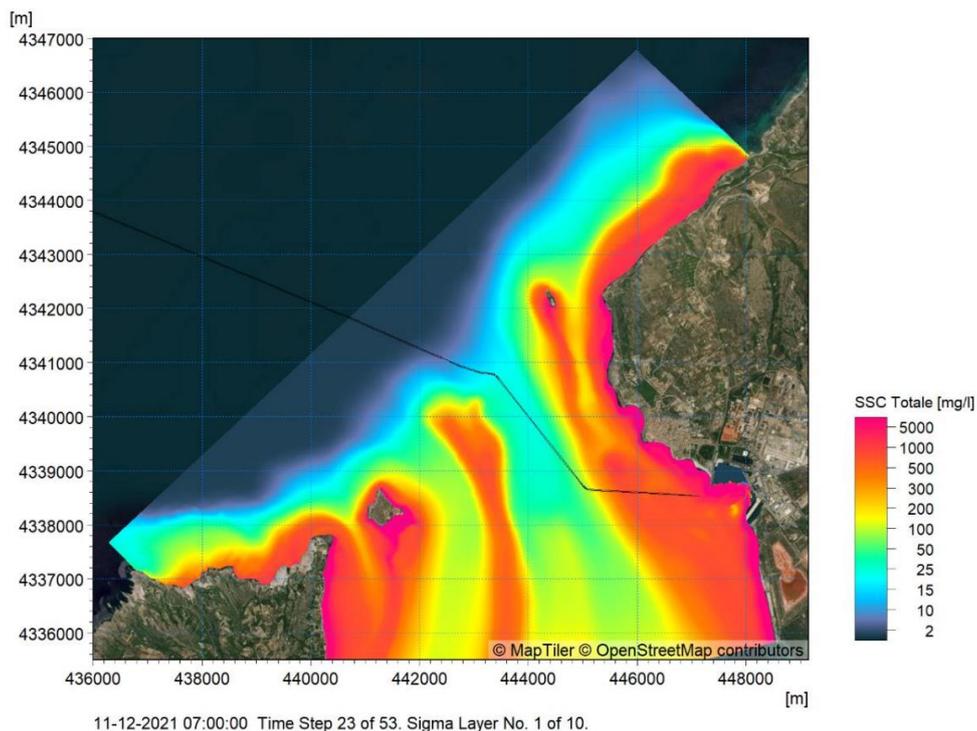


Figura 4.26 – Mappa delle concentrazioni di sedimento sospeso al fondo al picco della mareggiata.

Tale ulteriore valutazione ha dunque permesso di comprendere meglio l'entità del fenomeno di torbidità legato alle attività di scavo per la posa dell'elettrodotto marino. I valori di concentrazione di torbida dovuta ad una mareggiata comune sono risultati pari a quasi 5 volte i corrispettivi legati alle attività di scavo; ciò consente di ribadire l'entità esigua degli impatti legati al fenomeno in oggetto.



5. CARATTERIZZAZIONE DELLA ZONA DI INTERVENTO

Come già detto, la Proponente ha effettuato con il supporto di società di consulenza una campagna geofisica nel tratto di mare interessato dalle opere in progetto. Tali indagini hanno permesso per alcune aree di caratterizzare le comunità fito-zoobentoniche presenti ed identificare le biocenosi di pregio.

5.1. Analisi del Macrozoobenthos

Il piano di campionamento del macrozoobenthos ha previsto il prelievo dei campioni attorno alla direttrice del tracciato dell'elettrodotto marino, a partire da 3 km dalla costa (corrispondente con la fine dell'area SIN) sino ad una distanza di 3 NM.

Lo studio del macrozoobenthos di fondo mobile è stato effettuato sui campioni prelevati in 5 stazioni in doppia replica, per un totale di 10 campioni.

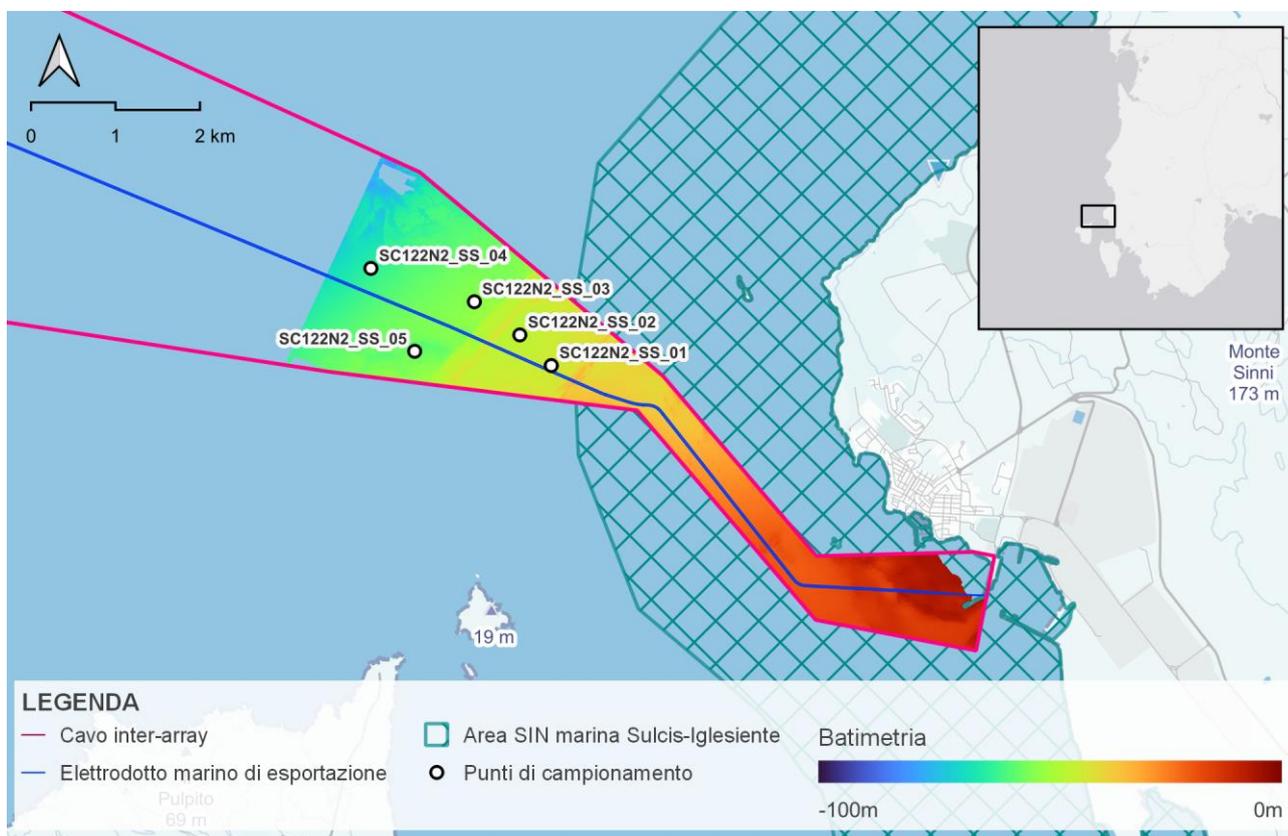


Figura 5.1 – Stazioni di campionamento.

Tabella 5.1 – Elenco stazioni e sigla dei campioni del macrozoobenthos.

Sigla stazione	Stazione	Data Campionamento	Profondità [m]
SC122N2_SS_01	STZ1	09/09/2022	43.4
SC122N2_SS_02	STZ2	09/09/2022	46.0
SC122N2_SS_03	STZ3	09/09/2022	53.8
SC122N2_SS_04	STZ4	08/09/2022	63.2
SC122N2_SS_05	STZ5	08/09/2022	56.3

I campioni di macrozoobenthos, raccolti tramite benna Van Veen, setacciati a 1 mm in nave (a cura del committente) e conservati in alcool 95% con aggiunta di Rosa Bengala (circa 1g/5l), sono stati trattati in laboratorio seguendo la seguente procedura:



- sorting e suddivisione degli organismi per grandi taxa;
- determinazione sistematica fino al livello di specie ove possibile;
- annotazione dei conteggi di abbondanza relativa per ciascun taxon.

Il sorting è stato effettuato tramite stereo-microscopio (ZEISS Stemi 508) al fine di suddividere i vari taxa presenti, che sono stati recuperati e conservati in una soluzione acquosa con etanolo al 70%, per la successiva fase di determinazione tassonomica. I taxa selezionati sono stati i Molluschi, gli Anellidi Policheti, i Crostacei e gli Echinodermi; gli altri gruppi presenti sono stati comunque identificati e conservati.

La determinazione sistematica fino al livello di genere o di specie, ove possibile, è stata effettuata tramite stereomicroscopio (ZEISS Stemi 508) e microscopio ottico (Konus).

Per la determinazione dei Molluschi sono stati utilizzati i testi di Bedulli et al. (1995a; b), Bodon et al. (1995a; b), Giannuzzi-Savelli et al. (1997), Nordsieck (1968; 1972; 1982), Piani (1980), Poppe & Goto (1991; 1993), Sabelli et al. (1990-92; 1994) e Schiaparelli (1994). Per la determinazione degli Anellidi Policheti sono stati utilizzati i testi di Beesley et al. (2000), Campoy (1982), Castelli et al. (1995; 2005-06), Fauchald (1977), Fauvel (1923a; b), Pettibone (1982) e San Martin (1984). Per la determinazione dei Crostacei malacostraci sono stati utilizzati i testi di D'Udekem d'Acoz (2007), Falciai & Minervini (1992), Forest & Zariquiey Alvarez (1964), García-Gómez (1994), Ingle (1993), Ngoc-Ho (2003), Noel (1992), Ruffo (1982) e Zariquiey Alvarez (1968). Infine, per gli Echinodermi sono stati utilizzati i testi di Tortonese (1965; 1979).

5.1.1. Risultati

Nei campioni oggetto di questo studio sono stati riscontrati complessivamente 195 individui appartenenti a 75 taxa, dei quali 64 identificati a livello di specie come riportato nella tabella seguente.

Tabella 5.2 – Composizione del Macrozoobenthos.

Crustacea	20	75
Annelida Polychaeta	31	68
Mollusca	15	24
Echinodermata	5	22
Oligochaeta	1	1
Nemertea	1	3
Sipuncula	1	1
Chaetognatha	1	1
Totale	75	195

L'analisi quali-quantitativa dei campioni ha portato all'identificazione delle specie di macroinvertebrati bentonici riportate in tabella seguente con l'indicazione delle rispettive abbondanze in termini di numero di individui.

Tabella 5.3 – Elenco delle specie di macrozoobenthos per campione con l'indicazione del relativo numero di individui.

Nome	STZ1	STZ2	STZ3	STZ4	STZ5	n° individui
Crustacea						
<i>Ampelisca brevicornis</i>					3	3
<i>Ampelisca pseudosarsi</i>					4	4
<i>Ampelisca tenuicornis</i>				1		1
<i>Bathyporeia lindstromi</i>				2	23	25
<i>Caprella lilliput</i>	3	5				8
<i>Leptocheirus bispinosus</i>		1				1
<i>Leptocheirus mariae</i>				1		1
<i>Leucothoe oboa</i>	1					1
<i>Microdeutopus femm.</i>		5				5



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica
Elettrodotto marino

Codice documento:
C0421BR00POSELE01a

Data emissione:
Giugno 2024

Pagina
42 di 73

<i>Monoculodes packardi</i>		2				2
<i>Pontocrates altamarinus</i>	3					3
<i>Socarnes filicornis</i>		1				1
<i>Tryphosites longipes</i>				1		1
<i>Urothoe elegans</i>				4	4	8
<i>Nannastacus longirostris femm.</i>	1					1
<i>Janira maculosa (?)</i>	2	2				4
<i>Jaera nordmanni</i>		1				1
<i>Copepode</i>		1				1
<i>Haplostylus normani</i>		1		1	1	3
<i>Apseudopsis acutifrons</i>					1	1
Mollusca						
<i>Abra prismatica</i>					2	2
<i>Varicorbula gibba</i>		1		2	1	4
<i>Gouldia minima</i>		1				1
<i>Hiatella arctica</i>					1	1
<i>Lyonsia norvegica</i>					2	2
<i>Lucinoma borealis</i>		1				1
<i>Kurtiella bidentata</i>	1					1
<i>Gari costulata</i>		4				4
<i>Similipecten similis</i>				1		1
<i>Thracia phaseolina juv.</i>					1	1
<i>Timoclea ovata</i>				1		1
<i>Caecum trachea</i>		1				1
<i>Calyptraea chinensis</i>		2				2
<i>Melanochlamys algrae</i>		1				1
<i>Polipacoforo juv.</i>		1				1
Echinodermata						
<i>Amphipholis squamata</i>		15		1		16
<i>Ofiura juv.</i>	1					1
<i>Leptosynapta inhaerens</i>		1				1
<i>Leptosynapta minuta</i>		3				3
<i>Echinocardium ind.</i>				1		1
Polychaeta						
<i>Arabella geniculata</i>		2				2
<i>Armandia polyophthalma</i>			1		2	3
<i>Dioplosyllis cirrosa</i>		2				2
<i>Eunice vittata</i>	1	2	1			4
<i>Exogone naidina</i>	1	1				2
<i>Galathowenia oculata</i>				13		13
<i>Glycera lapidum</i>	2	3				5
<i>Glycera unicornis</i>					1	1
<i>Hilbigneris gracilis</i>	2					2
<i>Hyalinoecia ind.</i>			1			1
<i>Hyalopomatus marenzelleri</i>		1				1
<i>Hydroides stoichadon</i>		1				1
<i>Lumbrinerides acuta</i>	2					2
<i>Lumbrineris ind.</i>		1				1
<i>Lysidice unicornis</i>	5	1				6
<i>Neogyptis mediterranea</i>		1				1
<i>Nereis pelagica</i>		2				2



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica
Elettrodoto marino

Codice documento:
C0421BR00POSELE01a

Data emissione:
Giugno 2024

Pagina
43 di 73

<i>Owenia fusiformis</i>					3	3
<i>Paradoneis ilvana</i>	1					1
<i>Paraehlersia ferrugina</i>		1				1
<i>Praxillella lophoseta</i>			1			1
<i>Pisione remota</i>	1	3				4
<i>Pista cristata</i>			1			1
<i>Sigalion mathildae</i>					1	1
<i>Sillide stolone</i>		1				1
<i>Scolecopsis (Parascolecopsis) tridentata</i>			1			1
<i>Scoloplos armiger</i>					1	1
<i>Sphaerosyllis bulbosa</i>	1					1
<i>Sphaerosyllis taylori</i>		1				1
<i>Spio decorata</i>					1	1
<i>Websterinereis glauca</i>		1				1
Oligochaeta						
<i>Oligocheiti</i>		1				1
Nemertea						
<i>Nemertini</i>	3					3
Sipuncula						
<i>Aspidosiphon (Aspidosiphon) muelleri</i>		1				1
Chaetognatha						
<i>Sagitta ind.</i>		1				1

Nella tabella seguente è riportato invece l'elenco faunistico ordinato secondo classificazione tassonomica.

Tabella 5.4 – Lista delle specie con inquadramento tassonomico.

Phylum/Subphylum	Ordine/Classe	Sottoclasse/Ordine	Sottordine/Famiglia	Taxon
Arthropoda	Malacostraca	Amphipoda	Ampeliscidae	<i>Ampelisca brevicornis</i>
				<i>Ampelisca pseudosarsi</i>
				<i>Ampelisca tenuicornis</i>
			Aoridae	<i>Microdeutopus femm.</i>
			Bathyporeiidae	<i>Bathyporeia lindstromi</i>
			Caprellidae	<i>Caprella lilliput</i>
			Corophiidae	<i>Leptocheirus bispinosus</i>
				<i>Leptocheirus mariae</i>
			Leucothoidae	<i>Leucothoe oboa</i>
			Lysianassidae	<i>Socarnes filicomis</i>
		Oedicerotidae	<i>Monoculodes packardi</i>	
			<i>Pontocrates altamarinus</i>	
		Tryphosidae	<i>Tryphosites longipes</i>	
		Urothoidae	<i>Urothoe elegans</i>	
Cumacea	Nannastacidae	<i>Nannastacus longirostris</i>		
Isopoda	Janiridae	<i>Janira maculosa</i>		
		<i>Jaera nordmanni</i>		
Mysida	Mysidae	<i>Haplostylus normani</i>		
Tanaidacea	Apseudidae	<i>Apseudopsis acutifrons</i>		
Maxillopoda	Harpacticoida	<i>Harpacticoida ind.</i>		
Annelida	Polychaeta	Eunicida	Eunicidae	<i>Eunice vittata</i>
				<i>Lysidice unicornis</i>
			Lumbrineridae	<i>Hilbigneris gracilis</i>
				<i>Lumbrinerides acuta</i>



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica
Elettrodotto marino

Codice documento:
C0421BR00POSELE01a

Data emissione:
Giugno 2024

Pagina
44 di 73

Phylum/Subphylum	Ordine/Classe	Sottoclasse/Ordine	Sottordine/Famiglia	Taxon				
				<i>Lumbrineris ind.</i>				
			<i>Oeononidae</i>	<i>Arabella geniculata</i>				
			<i>Onuphidae</i>	<i>Aponuphis ind.</i>				
		<i>Phyllodocida</i>			<i>Glyceridae</i>	<i>Glycera lapidum</i> <i>Glycera unicornis</i>		
					<i>Hesionidae</i>	<i>Neogyptis mediterranea</i>		
					<i>Nereididae</i>	<i>Nereis pelagica</i> <i>Websterinereis glauca</i>		
				<i>Sigalionidae</i>	<i>Pisione remota</i> <i>Sigalion mathildae</i>			
					<i>Syllidae</i>	<i>Dioplosyllis cirrosa</i> <i>Exogone naidina</i> <i>Paraehlersia ferrugina</i> <i>Sphaerosyllis bulbosa</i> <i>Sphaerosyllis taylori</i>		
						<i>Oweniidae</i>	<i>Galathowenia oculata</i> <i>Owenia fusiformis</i>	
							<i>Scolecida</i>	<i>Maldanidae</i> <i>Paraonidae</i> <i>Opheliidae</i> <i>Orbiniidae</i>
				<i>Sabellida</i>		<i>Serpulidae</i>		
					<i>Serpulidae</i>	<i>Hyalopomatus marenzelleri</i> <i>Hydroides stoichadon</i>		
				<i>Spionida</i>	<i>Spionidae</i>	<i>Scolelepis tridentata</i> <i>Spio decorata</i>		
						<i>Terebellida</i>	<i>Terebellidae</i>	<i>Pista cristata</i>
				<i>Sipuncula</i>	<i>Sipunculidea</i>	<i>Aspidosiphonidae</i>	<i>Aspidosiphon muelleri</i>	
				<i>Clitellata</i>			<i>Oligochaete</i>	
				<i>Mollusca</i>	<i>Bivalvia</i>	<i>Anomalodesmata</i>	<i>Lyonsiidae</i>	<i>Lyonsia norwegica</i>
							<i>Thraciidae</i>	<i>Thracia phaseolina juv.</i>
		<i>Cardiida</i>	<i>Psammobiidae</i>			<i>Gari costulata</i>		
			<i>Semelidae</i>			<i>Abra prismatica</i>		
		<i>Galeommatida</i>	<i>Lasaeidae</i>			<i>Kurtiella bidentata</i>		
		<i>Imparidentia</i>	<i>Hiatellidae</i>			<i>Hiatella arctica</i>		
		<i>Lucinida</i>	<i>Lucinidae</i>			<i>Lucinoma borealis</i>		
<i>Myida</i>	<i>Corbulidae</i>	<i>Varicorbula gibba</i>						
<i>Pectinida</i>	<i>Propeamussiidae</i>	<i>Similipecten similis</i>						
<i>Venerida</i>	<i>Veneridae</i>	<i>Gouldia minima</i> <i>Timoclea ovata</i>						
		<i>Gastropoda</i>	<i>Cephalaspidea</i>			<i>Aglajidae</i>	<i>Melanochlamys algirae</i>	
<i>Littorinimorpha</i>	<i>Calyptraeidae</i>		<i>Calyptraea chinensis</i>					
	<i>Caecidae</i>		<i>Caecum trachea</i>					
<i>Polyplacophora</i>			<i>Polyplacophoro</i>					
<i>Echinodermata</i>	<i>Echinoidea</i>	<i>Spatangoida</i>	<i>Loveniidae</i>	<i>Echinocardium ind.</i>				
	<i>Holothuroidea</i>	<i>Apodida</i>	<i>Synaptidae</i>	<i>Leptosynapta inhaerens</i> <i>Leptosynapta minuta</i>				
			<i>Ophiuroidea</i>	<i>Amphilepidida</i>	<i>Amphiuridae</i>	<i>Amphioplis squamata</i>		



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica
Elettrodotto marino

Codice documento:
C0421BR00POSELE01a

Data emissione:
Giugno 2024

Pagina
45 di 73

Phylum/Subphylum	Ordine/Classe	Sottoclasse/Ordine	Sottordine/Famiglia	Taxon
<i>Chaetognatha</i>	<i>Sagittioidea</i>	<i>Aphragmophora</i>	<i>Sagittidae</i>	<i>Sagitta ind</i>

Per ogni stazione sono stati calcolati i seguenti indici: l'Indice di diversità di Shannon-Wiener (1948- 1949), l'Indice di Ricchezza specifica di Margalef (1958), l'Indice di Equitabilità o Evenness (Pielou, 1966) e l'Indice di Dominanza (Simpson, 1949).

L'indice di Diversità di Shannon-Wiener è stato calcolato sulla base dei dati di abbondanza, tramite la seguente formula:

$$H = - \sum_{i=1}^S \frac{n_i}{N} \times \ln \frac{n_i}{N}$$

dove N = numero di individui totale del campione, ni = numero di individui della specie i-esima e S = numero delle specie.

L'indice di Ricchezza specifica di Margalef prende in considerazione il rapporto tra il numero di specie totali e il numero totale di individui in una comunità. Quante più specie sono presenti nel campione, tanto più alto sarà tale indice. La formula utilizzata è stata la seguente:

$$D = \frac{S - 1}{\ln N}$$

ove S = numero totale di specie del campione e N = numero totale di individui.

L'indice di Equitabilità o Evenness stima la ripartizione degli individui tra le varie specie che compongono una comunità. Tale indice presenta il valore massimo nel caso teorico in cui tutte le specie siano presenti con la stessa abbondanza, cioè lo stesso numero di individui, mentre presenta un valore basso nel caso in cui ci sia una sola specie abbondante e numerose specie con pochi individui. La formula applicata è stata:

$$J = \frac{H'}{\log S}$$

ove H' = valore dell'indice di Shannon-Wiener per quella comunità e S = il numero delle specie.

L'indice di Dominanza di Simpson esprime la concentrazione delle specie all'interno della comunità ed esprime la probabilità che due individui presi a caso appartengano alla stessa specie; si calcola con la seguente formula:

$$1 - \lambda = 1 - \sum \left(\frac{n_i}{N} \right)^2$$

Dove N = numero di individui totale del campione e ni = numero di individui della specie i-esima.

I risultati degli indici appena descritti sono riportati in tabella seguente. Il maggior numero di specie, 39, è stato riscontrato nella stazione 2 (STZ2), mentre il minore nella stazione 3 (STZ3), con 6 specie. Nelle stesse stazioni (STZ2 e STZ3) sono stati riscontrati i valori massimi e minimi di abbondanza, espressa in numero di individui, rispettivamente con 77 e 6 individui.

La Diversità, calcolata tramite l'indice di Shannon-Wiener, ha mostrato il valore maggiore nella stazione STZ2 con H' = 3,53, e quello minore nella stazione STZ4, con H' = 2,12.

Anche la Ricchezza specifica, calcolata con l'indice di Margalef, è risultata maggiore nella stazione STZ2, con d = 8,75, è minore nella stazione STZ3, con d = 2,79.

L'Equitabilità ha presentato il valore maggiore nella stazione STZ3, con J = 1,23, mentre il valore minore è stato riscontrato nella stazione STZ4, con J = 0,81.

Infine, la Dominanza, calcolata con l'indice di Simpson, ha mostrato valori alti, prossimi all'uno, nelle tre stazioni più vicine alla costa (STZ1, STZ2, STZ3) ed i più bassi nelle due più distanti (STZ4 e STZ5, entrambi i casi con



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica
Elettrodotto marino

Codice documento:
C0421BR00POSELE01a

Data emissione:
Giugno 2024

Pagina
46 di 73

valore di 0,79).

Tabella 5.5 – Valori degli indici ecologici per ciascuna stazione.

	STZ1	STZ2	STZ3	STZ4	STZ5
CRUSTACEA					
n° specie	5	9	0	6	6
n° individui	10	19	0	10	36
POLYCHAETA					
n° specie	9	16	6	1	6
n° individui	16	24	6	13	9
MOLLUSCA					
n° specie	1	8	0	3	5
n° individui	1	12	0	4	7
ECHINODERMATA					
n° specie	1	3	0	2	0
n° individui	1	19	0	2	0
OLIGOCHAETA					
n° specie	0	1	0	0	0
n° individui	0	1	0	0	0
NEMERTEA					
n° specie	1	0	0	0	0
n° individui	3	0	0	0	0
SIPUNCULA					
n° specie	0	1	0	0	0
n° individui	0	1	0	0	0
CHAETOGNATHA					
n° specie	0	1	0	0	0
n° individui	0	1	0	0	0
Risultati					
Numero totale di specie	17	39	6	12	17
Numero totale di individui	31	77	6	29	52
Indice di Diversità di Shannon	2.94	3.53	2.2	2.12	2.3
Indice di Ricchezza specifica di Margalef	4.66	8.75	2.79	3.27	4.05
Indice di Equitabilità	1.04	0.96	1.23	0.85	0.81
Indice di Dominanza di Simpson	0.95	0.95	1	0.79	0.79

Sulla matrice dei dati di abbondanza per specie, dopo trasformazione dei dati in radice quadrata, è stata condotta l'analisi dei cluster (Cluster Analysis) e di ordinamento tramite il non-metric MultiDimensional Scaling (nMDS). La matrice di similarità è stata calcolata attraverso l'indice di Bray-Curtis (Clarke & Warwick, 1994). Tutte le analisi dei dati sono state effettuate tramite l'impiego del software Past4.10 e Primer6.

I risultati della Cluster analysis e del nMDS sono riportati nelle figure seguenti. Dal dendrogramma ottenuto dall'analisi dei cluster e dal modello di ordinamento del nMDS si evidenzia una netta separazione delle stazioni più costiere, STZ1 e STZ2, da quelle del largo, STZ4 e STZ5, la stazione centrale (STZ3) resta invece separata da questi due gruppi, evidenziando una situazione intermedia tra le precedenti.



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica
Elettrodotto marino

Codice documento:
C0421BR00POSELE01a

Data emissione:
Giugno 2024

Pagina
47 di 73

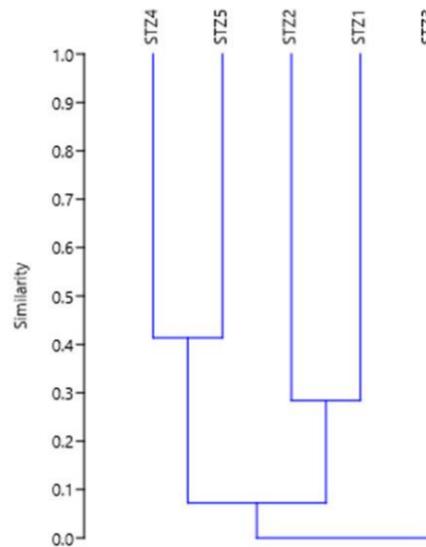


Figura 5.2 – Dendrogramma ottenuto con la Cluster analysis.

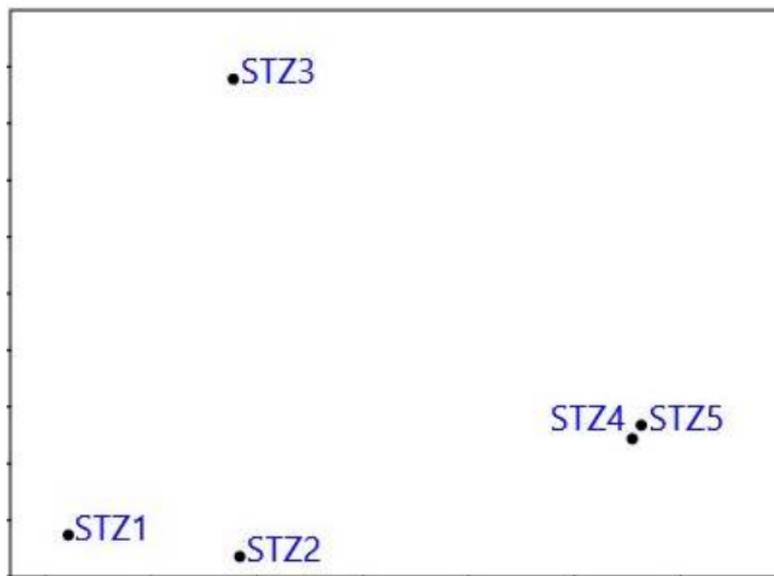


Figura 5.3 – Modello di ordinamento ottenuto dall'MDS.

L'analisi della composizione in specie dei campioni raccolti nelle varie stazioni permette di spiegare le differenze tra le stazioni evidenziate dall'analisi dei cluster e dall'MDS.

Il popolamento delle stazioni 1 e 2 evidenzia la presenza di sedimenti grossolani di sabbie arricchite da elementi organogeni tipici del detritico e di sabbie soggette a un marcato regime idrodinamico, come le correnti di fondo delle sabbie ad Anfiosso. Al contrario, nelle stazioni 4 e 5 i sedimenti si dimostrano molto più fini, essenzialmente sabbie fangose e fanghi sabbiosi, arricchiti anche da materia organica e detriti vegetali; la stazione 3 evidenzia un'area occupata da sedimenti misti, costituiti da sabbie medio-grossolane ed elementi più fini con aggiunta di detriti vegetali. Qui, come anche nell'area delle stazioni 4 e 5, i fondali rivelano in parte un carattere instabile del regime sedimentario, il quale è indice di una transizione da una fascia sedimentaria ad un'altra, chiaramente evidenziata dalla suddetta discontinuità cenotica nel popolamento bentonico. La stazione 3, infatti, contraddistinta dalla maggiore povertà faunistica rispetto alle aree adiacenti, rappresenta la



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica
Elettrodotto marino

Codice documento:
C0421BR00POSELE01a

Data emissione:
Giugno 2024

Pagina
48 di 73

transizione dai sedimenti grossolani delle stazioni 1 e 2 a quelli fini delle stazioni 4 e 5; a sua volta l'aspetto di instabilità sedimentaria di queste due ultime stazioni può essere indicativo della transizione verso la fascia dei sedimenti più profondi.

I popolamenti macrozoobentonici si presentano assai ricchi e diversificati con una evidente elevata diversità ecologica, come è rivelato dal fatto che la maggior parte delle specie sono presenti con uno o due individui e le specie dominanti sono pochissime. Pertanto le biocenosi in entrambe le fasce sedimentarie risultano ben strutturate con una diversificazione di rapporti con il substrato da parte delle varie specie. Infatti, alle specie tipiche dei fondi mobili, che sono associate alla diversa granulometria e composizione del sedimento, si aggiungono specie dell'iperbenthos, che vivono trasferendosi, con ritmo circadiano, dagli strati superficiali del sedimento alla colonna d'acqua. Non mancano neanche alcune specie che, essendo tipiche abitanti dei fondi duri, hanno colonizzato le porzioni più grossolane dei detriti organogeni. Inoltre, è degno di nota che alcuni individui siano risultati in evidente fase riproduttiva, come lo stolone dei sillidi e le femmine ovigere degli isopodi ed anfipodi, a sottolineare ulteriormente il buon grado di strutturazione delle comunità bentoniche che, a sua volta, è indice del buon funzionamento delle stesse.

La valutazione dello stato ecologico basato sullo studio della comunità macrozoobentonica di fondo mobile è stata effettuata applicando l'Indice M-AMBI (Multivariate-Azti Marine Biotic Index) (Muxika et al., 2007). Tale indice, adottato a livello nazionale con DM 260/2010, viene utilizzato per definire il grado di qualità dello stato ambientale attraverso il calcolo dell'indice AMBI, basato sull'attribuzione delle specie a cinque gruppi in base ad altrettanti gradi di tolleranza/sensibilità rispetto agli stress ambientali. A questo viene aggiunta la diversità, la ricchezza specifica e l'ordinamento mediante analisi multivariata per arrivare al calcolo del M-AMBI.

Come detto, le specie vengono attribuite a diversi gruppi ecologici distinti in relazione alla sensibilità ai gradienti di stress ambientale in questo modo:

- GI: specie sensibili
- GII: specie sensibili/tolleranti
- GIII: specie tolleranti
- GIV: specie opportuniste (secondo ordine)
- GV: specie opportuniste (primo ordine)

Il calcolo dell'indice avviene secondo la seguente formula:

$$AMBI = [(0 \times \%GI) + (1,5 \times \%GII) + (3 \times \%GIII) + (4,5 \times \%GIV) + (6 \times \%GV)]/100$$

Il valore di M-AMBI viene calcolato mediante l'utilizzo di un apposito software, disponibile sul sito <http://ambi.azti.es/>, che tiene conto della lista delle specie e del relativo gruppo ecologico di appartenenza. Ai fini della classificazione della comunità di macroinvertebrati bentonici, i valori di qualità dello stato ecologico, suddivisi in 5 classi, ed i valori di riferimento per la valutazione dello stato ecologico sono indicati nelle tabelle seguenti.

Tabella 5.6 – Classificazione dello stato di qualità ambientale secondo l'indice M-AMBI.

Stato di qualità ambientale	M-AMBI
Elevato	M-AMBI \geq 0.77
Buono	0.77 > M-AMBI \geq 0.53
Moderato	0.53 > M-AMBI \geq 0.39
Povero	0.39 > M-AMBI \geq 0.20
Cattivo	0.20 > M-AMBI



Tabella 5.7 – Valori di riferimento per la valutazione dello stato ambientale tramite l'indice M-AMBI.

Stato	AMBI	Diversità	Ricchezza specifica	M-AMBI	Stato
Cattivo	6.00	0.00	0.00	0.00	Cattivo
Elevato	0.43	4.61	36.00	1.00	Elevato

I risultati dell'indice M-AMBI, che variano tra 0 e 1, delle stazioni campionate sono riportati nella tabella e figura successiva.

Tabella 5.8 – Risultati dell'indice AMBI e M-AMBI per le stazioni dell'area esaminata.

Stazione	AMBI	Diversità	Ricchezza specifica	M-AMBI	Stato
STZ1	1.55	37.78	16	0.7	Buono
STZ2	0.76	46.14	36	0.98	Elevato
STZ3	1.5	2.59	6	0.53	Moderato
STZ4	1.18	27.85	12	0.61	Buono
STZ5	0.43	30.94	17	0.72	Buono

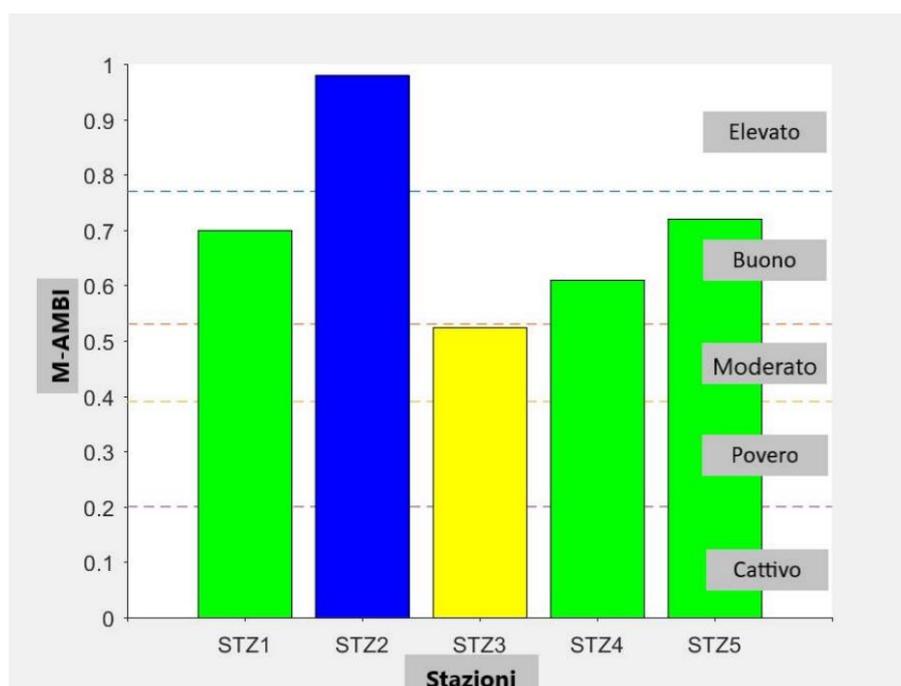


Figura 5.4 – Risultati della valutazione dello stato ecologico (Cattivo: 0.0-0.2; Povero: 0.2-0.4; Moderato: 0.4-0.53; Buono: 0.53-0.77; Elevato: 0.77-1.0) basata sull'indice M-AMBI per le stazioni dell'area in esame.

In generale, l'applicazione dell'indice M-AMBI ha permesso di classificare le stazioni di Portoscuso in uno Stato Ecologico che va da moderato ad elevato. Solo la STZ3 viene classificata come moderata, al contrario, la STZ2 è l'unica a ricadere nella classe elevata; le restanti appartengono tutte alla classe di buono stato ecologico. Nessuna stazione è stata classificata in cattivo/povero stato ecologico.

Alla luce delle considerazioni espresse, il buono stato di strutturazione dei popolamenti macrozoobentonici può far ragionevolmente prevedere la sostenibilità da parte del comparto biotico dei sedimenti dell'area esaminata a fronte di eventuali perturbazioni, in quanto le comunità stesse si trovano in condizione di poter ricolonizzare le porzioni dei fondali interessati dai lavori in tempi congrui a ripristinare la situazione attuale.



5.2. Cartografia degli habitat dei fondali

All'interno dell'area di indagine sono stati mappati sia i morfotipi che gli habitat esistenti; a seguire si porta una breve esposizione delle risultanze.

5.2.1. Morfotipi

All'interno dell'area sono stati individuati 4 morfotipi:

- Aree a fondi duri. Sono aree caratterizzate dalla presenza in affioramento del substrato roccioso. La natura del substrato può essere dedotta su base morfologica e comprende aree con affioramenti di rocce vulcaniche, aree con affioramenti di rocce sedimentarie terziarie e aree con *beachrock*. In particolare, possono essere identificati due cordoni di paleo-barriere che sono orientati trasversalmente rispetto al corridoio di passaggio del cavo.
- Aree a Posidonia oceanica su matte. Questo morfotipo occupa il settore più costiero ed è chiaramente identificabile su base morfologica.
- Aree a sabbie grossolane e ghiaie. Sono le aree a fondi mobili che occupano il settore più interno, e si estendono fino alla *beachrock* più distale. Sono caratterizzate dalla presenza di forme di fondo (*ripple-marks*) visibili nel sonogramma del SSS.
- Aree a sabbie medio-fini: sono presenti nel settore più distale. Dai dati di sismica a riflessione risulta che queste sabbie costituiscono uno strato superficiale di pochi metri al di sopra delle sabbie e ghiaie grossolane. Sono presenti anche forme di fondo del tipo *sorted bedforms*, analoghe a quanto descritto in altri settori della piattaforma occidentale della Sardegna (De Falco et al., 2015).

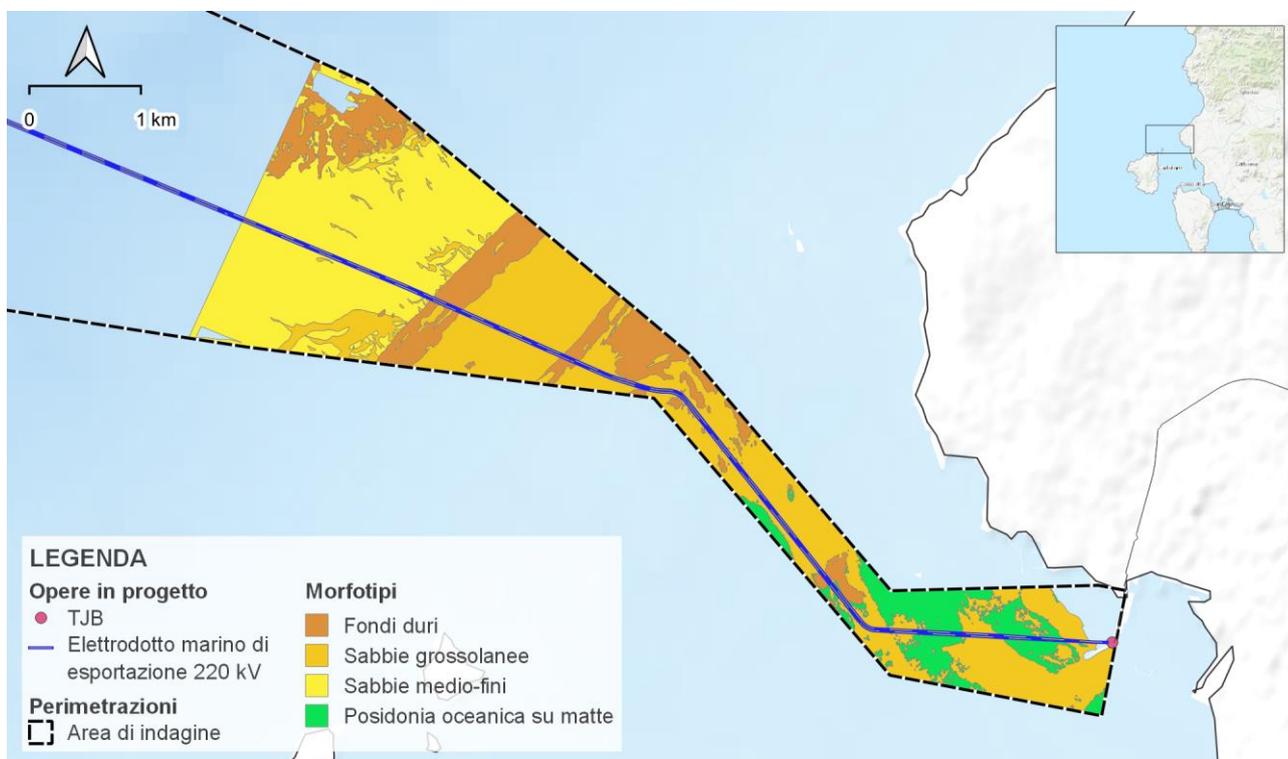


Figura 5.5 – Morfotipi.



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE

PROGETTO DEFINITIVO

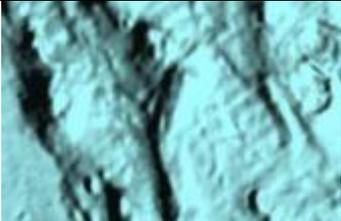
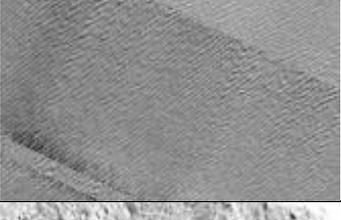
Relazione tecnica
Elettrodotto marino

Codice documento:
C0421BR00POSELE01a

Data emissione:
Giugno 2024

Pagina
51 di 73

Tabella 5.9 – Morfortipi identificati sulla base delle caratteristiche acustiche del fondale e relativa interpretazione.

	DTM – Multibeam	Side Scan Sonar	Interpretazione	Verità-mare	Immagine ROV
BED ROCK			Fondi Duri Affioramento del substrato roccioso di varia natura (vulcaniti, rocce sedimentarie terziarie, beachrock), colonizzato da diversi habitat bentonici	Immagini ROV	
MEDIUM FINE SAND			Sabbie medio-fini Sabbie miste silicoclastiche-bioclastiche, a granulometria medio-fine. Presenti forme di fondo del tipo Sorted Bedform	Campionamento/ Immagini ROV	
COARSE SAND			Sabbie grossolane/Ghiaie Sedimento grossolani con presenza di ripple marks evidenti nel rilievo SSS.	Campionamento/ Immagini ROV	
POSIDONIA MATTE			Posidonia oceanica su Matte. Prateria di Posidonia oceanica su fondo mobile.	Immagini ROV	



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica
Elettrodotto marino

Codice documento:
C0421BR00POSELE01a

Data emissione:
Giugno 2024

Pagina
52 di 73

Tabella 5.10 – Facies acustiche e interpretazione degli habitat bentonici.

	DTM – Multibeam	Side Scan Sonar	Interpretazione	Verità-mare	Immagine ROV
CORALLIGENOU SON_BEDROCK			Habitat a Coralligeno su substrato roccioso	Immagini ROV	
CORAL_POSIDONIA_ON_BEDROCK			Habitat a coralligeno su substrato roccioso con patch più o meno estese di Posidonia oceanica	Immagini ROV	
CORALLIGENOUS_ON_SAND			Habitat a coralligeno su substrato sabbioso	Immagini ROV	
POSIDONIA_CORALLIGENOUS_ON_SAND			Habitat a coralligeno su substrato sabbioso patch di Posidonia oceanica	Immagini ROV	



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting **Studio**

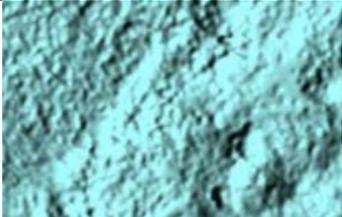
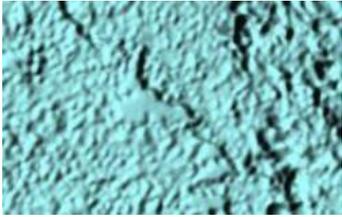
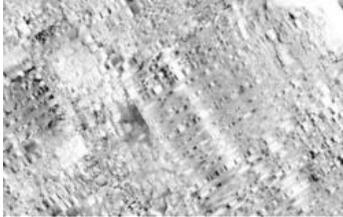
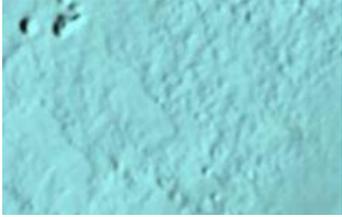
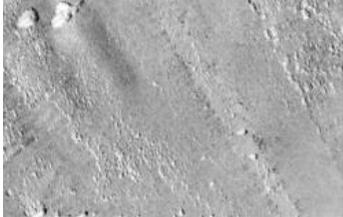
PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica
Elettrodotto marino

Codice documento:
C0421BR00POSELE01a

Data emissione:
Giugno 2024

Pagina
53 di 73

	DTM - Multibeam	Side Scan Sonar	Interpretazione	Verità-mare	Immagine ROV
POSIDONIA_ON _BEDROCK			Posidonia oceanica su substrato roccioso	Immagini ROV	
POSIDONIA_MA TTE			Posidonia oceanica su matte	Immagini ROV	
DEAD_MATTE			Matte morta di Posidonia oceanica		Non disponibili



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica
Elettrodotto marino

Codice documento:
C0421BR00POSELE01a

Data emissione:
Giugno 2024

Pagina
54 di 73

5.2.2. Habitat

Sono state individuate e descritte 7 tipologie di habitat presenti a fondo mare:

- Coralligeno su fondo duro. Banchi di coralligeno di piattaforma su fondo duro sono presenti nel settore più profondo associati agli affioramenti rocciosi (vulcaniti e beachrock esterna).
- Coralligeno e Posidonia oceanica su fondo duro. Nelle aree a profondità intermedia (30-40 m) i fondi rocciosi sono colonizzati da biocostruzioni a coralligeno alternate a patch di Posidonia oceanica. In particolare, nella beachrock interna, la Posidonia oceanica colonizza la parte alta della barriera, e il coralligeno è presente nei settori più profondi.
- Coralligeno su fondi mobili. Banchi isolati di coralligeno su fondo mobile sono presenti nel settore antistante (offshore) la beachrock più interna.
- Coralligeno su fondi mobili con Posidonia oceanica. Banchi isolati di coralligeno su fondo mobile parzialmente colonizzati da patch di Posidonia oceanica. Sono presenti nel settore retrostante la beachrock più interna.
- Posidonia oceanica su substrato roccioso. Patch più o meno continue di Posidonia oceanica presenti nelle aree rocciose più prossimali.
- Posidonia oceanica su matte. Questo habitat coincide con il morfotipo descritto precedentemente e occupa il settore più costiero.
- Posidonia degradata-matte morta. Occupa un ristretto areale nel settore più prossimale dell'area in studio. È formato dalla presenza della matte morta di Posidonia oceanica.

In figura seguente è stata anche riportata una ipotesi di percorso del cavo sottomarino. In questa ipotesi si è minimizzato il passaggio del cavo su habitat a Posidonia/coralligeno, al fine di ridurre al minimo gli impatti.

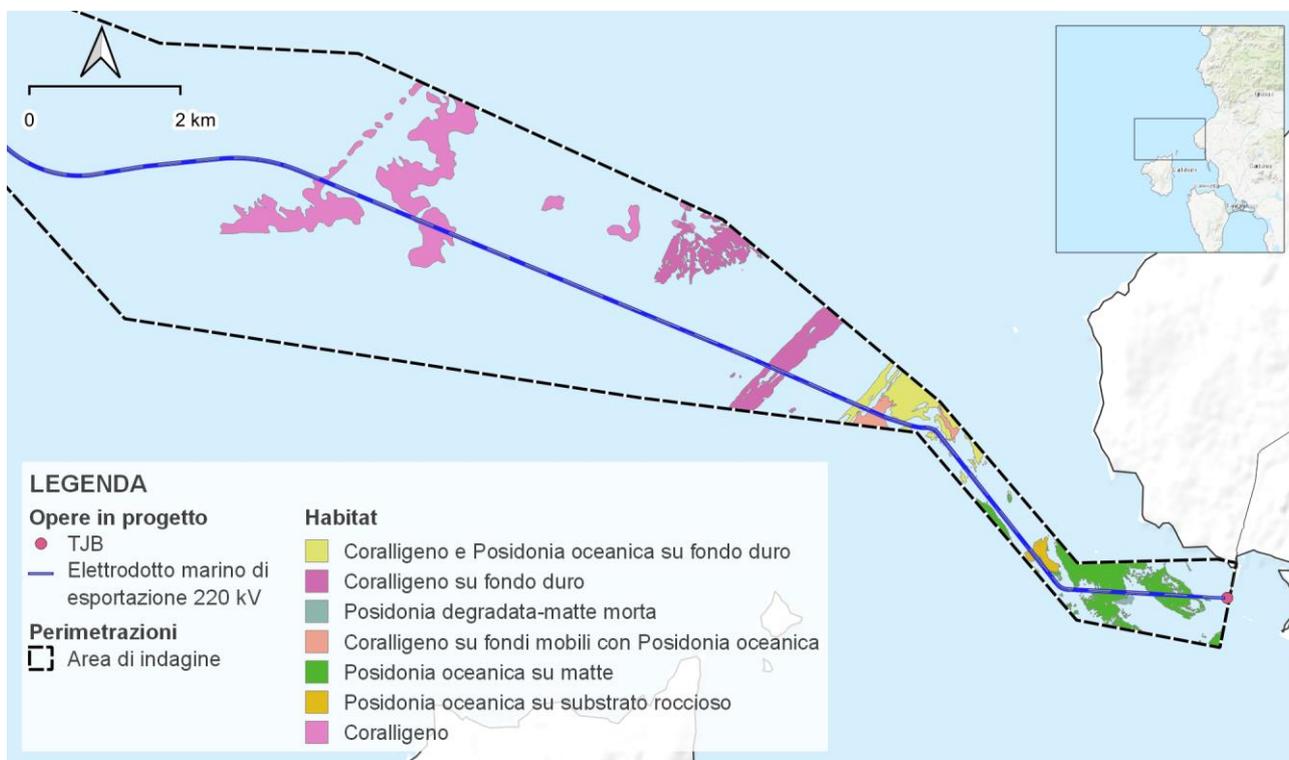


Figura 5.6 – Tipologie di habitat.



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting Studio

6. CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI DI RISULTA DELL'ESCAVO

Il piano di caratterizzazione ha previsto il prelievo dei campioni attorno alla direttrice del tracciato dell'elettrodotto marino, a partire da 3 km dalla costa sino ad una distanza di 3 NM. Si precisa che in aree più prossime alla costa, interessate dalla perimetrazione del Sito di Interesse Comunitario, non è stata effettuata alcuna caratterizzazione dal momento in cui non sono previste attività di scavo in trincea, ma solo posa dei cavi e copertura mediante materassi reattivi. Le 5 stazioni di campionamento sono le medesime riportate in Figura 5.1. Si precisa che, nel rispetto e secondo le modalità del DM 24/01/1996, in fase ante operam sarà effettuata una caratterizzazione di dettaglio dei previsti materiali di risulta dell'escavo.

A seguire la descrizione ed i risultati dei campionamenti effettuati.

6.1. Caratteristiche fisiche

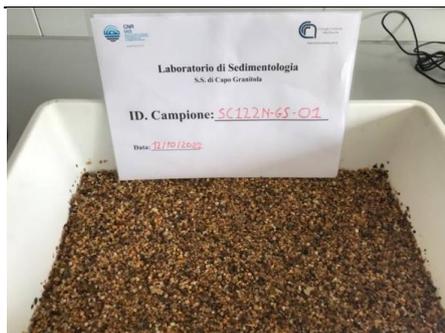
6.1.1. Analisi macroscopica

I campioni di sedimento, denominati: 01, 02, 03, 04 e 05, sono stati sottoposti all'analisi macroscopica (analisi visiva e olfattiva) che ne descrive le seguenti caratteristiche:

- Colore (Munsell Soil Color Charts 2009);
- Odore;
- Presenza di bioclasti;
- Presenza di concentrazioni;
- Residui di origine naturale o antropica.

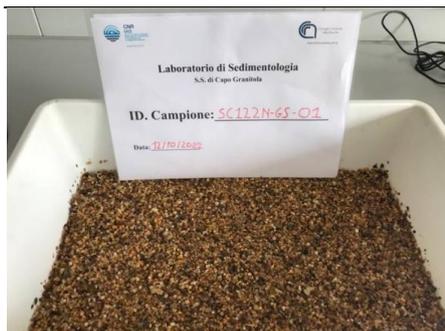
6.1.1.1. Risultati

Di seguito si riportano le caratteristiche macroscopiche dei campioni di sedimento.



ID.Campione SC122N-GS-01

Colore	10 YR 5/8 - yellowish brown
Odore	salmastro
Presenza di frammenti bioclastici	gusci di bivalvi
Presenza di concentrazioni	NO
Residui di origine naturale o antropica	NO



ID.Campione SC122N-GS-02

Colore	10 YR 5/8 - yellowish brown
Odore	salmastro
Presenza di frammenti bioclastici	gusci di bivalvi
Presenza di concentrazioni	NO
Residui di origine naturale o antropica	NO



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting Studio

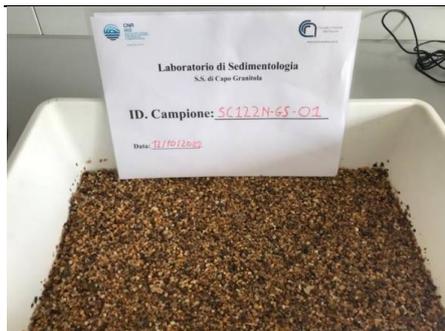
PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica
Elettrodotta marina

Codice documento:
C0421BR00POSELE01a

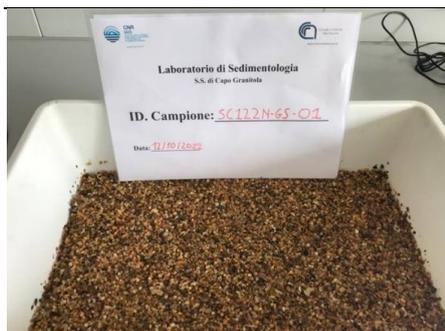
Data emissione:
Giugno 2024

Pagina
56 di 73



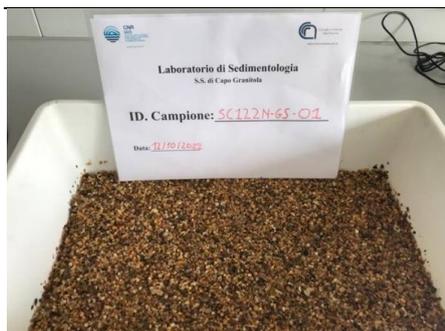
ID.CampioneSC122N-GS-03

Colore	10 YR 3/6 – dark yellowish brown
Odore	salmastro
Presenza di frammenti bioclastici	gusci di bivalvi
Presenza di concentrazioni	NO
Residui di origine naturale o antropica	NO



ID.CampioneSC122N-GS-04

Colore	2.5 Y 4/3 – olive brown
Odore	salmastro
Presenza di frammenti bioclastici	gusci di bivalvi
Presenza di concentrazioni	NO
Residui di origine naturale o antropica	NO



ID.CampioneSC122N-GS-01

Colore	2.5 Y 4/3 – olive brown
Odore	salmastro
Presenza di frammenti bioclastici	gusci di bivalvi
Presenza di concentrazioni	NO
Residui di origine naturale o antropica	NO

6.1.2. Analisi granulometrica

In fase preliminare, tutti i campioni sono stati trattati con una soluzione di perossido di idrogeno (30% w/v – 100 vol) ed acqua distillata in proporzione 1: 4 per 24 – 48 ore per l’eliminazione della sostanza organica e sottoposti a ripetuti lavaggi con acqua distillata per l’allontanamento di sali cementati “principalmente cloruro di sodio” (Buchanan J.B., 1984).

Il campione ben lavato viene successivamente messo in stufa ed essiccato ad una temperatura di 70° C e poi sottoposto a quartatura per mezzo di un apposito quartatore rotante al fine di ottenere un’aliquota di campione rappresentativo.

I campioni sono stati analizzati mediante setacciatura a secco utilizzando una pila di setacci a maglia quadrata con luce gradualmente decrescente verso il basso di $\phi/2$ e compresa tra 11,2 mm (-3,485 ϕ) e 63 μ m (4 ϕ).

I dati ottenuti sono stati informatizzati utilizzando il software “Fritsch Particle Sizer AUTOSIEB/A20” che permette la costruzione dell’istogramma di frequenza e della cumulata del campione analizzato.

6.1.2.1. Risultati

L’analisi granulometrica dei singoli campioni ha permesso di ottenere i valori dei percentili (Tabella 6.1) essenziali per ricavare mediante il metodo grafico i parametri statistici di Folk & Ward (1957) (Tabella 6.2) e le



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica
Elettrodotto marino

Codice documento:
C0421BR00POSELE01a

Data emissione:
Giugno 2024

Pagina
57 di 73

percentuali di ghiaia, sabbia e pelite presenti in ogni singolo campione (Tabella 6.3). I campioni sono stati suddivisi in classi granulometriche secondo la scala Udden - Wentworth (1922), i cui limiti di classe sono espressi in phi ($\phi = -\log_2$ del diametro dei granuli espresso in mm), secondo la scala proposta da Krumbein (1934).

La distinzione delle principali classi dimensionali (ghiaia, sabbia e pelite) è stata utilizzata per la classificazione dei sedimenti secondo il diagramma triangolare di Shepard modificato Schlee (1973) e Shepard (1954) utilizzando il software open source “SED PLOT, L.J. Poppe, A.H. Eliason, 2008”. (FIGURE 6 E 7).

I campioni, presentano un diametro medio compreso tra 2,560 ϕ (0,170 mm) e -1,460 ϕ (2,751 mm) e una classazione che risulta essere da buona a moderatamente buona, con valori compresi tra 0,391 e 1,128, indicando un ambiente ad alta energia, dove, la presenza di correnti consente il selezionamento dei sedimenti.

In fine, come si evince dalla Tabella 6.3 e dal diagramma triangolare di Shepard modificato Schlee (FIGURA 6) e Shepard (FIGURA 7), risulta che i campioni 01 e 02 ricadono nel campo della ghiaia, il campione 03 nel campo dei sedimenti ghiaiosi e i campioni 04 e 05 nel campo della sabbia.

Tabella 6.1 – Valori percentili.

ID. Campione	5 ϕ	16 ϕ	25 ϕ	50 ϕ	75 ϕ	84 ϕ	95 ϕ
01	-1.994	-1.836	-1.691	-1.344	-1.041	-0.837	-0.473
02	-1.987	-1.864	-1.756	-1.437	-1.182	-1.078	-0.704
03	-2.514	-1.885	-1.493	-0.837	-0.076	0.262	1.391
04	1.560	2.095	2.259	2.608	2.870	2.977	3.317
05	1.594	2.029	2.130	2.454	2.744	2.861	3.090

Tabella 6.2 – Parametri statistici di Folk & Ward.

ID. Campione	Parametri di tendenza centrale					σ_1	Sk1	KG	Classi dimensionali Di Wentworth
	M1 ϕ	M2 ϕ	M3 ϕ	Mz ϕ	m ϕ				
01	-1.276	-	-	-1.339	-1.344	0.48	0.079	0.959	Granuli
02	-1.328	-	-	-1.46	-1.437	0.391	0.027	0.916	Granuli
03	-0.872	-	-	-0.82	-0.837	1.129	0.083	1.129	Sabbie molto grossolane
04	2.716	-	-	2.56	2.608	0.487	-0.177	1.179	Sabbie fini
05	2.578	-	-	2.448	2.454	0.435	-0.086	0.998	Sabbie fini

Tabella 6.3 – Composizione Granulometrica.

ID. Campione	Composizione granulometrica				Classi dimensionali Di Wentworth
	% ghiaia	% sabbia	% silt	% argilla	
			% pelite		
01	78.0	22.0	0.0		Ghiaia
02	90.3	9.7	0.0		Ghiaia
03	43.1	56.8	0.1		Sedimento ghiaioso
04	0	99.9	0.1		Sabbia
05	0	99.8	0.2		Sabbia



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting Studio

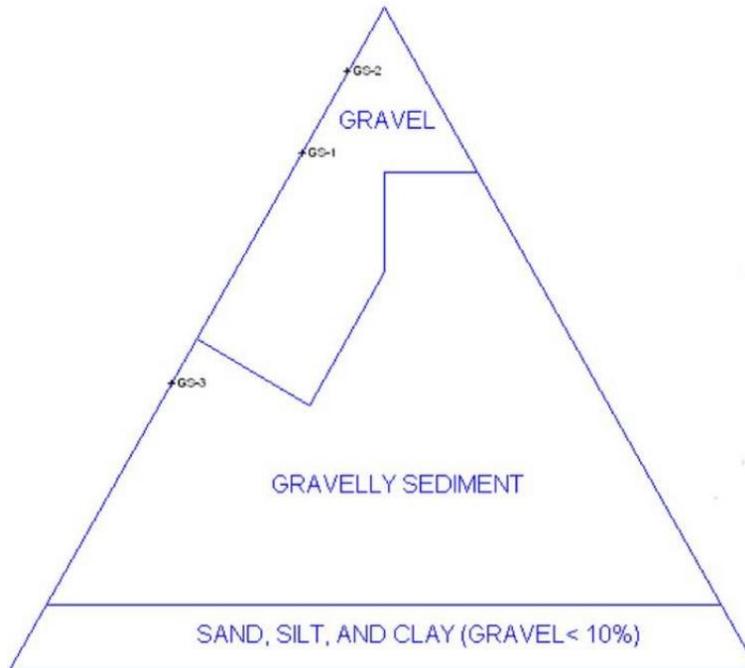


Figura 6.1 – Diagramma triangolare di Shepard modificato Schlee relativo ai campioni 01, 02 e 03.

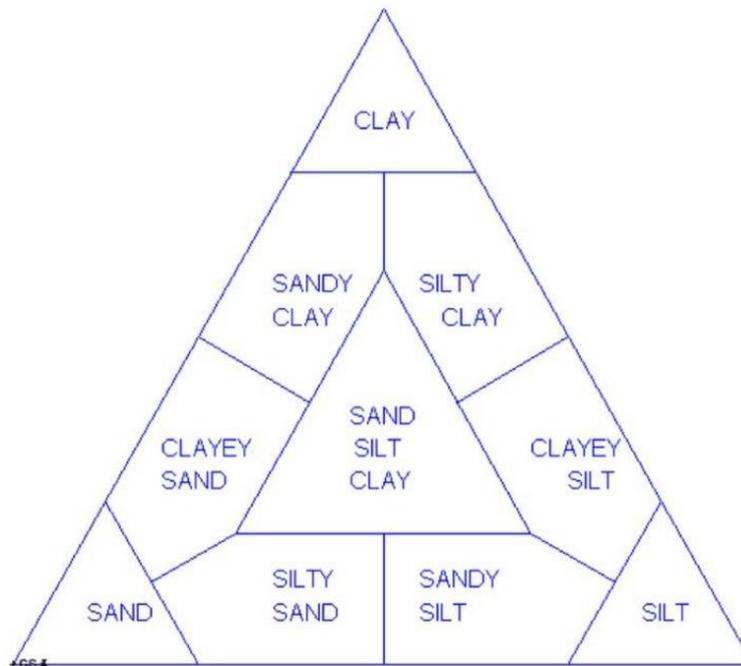


Figura 6.2 – Diagramma triangolare di Shepard relativo ai campioni 04 e 05

6.1.3. Contenuto d'acqua e peso specifico

La determinazione del contenuto d'acqua è stata eseguita come riportato nel D.M. 185 del 3.09.99 (metodo II.2): 20 g di sedimento viene posto in un crogiolo, portato in precedenza a peso costante, e posto in stufa a 105 °C per almeno 16 ore. Dopo raffreddamento in essiccatore si determina la percentuale di umidità per differenza di peso.

La determinazione del peso specifico è stata eseguita come riportata nella normativa ASTM D854: Ogni



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica
Elettrodotto marino

Codice documento:
C0421BR00POSELE01a

Data emissione:
Giugno 2024

Pagina
59 di 73

campione di sedimento è stato opportunamente essiccato in stufa a 105 - 110 °C per almeno 16 ore, raffreddato in essiccatore e disgregato in mortaio.

Per ogni misura è stata pesata una aliquota di 10 g di campione ed è stata seguita la procedura utilizzando picnometri da 100 ml.

6.1.3.1. Risultati

Nella tabella 31 sono sintetizzati i risultati relativi al contenuto d'acqua dei 5 campioni analizzati con valori che oscillano tra il 15.90 % del campione 02 e il 22.68 % del campione 05. Per quanto riguarda il peso specifico sono stati determinati valori che vanno da un minimo di 1.74 g/cm³ del campione 02 e un massimo di 1.92 del campione 04.

Tabella 6.4 – Contenuto d'acqua e peso specifico.

ID.CAMPIONE	Contenuto d'acqua (%)	Peso Specifico (g/cm3)
01	18.68	1.76
02	15.90	1.75
03	16.09	1.92
04	22.48	1.89
05	22.68	1.88

6.2. Caratteristiche chimiche

6.2.1. Determinazione delle concentrazioni di mercurio

Le concentrazioni di mercurio (Hg) sono state determinate su campioni di sedimento essiccati in stufa a T= 35°C e polverizzati con mortaio d'agata. Le determinazioni sono state eseguite mediante spettrofotometro analizzatore diretto (Direct Mercury Analyzer Tricell DMA-80) in accordo con la metodica analitica EPA 7473. Una matrice certificata (PACS-2; Hg 2.98±0.36 mg/kg-1) è stata analizzata all'inizio e alla fine dell'analisi per verificare la precisione (<6%, RSD%, n=2) della metodica analitica.

6.2.1.1. Risultati

Le concentrazioni di mercurio rilevate nei campioni di sedimento essiccati oscillano tra 37.4 e 61.5 µg/kg⁻¹, valori misurati rispettivamente nei campioni 02 e 05. I tenori si mantengono relativamente omogenei in tutti i campioni, con un valore medio misurato di 49.9± 10.5 µg/kg⁻¹.

Tabella 6.5 – Concentrazione di Mercurio.

ID.CAMPIONE	Concentrazione µg/kg
01	59.4
02	37.4
03	41.9
04	49.1
05	61.5

6.2.2. Determinazione delle concentrazioni dei metalli (Al, As, Cd, Cr totale, Cu, Pb, Ni, Zn)

La determinazione delle concentrazioni dei metalli è stata effettuata utilizzando uno spettrometro ad emissione atomica con sorgente al plasma (ICP-AES, iCAP7000 Thermo), previa mineralizzazione dei campioni con attacco acido totale in forno a microonde (Milestone ETHOS UP). La mineralizzazione è stata condotta seguendo il metodo Manuale ICRAM (2001-2003) per l'attacco acido totale a caldo del sedimento.

Una aliquota di circa 0,50 g di campione, essiccato e pestato, è stata posta nei vessels, a cui è stata aggiunta



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica Elettrodotto marino		
Codice documento: C0421BR00POSELE01a	Data emissione: Giugno 2024	Pagina 60 di 73

una miscela acida (9 ml di acido nitrico (HNO₃); 3ml di acido cloridrico (HCl), 2 ml di acido fluoridrico (HF) e lasciata a riposo per circa 15 minuti). I campioni sono stati sottoposti ad un ciclo di riscaldamento graduale in 4 step di circa 21 minuti raggiungendo una potenza massima di circa 600 Watt. Una volta raffreddati, a ciascun campione sono stati aggiunti 30 ml di soluzione satura di H₃BO₃ per tamponare l'acido fluoridrico utilizzato nell'attacco e per stabilizzare in soluzione alcuni composti (per es. i fluoruri) che altrimenti precipiterebbero.

Le analisi quantitative in ICP-AES sono state condotte utilizzando una curva di calibrazione esterna costruita interpolando le letture di un bianco e di 6 standard a concentrazione nota ottenuti per diluizione da soluzioni a concentrazione certificata. I parametri operativi dello strumento sono stati scelti in modo da ottenere il massimo rapporto segnale/rumore e le lunghezze d'onda lette per ciascun elemento sono state selezionate sulla base della loro intensità e dell'incidenza delle interferenze. Tutte le procedure di preparazione ed analisi dei campioni sono state effettuate utilizzando cappe chimiche, materiale plastico preventivamente pulito, reagenti con alto grado di purezza, in modo da limitare al massimo il rischio di contaminazione del campione.

La precisione analitica, calcolata sulla base della deviazione standard associata a tre letture consecutive eseguite per ciascun campione (RSD%; n=3) è in generale migliore del 4%. L'accuratezza della procedura di preparazione e della metodica metodica è stata definita utilizzando uno standard di riferimento internazionale (Reference Standard Material, RSM), il PACS-2. Il suo valore, calcolato come differenza % tra il valore trovato e quello certificato, varia tra 1-5%.

6.2.2.1. Risultati

Le concentrazioni di Alluminio (Al) rilevate nei campioni di sedimento essiccati oscillano tra 2.595 e 5.743 mg/kg, valori misurati rispettivamente nei campioni 02 e 05, il Cadmio (Cd) risulta sotto il limite di quantificazione (<0.01), ad eccezione del campione 05 che ha registrato un valore di 1.16 mg/Kg. Per il Cromo (Cr) i valori oscillano tra 3.26 e 7.26 mg/Kg misurati rispettivamente per i campioni 02 e 05. Il Nickel (Ni) varia da 1.93 e 3.11 mg/Kg rispettivamente per i campioni 04 e 02, il Piombo (Pb) oscilla tra 17.11 e 31.83 mg/kg per i campioni 04 e 01, il Rame (Cu) varia da 0.72 a 1.82 mg/Kg rispettivamente per i campioni 04 e 02, lo Zinco (Zn) varia da 45.24 e 117.61 mg/Kg rispettivamente per i campioni 02 e 05.

Tabella 6.6 – Concentrazione dei metalli.

	Analita	As	Cd	Cr (Tot.)	Ni	Pb	Cu	Zn	Al	
	U.M.	mg/kg p.s.	mg/kg p.s.	mg/kg p.s.	mg/kg p.s.	mg/kg p.s.	mg/kg p.s.	mg/kg p.s.	mg/kg p.s.	
	SQA del D.Lgs. 172/2015	12	0.3	50	-	30	-	-	-	
	Livelli chimici di riferimento del D.M. 173/2016	L1	12	0.3	50	30	30	40	100	-
		L2	20	0.80	150	75	70	52	150	-
ID. CAMPIONE	01	16.21	< valore del LOQ	3.91	2.36	31.83	1.52	46.41	4016	
	02	17.15	< valore del LOQ	3.26	3.11	26.10	1.82	45.24	2595	
	03	5.83	< valore del LOQ	4.03	2.72	19.26	1.41	63.71	3709	
	04	6.41	< valore del LOQ	6.81	1.93	17.11	0.72	80.53	3687	
	05	5.53	1.16	7.26	2.36	23.42	1.37	117.61	5742	

6.2.3. Determinazione idrocarburi

6.2.3.1. Determinazione idrocarburi policiclici aromatici (IPA e PCB)

La determinazione degli idrocarburi policiclici aromatici nei sedimenti è avvenuta attraverso tre passaggi fondamentali:



Ichnusa wind power srl

iLStudio.

Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica
Elettrodotta marina

Codice documento:
C0421BR00POSELE01a

Data emissione:
Giugno 2024

Pagina
61 di 73

- Estrazione degli IPA e PCB (metodo EPA 3546)
- Purificazione (metodo EPA 3620)
- Determinazione con GC/MS e GC/MSMS (metodo EPA8270).

Estrazione:

l'estrazione dai sedimenti è stata effettuata in conformità al metodo EPA 3546. Questo metodo prevede l'uso di una apparecchiatura di microvibrazione per mezzo di ultrasuoni. A tale scopo è stato utilizzato una sonda ad ultrasuoni tipo BANDELIN direttamente immersa nella miscela sedimento solvente per 10 min. A tale scopo sono stati pesati 3 g di campione direttamente in una vial di circa 40ml con 10 ml di Esano:Acetone (80:20). La vial è stata posta in una centrifuga a circa 3000 giri/min per 10 min e il surnatante è stato prelevato e purificato secondo la metodica EPA 3620.

Purificazione:

La purificazione è avvenuta in conformità al metodo EPA 3620. L'estratto, circa 10 ml di soluzione sono stati concentrati sino a circa 2 ml con l'ausilio di un rotavapor e purificati usando una colonna pre-impaccata tipo cartuccia SPE SIL da 6 ml per 1000 mg precaricata con 1 grammo circa di sodio solfato anidro, per anidrificare l'estratto. Infine la stessa cartuccia SPE è stata eluita con 5 ml di Esano.

La soluzione così purificata è stata portata a secchezza per mezzo di un multi-vapor e, successivamente, aggiunta una soluzione di 1 ml di esano. Una aliquota di 0,2 ml è stata usata per la determinazione degli IPA ed un'altra aliquota di 0,2 ml per i PCB.

A queste aliquote, poste in due vials con micro-insert per GC, sono stati aggiunti in una lo standard interno per gli IPA e nell'altra lo standard interno per i PCB.

Le vials di seguito sono state poste nell'autocampionatore per l'analisi in GC/MS per l'analisi degli IPA e nel GC/MSMS per l'analisi dei PCB.

Determinazione:

La determinazione degli IPA è avvenuta, in conformità al metodo EPA 8270D, usando un GC/MS con gascromatografo TRACE 1310 accoppiato ad uno spettrometro di massa (tipo ISQ), mentre i PCB sono stati determinati per mezzo di un GC/MSMS con gascromatografo TRACE 1310 accoppiato ad uno spettrometro di massa triplo quadrupolo (tipo TSQ 8000).

Le condizioni gascromatografiche usate sono state: iniettore in modalità splitless; temperatura dell'iniettore 280 °C; volume di iniezione 2 µl; il programma di temperatura del forno prevede una temperatura iniziale di 60 °C per 4 minuti, una rampa di 10 °C/min sino 270 °C e mantenuta per 5 minuti, una rampa di temperatura 20 °C/min sino a 340 °C e mantenuta per 5 min.

La colonna cromatografica usata è stata del tipo capillare DB5-MS di 30 m x 0,25 mm x 0,25 µm.

Lo spettrometro di massa per la determinazione degli IPA è stato impostato in modalità SIM, mentre per i PCB in modalità SRM.

Quantificazione:

La quantificazione degli IPA e dei PCB è avvenuta per confronto tra l'area sottesa al picco dell'analita, normalizzato con l'area dello standard interno, e la curva di calibrazione dello stesso analita.

6.2.3.1.1. Risultati

4.2.6 Analisi degli idrocarburi policiclici aromatici (IPA e PCB). Per quanto riguarda la determinazione degli idrocarburi policiclici aromatici (IPA), le analisi eseguite sui sedimenti hanno registrato per la maggior parte delle grandezze indagate, valori al di sotto del limite di quantificazione (tabella 33) ad eccezione del,



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica
Elettrodotto marino

Codice documento:
C0421BR00POSELE01a

Data emissione:
Giugno 2024

Pagina
62 di 73

Phenanthrene che presenta concentrazioni che oscillano tra 7.0 µg/kg del campione 05 e 22.4 µg/kg del campione 02; Fluoranthene con valori che vanno da 15.3 µg/kg nel campione 05 a 58.3 µg/kg del campione 02; Pyrene con valori variabili tra 34.6 µg/kg del campione 05 e 130.9 µg/kg del campione 02. La sommatoria IPA (ΣIPA) oscilla tra il minimo registrato nel campione 05 pari a 56.9 µg/kg e un massimo nel campione 02 pari a 218.1 µg/kg.

Le misure per la determinazione dei policlorobifenili (PCB) hanno anche in questo caso verificato che per la maggior parte dei congeneri analizzati, le concentrazioni sono al di sotto del limite di quantificazione, tanto che la sommatoria dei PCB (ΣPCB), è caratterizzata da concentrazioni molto basse con valori massimi di 1.34 µg/kg (campione 01).

6.2.3.2. Determinazione idrocarburi alifatici totali (c12-c40)

La determinazione degli idrocarburi alifatici nei sedimenti è avvenuta attraverso tre passaggi fondamentali:

- Estrazione degli idrocarburi alifatici totali (TPH = total petroleum hydrocarbon, C12-C40)
- Purificazione
- Determinazione con GC/MS.

Estrazione:

l'estrazione dai sedimenti è stata effettuata in conformità al metodo EPA 3546. Questo metodo prevede l'uso di una apparecchiatura di microvibrazione per mezzo di ultrasuoni. A tale scopo è stato utilizzato una sonda ad ultrasuoni tipo BANDELIN direttamente immersa nella miscela sedimento solvente per 10 min. A tale scopo sono stati pesati 3 g di campione direttamente in una vial di circa 40ml con 10 ml di Esano:Acetone (80:20). La vial è stata posta in una centrifuga a circa 3000 giri/min per 10 min e il surnatante è stato prelevato e purificato secondo la metodica EPA 3620.

Purificazione:

La purificazione è avvenuta in conformità al metodo EPA 3620.

L'estratto, circa 30 ml di soluzione è stato purificato dai composti sulfurei ponendo nella stessa provetta circa 200 mg di rame granulare. Dopo essere stato concentrato sino a circa 2 ml con l'ausilio di un rotavapor, è stato purificato dai composti organici polari usando una colonna pre-impaccata tipo cartuccia SPE Florisil da 1000mg/6 ml precaricata con 1 grammi circa di sodio solfato anidro, per anidrificare l'estratto. Infine la stessa cartuccia SPE è stata eluita con 5 ml di esano.

La soluzione così purificata è stata concentrata sino a secchezza, a mezzo rotavapor, ed è stato aggiunto 1 ml di esano contenente 10 ppm di standard interno (5alfa-androstane).

Questa soluzione è stata posta in una vials da 2ml e successivamente nell'autocampionatore del GC/MS.

Determinazione:

La determinazione degli analiti estratti è avvenuta a mezzo GC/MS della Thermo Fisher, gascromatografo FOCUS accoppiato con lo spettrometro di massa DSQII.

Le condizioni gascromatografiche usate sono state: iniettore in modalità splitless; temperatura dell'iniettore 280 °C; volume di iniezione 2 µl; temperatura iniziale 80 °C e mantenuta per 2 minuti; temperatura finale 320 °C e mantenuta per 10 minuti; rampa di temperatura 10 °C/min; colonna del tipo DB5-MS di 30m x 0,25 mm x 0,25 µm. Lo spettrometro di massa è stato impostato in modalità SIM per rilevare le masse fondamentali dei frammenti degli idrocarburi alifatici 57, 71, 85 m/z e 135 m/z per lo standard interno.

Quantificazione:

La quantificazione del TPH è avvenuta per confronto tra il rapporto dell'area sottesa alla curva corrispondente



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica
Elettrodotto marino

Codice documento:
C0421BR00POSELE01a

Data emissione:
Giugno 2024

Pagina
63 di 73

all'inizio del tempo di ritenzione dell'idrocarburo C12 sino al termine del picco corrispondente all'idrocarburo C40, e l'area sottesa al picco dello standard interno e il rapporto dell'area sottesa alla curva generata dalla soluzione standard EN 14039 and ISO 16703 e lo stesso standard interno usato per le analisi.

La quantificazione del TPH è avvenuta come sommatoria dei singoli analiti tenendo conto della quantità precisamente pesata e del fattore di concentrazione.

6.2.3.3. Determinazione idrocarburi alifatici volatili VOC (c<12)

Circa 2g di sedimento sono raccolti in una vial da 20 ml per spazio di testa nella quale sono stati 10 ml di una soluzione satura di cloruro di sodio e 0.2% di acido solforico. Al momento dell'analisi è stato aggiunto lo standard interno (BFB – bromo fluoro benzene). posto in un forno riscaldato a 85°C e sottoposto ad agitazione per 20 min. 1ml di campione in fase gassosa viene prelevato in modalità Head-Space con siringa gas-tight e iniettato nel Gascromatografo (Thermo TRACE GC 1310) con detector FID (flame ionization detector). La colonna capillare usata è del tipo Restek-XT®-5 (95% dimetil-5%difetilpolisilossano) di 30m x 0.25 mm x 1.00 µm. Il riconoscimento e la quantificazione dei singoli idrocarburi sono basati sul confronto dei tempi di ritenzione dei picchi del cromatogramma ottenuto dall'analisi dello standard con quello dell'estratto organico. La quantificazione, per mezzo di un apposito software (Excalibur della Thermo) per confronto tra le aree dei picchi dell'estratto del campione con la retta di calibrazione a 5 punti precedentemente ricavata.

6.2.3.4. Risultati totali

Tabella 6.7 – IPA – PCB – TPH C>12 – VOC C<12

PARAMETRO	Unità di misura.	SQA del D.Lgs. 172/2015	Livelli chimici di riferimento del D.M. 173/2016		ID. CAMPIONE				
			L1	L2	01	02	03	04	05
Naphtalene	µg/kg p.s	35	35	391	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
Acenaftilene	µg/kg p.s	-	-	-	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
Acenaphtene	µg/kg p.s	-	-	-	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
Fluorene	µg/kg p.s	-	21	144	2.0	2.0	< LOQ	< LOQ	< LOQ
Phenanthrene	µg/kg p.s	-	87	544	21.3	22.4	15.6	11.6	7.0
Anthracene	µg/kg p.s	24	24	245	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
Fluoranthene	µg/kg p.s	110	110	1494	45.1	58.3	19.6	21.4	15.3
Pyrene	µg/kg p.s	-	153	1398	95.2	130.9	43.3	46.3	34.6
Benzo(a)Antracene	µg/kg p.s	-	75	500	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
Chrysene	µg/kg p.s	-	108	846	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
Benzo(b)Fluoranthene	µg/kg p.s	40	40	500 ⁷	2.4	2.1	< LOQ	< LOQ	< LOQ
Benzo(k)Fluoranthene	µg/kg p.s	20	20	500 ⁷	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
Benzo(a)Pyrene	µg/kg p.s	30	30	100	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
Dibenzo(a,h)Anthracene	µg/kg p.s	-	-	-	2.8	2.8	< LOQ	< LOQ	< LOQ
Benzo(g,h,i)Perylene	µg/kg p.s	55	55	100 ⁷	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
Indeno(1,2,3)Perylene	µg/kg p.s	70	70	100 ⁷	2.3	2.3	< LOQ	< LOQ	< LOQ
ΣIPA	µg/kg p.s	-	900	4000	171.2	218.1	78.5	79.3	56.9
PCB 28	µg/kg p.s	-	-	-	0.656	< LOQ	0.081	< LOQ	0.038
PCB 52	µg/kg p.s	-	-	-	0.449	< LOQ	0.148	< LOQ	0.115



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting Studio**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**
PROGETTO DEFINITIVO**Relazione tecnica**
Elettrodotto marinoCodice documento:
C0421BR00POSELE01aData emissione:
Giugno 2024Pagina
64 di 73

PARAMETRO	Unità di misura.	SQA del D.Lgs. 172/2015	Livelli chimici di riferimento del D.M. 173/2016		ID. CAMPIONE				
			L1	L2	01	02	03	04	05
PCB 101	µg/kg p.s	-	-	-	0.238	< LOQ	0.884	< LOQ	0.515
PCB 81	µg/kg p.s	-	-	-	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
PCB 77	µg/kg p.s	-	-	-	< LOQ	0.095	0.058	0.044	0.033
PCB 114	µg/kg p.s	-	-	-	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
PCB 118	µg/kg p.s	-	-	-	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
PCB 123	µg/kg p.s	-	-	-	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
PCB 153	µg/kg p.s	-	-	-	< LOQ	< LOQ	0.040	< LOQ	0.039
PCB 105	µg/kg p.s	-	-	-	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
PCB 138	µg/kg p.s	-	-	-	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
PCB 126	µg/kg p.s	-	-	-	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
PCB 128	µg/kg p.s	-	-	-	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
PCB 157	µg/kg p.s	-	-	-	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
PCB 156	µg/kg p.s	-	-	-	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
PCB 167	µg/kg p.s	-	-	-	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
PCB 180	µg/kg p.s	-	-	-	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
PCB 170	µg/kg p.s	-	-	-	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
PCB 169	µg/kg p.s	-	-	-	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
PCB 189	µg/kg p.s	-	-	-	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
ΣPCB	µg/kg p.s	8	8	60	1.34	0.10	1.21	0.04	0.74
TPH C>12 (Idrocarburi alifatici totali)	µg/kg p.s	-	N.D.	50000	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
VOC C<12 (Idrocarburi alifatici volatili)	mg/kg	-	-	-	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ

6.2.4. Determinazione del TOC (Carbonio organico totale)

Il carbonio organico viene ossidato ad anidride carbonica, in condizioni standardizzate, con una soluzione di potassio bicromato in presenza di acido solforico. La velocità della reazione viene favorita dall'innalzamento della temperatura conseguente alla brusca diluizione dell'acido. La quantità di potassio bicromato che non ha reagito viene determinata per titolazione con una soluzione di ferro (II) solfato eptaidrato. Il punto finale della titolazione viene accertato con l'aggiunta di un opportuno Indicatore (4- difenilamminosolfonato). Si sono trasferiti 2 g di sedimento in un matraccio conico di Erlenmeyer da 250 ml e con una buretta di precisione si sono aggiunti 10 ml della di potassio bicromato (K₂Cr₂O₇) a titolo noto.

Successivamente 20 ml di acido solforico (H₂SO₄) [96%], lasciato a riposo per 30 minuti. Con 200 ml di H₂O preventivamente raffreddata in frigorifero si interrompe la reazione e si aggiungono 10 ml di acido fosforico (H₃PO₄) [85%] e 0,5 ml di indicatore. Tramite l'utilizzo di un agitatore magnetico si è titolato l'eccesso di bicromato di potassio con una soluzione a titolo noto di di ferro (II) solfato eptaidrato (FeSO₄ · 7H₂O) fino al viraggio dal blu al verde.



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica
Elettrodotto marino

Codice documento:
C0421BR00POSELE01a

Data emissione:
Giugno 2024

Pagina
65 di 73

6.2.4.1. Risultati

Tabella 6.8 – Carbonio organico totale.

TOC	
ID.CAMPIONE	g/kg
01	1.36
02	1.48
03	1.78
04	1.52
05	1.31

6.2.5. Determinazione del TBT (tributilstagno)

Per la determinazione dei TBT si è fatto riferimento alla metodica richiamata nel Manuale ICRAM - Metodologie analitiche di riferimento - Programma di monitoraggio per il controllo dell'ambiente marino-costiero (triennio 2001-2003). Tale metodo prevede infatti la determinazione del Tributilstagno senza la distinzione dei suoi prodotti di degradazione: dibutilstagno (DBT) e monobutilstagno (MBT).

Per la determinazione del Tributilstagno sono stati utilizzati 20 g di sedimento preventivamente essiccato in stufa a 40°C, posto in un imbuto separatore con 10 ml di HCl 6N e 20 ml di diclorometano (CH₂Cl₂). Dopo 4 ore di agitazione per favorire l'estrazione si sono aggiunti 5 g di NaCl, e successivamente i campioni vengono centrifugati a 1500 rpm per 10 minuti. Si ottengono tre fasi; la frazione di CH₂Cl₂ viene posta in beuta ed evaporata a secco in rotavapor a 30°C. Il residuo viene ripreso con 4 ml di esano, 3 ml di questi vengono posti in provette in vetro. Alla soluzione si aggiungono 3 ml di NaOH al 3% (v/v) per eliminare lo stagno inorganico e le forme mono- e di-alchilstagno. Si prelevano 2 ml di esano e si trasferiscono in provette da 5 ml per evaporarli a secco sotto flusso di azoto. Il residuo viene digerito con 1 ml di HNO₃ al 69% per 1 ora a 120°C. Si fa evaporare l'acido portando la temperatura a 150°C con le provette aperte. Il residuo viene ripreso con 2 ml di soluzione satura di acido borico con l'1% di HCl.

Lo stagno viene analizzato in ICP-AES, iCAP7000 Thermo con generatore di idruri.

6.2.5.1. Risultati

Le concentrazioni del Tributilstagno (TBT) rilevate nei campioni di sedimento essiccati risultano tutte al di sotto del limite di quantificazione del metodo (<0,003).

Tabella 6.9 – Carbonio organico totale.

TBT	
ID.CAMPIONE	µg/kg
01	<0.003
02	<0.003
03	<0.003
04	<0.003
05	<0.003

6.2.6. Azoto e fosforo totale

6.2.6.1. Determinazione del fosforo totale

La determinazione delle concentrazioni del fosforo è stata effettuata utilizzando uno spettrometro ad emissione atomica con sorgente al plasma (ICP-AES, iCAP7000 Thermo), previa mineralizzazione dei campioni con attacco acido totale con l'utilizzo del forno a microonde (Milestone ETHOS UP). La mineralizzazione è stata condotta seguendo il metodo UNI EN 16170: 2016 per l'attacco con acido nitrico.

Una aliquota di circa 2,0 g di campione, essiccato e pestato, è stata posta nei vessels, a cui è stata aggiunta



10 ml di acido nitrico. I campioni sono stati sottoposti ad un ciclo di riscaldamento graduale di 10 °C al minuto fino a 175 °C per poi rimanerci altri 10 minuti. Le analisi quantitative in ICP-AES sono state condotte utilizzando una curva di calibrazione esterna costruita interpolando le letture di un bianco e di 6 standard a concentrazione nota ottenuti per diluizione da soluzioni a concentrazione certificata. I parametri operativi dello strumento sono stati scelti in modo da ottenere il massimo rapporto segnale/rumore e le lunghezze d'onda lette per ciascun elemento sono state selezionate sulla base della loro intensità e dell'incidenza delle interferenze. Tutte le procedure di preparazione ed analisi dei campioni sono state effettuate utilizzando cappe chimiche, materiale plastico preventivamente pulito, reagenti con alto grado di purezza, in modo da limitare al massimo il rischio di contaminazione del campione. La precisione analitica, calcolata sulla base della deviazione standard associata a tre letture consecutive eseguite per ciascun campione (RSD%; n=3) è in generale migliore del 5%.

6.2.6.2. Determinazione dell'azoto totale

Il metodo si basa sull'ossidazione del campione in acido solforico concentrato (metodologia Kjeldahl), per rendere completa la trasformazione dell'azoto organico in azoto minerale, come ulteriore ossidante si è aggiunto perossido di idrogeno. In un pallone Kjeldahl da 300 ml si sono versati 2,5 g del campione di terra fine e si sono aggiunti 11 ml di acido solforico (H₂SO₄) al 96 % con alcune palline di vetro antispuzzo.

Successivamente 4 ml di perossido di idrogeno (H₂O₂) 30 % m/m. L'azoto viene distillato in ambiente alcalino e assorbito in una soluzione a titolo noto di acido solforico. L'eccesso di acido solforico viene titolato con soluzione a titolo noto di sodio idrossido, utilizzando come indicatore acido:base (verde di bromocresolo e rosso metile).

6.2.6.3. Risultati

I 5 campioni sono stati analizzati al fine di determinare la concentrazione del fosforo totale con valori che variano tra un minimo di 117.93 mg/kg del campione 02 ad un massimo di 223.61 mg/kg. Per quanto attiene l'azoto totale sono stati misurati valori che vanno da 0.20 g/kg del campione 05 a 0.32 g/kg del campione 03.

Tabella 6.10 – Concentrazione dei metalli.

	P(Tot.)	N(Tot.)
ID.CAMPIONE	mg/kg	g/kg
01	223.61	0.21
02	117.93	0.28
03	146.05	0.32
04	187.51	0.25
05	192.41	0.2

6.2.7. Determinazione dei pescidi

Si riportano nel seguito la metodologia applicata e i risultati delle analisi condotte sui sedimenti relative alla presenza di pesticidi organo-clorurati.

La determinazione dei Pesticidi Organo-clorurati (OCP) nei sedimenti è avvenuta attraverso tre passaggi fondamentali:

- Estrazione degli OCP (metodo EPA 3546);
- Purificazione (metodo EPA 3620);
- Determinazione con GC/MSMS (metodo EPA8270);
- Quantificazione.

Estrazione degli OCP (metodo EPA 3546)

L'estrazione dai sedimenti è stata effettuata in conformità al metodo EPA 3546. Questo metodo prevede l'uso



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica Elettrodotto marino		
Codice documento: C0421BR00POSELE01a	Data emissione: Giugno 2024	Pagina 68 di 73

Analita	Aldrin	Dieldrin	α -hexachlorocyclohexane	Hexachlorobutadiene	Alachlor	Chlorfenviphos	Chlorpyrofos	Endosulfan
U.M.	$\mu\text{g}/\text{kg}$ p.s.							
04	< LOQ							
05	< LOQ							

6.3. Analisi ecotossicologiche sui sedimenti

La caratterizzazione ecotossicologica dei sedimenti è stata eseguita applicando una batteria composta da tre biosaggi eseguiti utilizzando tre organismi modello differenti, appartenenti a diversi livelli trofici (batteri, microalghe ed invertebrati). Tale approccio serve a garantire una buona sensibilità nella risposta nei confronti della matrice ambientale indagata (sedimento).

La scelta dei biosaggi da inserire nella batteria è stata condotta sulla base di quanto riportato nell'Allegato Tecnico del Decreto attuativo dell'art. 109, comma 2 lettera a) del D.lgs. 152/2006 (G.U. del 06/09/2016). Anche se l'applicazione di tale decreto è prevista per la valutazione ecotossicologica di sedimenti prelevati durante le attività di dragaggio in ambiente portuale e la caratterizzazione oggetto del presente contratto non rientrava pertanto nell'ambito della normativa sopra citata, è stato scelto comunque di fare riferimento all'Allegato Tecnico del Decreto in quanto rappresenta un importante riferimento normativo per la caratterizzazione ecotossicologica dei sedimenti.

Nello specifico, le analisi ecotossicologiche hanno previsto l'allestimento di una batteria di tre biosaggi, eseguiti su tre diversi organismi appartenenti a gruppi tassonomici distinti. I biosaggi sono stati applicati uno sulla frazione solida (sedimento intero) e due sulla frazione liquida (elutriato 1:4) dei campioni di sedimento.

La batteria finale selezionata risulta quindi essere composta dai seguenti saggi biologici:

- Il saggio di inibizione della bioluminescenza del batterio marino *Aliivibrio fischeri* (ISPRA Quaderni Laboratorio 4/2021) per la frazione solida (sedimento intero). Tale saggio indaga la tossicità acuta (30 minuti) e viene eseguito sulla frazione solida del sedimento in esame;
- Il saggio di inibizione della crescita algale su *Phaeodactylum tricornutum* (protocollo UNI EN ISO 10253:2006) per la frazione liquida (elutriato 1:4). Tale saggio prevede la valutazione della inibizione della crescita algale dopo 72 ore di esposizione statica al campione in esame (elutriato 1:4);
- Il saggio di embriotossicità sull'echinoide *Paracentrotus lividus* (ISPRA Quaderni di Ecotossicologia 11/2017) per la frazione liquida (elutriato 1:4). In questo test vengono considerati gli effetti del campione in esame (elutriato 1:4) sullo sviluppo degli embrioni dopo 72 ore di esposizione.

Per i campioni di sedimento identificati con le sigle 01, 02 e 03, la granulometria grossolana del sedimento (contenuto di ghiaia tra il 43 ed il 90%), determina l'impossibilità ad eseguire il saggio sulla fase solida (anche in considerazione di possibili falsi positivi). Pertanto, la prova su fase solida è stata sostituita da un ulteriore saggio eseguito con l'organismo modello *A.fischeri*, utilizzando come matrice l'elutriato 1:4 del sedimento, secondo il protocollo ISO 11348-3:2007 "Determination of the inhibitory effect of water samples on the light emission of *Vibrio fischeri* (Luminescent bacteria test)".



01



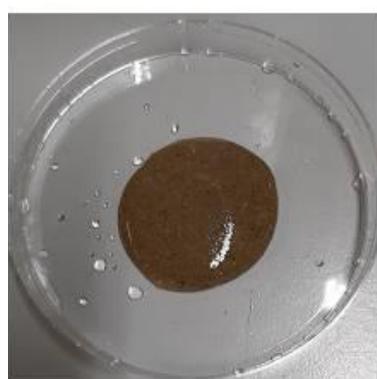
02



03



04



05

Figura 6.3 – Aliquota dei campioni 01, 02, 03, 04, e 05 dove si evidenzia la granulometria grossolana dei campioni 01, 02 e 03.

Tabella 6.12 – Composizione della batteria di biosaggi per i 5 campioni sottoposti alla caratterizzazione ecotossicologica.

Sigla campione	Fase solida (sedimento intero)	Fase liquida (eluriato 1:4)	Fase liquida (elutriato 1:4)	Fase liquida (elutriato 1:4)
	<i>A. fischeri</i>	<i>A. fischeri</i>	<i>P. tricornutum</i>	<i>P. lividus</i>
01		X	X	X
02		X	X	X
03		X	X	X
04	X		X	X
05	X		X	X

6.3.1. Sintesi dei risultati

I risultati ottenuti applicando la batteria di saggi ecotossicologici sui campioni di sedimento possono essere sintetizzati come segue.

Come riportato nell'introduzione, il saggio sulla fase solida con *A. fischeri* è stato eseguito (per via delle caratteristiche granulometriche dei campioni) solo per i sedimenti 04 e 05. Il campione 04 ha fatto registrare una percentuale di effetto pari al 48,9% (inibizione della bioluminescenza rispetto al controllo) alla minima diluizione saggiata (ovvero 19,76% di campione), pertanto per tale campione è stato possibile calcolare il valore di EC50 che è risultato essere pari a 21,48% (dopo 30 minuti di esposizione al campione in esame), con un valore di Unità Tossiche (TU50) pari a 4,65. Per il campione 05, invece, la percentuale di effetto registrata alla minima diluizione di sedimento saggiata (ovvero 19,76%) è risultata essere pari al 6,45%; non è stato pertanto possibile calcolare il valore di EC50. Il campione 04, inoltre, avendo fatto registrare una percentuale di effetto significativa, ha permesso di calcolare il valore del "Sediment Toxicity Index" (S.T.I.= TU50/ TUnaturale).



Ichnusa wind power srl

iLStudio.

Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica
Elettrodotto marino

Codice documento:
C0421BR00POSELE01a

Data emissione:
Giugno 2024

Pagina
70 di 73

Quest'ultimo, permette di esprimere la reale tossicità acuta del campione rispetto alla tossicità "naturale" di un campione di riferimento avente le medesime caratteristiche granulometriche. Il S.T.I. è risultato essere pari a 7,3. Tale valore nel "Manuale per la movimentazione dei sedimenti marini" (ICRAM APAT 2007) corrispondono ad una classificazione del campione come a "tossicità alta".

Per i campioni 01, 02 e 03 il saggio sul batterio *A. fischeri* è stato eseguito sulla fase liquida (elutriato 1:4) in quanto, questi campioni, erano caratterizzati da una granulometria grossolana che rende di fatto impossibile l'esecuzione del saggio sulla fase solida. Per tutti e tre i campioni non è stato possibile calcolare un valore di EC50 in quanto le percentuali di effetto alla minima diluizione saggiata erano sempre inferiori al 50% dopo 30 minuti di esposizione (rispettivamente: 6,9% per il campione 01; 5,2% per il campione 02 e 9,6% per il campione 03).

In sintesi, è possibile concludere che il saggio eseguito con l'organismo modello *A. fischeri* ha evidenziato un effetto di tossicità alta solo per il campione 04, mentre, per gli altri 4 campioni (01, 02, 03 e 05) la tossicità nei confronti di questo organismo modello risulta assente o trascurabile.

Per il saggio di alterazione della crescita algale sulla specie *Phaeodactylum tricornutum* l'effetto misurato consiste nella variazione del tasso di crescita algale (in termini di aumento o di riduzione rispetto al controllo) a seguito dell'esposizione per 72 ore all'elutriato (1:4) dei sedimenti in esame; l'elutriato è stato saggiato alla massima concentrazione (100%). Per nessuno dei campioni testati è stata osservata una percentuale di effetto superiore al 50%, tuttavia, si evidenzia un effetto significativo per i campioni 04 (25% di aumento della crescita algale rispetto al controllo) e 05 (42,6% di aumento della crescita algale rispetto al controllo) dopo 72 ore di esposizione all'elutriato tal quale (non diluito). Per tali campioni si evidenzia pertanto un moderato effetto nei confronti dell'organismo modello *P. tricornutum*, mentre, per i restanti tre campioni (01, 02 e 03) non si evidenzia alcun effetto significativo sul tasso di crescita di questo organismo modello.

Per il saggio di embriotossicità sull'echinoide *Paracentrotus lividus* l'effetto misurato consiste nella percentuale di larve (plutei) malformate presenti dopo 72 ore di contatto con l'elutriato (1:4) dei sedimenti, rispetto al controllo negativo (ovvero esposizione delle larve ad acqua di mare naturale filtrata 0.22 µ). L'elutriato, per tutti i campioni, è stato saggiato nel seguente range di diluizioni: 12,5 – 25 – 50 – 100 % (tal quale). Il saggio di embriotossicità ha evidenziato, dopo 72 ore di esposizione all'elutriato non diluito (100%), una percentuale di larve normoformate pari al 40.3% per il campione 01, all' 87.4% per il campione 03 e al 60.6% per il campione 04. Per i campioni 02 e 05 sono state osservate percentuali di effetto più elevate, infatti, la percentuale di larve normoformate è risultata pari a 0 per il campione 02 (ovvero tutte le larve presentavano anomalie nello sviluppo dopo 72 ore) e pari al 9.92% per il campione 05 (ovvero una percentuale di larve malformate circa pari al 90% dopo 72 ore). In conclusione, per i campioni 02 e 05 si evidenzia un effetto di tossicità altamente significativo nei confronti di *P. lividus*, con valori di EC50 (diluizione di elutriato alla quale si registra un effetto per il 50% della popolazione esposta) rispettivamente pari a 39,13% (limiti fiduciali: 35.75-42.83) e 71,95% (limiti fiduciali: 69.33-74.66). Si evidenzia invece un effetto moderato di tossicità per il campione 01 ed una completa assenza di tossicità per i campioni 03 e 04.

Come recentemente riportato nel "Quaderno ISPRA 16/2021 – Aspetti metodologici finalizzati all'applicazione dei saggi biologici previsti dall'Allegato tecnico al D.M. 173/2016: protocollo per la preparazione dell'elutriato" al paragrafo 2.3.2 "Valori soglia dell'ammonio totale e dei nitriti - indicazioni operative per i saggi della "terza tipologia" dell'Allegato", il saggio di embriotossicità su *P. lividus* risulta essere altamente sensibile alla presenza di ammonio e di nitriti; è quindi fondamentale individuare i "valori soglia" dell'ammonio totale, oltre ai quali il saggio è da ritenersi non applicabile alle condizioni date. Tali valori soglia sono stati stimati a partire da curve dose-risposta ottenute dalla ripetizione di alcune prove con soluzioni di cloruro di ammonio e con elutriati di campioni reali, nonché dai dati riportati in letteratura, considerando le minime concentrazioni di effetto, e sono riportati nella tabella 4 (pagina 28) del documento sopra citato. Per il test di embriotossicità con *P. lividus* il valore soglia è pari a 2 mg/L di ammonio totale (NH₄ +).



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica
Elettrodotta marina

Codice documento:
C0421BR00POSELE01a

Data emissione:
Giugno 2024

Pagina
71 di 73

La determinazione di ammonio e nitriti, dunque, è fondamentale per discriminare la tossicità dovuta alla reale presenza di inquinanti.

Visti i risultati ottenuti in questo studio nel saggio di embriotossicità su *P. lividus*, che ha fatto registrare una percentuale di larve malformate pari al 100% (dopo 72 ore) per il campione 02 e al 90,1% per il campione 05, si è deciso di eseguire una misurazione dell'ammonio totale presente nei campioni analizzati (elutriato 1:4 del sedimento) al fine di stabilire se l'elevata tossicità mostrata nei confronti di questo organismo modello fosse attribuibile all'ammonio.

Tabella 6.13 – Valori di ammonio totale (NH₄⁺) misurati nei campioni 01, 02, 03, 04, 05.

Sigla campione	NH₄⁺ [mg/L]
01	0.0033
02	0.018
03	0.017
04	0.025
05	0.018

Come si evidenzia nella tabella precedente, per nessuno dei 5 campioni il valore dell'ammonio totale risulta essere maggiore di 2 mg/L, nemmeno per i due campioni (02 e 05) che hanno determinato elevate percentuali di effetto nel saggio su *Paracentrotus lividus*. Pertanto, tale analisi supplementare ha dimostrato che l'elevata embriotossicità ottenuta per i campioni 02 e 05 è interamente attribuibile a sostanze inquinanti presenti nei campioni di sedimento e non a fattori legati alla elevata presenza di ammonio.



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting **Studio**

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione tecnica
Elettrodotto marino

Codice documento:
C0421BR00POSELE01a

Data emissione:
Giugno 2024

Pagina
72 di 73

RIFERIMENTI

MiTE, n.d. *Schede SIN - Sulcis Iglesiente Guspinese*. [Online]

Available at: <https://bonifichesiticontaminati.mite.gov.it/sin-34/>

The Crown Estate, 2019. *Review of cable installation, protection, mitigation and habitat recoverability*, London: The Crown Estate.



Ichnusa wind power srl

iLStudio.
Engineering & Consulting **Studio**

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica Elettrodotto marino		
Codice documento: C0421BR00POSELE01a	Data emissione: Giugno 2024	Pagina 73 di 73

Il presente documento, composto da n. 82 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, Giugno 2024

Dott. Ing. Luigi Severini