

Progetto Definitivo

PARCO EOLICO OFFSHORE AL LARGO DELLE COSTE DI CIVITAVECCHIA



RELORM

C0123SR00RELORM00a

TYRRHENIAN WIND ENERGY

Ministero dell' Ambiente
e della Sicurezza Energetica

Ministero della Cultura

Ministero delle Infrastrutture
e dei Trasporti

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

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

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

Relazione tecnica DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO

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

Elaborazioni
iLStudio.
Engineering & Consulting **Studio**



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

Cod.:	C	0	1	2	3	S	R	0	0	R	E	L	O	R	M	0	0	a
	Tipo	Num. Com.	Anno	Cod. Set.	Tip. Ela.	Prog. Ela.	Descrizione elaborato								Rev. Est.	Rev. Int.		

SOMMARIO

1. SCOPO DEL DOCUMENTO	1
2. DESCRIZIONE SINTETICA DEL PROGETTO	2
3. CARATTERIZZAZIONE AMBIENTALE DELL'AREA DI INDAGINE	3
3.1. Clima meteomarino.....	3
3.1.1. Condizioni di vento.....	4
3.1.2. Condizioni oceanografiche.....	6
3.1.2.1. Stato del mare in condizioni normali (NSS).....	6
Caratterizzazione vento-onda NSS	6
Caratterizzazione del moto ondoso NSS	9
Corrente marina in condizioni normali (NSS current).....	9
3.1.2.2. Stato del mare in condizioni estreme (ESS).....	10
Onde estreme	10
Corrente marina estrema (ECM)	11
3.1.3. Marine growth	11
3.2. Caratterizzazione dei fondali	12
Batimetria	14
4. ANALISI DEI PRINCIPALI SISTEMI DI ORMEGGIO E ANCORAGGIO	15
5. DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA DI ORMEGGIO	19
5.1. Elementi tesi (Taut Mooring)	19
5.2. Dati per il dimensionamento.....	20
5.2.1. Modella della turbina eolica	20
5.2.2. Modello della fondazione galleggiante.....	20
5.3. Criteri di dimensionamento.....	22
5.3.1. Determinazione delle tensioni di progetto SLU e SLA.....	22
5.3.2. Danneggiamento a fatica.....	23
5.3.3. Normative di riferimento.....	26
5.4. Modellazione.....	27
5.4.1. Sistemi di coordinate	28
Sistema di coordinate globale	28
Sistema di coordinate della fondazione	28
Sistema di coordinate meteo-marine	29
5.4.2. Modellazione idrodinamica	30
5.4.3. Modellazione del sistema: fondazione, turbina e ormeggio.....	31
Turbina	31
Fondazione	33
Linee di ormeggio.....	33

PARCO EOLICO OFFSHORE AL LARGO DELLE COSTE DI CIVITAVECCHIA		
PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica – Dimensionamento delle strutture di ancoraggio e ormeggio		
Codice documento: C0123SR00RELORM00a	Data emissione: Luglio 2023	Pagina II di V

5.5.	Definizione dei casi di carico progettuali	34
5.5.1.	Tabella di riepilogo dei DLC.....	34
5.5.2.	Definizione dei DLC.....	35
5.6.	Dimensionamento e risultati delle analisi	37
5.6.1.	Caratteristiche delle linee di ormeggio.....	37
	Proprietà della catena.....	37
	Proprietà della corda in poliestere.....	37
	Configurazione del sistema di ormeggio.....	38
5.6.2.	Risultati delle analisi.....	40
5.6.2.1.	Risultati SLU.....	41
5.6.2.2.	Risultati SLA.....	44
5.6.2.3.	Risultati SLF.....	44
5.7.	Considerazioni finali.....	45
6.	SISTEMA DI ANCORAGGIO	46
6.1.	Scelta del sistema di ancoraggio.....	50
6.1.1.1.	Ancore a suzione.....	50
6.1.1.2.	Ancoraggio a pali infissi	52
6.2.	Scelta del sistema di ancoraggio e dimensionamento	54
6.2.1.	Dati per il dimensionamento	54
6.2.2.	Dimensionamento e risultati dell'analisi di infissione	55
7.	CONCLUSIONI.....	56

PARCO EOLICO OFFSHORE AL LARGO DELLE COSTE DI CIVITAVECCHIA PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica – Dimensionamento delle strutture di ancoraggio e ormeggio		
Codice documento: C0123SR00RELORM00a	Data emissione: Luglio 2023	Pagina III di V

INDICE DELLE FIGURE

Figura 2.1 – Schema concettuale dell'impianto.	2
Figura 4.1 – Sistemi di ormeggio analizzati per il progetto.	5
Figura 4.2 – Esempio: sistema di ormeggio a linee tese e ancoraggi fissi e puntuali costituiti da pali.	6
Figura 6.1 – Tipologie di ancoraggi per turbine eoliche offshore.	10
Figura 6.2 – Ancoraggio a gravità semplice.	10
Figura 6.3 – Ancoraggio a gravità ad infissione dinamica.	11
Figura 6.4 – Ancore a trascinamento.	11
Figura 6.5 – Ancoraggio a palo infisso.	12
Figura 6.6 – Ancoraggio a suzione.	12
Figura 6.7 – Ancoraggio a suzione con piastra.	12

PARCO EOLICO OFFSHORE AL LARGO DELLE COSTE DI CIVITAVECCHIA PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica – Dimensionamento delle strutture di ancoraggio e ormeggio		
Codice documento: C0123SR00RELORM00a	Data emissione: Luglio 2023	Pagina IV di V

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 6.1 – Panoramica dei sistemi di ancoraggio.....13

INDICE DELLE VOCI

CFD	Computational Fluid Dynamics
COG	Centre Of Gravity
COP	Copenhagen Offshore Partners
DFF	Design Fatigue Factor
DLC	Design Load Case
DNV	Det Norske Veritas
ECM	Extreme Current Model
ESS	Extreme Sea State
EWM	Extreme Wind Model
GIS	Geographical Information System
IEA	International Energy Agency
IEC	International Electrotechnical Commission
ILA	Integrated Load Analysis
MBL	Minimum Breaking Load
MBS	Minimum Breaking Strength
NREL	National Renewable Energy Laboratory
NSS	Normal Sea State
RBS	Reference Breaking Strength
SEPLA	Suction Embedded Plate Anchor
SLA	Stato Limite Accidentale
SLF	Stato Limite di Fatica
SLU	Stato Limite Ultimo
SO	Stiesdal Offshore
VLA	Vertical Load Anchor
WTG	Wind Turbine Generator

1. SCOPO DEL DOCUMENTO

La presente relazione ha lo scopo di descrivere la procedura di scelta e dimensionamento delle strutture di ancoraggio e ormeggio previste nel progetto del Parco eolico offshore al largo delle coste di Civitavecchia. La posizione in mare delle turbine elettriche sarà mantenuta proprio grazie a sistemi di ancoraggio e ormeggio il cui dimensionamento strutturale di dettaglio è stato definito in funzione delle caratteristiche meteo-marine, geofisiche e geologiche dei fondali.

Il documento presenta:

- una descrizione sintetica del progetto;
 - una breve caratterizzazione dei fondali;
 - una breve trattazione relativa alle tipologie di sistemi di ormeggio e ancoraggio;
 - una trattazione relativa al dimensionamento e analisi del sistema di ormeggio scelto, consistente in una descrizione dei dati di input, dei carichi, delle metodologie di calcolo e dei risultati ottenuti;
 - una trattazione relativa alla scelta del corretto sistema di ancoraggio, dimensionamento e risultati dell'analisi di infissione.
-

2. DESCRIZIONE SINTETICA DEL PROGETTO

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

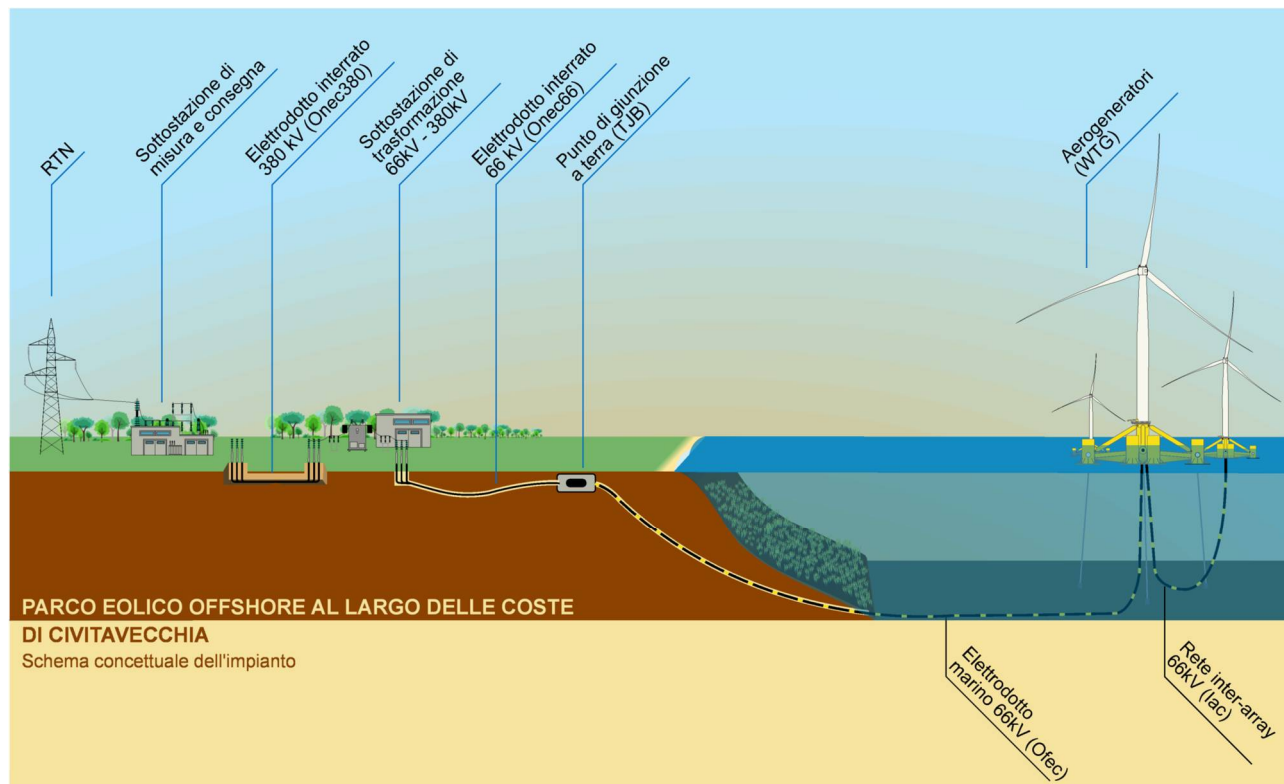


Figura 2.1 – Schema concettuale dell'impianto.

Elaborazione iStudio.

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

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

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

3. CARATTERIZZAZIONE AMBIENTALE DELL'AREA DI INDAGINE

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

4. ANALISI DEI PRINCIPALI SISTEMI DI ORMEGGIO E ANCORAGGIO

Nei mari del Nord Europa il rapido sviluppo di nuovi siti per la realizzazione di impianti eolici offshore è dominato da turbine con fondazioni fisse posizionate su fondali a profondità comprese tra 10 e 50m nonostante un ingente sfruttamento della risorsa eolica sia possibile in aree con batimetrie superiori laddove però i sistemi di fondazione convenzionali di tipo bottom-fixed su fondazioni monopalo o tralicciate (jacket) esibiscono evidenti limiti tecnologici. In questo scenario l'eolico offshore galleggiante ha catturato negli ultimi anni l'attenzione del mondo scientifico e dei maggiori "player" industriali del settore permettendo lo sfruttamento della risorsa eolica anche al largo delle coste in siti caratterizzati da batimetrie elevate.

Finora la mancata diffusione dei sistemi galleggianti era legata alla bassa maturità della tecnologia di fondazione *floating* e agli elevati costi di sviluppo e costruzione. Tuttavia oggi si può affermare che più di un fornitore sta acquisendo tale maturità, anche grazie all'utilizzo di strumenti di simulazione avanzati e all'avvio di audaci progetti pilota che hanno portato all'installazione in scala reale dei primi sistemi eolici galleggianti, validati da Commissioni ed affermati Istituti di Ricerca. Ciò è avvalorato dai progetti eolici galleggianti installati anche negli ultimi anni e dalle prospettive di lungo termine secondo cui è previsto un incremento notevole della produzione elettrica derivante da questa tipologia di impianti eolici offshore (Enterdata, s.d.).

Le tecnologie e tipologie di ancoraggi ed ormeggi ad oggi disponibili sul mercato sono variegata e permettono una scelta idonea alla specifica applicazione. Tale disponibilità deriva senz'altro da mercati già noti ed affermati come quello dell'oil&gas e cargo shipping ma anche dalla spinta innovativa e tecnologica che molti istituti di ricerca e figure leader del settore stanno dando al comparto industriale. La scelta della tecnologia più idonea è ovviamente determinata da una serie di vincoli di carattere tecnologico, geologico e, più in generale, ambientale. In questa fase progettuale la tecnologia di ormeggio e ancoraggio è stata definita assumendo come obiettivi principali la garanzia della sicurezza marittima e la minimizzazione dell'impatto ambientale determinato sui fondali per l'utilizzo di tali sistemi.

L'opzione più nota e diffusa nel settore shipping e offshore oil&gas è il sistema di ormeggio a catenaria con ancore a trascinamento o corpi morti. Tuttavia, negli ultimi decenni, l'esigenza di tutela degli ecosistemi marini ha spinto la ricerca di soluzioni meno impattanti e sempre maggiore attenzione è stata dedicata allo studio di sistemi a linee di ormeggio tese in materiale sintetico che hanno dimostrato di ottimizzare i costi economici e minimizzare gli ambientali degli impianti offshore. Tale tecnologia, già sperimentata in altri settori, è oggi applicabile anche all'eolico offshore galleggiante. Pertanto, a seguire verrà presentato un confronto tra il sistema di ormeggio a catenaria e i sistemi di ormeggio a elementi semi tesi (semi taut) e tesi (taut mooring) evidenziandone punti di forza e debolezza.

Come precedentemente indicato, l'ormeggio delle fondazioni galleggianti offshore ha un ampio ventaglio di componenti e combinazioni; nella seguente immagine si riporta una rappresentazione schematica del sistema a catenaria, del sistema semi teso (semi – taut) e del sistema a linee di ormeggio tese (taut) nonché i loro principali componenti.

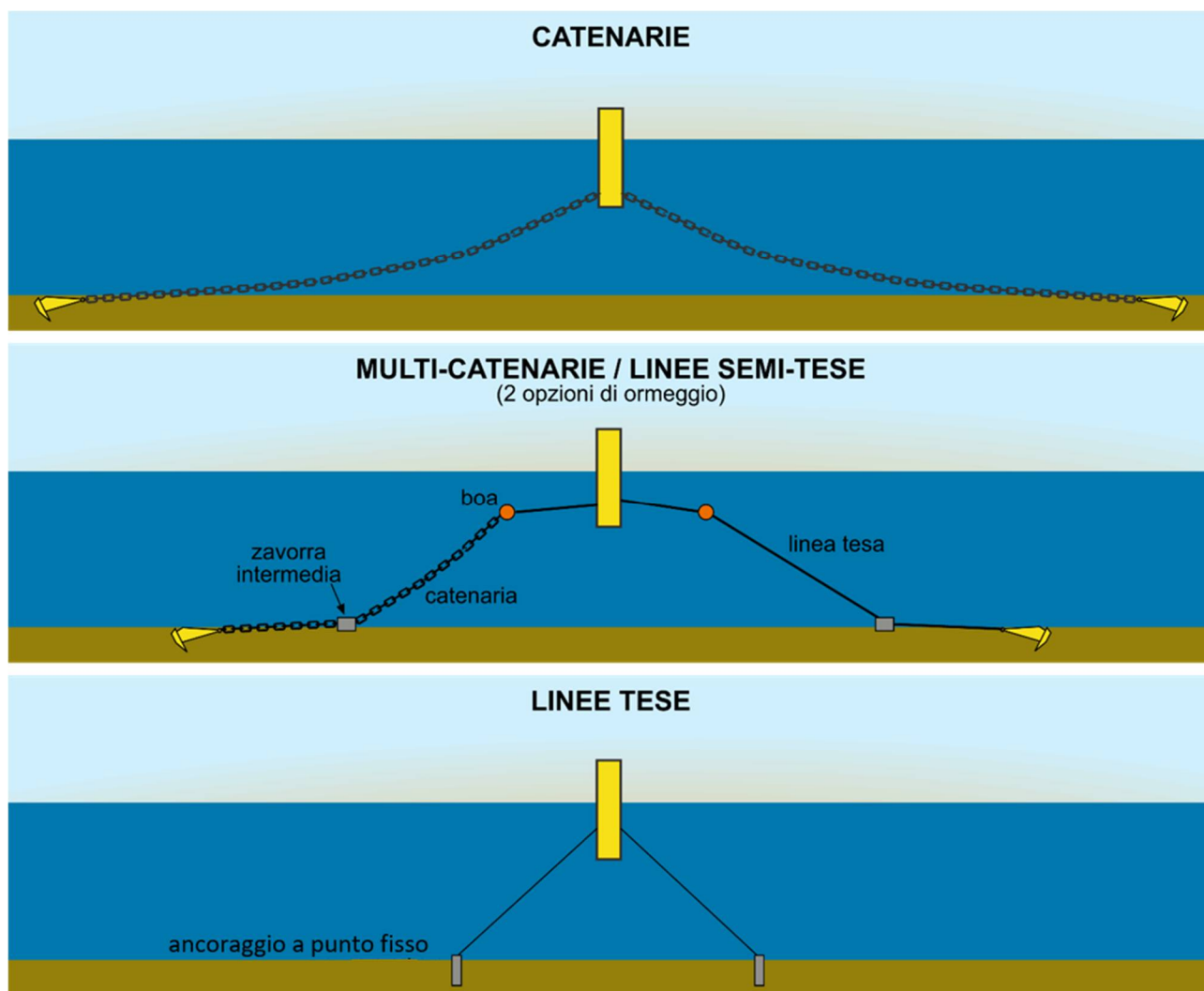


Figura 4.1 – Sistemi di ormeggio analizzati per il progetto.

Elaborazione iLStudio.

Nel caso delle catenarie una porzione significativa della catena giace stesa orizzontalmente sul fondo del mare. Questa porzione determina una considerevole impronta sul fondale marino associata non solo all'ingombro fisico della catena ma anche e soprattutto allo spostamento laterale dovuto all'oscillazione della catena sotto l'azione delle forzanti meteomarine e del sistema turbina/fondazione.

Si approfondisce nel dettaglio l'analisi del sistema di ormeggio a catenaria, per il quale risultano evidenti una serie di aspetti negativi, tra cui anche i costi ambientali, di realizzazione e manutenzione:

- il fondale subisce danneggiamenti durante l'intera vita utile dell'opera a causa del movimento continuativo della catenaria sul fondo (fenomeno noto come *seabed scraping*);
- la porzione di catenaria distesa sul fondo del mare può subire nel tempo fenomeni di insabbiamento ciò che rende complessa e costosa l'esecuzione delle operazioni di manutenzione e ripristino della condizione iniziale anche in relazione alle elevate profondità di posa; tale movimentazione arreca inoltre ulteriore danno al fondale marino (movimentazione, distruzione dell'habitat, torbidità e inquinamento ambientale);
- i costi sono elevati anche in funzione dell'impiego di elevate quantità di materia prima;
- le masse in gioco determinano l'impiego di barche da lavoro di grossa stazza.

Pertanto, nella definizione delle caratteristiche di progetto, sono state indagate soluzioni di ormeggio alternative al fine di ottimizzare i suddetti aspetti e mantenere comunque le caratteristiche di sicurezza

necessarie per questo genere di installazioni. Tra le alternative analizzate, gli ormeggi tesi di tipo sintetico hanno dimostrato prestazioni superiori garantendo una elevata durata a lungo termine, peso ridotto, facilità di installazione ed ottime caratteristiche meccaniche del materiale impiegato.

Alla luce delle considerazioni sopra esposte, come descritto nei successivi paragrafi, la tipologia di ormeggio selezionata come scelta progettuale è il sistema di ormeggio mediante tiro teso inclinato (Taut Mooring) con fissaggio puntuale sul fondale marino mediante ancoraggio a punto fisso.

Il sistema di ormeggio ad elementi tesi e inclinati collega la piattaforma galleggiante direttamente all'elemento di ancoraggio fisso sul fondale. La stabilità di questo sistema è data dalle grandi forze tensionali presenti lungo le linee di ormeggio.

La scelta di questo sistema di ormeggio è stata dettata dai seguenti obiettivi:

- evitare gli impatti ambientali generati dall'utilizzo delle catenarie o di sistemi semi - tesi: le linee di ormeggio ad elementi tesi, non avendo punti di appoggio sul fondale, non sono soggette ai moti oscillatori di strisciamento;
- prediligere l'uso di strutture di ancoraggio fisse e puntuali sul fondale al posto dei più diffusi ed impattanti sistemi ad ancore a gravità o a trascinamento.

Nell'immagine seguente (Figura 4.2) viene illustrato, a titolo di esempio, l'assetto che la fondazione galleggiante assumerebbe in caso di un sistema di ormeggio teso con elementi di ancoraggio puntuali costituiti da pali.

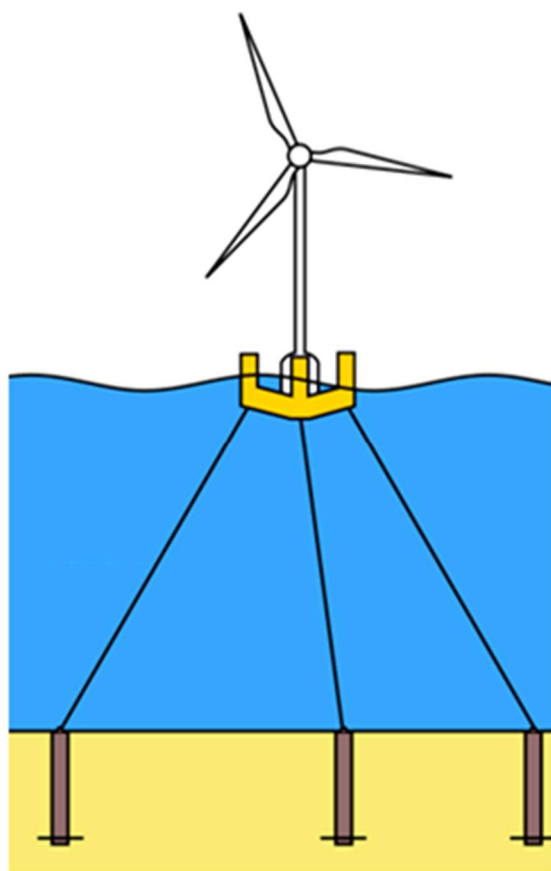


Figura 4.2 – Esempio: sistema di ormeggio a linee tese e ancoraggi fissi e puntuali costituiti da pali.

L'insieme della fondazione galleggiante e della turbina eolica è sottoposta a forzanti come la spinta idrostatica e le azioni ambientali che determinano piccole variazioni dell'assetto di galleggiamento. Tali azioni, considerate nelle simulazioni di progetto, sono derivanti principalmente dall'azione del moto ondoso, del vento, delle maree e delle correnti marine.

PARCO EOLICO OFFSHORE AL LARGO DELLE COSTE DI CIVITAVECCHIA PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica – Dimensionamento delle strutture di ancoraggio e ormeggio		
Codice documento: C0123SR00RELORM00a	Data emissione: Luglio 2023	Pagina 7 di 16

Le sollecitazioni sono generalmente calcolate moltiplicando la pressione esercitata da ciascuna forzante ambientale sulla superficie investita utilizzando la nota formula:

$$q = \frac{1}{2} \rho C_D v^2 \quad \text{eq. (2)}$$

dove q è la pressione unitaria, ρ la densità del fluido, C_D è il coefficiente di resistenza e v è la velocità del fluido considerato.

Tali azioni si trasformano in sollecitazioni agenti sulle linee di ormeggio e sugli ancoraggi di fondazione che sono stati, seppur preliminarmente, verificati con specifici software sia per quanto riguarda la verifica geotecnica della risposta dei terreni e del sistema ancoraggio–terreno sia per quanto riguarda il calcolo e la verifica delle linee di ormeggio delle piattaforme eoliche galleggianti.

Per una analisi più dettagliata dei principali sistemi di ancoraggio con relativi vantaggi e svantaggi che hanno determinato la scelta della soluzione definitiva e l'esclusione degli altri sistemi, si rimanda al seguito (Capitolo 6).

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

5. DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA DI ORMEGGIO

Il dimensionamento del sistema di ormeggio è stata condotta dalla Stiesdal Offshore (SO). La scelta finale, come già detto, ricade su una configurazione che prevede l'impiego di linee di ormeggio tese.

L'impianto avrà una vita di progetto complessiva di 30 anni, composta da una vita di progetto operativa di 28 anni più 1 anno di messa in servizio e 1 anno necessario alla dismissione dello stesso.

Per il presente progetto si propone un sistema costituito da 4 linee di ormeggio per una corretta installazione e per soddisfare le verifiche normative richieste ed un ugual numero di ancoraggi (in particolare ancoraggi a pali infissi come descritto nei capitoli successivi).

Lo scopo del presente studio consiste nel dimensionamento del sistema di ormeggio preceduto dall'esecuzione di analisi di carico integrate nel dominio del tempo (ILA – Integrated Load Analysis): essa consiste in un'analisi dinamica aero-idro-elastiche nel dominio del tempo con l'obiettivo di estrarre, in conformità agli standard internazionali, i carichi utili per il dimensionamento del sistema di ormeggio (di seguito riportato) e dei componenti principali della fondazione galleggiante (per la quale, per maggiori approfondimenti da parte degli Enti Competenti (art. 24 D.lgs. 152/2006) e della Commissione PNRR-PNIEC, si rimanda alla relazione specialistica allegata al presente progetto dal titolo *"Relazione tecnica - Dimensionamento della fondazione galleggiante" Cod. C0123SR00RELFON00*).

5.1. Elementi tesi (Taut Mooring)

L'ormeggio ad elementi tesi collega la fondazione della turbina galleggiante alle ancore utilizzando linee di ormeggio opportunamente inclinate. I sistemi con ormeggio teso garantiscono la presenza di forze di ripristino attraverso il modulo elastico del materiale impiegato. L'ancoraggio di un sistema di ormeggio ad elementi tesi deve essere progettato per gestire grandi carichi verticali e orizzontali.

Per la corretta installazione è richiesto un opportuno pre-tensionamento in modo che la tensione lungo le linee sia sufficientemente grande da tenerle tese e contemporaneamente fornire la giusta forza di ripristino.

La stabilità di questo sistema è data dalle grandi forze che si generano e che mantengono la fondazione galleggiante in posizione. Con il sistema di ormeggio ad elementi tesi, piccoli spostamenti di oscillazione si traducono in grandi sforzi di ripristino.

Il sistema teso rispetto a tutte le altre tecnologie disponibili è quello con l'impronta più piccola ed è stato scelto anche per ridurre gli ingombri e, di conseguenza, l'impatto ambientale.

Le linee di ormeggio previste per il progetto saranno realizzate in poliestere ad alte prestazioni per garantire la sicurezza e la stabilità delle 28 turbine eoliche del parco. Le fibre sintetiche offrono un mix ben bilanciato di forza, resistenza all'abrasione e altre caratteristiche prettamente collegate alla sicurezza e alla facilità di gestione in fase di installazione, manutenzione e dismissione.

Le fibre sintetiche sono costituite da polimeri prodotti utilizzando un processo di estrusione e stiramento o altre tipologie di estrusione come la filatura in gel, la filatura a fusione o la filatura a umido.

Per dimensionare adeguatamente un sistema di ormeggio, è necessario determinare le forze agenti conoscendo le caratteristiche ambientali del sito (geotecnica, geofisica, vento, correnti, maree, onde ecc).

Sebbene tutti i sistemi di ormeggio siano progettati in funzione delle forze massime di vento e corrente, possono verificarsi situazioni in cui è necessario considerare notevoli carichi aggiuntivi, ad esempio in caso di condizioni anomale di marea, onde o vento. Queste condizioni, che possiamo definire "eventi estremi", sono più rare e difficili da prevedere ed analizzare, ma sono state comunque considerate e valutate in fase di calcolo, sia dal punto di vista dello studio meteomarinario (allegato al progetto) che del dimensionamento delle fondazioni galleggianti e degli ormeggi. In aggiunta, si valuta la risposta del sistema anche quando sottoposto alle forzanti derivanti da condizioni meteo-marine "normali", ovvero quelle che si presentano tipicamente durante la vita operativa del sistema.

PARCO EOLICO OFFSHORE AL LARGO DELLE COSTE DI CIVITAVECCHIA PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica – Dimensionamento delle strutture di ancoraggio e ormeggio		
Codice documento: C0123SR00RELORM00a	Data emissione: Luglio 2023	Pagina 9 di 16

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

6. SISTEMA DI ANCORAGGIO

Come anticipato nei precedenti capitoli, il progetto prevede l'utilizzo di un sistema costituito da 4 linee di ormeggio in poliestere, connesse dunque ad altrettanti dispositivi di ancoraggio. Nel presente capitolo si riporta una breve trattazione sulle tipologie di ancoraggio comuni nel settore offshore, individuando in seguito la soluzione ottimale che garantisca, oltre ad un corretto funzionamento del sistema, anche un impatto ambientale ridotto ed un'elevata sicurezza durante l'intera vita dell'opera.

Lo studio di selezione e dimensionamento della tipologia di ancoraggio per il sistema offshore galleggiante è stato condotto dalla società IHC IQIP che ha individuato le possibili soluzioni da sottoporre a valutazioni di carattere progettuale e ambientale. Di seguito si riporta una breve descrizione delle diverse tipologie di ancoraggi disponibili per le installazioni floating per applicazioni in altri settori ed una tabella con indicazione dei relativi vantaggi e svantaggi (Tabella 6.1).

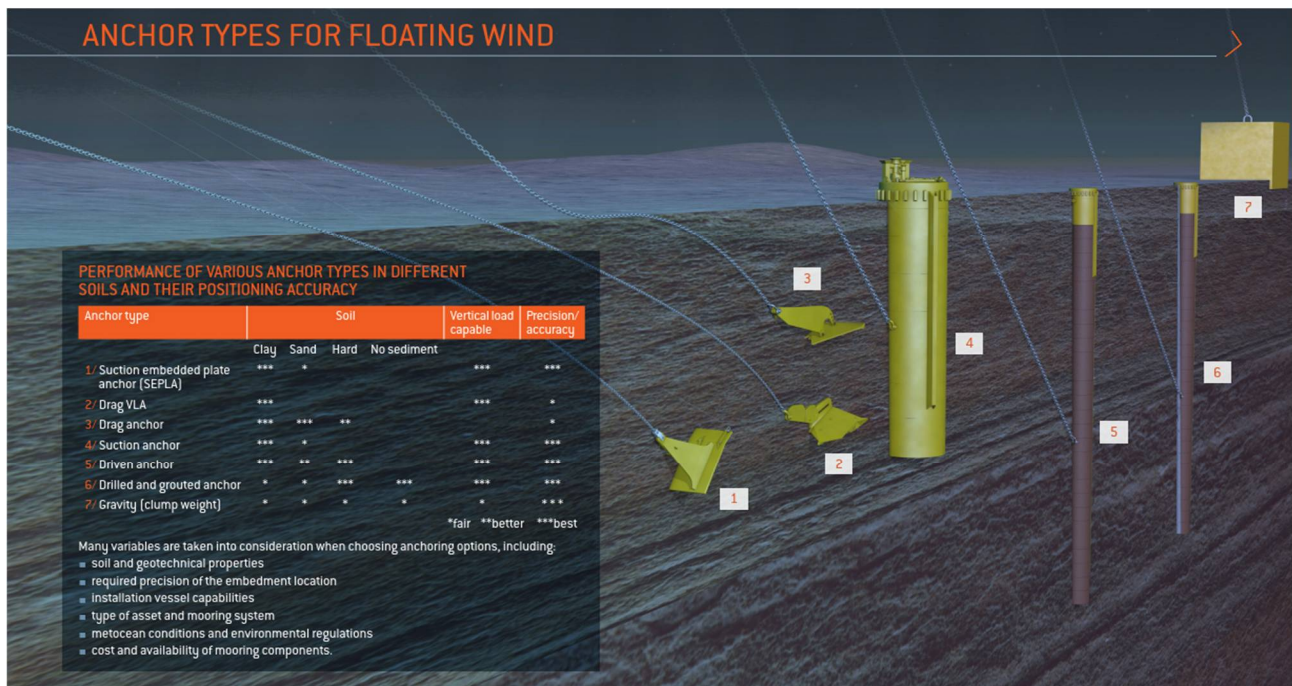


Figura 6.1 – Tipologie di ancoraggi per turbine eoliche offshore.

Ancoraggio a gravità semplice (Dead weight anchor), consistente in un corpo molto pesante posizionato sul fondale marino atto a resistere a carichi verticali e/o orizzontali. La capacità di tenuta deriva principalmente dalla ingente differenza tra il peso dell'ancora e la spinta prodotta dal volume occupato. Di solito sono fabbricate in cemento e/o in leghe metalliche. Possono essere impiegate per tutte le tipologie di terreno e di linee di ormeggio, a meno di fondali particolarmente ripidi e terreni molto soffici.

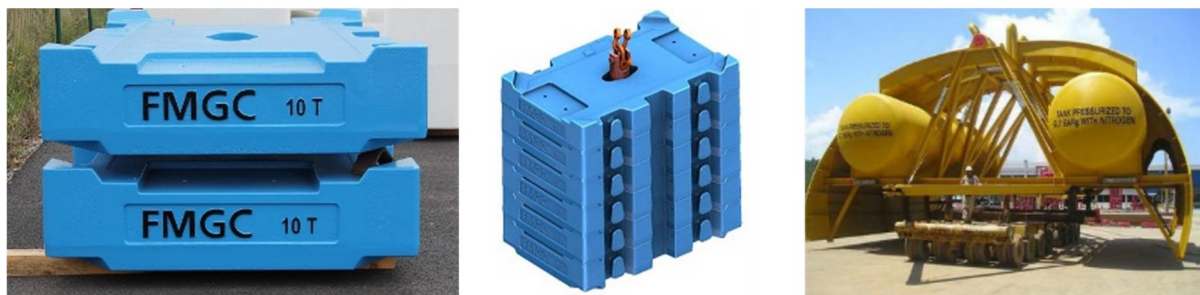


Figura 6.2 – Ancoraggio a gravità semplice.

Ancoraggio a gravità ad infissione dinamica (Gravity installed anchor), costituite da una particolare struttura, appuntita nella parte inferiore, che permette la penetrazione del fondale anche grazie all'energia cinetica ottenuta dalla caduta libera lungo la colonna d'acqua. È particolarmente adatto a condizioni del fondale caratterizzate da argille soffici o leggermente consolidate; si adatta sia a sistemi di ormeggio a catenaria che tesi.



Figura 6.3 – Ancoraggio a gravità ad infissione dinamica.

Ancoraggio a trascinamento (Drag anchor), generalmente costituita da una sezione di testa a forma di uncino che si oppone al terreno nel quale penetra e da una sezione di base che trasferisce la resistenza al tiro (derivante dall'interazione sezione di testa-terreno) lungo la linea di ormeggio, garantendo l'adeguato funzionamento dell'intero sistema. Molte tipologie di queste ancore possiedono un sistema stabilizzante che previene la rotazione e lo sfilamento delle stesse all'esterno del terreno. L'installazione avviene mediante l'utilizzo di una catena che permette il trascinamento di una piastra portante, meglio nota come *marra*, fino alla penetrazione nel fondale. Queste sono adatte per un ampio range di tipologie di terreno ma impiegabili solo per sistemi di ormeggio a catenaria.



Figura 6.4 – Ancore a trascinamento.

Ancoraggio a carico verticale (Vertical Anchor Load – VLA), simile alla precedente per modalità di installazione, ma con profondità di penetrazione di gran lunga maggiori, tanto da permetterne un utilizzo anche per carichi direttamente verticali. Questa tipologia si adatta particolarmente per applicazioni a profondità elevate e fondali con argille soffici o stratificate.

Ancoraggio a palo infisso (Driven pile anchor), consistente in un tubo di acciaio infisso nel fondale mediante tecnica di battitura o vibro-infissione. La capacità di carico di questa tipologia è garantita da una combinazione tra l'attrito del fondale lungo la superficie laterale del palo e la resistenza laterale del terreno. È particolarmente adatta per terreni molto resistenti alla penetrazione, anche per elevate pendenze, e si adatta a tutte le tipologie di ormeggio.



Figura 6.5 – Ancoraggio a palo infisso.

Ancoraggio a suzione (Suction Buckets), realizzato mediante gusci cilindrico di notevoli dimensioni infissi nel fondale per l'azione combinata del peso proprio e della depressione creata, mediante aspirazione d'acqua, all'interno del volume di involucro del sistema guscio + terreno. È adatta per terreni caratterizzati dalla presenza di sabbie dense e/o argille e può essere impiegato per tutte le tipologie di ormeggio.



Figura 6.6 – Ancoraggio a suzione.

Ancoraggio a suzione con piastra (Suction embedded plate anchor – SEPLA), prevede l'installazione di una piastra di ancoraggio agganciata alla punta di un palo a suzione definito *follower* (suction bucket). Il *follower* viene installato come già descritto e successivamente ritirato. Adatta per argille soffici e per tutte le tipologie di ormeggio.

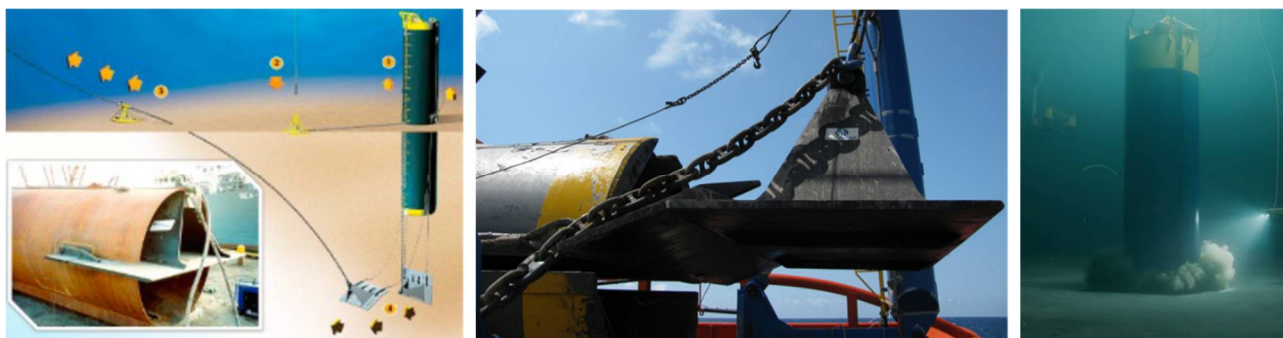


Figura 6.7 – Ancoraggio a suzione con piastra.

Per le soluzioni proposte si riporta nella seguente tabella una descrizione sintetica corredata da una breve analisi di vantaggi e svantaggi dal punto di vista della fattibilità tecnica, economica e dell'impatto ambientale.

Tabella 6.1 – Panoramica dei sistemi di ancoraggio.

Sistema di ancoraggio	Vantaggi	Svantaggi
Ancora a gravità semplice	<ul style="list-style-type: none"> - Basso costo dei materiali 	<ul style="list-style-type: none"> - Eccessiva quantità di materiale rispetto alle altre soluzioni. - Elevati costi di trasporto. - Necessità di navi con alte capacità di carico. - Danneggiamento del fondale dovuto a possibili spostamenti.
Ancora a gravità ad infissione dinamica	<ul style="list-style-type: none"> - Nessuna limitazione sulla profondità del fondale. - Soluzione con costi contenuti. 	<ul style="list-style-type: none"> - Incertezza nel prevedere la profondità di penetrazione, l'orientamento e la capacità di tenuta risultante. - Notevole produzione di rumore dovuto all'impatto sul fondale e potenziale danneggiamento dell'ecosistema circostante. - Per una corretta installazione richiede una sufficiente profondità del fondale, la quale varia con le caratteristiche del terreno.
Ancora a trascinamento	<ul style="list-style-type: none"> - Alta capacità di carico rispetto al peso proprio. - Facilità di installazione 	<ul style="list-style-type: none"> - Non permette un posizionamento puntuale dell'ancora. - Difficoltà nel prevedere la capacità di carico dal momento che essa dipende dalla profondità di penetrazione dell'ancora. - Danneggiamento ingente della biocenosi che caratterizza il fondale marino, dovuto al trascinamento dell'ancora in fase di installazione. - Elevata incertezza nel prevedere la posizione e l'orientamento finale.
Ancora a carico verticale	<ul style="list-style-type: none"> - Facilità nel trasporto dovuto al peso contenuto delle attrezzature. - Bassi costi di installazione. 	<ul style="list-style-type: none"> - Range limitato di tipologie di terreni su cui è applicabile. - Elevata incertezza nel prevedere la posizione e l'orientamento finale nonché la capacità di carico.
Ancora a palo infisso	<ul style="list-style-type: none"> - Posizionamento puntuale dell'ancora. - Ottima risposta sia a carichi verticali sia orizzontali. - Buona affidabilità ed elevata capacità di carico. - Ampio range di applicabilità per le condizioni del terreno. 	<ul style="list-style-type: none"> - Elevati costi - Procedure di installazione più elaborate.
Ancora a suzione	<ul style="list-style-type: none"> - Posizionamento puntuale dell'ancora. - Ottima risposta sia a carichi verticali sia orizzontali. - Ampio range di applicabilità per le condizioni del terreno. 	<ul style="list-style-type: none"> - Procedura di installazione difficoltose per via delle dimensioni dell'ancora. - Limitazioni sulla pendenza del fondale di installazione. - Ridotta capacità a sollecitazioni torsionali o flettenti, conseguente aumento delle dimensioni.
Ancora a suzione con piastra	<ul style="list-style-type: none"> - Posizionamento puntuale dell'ancora. - Ottima risposta sia a carichi verticali sia orizzontali. 	<ul style="list-style-type: none"> - Scarso adattamento ad argille soffici.

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

7. CONCLUSIONI

Alla luce delle valutazioni e simulazioni effettuate, la scelta progettuale per l'ormeggio e ancoraggio delle 28 turbine eoliche consiste nell'adozione di un sistema di ormeggio a 4 linee tese in materiale sintetico e 4 ancoraggi fissi e puntuali del tipo a pali in acciaio.

La selezione è il risultato di una accurata ed approfondita analisi sullo stato dell'arte nel settore offshore e ha prediletto, nel ventaglio delle soluzioni possibili, l'utilizzo di sistemi a ridotto impatto sul fondale e configurabili come BAT (*Best Available Technologies*).

Tutte le valutazioni dimensionali sono state condotte in riferimento a condizioni sito specifiche per quanto riguarda caratteristiche geologiche, geofisiche e meteomarine così come rilevate da approfondita campagna scientifica/oceanografica *in situ*.

Per quanto detto la soluzione progettuale proposta può fin d'ora ritenersi soddisfacente sia dal punto di vista tecnico che della sicurezza e tutela ambientale. Non si esclude tuttavia che, in relazione agli esiti delle previste campagne in situ per la caratterizzazione geotecnica dei fondali e l'acquisizione con boa lidar del regime anemometrico, si possano, in fase di ingegnerizzazione di dettaglio, apportare ulteriori miglioramenti e/o ottimizzazioni anche in coerenza con le nuove BAT disponibili.

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

RIFERIMENTI

Enterdata, s.d. *Offshore wind goes floating*. [Online]

Available at: <https://www.enerdata.net/publications/executive-briefing/floating-offshore-wind-evolution.html>

PARCO EOLICO OFFSHORE AL LARGO DELLE COSTE DI CIVITAVECCHIA PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica – Dimensionamento delle strutture di ancoraggio e ormeggio		
Codice documento: C0123SR00RELORM00a	Data emissione: Luglio 2023	Pagina 16 di 16

Il presente documento, composto da n. 66 fogli è protetto dalle leggi nazionali e comunitarie in tema di proprietà intellettuali delle opere professionali e non può essere riprodotto o copiato senza specifica autorizzazione del Progettista.

Taranto, Luglio 2023

Dott. Ing. Luigi Severini