



UNIONE EUROPEA



REPUBBLICA ITALIANA



REGIONE SARDEGNA



OPERA:

**PROGETTO DI UNA CENTRALE EOLICA OFFSHORE GALLEGGIANTE
NEL MARE DI SARDEGNA DENOMINATA "SARDINIA NORTH-WEST" E DELLE
RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RETE ELETTRICA NAZIONALE**

STUDIO PRELIMINARE AMBIENTALE
Art. 21, D.Lgs. n. 152/2006 - DEFINIZIONE DEI CONTENUTI SIA (SCOPING)

COMMITTENTE:



AVENHEXICON S.r.l.
Viale Luigi Majno, 5
20122 - Milano
C.F. e P.Iva 12219810962

PROGETTISTA:



MPOWER S.r.l.
Dott. Ing. Edoardo Boscarino
(Coordinatore Project Team)
Via Niccolò Machiavelli, 2 - 95030 - Sant'Agata Li Battiati (CT)
C.F. e P.Iva 04265440877



PROJECT TEAM:

Dott. Arch. Attilio Massarelli (Staff di Coordinamento e Rendering)
Dott. Ing. Giovanni Battaglia (Staff di Coordinamento)
Dott. Geol. Alessandro Treffiletti (GIS)
Dott. Geol. Damiano Gravina (GIS)
Dott. Ing. Elio Occhino (Acustica Ambientale)
Dott. Geol. Salvatore Bannò (Geologia)
Dott. Geol. Stefania Serra (Aspetti Naturalistici ed Ambientali)

Dott. Ing. Muhammad Saqib (Aspetti strutturali e geotecnici)
Dott. Ing. Alessandro Cali (Aspetti aeronautici)
Geom. Antonio Fleri (Aspetti demaniali)
Dott. Rosario Pignatello - IBLARCHÈ s.r.l.s. (Aspetti Archeologici)
Dott. Ing. Giancarlo Guenzi - ENERGOCONSULT s.r.l. (Impianti elettrici)
Dott. Ing. Gianni Barletta (Impianti elettrici)

OGGETTO:

SCOPING PRELIMINARE AMBIENTALE
RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO

REV.	DATA	OGGETTO DELLA REVISIONE	ELABORAZIONE	VERIFICA	APPROVAZIONE
00	25-10-2022	EMISSIONE PER SCOPING PRELIMINARE	MS	MS	EB

SCALA: -
FORMATO: A4

CODICE DOCUMENTO:
SNW | SCOP | R.05 | 00
COMMESSA | FASE | TAVOLA | REV.

CODICE ELABORATO:
R.05.00

Contraente:  global • engineering • solutions	Progetto per la realizzazione di una CENTRALE EOLICA OFFSHORE nel Mare di Sardegna, denominata "SARDINIA NORTH-WEST"			Proponente: 	
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO				
Commissa: SARDINIA NW		Contratto: 30/11/2021			
Rev.	0				
Doc.: SNW.SCOP.R.05.00	Data: 25/10/2022	Pagina 1 di 43		Doc. Prop.:	

Sommario

1	INTRODUZIONE	3
1.1	Premessa	3
1.2	Scopi e obiettivi	3
2	TIPI DI FONDAZIONE OFFSHORE	7
2.1	Fondazioni galleggianti	7
2.1.1	Tension leg platform	9
2.1.2	Barge	11
2.1.3	Semi-sommersibile (Semi-submersible)	12
2.1.4	Spar Buoy	14
3	SISTEMI DI ORMEGGIO	16
3.1	Ormeaggio a catenaria (Catenary mooring)	16
3.2	Ormeaggio teso (Taut mooring)	18
3.3	Componenti del sistema di ormeaggio	20
3.3.1	Materiali delle cime di ancoraggio	21
3.3.1.1	Catena	21
3.3.1.2	Funi metalliche	22
3.3.1.3	Corde Sintetiche	22
3.3.1.4	Giunti di connessione	22
3.3.1.5	Zavorre (Clump weights)	23
3.3.1.6	Moduli di galleggiamento (Buoyancy modules)	24
3.4	Tipologie di ancore	25
3.4.1	Ancoraggio a gravità (Deadweight Anchor)	28
3.4.2	Ancoraggio a trascinamento (Drag Embedded Anchor)	29
3.4.3	Ancoraggio su pali (Anchor Piles)	31
3.4.3.1	Driven Pile	31
3.4.3.2	Suction Pile	32
3.4.3.3	Torpedo Pile	33
3.4.3.4	Vertical Load Anchor (VLA)	34
4	PARAMETRI DI PROGETTAZIONE CHIAVE	35
4.1	Stabilità	36
4.2	Periodo naturale	36
4.3	Procedura di assemblaggio	37
4.4	Dimensioni d'ingombro	38
4.5	Massa	38
4.6	Costi	39
5	SISTEMA DI CAVI PER TWINWIND™	40
5.1	Progettazione del Cavo	41
5.1.1	Analisi globale	42

0	25/10/2022	EMISSIONE PER SCOPING PRELIMINARE	MS	MS	EB
Rev.	Data	Titolo Revisione	Elaborato	Verificato	Approvato
Documento di proprietà di Mpower S.r.l. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.			File: SNWSCOP.R.05.00 Relazione preliminare sulle strutture di ancoraggio e ormeaggio.docx		

Contraente:  global • engineering • solutions	Progetto per la realizzazione di una CENTRALE EOLICA OFFSHORE nel Mare di Sardegna, denominata "SARDINIA NORTH-WEST"			Proponente: 	
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO				
Commissa: SARDINIA NW		Contratto: 30/11/2021			
Rev.	0				
Doc.: SNW.SCOP.R.05.00	Data: 25/10/2022	Pagina 2 di 43		Doc. Prop.:	

5.1.2 Analisi locale.....	43
5.1.3 Test di affaticamento	43

Acronimi

OFWT	<i>Offshore Floating Wind Turbine</i>
FOWT	<i>Floating Offshore Wind Turbine</i>
SCPT	<i>Seismic Cone Penetration Test</i>
SBT	<i>Soil Behavior Type</i>
NTG	<i>National Transmission Grid</i>
WTG	<i>Wind Turbine Generator</i>
TLP	<i>Tension Leg Platform</i>
MW	<i>Megawatt</i>
DEA	<i>Drag Embedded Anchors</i>
MBL	<i>Minimum Breaking Load</i>
HMPE	<i>High Modulus Polyethylene</i>
VLA	<i>Vertical Load Anchor</i>
DNV	<i>Det Norske Veritas</i>
CAPEX	<i>Capital Expenditure</i>
OPEX	<i>Operational Expenditure</i>
LCOE	<i>Levelized Cost of Energy</i>
KWh	<i>Kilowatt hour</i>

0	25/10/2022	EMISSIONE PER SCOPING PRELIMINARE	MS	MS	EB
Rev.	Data	Titolo Revisione	Elaborato	Verificato	Approvato
Documento di proprietà di Mpower S.r.l. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.			File: SNWSCOP.R.05.00 Relazione preliminare sulle strutture di ancoraggio e ormeggio.docx		

Contraente:  mpower <small>global • engineering • solutions</small>	Progetto per la realizzazione di una CENTRALE EOLICA OFFSHORE nel Mare di Sardegna, denominata "SARDINIA NORTH-WEST"			Proponente:  hexicon AVAPA ENERGY	
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO				
Commissa: SARDINIA NW	Contratto: 30/11/2021				
Rev. 0					
Doc.: SNW.SCOP.R.05.00	Data: 25/10/2022	Pagina 3 di 43		Doc. Prop.:	

1 INTRODUZIONE

1.1 Premessa

Lo studio è stato condotto per descrivere gli aspetti strutturali e geotecnici del progetto proposto per un impianto eolico offshore "TwinWind™" di tipo galleggiante nel Mare di Sardegna Occidentale, nonché le relative opere di connessione alla Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) da parte dell'azienda proponente **AvenHexicon S.r.l.**

L'obiettivo del progetto è espandere la produzione di energia rinnovabile e soddisfare la crescente domanda di energia da parte di clienti pubblici e privati, in conformità con i requisiti dell'UE.

Per la scelta del sito di installazione sono stati condotti studi preliminari, che hanno tenuto conto della risorsa eolica disponibile, dei vincoli normativi, urbanistici e ambientali, nonché della distanza dalla costa, della natura e della profondità dei fondali e della possibilità di connessione alla rete elettrica nazionale.

Il presente elaborato si concentra principalmente sugli aspetti strutturali e geotecnici della proposta progettuale di parco eolico galleggiante offshore "TwinWind™". Si è proceduto a verificare le potenzialità e l'applicabilità di diversi tipi di meccanismi di ormeggio e ancoraggio di turbine eoliche offshore galleggianti.

L'approccio progettuale sugli ormeggi e ancoraggi, invece, è stato determinato in questa fase preliminare, con l'obiettivo principale di garantire la sicurezza marittima e ridurre al minimo l'impatto ambientale di questi sistemi sul fondale marino.

1.2 Scopi e obiettivi

Lo scopo di questo rapporto è quello di esaminare e descrivere la tecnologia proposta da AvenHexicon per la stabilità della struttura galleggiante offshore TwinWind™ come i sistemi di ormeggio e ancoraggio sulla base della profondità marina, dei carichi forniti dal moto ondoso e dal vento e delle caratteristiche geotecniche dei suoli.

La scelta della migliore soluzione di ancoraggio (fondazione) per parchi eolici offshore galleggianti si basa principalmente sulle ipotesi progettuali e sulle caratteristiche geotecniche e ambientali dell'area prescelta.

0	25/10/2022	EMISSIONE PER SCOPING PRELIMINARE	MS	MS	EB
Rev.	Data	Titolo Revisione	Elaborato	Verificato	Approvato
Documento di proprietà di Mpower S.r.l. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.			File: SNWSCOP.R.05.00 Relazione preliminare sulle strutture di ancoraggio e ormeggio.docx		

Contraente:  global • engineering • solutions	Progetto per la realizzazione di una CENTRALE EOLICA OFFSHORE nel Mare di Sardegna, denominata "SARDINIA NORTH-WEST"			Proponente:  AVAPA ENERGY		
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO					
Commissa: SARDINIA NW		Contratto: 30/11/2021				
Rev.	0					
Doc.: SNW.SCOP.R.05.00	Data: 25/10/2022	Pagina 4 di 43		Doc. Prop.:		

Nell'individuazione della giusta scelta della tipologia di ancoraggio e del sistema di ormeggio è anche necessario ridurre al minimo gli impatti ambientali.

Il dimensionamento e le successive analisi terranno conto delle sollecitazioni operanti sulle cime di ormeggio e, di conseguenza, sugli ancoraggi di fondazione, come il pretensionamento dei cavi, l'oscillazione del livello del mare in funzione delle maree, o la variazione dell'assetto di galleggiamento, del moto ondoso, dell'azione delle correnti e del vento.

Gli elementi strutturali della turbina eolica offshore galleggiante TwinWind® sono stati studiati tenendo conto dei seguenti parametri:

- ✓ Costo (economicità);
- ✓ Facilità di costruzione, trasporto in situ e installazione (galleggiabilità);
- ✓ Possibilità di produzione in serie (ripetibilità);
- ✓ Utilizzo in siti con differenti caratteristiche morfologiche (adattabilità);
- ✓ Scelta dei parametri di progettazione (complementarietà);
- ✓ Possibilità di consentire il montaggio (realizzabilità);
- ✓ Rimozione dell'area occupata dalle fondazioni (*decommissioning*).

1.3 TwinWind™ di Hexicon

L'azienda svedese di tecnologie rinnovabili denominata Hexicon A.B. sviluppa progetti di energia eolica offshore in tutto il mondo. L'azienda ha una sua tecnologia chiamata TwinWind™, che comprende due turbine su base galleggiante.

Un unico punto di ormeggio viene utilizzato dalla tecnologia di fondazione galleggiante TwinWind™ per supportare due turbine eoliche e banderuole. Ciò consente di incrementare la densità di potenza installata per unità di specchio acqueo di mare utilizzato, aumentando così la produzione di energia e riducendo pertanto, l'impatto ambientale.

Inoltre, TwinWind™ riduce i costi complessivi di utilizzo di materiali quali l'acciaio delle carpenterie, il cablaggio dei cavi elettrici, l'installazione e la manutenzione, consentendo di ridurre anche le perdite per il fenomeno del "*wind shadow*", che è una scia causata dalle turbine sopravento, che rallenta la velocità dell'aria per le turbine sottovento. Il design brevettato di Hexicon sarà utilizzato pienamente in questo progetto.

L'idea progettuale innovativa viene promossa come mezzo pratico per ottenere maggiori vantaggi nei parchi eolici galleggianti. Posizionando gli impianti a maggiore distanza dalla costa infatti, le piattaforme eoliche galleggianti consentono la costruzione in acque più profonde, con velocità medie del vento più elevate ed effetti visivi sensibilmente ridotti.

0	25/10/2022	EMISSIONE PER SCOPING PRELIMINARE	MS	MS	EB
Rev.	Data	Titolo Revisione	Elaborato	Verificato	Approvato
Documento di proprietà di Mpower S.r.l. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.			File: SNWSCOP.R.05.00 Relazione preliminare sulle strutture di ancoraggio e ormeggio.docx		

Contraente: 	Progetto per la realizzazione di una CENTRALE EOLICA OFFSHORE nel Mare di Sardegna, denominata "SARDINIA NORTH-WEST"			Proponente: 	
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO				
Doc.: SNW.SCOP.R.05.00	Commissa: SARDINIA NW	Rev. 0	Contratto: 30/11/2021	Doc. Prop.:	
Data: 25/10/2022	Pagina 5 di 43				

Sono anche considerati un'opportunità per espandere l'area che può essere utilizzata per i parchi eolici, il che migliorerebbe la produzione complessiva di elettricità. Secondo Hexicon, il suo design innovativo consente anche l'installazione di più turbine per area di mare, migliorando il ritorno di energia per unità di superficie considerata.

Nella presente relazione si dimostrerà la fattibilità della tecnologia delle strutture di fondazione delle centrali eoliche galleggianti sviluppata da Hexicon e prevista per il progetto situato a largo delle coste della Sicilia centro-meridionale.



Figura 1.1: Turbina TwinWind™ di Hexicon

1.3 Sviluppi recenti

Presso l'impianto di prova olandese MARIN, Hexicon ha terminato un test sul modello della sua piattaforma eolica galleggiante a due turbine nel giugno 2021.

Il test è stato svolto come parte del progetto dimostrativo TwinWay dell'azienda, che prevede l'installazione della prima piattaforma eolica galleggiante a Metcentre in Norvegia entro il 2023.

0	25/10/2022	EMISSIONE PER SCOPING PRELIMINARE	MS	MS	EB
Rev.	Data	Titolo Revisione	Elaborato	Verificato	Approvato
Documento di proprietà di Mpower S.r.l. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.			File: SNWSCOP.R.05.00 Relazione preliminare sulle strutture di ancoraggio e ormeggio.docx		

Contraente: 	Progetto per la realizzazione di una CENTRALE EOLICA OFFSHORE nel Mare di Sardegna, denominata "SARDINIA NORTH-WEST"			Proponente: 	
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO				
Commissa: SARDINIA NW		Contratto: 30/11/2021			
Rev.	0				
Doc.: SNW.SCOP.R.05.00	Data: 25/10/2022	Pagina 6 di 43		Doc. Prop.:	

Il progetto pilota fa parte di un piano per lo sviluppo commerciale della nuova tecnologia di piattaforme eoliche galleggianti.

Il modello è stato testato in condizioni meteorologiche e operative avverse, con altezze massime delle onde che si avvicinano alle condizioni del Mare del Nord a 20 metri di altezza.

Il progetto TwinWay, il cui completamento è previsto per il 2023, è un test sulla tecnologia eolica galleggiante offshore di Hexicon, che consiste in una fondazione galleggiante e un sistema di ormeggio di tipo TLP.

"I test presso MARIN hanno avuto successo e la fondazione galleggiante e il sistema di ormeggio di Hexicon si sono comportati positivamente quando esposti a condizioni ambientali difficili", ha affermato Marcus Thor, CEO di Hexicon.

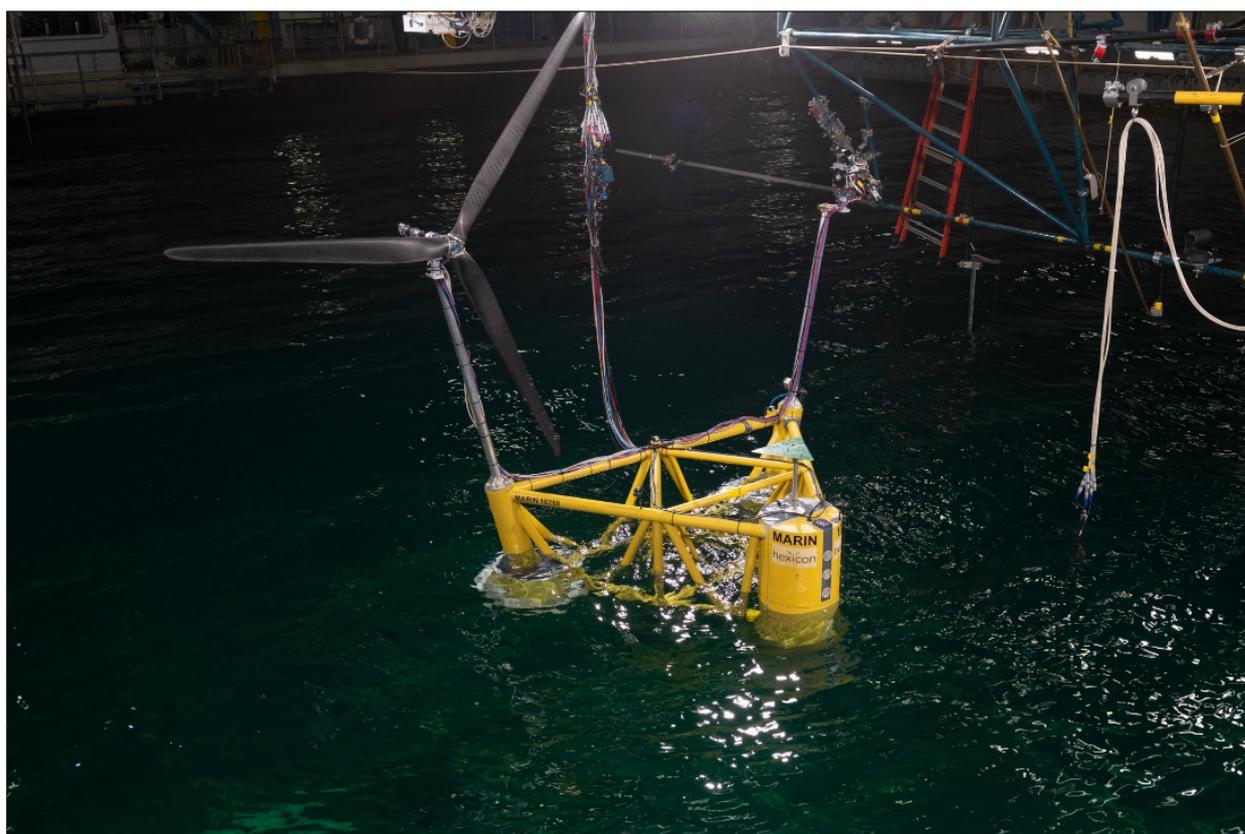


Figura 1.2: Test del modello di TwinWind™ presso il centro di prova MARIN nei Paesi Bassi

0	25/10/2022	EMISSIONE PER SCOPING PRELIMINARE	MS	MS	EB
Rev.	Data	Titolo Revisione	Elaborato	Verificato	Approvato
Documento di proprietà di Mpower S.r.l. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.			File: SNWSCOP.R.05.00 Relazione preliminare sulle strutture di ancoraggio e ormeggio.docx		

Contraente:  global • engineering • solutions	Progetto per la realizzazione di una CENTRALE EOLICA OFFSHORE nel Mare di Sardegna, denominata "SARDINIA NORTH-WEST"			Proponente: 	
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO				
Doc.: SNW.SCOP.R.05.00	Commissa: SARDINIA NW	Rev. 0	Contratto: 30/11/2021	Doc. Prop.:	
Data: 25/10/2022	Pagina 7 di 43				

2 TIPI DI FONDAZIONE OFFSHORE

La fondazione è la struttura portante della turbina eolica; è fissata (appoggiata sul fondale) o vi è tenuta immersa da cavi ancorati al fondo. È in grado di sostenere per la parte che gli appartiene (e/o trasmettere al suolo/sottosuolo marino), i carichi derivanti dal funzionamento dell'aerogeneratore, ed è costantemente immersa e soggetta alle maree, alle correnti, al moto ondoso, etc., così come al vento, ai terremoti, all'erosione dei fondali, etc.

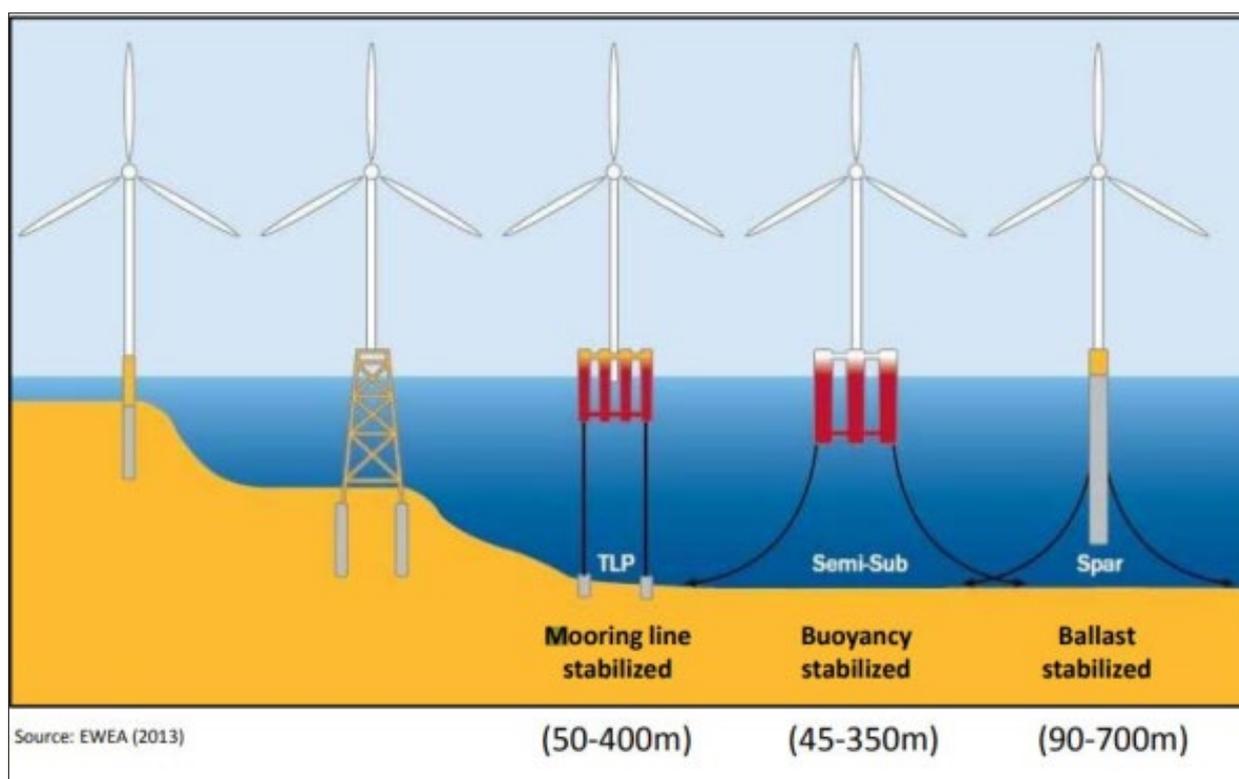


Figura 2.1: Tipi di fondazioni offshore

2.1 Fondazioni galleggianti

A causa delle profondità elevate, si è reso necessario l'utilizzo di fondazioni non convenzionali, come le fondazioni galleggianti (*floating*) che si ancorano al fondale in vari modi. Poiché non sono necessarie fondazioni tradizionali, i progetti possono essere costruiti in acque più profonde rispetto agli attuali parchi eolici offshore, diminuendo l'effetto visivo e aumentando le dimensioni degli impianti. In generale, per profondità d'acqua superiori a 100 m, la struttura galleggiante è la scelta migliore che diventa conveniente oltre i 50 m di profondità.

0	25/10/2022	EMISSIONE PER SCOPING PRELIMINARE	MS	MS	EB
Rev.	Data	Titolo Revisione	Elaborato	Verificato	Approvato
Documento di proprietà di Mpower S.r.l. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.			File: SNWSCOP.R.05.00 Relazione preliminare sulle strutture di ancoraggio e ormeggio.docx		

Contraente: 	Progetto per la realizzazione di una CENTRALE EOLICA OFFSHORE nel Mare di Sardegna, denominata "SARDINIA NORTH-WEST"			Proponente: 
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO			
Doc.: SNW.SCOP.R.05.00	Commissa: SARDINIA NW	Contratto: 30/11/2021	Rev. 0	Doc. Prop.:
Data: 25/10/2022	Pagina 8 di 43			

La capacità di limitare le oscillazioni del sistema e quindi di minimizzare il fenomeno della fatica a cui sono esposti i vari componenti è una caratteristica fondamentale richiesta alle strutture galleggianti che ospitano turbine eoliche. Le dimensioni della turbina, il tipo di supporto galleggiante, la soluzione di ormeggio, nonché gli aspetti geotecnici, geomorfologici e ambientali del singolo sito, influenzano la scelta del sistema migliore.

Sollevamento, oscillazione, impennata, beccheggio, rollio e imbardata sono le sei modalità di movimento del corpo rigido che una fondazione eolica galleggiante subisce rispondendo dinamicamente al vento, al moto ondoso e alle correnti. I movimenti del galleggiante sono sincronizzati con l'aerodinamica del WTG e con il sistema di ormeggio idrodinamico. I carichi inerziali causati dalle accelerazioni di un corpo in movimento sono significativi. L'effetto aerodinamico della turbina eolica galleggiante è elevato, anche con piccoli movimenti, a causa dell'alto baricentro della turbina. Con l'aumentare della profondità dell'acqua, le sollecitazioni provocate dai movimenti tra la fondazione, il WTG e i sistemi di ormeggio crescono notevolmente.

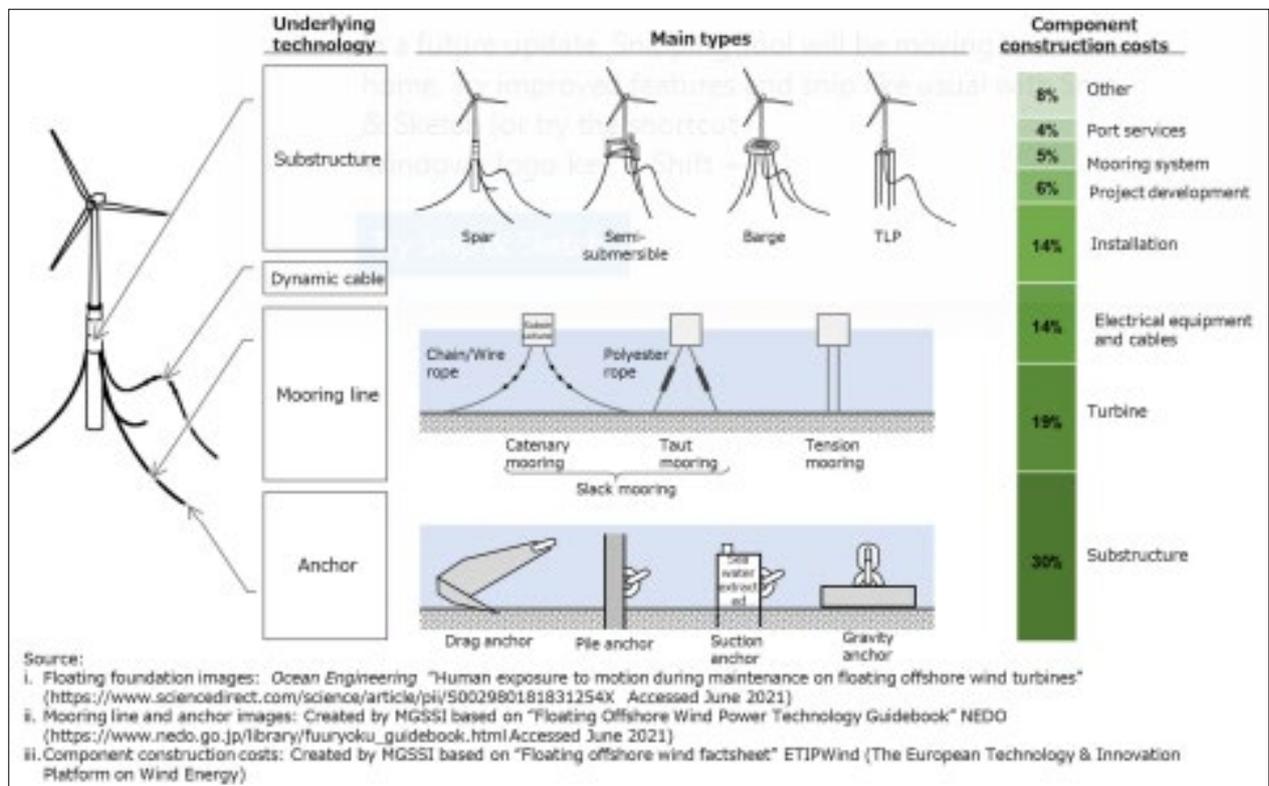


Figura 2.2: Tecnologie per l'energia eolica offshore galleggiante

0	25/10/2022	EMISSIONE PER SCOPING PRELIMINARE	MS	MS	EB
Rev.	Data	Titolo Revisione	Elaborato	Verificato	Approvato
Documento di proprietà di Mpower S.r.l. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.			File: SNWSCOP.R.05.00 Relazione preliminare sulle strutture di ancoraggio e ormeggio.docx		

Contraente: 	Progetto per la realizzazione di una CENTRALE EOLICA OFFSHORE nel Mare di Sardegna, denominata "SARDINIA NORTH-WEST"			Proponente: 	
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO				
Commissa: SARDINIA NW		Contratto: 30/11/2021			
Rev.	0				
Doc.: SNW.SCOP.R.05.00	Data: 25/10/2022	Pagina 9 di 43		Doc. Prop.:	

Poiché le turbine eoliche offshore galleggianti devono generare una fornitura costante di energia in condizioni meteorologiche avverse, così come nel caso di forti correnti oceaniche e correnti di marea, è necessario stabilire la tipologia di tecnologia, come mostrato nella figura 2.2, compreso le sottostrutture di sostegno alle grandi turbine eoliche, i cavi dinamici che garantiscono durata e capacità di trasmissione di potenza e i sistemi di ormeggio.

Esistono quattro tipi di fondazioni per costruzioni eoliche galleggianti che saranno determinate quando si analizzeranno le sollecitazioni dovute alla combinazione di carico dinamico di vento e moto ondoso.

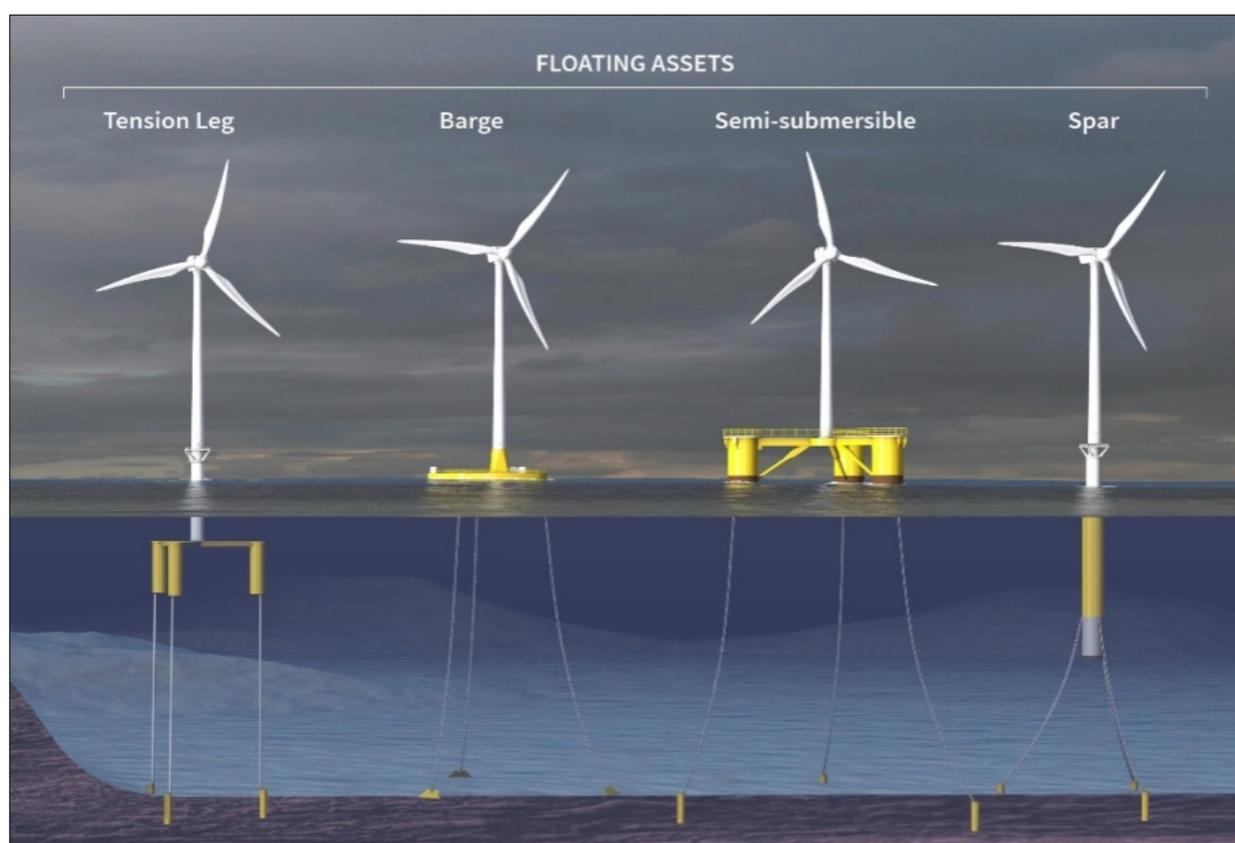


Figura 2.3: Tipi di fondazione degli aerogeneratori galleggianti (www.acteon.com)

2.1.1 Tension leg platform

La *Tension leg platform* (TLP) è un tipo di piattaforma fissa che utilizza cime di ormeggio per mantenere la stabilità e quindi fissare l'intera struttura. Di conseguenza, le fondazioni TLP sono

0	25/10/2022	EMISSIONE PER SCOPING PRELIMINARE	MS	MS	EB
Rev.	Data	Titolo Revisione	Elaborato	Verificato	Approvato
Documento di proprietà di Mpower S.r.l. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.			File: SNWSCOP.R.05.00 Relazione preliminare sulle strutture di ancoraggio e ormeggio.docx		

Contraente: 	Progetto per la realizzazione di una CENTRALE EOLICA OFFSHORE nel Mare di Sardegna, denominata "SARDINIA NORTH-WEST"			Proponente: 	
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO				
Commissa: SARDINIA NW		Contratto: 30/11/2021			
Rev.	0				
Doc.: SNW.SCOP.R.05.00	Data: 25/10/2022	Pagina 10 di 43		Doc. Prop.:	

le più stabili. Le fondazioni di tipo TLP sono le più facili da produrre, assemblare, installare e mantenere a causa delle loro dimensioni più ridotte e di conseguenza del peso più leggero.

Prima di essere trasportati ai parchi eolici, l'assemblaggio di tali piattaforme potrebbe essere effettuato nei porti o a terra. Le sollecitazioni generate dall'utilizzo di cime di ormeggio, d'altra parte, non solo richiede l'acquisizione di imbarcazioni particolari, ma complica anche le procedure per le operazioni di installazione e manutenzione.

Inoltre, tali ancoraggi sono adatti solo a particolari tipi di fondali, mentre le catene di ancoraggio possono sopportare carichi maggiori. Di conseguenza, i sistemi e le cime di ormeggio sono più costosi di altre tipologie di fondazione. Gli ancoraggi vengono utilizzati per mantenere bilanciata una fondazione TLP. L'intera struttura potrebbe collassare in caso di affaticamento delle strutture metalliche.

I TLP sono una delle tipologie più frequenti di piattaforme offshore; tuttavia sono ancora allo stadio dimostrativo e sono meno mature delle strutture *Spar buoy* e Semi-sommergibili.

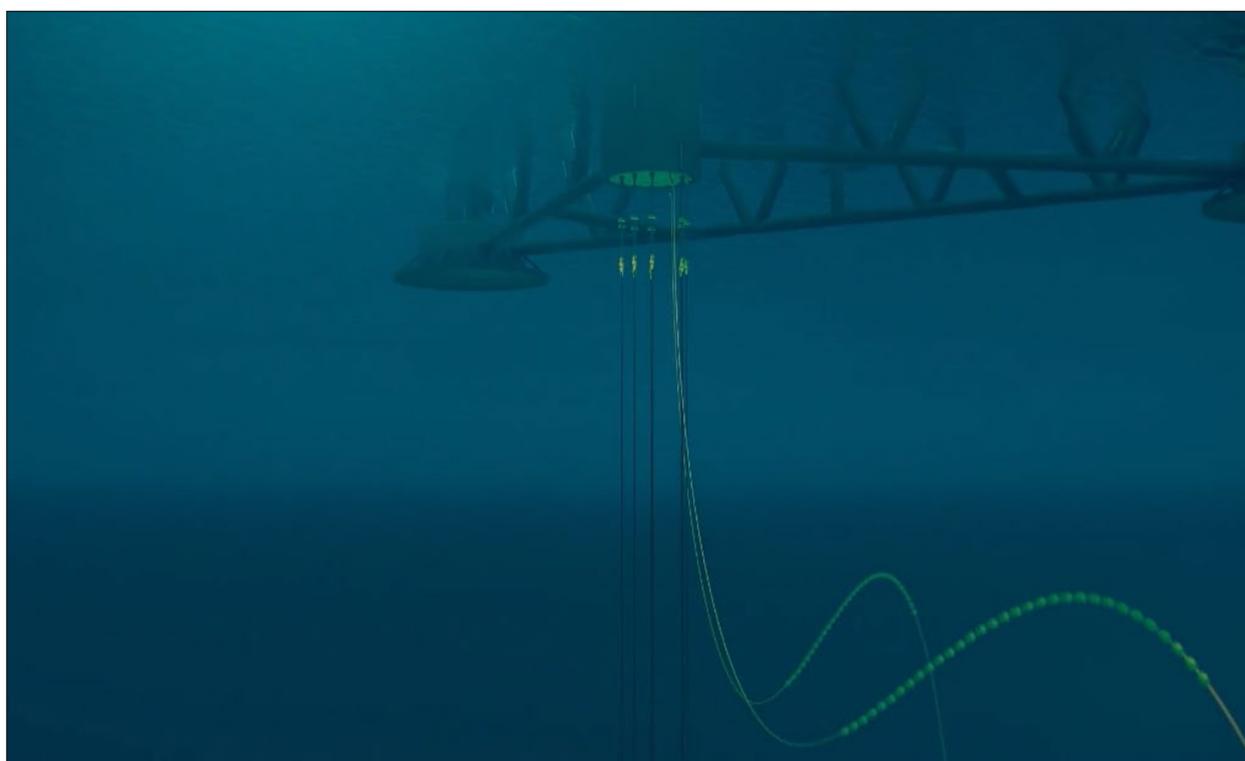


Figura 2.4: Piattaforma eolica offshore con TLP

0	25/10/2022	EMISSIONE PER SCOPING PRELIMINARE	MS	MS	EB
Rev.	Data	Titolo Revisione	Elaborato	Verificato	Approvato
Documento di proprietà di Mpower S.r.l. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.			File: SNWSCOP.R.05.00 Relazione preliminare sulle strutture di ancoraggio e ormeggio.docx		

Contraente:  global • engineering • solutions	Progetto per la realizzazione di una CENTRALE EOLICA OFFSHORE nel Mare di Sardegna, denominata "SARDINIA NORTH-WEST"			Proponente: 
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO			
Doc.: SNW.SCOP.R.05.00	Commissa: SARDINIA NW	Rev. 0	Contratto: 30/11/2021	Doc. Prop.:
	Data: 25/10/2022		Pagina 11 di 43	

Vantaggi	Svantaggi
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Movimenti lenti, con conseguente buona stabilità. ▪ La struttura ha una modesta quantità di volume in prossimità della superficie libera, con conseguente minore impatto del moto ondoso. ▪ Si comporta bene con il periodo naturale. ▪ Momento e coppia di imbardata consistenti. ▪ Per fondali superiori a 50 metri. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ I costi di produzione sono relativamente alti. ▪ Modesta occupazione di specchio acqueo, che dipende dalla stabilità dei cavi di tensionamento degli ancoraggi. ▪ Difficoltà nell'installazione, poiché gli agganci devono avere una tensione positiva e per i costi degli ancoraggi.

Tabella 2.1: Vantaggi e svantaggi dei TLP

2.1.2 Barge

Una singola o un gruppo di turbine eoliche sono montate su una struttura metallica massiccia realizzata con una chiatta a basso pescaggio nel FOWT di tipo *Barge*. Un'ampia area di specchio acqueo occupato fornisce stabilità al tipo di chiatta. E' possibile effettuare l'installazione su banchina portuale e il traino sul sito per mezzo di rimorchiatori, proprio come con le strutture semi-sommersibili.



Figura 2.5: Turbina eolica offshore di tipo *Barge*

0	25/10/2022	EMISSIONE PER SCOPING PRELIMINARE	MS	MS	EB
Rev.	Data	Titolo Revisione	Elaborato	Verificato	Approvato
Documento di proprietà di Mpower S.r.l. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.			File: SNWSCOP.R.05.00 Relazione preliminare sulle strutture di ancoraggio e ormeggio.docx		

Contraente:  mpower <small>global • engineering • solutions</small>	Progetto per la realizzazione di una CENTRALE EOLICA OFFSHORE nel Mare di Sardegna, denominata "SARDINIA NORTH-WEST"			Proponente: 		
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO					
Commissa: SARDINIA NW		Contratto: 30/11/2021				
Rev.	0					
Doc.: SNW.SCOP.R.05.00	Data: 25/10/2022	Pagina 12 di 43		Doc. Prop.:		

Il vantaggio fondamentale della fondazione tipo *Barge* è la sua facilità di costruzione. Lo svantaggio principale di una turbina eolica di tipo *Barge* è che è sensibile al rollio delle onde e ai movimenti di beccheggio, quindi viene utilizzata solo in mari calmi, come all'interno di un porto o nelle insenature.

Vantaggi	Svantaggi
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ampia superficie di specchio acqueo occupato, con conseguente buona galleggiabilità e stabilità. ▪ Buon movimento di imbardata e coppia associata. ▪ Relativamente facile da installare utilizzando cime di ormeggio convenzionali. ▪ Adatta per profondità superiori a 50 m. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Grandi movimenti. ▪ La struttura ha una grande quantità di volume in prossimità alla superficie libera, con conseguenti grandi sollecitazioni da parte del moto ondoso. ▪ Costo di produzione relativamente elevato. ▪ Impegnativo con la frequenza naturale.

Tabella 2.2: Vantaggi e svantaggi del *Barge*

2.1.3 *Semi-sommergibile (Semi-submersible)*

Le fondazioni semi-sommergibili sono realizzate mediante la connessione di una serie di boe con strutture metalliche ad aste; le prime danno la galleggiabilità, mentre le seconde offrono stabilità ed entrambe sono collegate da cime di ormeggio che ancorano le piattaforme in posizione. Le fondazioni più costose da costruire sono quelle semi-sommergibili.

Ciò può essere attribuibile a una varietà di fattori, il primo dei quali è la complessità della produzione. Una fondazione semi-sommergibile è una costruzione complessa e massiccia che richiede un gran numero di elementi di connessione.

In secondo luogo, deve essere dotata di un sistema di stabilità dinamica e di un sistema di zavorra per garantire la stabilità. Tuttavia, le fondazioni semi-sommergibili sono più semplici da installare.

Le turbine eoliche possono essere costruite sulle fondamenta e quindi trascinate al loro sito di installazione finale. Le tradizionali attrezzature di sollevamento portuale e le navi per l'installazione di turbine possono essere utilizzate per completare il lavoro. Per la manutenzione, la struttura può essere riportata a terra. Inoltre, le fondazioni semi-sommergibili

0	25/10/2022	EMISSIONE PER SCOPING PRELIMINARE	MS	MS	EB
Rev.	Data	Titolo Revisione	Elaborato	Verificato	Approvato
Documento di proprietà di Mpower S.r.l. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.			File: SNWSCOP.R.05.00 Relazione preliminare sulle strutture di ancoraggio e ormeggio.docx		

Contraente: 	Progetto per la realizzazione di una CENTRALE EOLICA OFFSHORE nel Mare di Sardegna, denominata "SARDINIA NORTH-WEST"			Proponente: 	
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO				
Doc.: SNW.SCOP.R.05.00	Commissa: SARDINIA NW	Rev. 0	Contratto: 30/11/2021	Doc. Prop.:	
Data: 25/10/2022	Pagina 13 di 43				

si adattano bene a un'ampia gamma di profondità d'acqua, da 40 metri a migliaia di metri, senza molta differenza nei costi di installazione.

Attualmente la tecnologia semi-sommersibile ha raggiunto il suo apice. Ci sono molti FOWT con tecnologia semi-sommersibile come *Kincardine*, un parco eolico galleggiante da 50 MW nel Regno Unito, che è di gran lunga il più grande parco eolico galleggiante. Il *Windfloat Atlantic* da 25 MW utilizza le fondazioni semi-sommersibili "WindFloat" di *Principle Power* al largo delle coste del Portogallo settentrionale. La praticità di una fondazione semi-sommersibile è evidente, ma l'abbassamento dei costi di produzione rappresenta ancora un ostacolo.

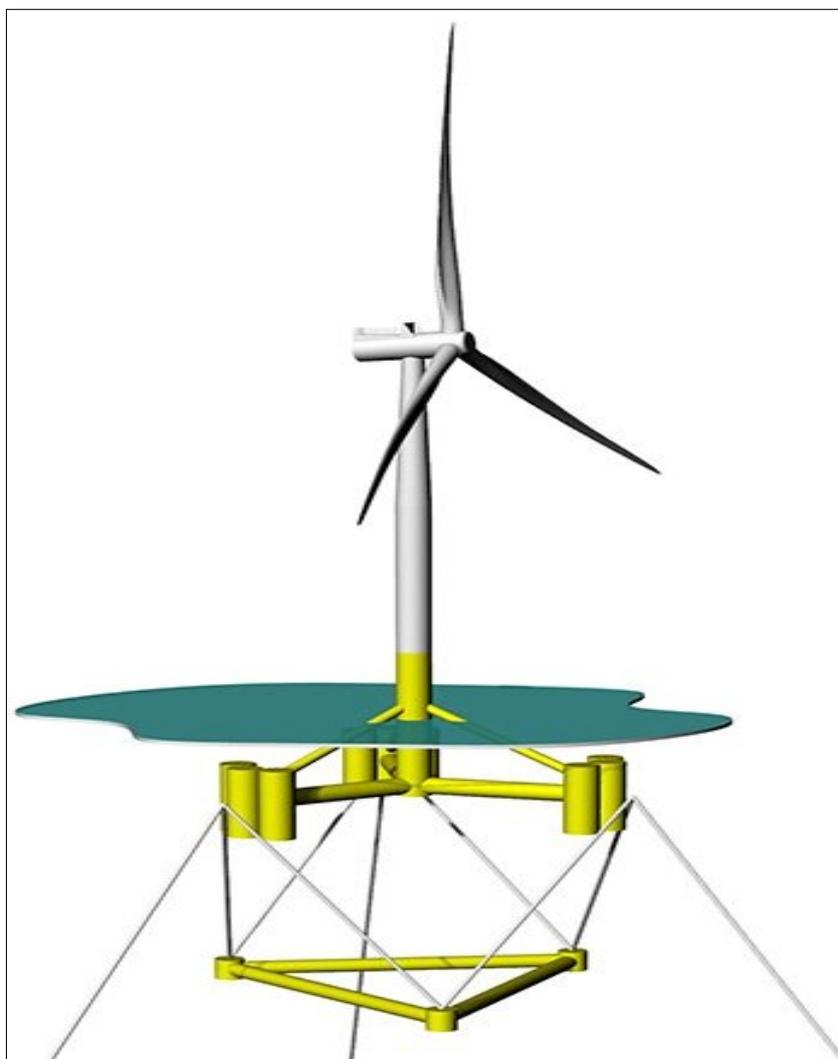


Figura 2.6: Fondazione semi sommersibile

0	25/10/2022	EMISSIONE PER SCOPING PRELIMINARE	MS	MS	EB
Rev.	Data	Titolo Revisione	Elaborato	Verificato	Approvato
Documento di proprietà di Mpower S.r.l. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.			File: SNWSCOP.R.05.00 Relazione preliminare sulle strutture di ancoraggio e ormeggio.docx		

Contraente:  global • engineering • solutions	Progetto per la realizzazione di una CENTRALE EOLICA OFFSHORE nel Mare di Sardegna, denominata "SARDINIA NORTH-WEST"			Proponente: 	
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO				
Doc.: SNW.SCOP.R.05.00	Commissa: SARDINIA NW	Rev. 0	Contratto: 30/11/2021	Data: 25/10/2022	Pagina 14 di 43
					Doc. Prop.:

Vantaggi	Svantaggi
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Piccoli spostamenti e quindi migliore stabilità. ▪ Relativamente facile da installare. ▪ Buon movimento di imbardata e coppia associata. ▪ Adatto per profondità superiori a 50 m. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Grandi spostamenti. ▪ Costo di produzione relativamente elevato. ▪ Impegnativo con la frequenza naturale.

Tabella 2.3: Vantaggi e svantaggi Semisommersibile

2.1.4 Spar Buoy

Le fondazioni galleggianti con struttura ad asta (*Spar buoy*) sono in grado di stabilizzare l'intera piattaforma, con boe ad asta e zavorra nella metà inferiore della struttura. Di conseguenza, i dispositivi di stabilità dinamica non sono più necessari a causa del baricentro più basso e più stabile. La struttura è lineare, con pochi semplici componenti da assemblare. Di conseguenza, i costi di realizzazione sono sensibilmente inferiori.

Le fondazioni *Spar buoy* devono essere installate in acque con profondità di almeno 100 metri. A causa delle sue dimensioni, l'installazione e il trasporto sono complesse. Le turbine eoliche devono essere installate offshore, il che richiede l'uso di navi per il sollevamento e con altre capacità tecnologiche marittime. Le turbine con un pescaggio più elevato sono più difficili da riportare a terra per la manutenzione.

Attualmente la tecnologia di gran lunga più avanzata è proprio la fondazione galleggiante *Spar buoy*. Questa tecnica è stata utilizzata in diversi progetti noti come *Hywind Scotland*, il primo parco eolico galleggiante commerciale su scala MW al mondo. *Hywind Scotland*, guidata dallo sviluppatore norvegese *Equinor*, ha costruito una turbina dimostrativa nel 2009 e ha terminato il parco eolico nel 2017, con un fattore di capacità del 53,1% negli ultimi tre anni. Ciò sottolinea la diversità e la stabilità delle fonti eoliche offshore.

0	25/10/2022	EMISSIONE PER SCOPING PRELIMINARE	MS	MS	EB
Rev.	Data	Titolo Revisione	Elaborato	Verificato	Approvato
Documento di proprietà di Mpower S.r.l. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.			File: SNWSCOP.R.05.00 Relazione preliminare sulle strutture di ancoraggio e ormeggio.docx		

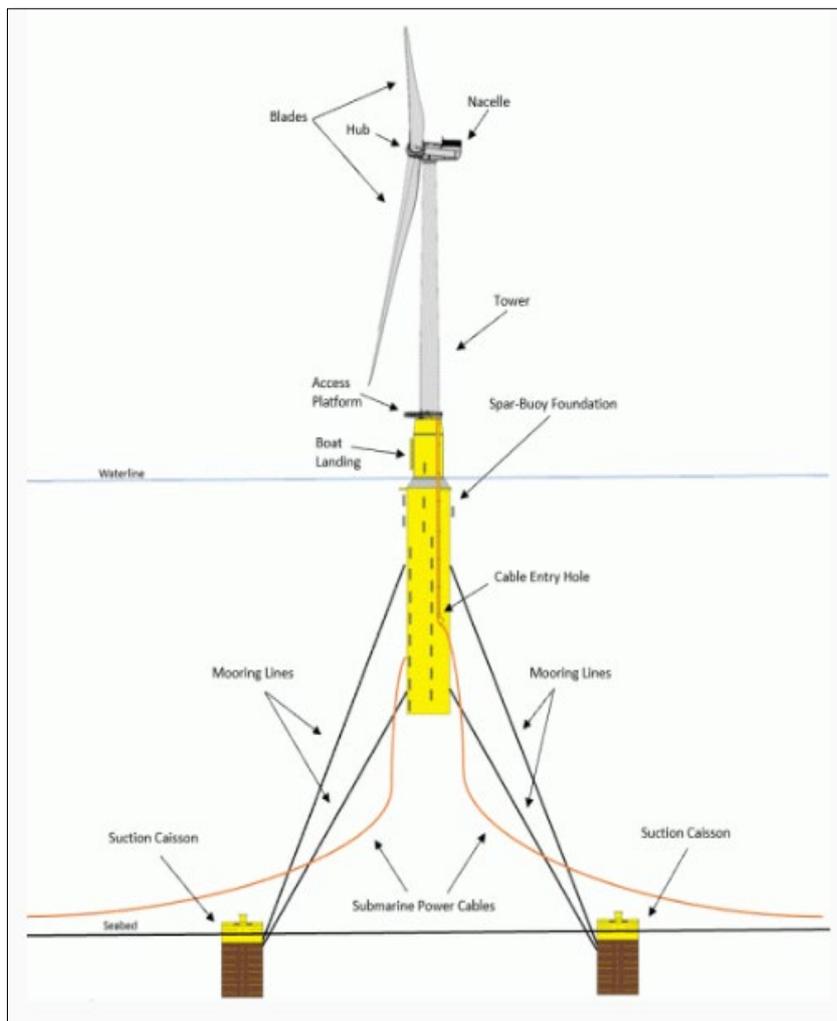


Figura 2.7: Fondazione Spar Buoy

Vantaggi	Svantaggi
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Costo relativamente basso. ▪ La struttura ha una modesta quantità di volume in prossimità della superficie libera, con conseguente minore impatto del moto ondoso. ▪ Si comporta bene con il periodo naturale. ▪ relativamente semplice da installare utilizzando l'ormeggio di categoria. ▪ Per fondali superiori a 150 metri. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Grandi spostamenti. ▪ Modesta area di specchio acqueo occupata, che lascia la stabilità della struttura basata sulla distribuzione di galleggiamento/peso. ▪ Grande movimento di imbardata e coppia associata.

Tabella 2.4: Vantaggi e svantaggi della Spar Buoy

0	25/10/2022	EMISSIONE PER SCOPING PRELIMINARE	MS	MS	EB
Rev.	Data	Titolo Revisione	Elaborato	Verificato	Approvato
Documento di proprietà di Mpower S.r.l. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.			File: SNWSCOP.R.05.00 Relazione preliminare sulle strutture di ancoraggio e ormeggio.docx		

Contraente:  global • engineering • solutions	Progetto per la realizzazione di una CENTRALE EOLICA OFFSHORE nel Mare di Sardegna, denominata "SARDINIA NORTH-WEST"			Proponente: 	
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO				
Commissa: SARDINIA NW	Contratto: 30/11/2021				
Rev. 0					
Doc.: SNW.SCOP.R.05.00	Data: 25/10/2022	Pagina 16 di 43		Doc. Prop.:	

3 SISTEMI DI ORMEGGIO

Un sistema di ormeggio è costituito da una cima di ormeggio, un'ancora e connettori utilizzati per mantenere una nave o una piattaforma galleggiante in stazionamento a tutte le profondità marine. Un'ancora sul fondo è collegata ad una struttura galleggiante da una cima di ormeggio.

Il processo di progettazione di un sistema di ormeggio per un sistema galleggiante di produzione di energia è complesso, ma ben consolidato. Di conseguenza, devono essere considerate varie problematiche, come evidenziato in anni di lavoro e competenze progettuali nei settori offshore. A seconda del tipo di sistema galleggiante ormeggiato e della regione geografica in cui si prevede di installarlo, si applicheranno diversi fattori, i più importanti dei quali sono sotto menzionati:

- Per ottenere e mantenere le classificazioni normative, i sistemi di ormeggio devono soddisfare i requisiti di progettazione, fabbricazione, installazione, ispezione, manutenzione e riparazione, nonché i relativi regolamenti e standard normativi.
- Per costruire un sistema di ormeggio che faciliti e massimizzi la generazione e la trasmissione di energia, deve essere soddisfatto il mantenimento dei requisiti prestazionali del sistema galleggiante (es. cavi, cordoni ombelicali, ecc.).
- La vita di progetto del sistema, così come i requisiti e i limiti di ispezione, manutenzione e riparazione a lungo termine, hanno importanza sulla scelta delle componenti di ormeggio.
- Il sistema di ormeggio e i suoi componenti devono resistere ed essere ancorati nelle condizioni ambientali e geotecniche specifiche del sito.
- Disponibilità, fabbricabilità e maturità dei componenti di ormeggio selezionati.
- Disponibilità, accessibilità e capacità della imbarcazione per l'installazione.
- Accessibilità, disponibilità e capacità per attrezzature di ormeggio e supporto per operazioni offshore in un cantiere locale di stoccaggio e movimentazione.
- La spedizione, l'importazione e la ricezione delle attrezzature di ormeggio e installazione hanno requisiti e limiti logistici.

Le attuali tecnologie generalmente utilizzate ricorrono essenzialmente a due tipologie di sistemi di ormeggio sul fondale:

3.1 Ormeggio a catenaria (Catenary mooring)

Le configurazioni a catenaria sono il sistema di ormeggio comunemente utilizzato nel caso di fondazioni *Spar buoy*, Semi-sommergibili o *Barge*. Esso utilizza cime di ormeggio fatte di catene

0	25/10/2022	EMISSIONE PER SCOPING PRELIMINARE	MS	MS	EB
Rev.	Data	Titolo Revisione	Elaborato	Verificato	Approvato
Documento di proprietà di Mpower S.r.l. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.			File: SNWSCOP.R.05.00 Relazione preliminare sulle strutture di ancoraggio e ormeggio.docx		

Contraente:  global • engineering • solutions	Progetto per la realizzazione di una CENTRALE EOLICA OFFSHORE nel Mare di Sardegna, denominata "SARDINIA NORTH-WEST"			Proponente: 	
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO				
Commissa: SARDINIA NW	Rev. 0		Contratto: 30/11/2021		
Doc.: SNW.SCOP.R.05.00	Data: 25/10/2022	Pagina 17 di 43		Doc. Prop.:	

o cavi metallici di peso sufficiente. Le disposizioni a catenaria occupano una superficie maggiore sul fondo del mare rispetto alle installazioni a "gamba tesa" (*taut-leg*) e possono interferire con le attività di pesca, poiché alcuni cavi di ormeggio sono posizionati sul fondale.

Le ancore resistono alla forza orizzontale, mentre le cime di ormeggio sul fondale forniscono una forza di reazione orizzontale per le fondazioni. Invece, le boe o i corpi morti forniscono una forza di reazione verticale per i sistemi di ancoraggio a catenaria, sebbene con una stabilità significativamente inferiore rispetto alle configurazioni a TLP.

Le cime di ormeggio sono più facili da installare utilizzando dispositivi a catenaria, con conseguente riduzione delle spese di costruzione. Nelle acque più profonde, invece, le catene metalliche stanno venendo rapidamente sostituite dalle funi sintetiche, con conseguenti benefici in termini di riduzione dei carichi trasportati sulle navi.

Le *Drag-embedded anchors* (DEA) sono le migliori per le configurazioni a catenaria. Le DEA sono state ampiamente utilizzate e sono efficaci in fondali che sono coesi e facili da penetrare per gli ancoraggi. Durante lo smantellamento delle turbine eoliche, un tale ancoraggio è semplice da rimuovere. Le DEA, d'altra parte, possono danneggiare per errore cavi di comunicazione sottomarini o *pipelines*.

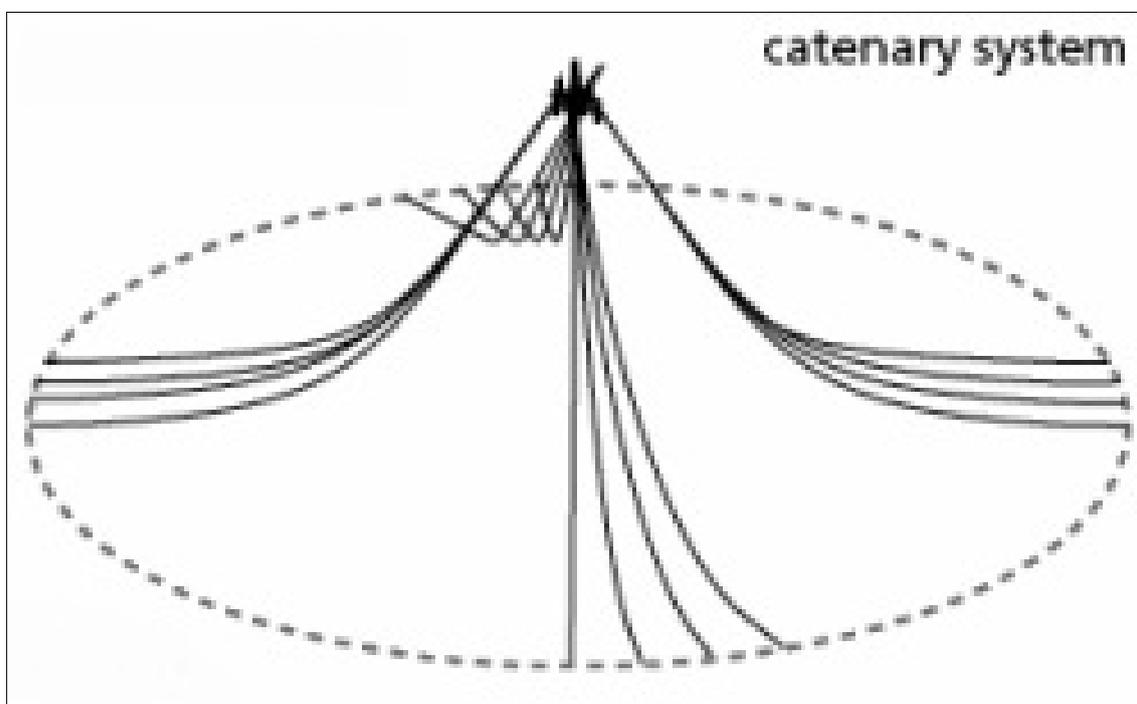


Figura 3.1: Ormeggio a catenaria

0	25/10/2022	EMISSIONE PER SCOPING PRELIMINARE	MS	MS	EB
Rev.	Data	Titolo Revisione	Elaborato	Verificato	Approvato
Documento di proprietà di Mpower S.r.l. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.			File: SNWSCOP.R.05.00 Relazione preliminare sulle strutture di ancoraggio e ormeggio.docx		

Contraente:  mpower <small>global • engineering • solutions</small>	Progetto per la realizzazione di una CENTRALE EOLICA OFFSHORE nel Mare di Sardegna, denominata "SARDINIA NORTH-WEST"			Proponente:  hexicon AVAPA ENERGY	
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO				
Commissa: SARDINIA NW		Contratto: 30/11/2021			
Rev.	0				
Doc.: SNW.SCOP.R.05.00	Data: 25/10/2022	Pagina 18 di 43		Doc. Prop.:	

3.2 Ormeggio teso (*Taut mooring*)

Esistono due tipi di sistemi di ormeggio, uno dei quali è la disposizione a "gamba tesa" (*Taut-leg* o TL), che sono comunemente utilizzate in combinazione con piattaforme TLP. Nelle disposizioni *Taut-leg* sono utilizzate cime di ormeggio in acciaio o composte da funi o da fibra sintetica. Con un angolo di 30-40 gradi tra ciascuna cima di ormeggio e il fondo, i modelli a *Taut-leg* hanno un ingombro ridotto e una minore occupazione di specchio acqueo e di fondale marino.

I sistemi *Taut-leg* conferiscono un'eccellente stabilità e resistenza alle forze orizzontali e verticali quando combinate con il carico verticale e la forza di reazione delle cime di ormeggio elastiche. Tuttavia, tali progetti generano più sollecitazioni, ponendo un rischio di affaticamento delle componenti metalliche e richiedendo l'uso di rivestimenti specifici.

Le forze verticali e orizzontali devono essere in grado di tollerare disposizioni a gamba tesa. Di conseguenza, tale tipologia di ancoraggio è più adatta rispetto ai pali battuti, alle ancore a gravità e alle ancore di aspirazione (*suction anchors*). In termini concettuali e di processi di installazione, i pali battuti e i pali a perni di fondazioni fisse sono comparabili, con costi che aumentano all'aumentare della profondità marina. Inoltre, il battipalo ha un impatto acustico elevato.

Gli ancoraggi a gravità sono realizzati mediante calcestruzzo di cemento e armatura in acciaio e hanno la capacità di sostenere pesi elevati. Le turbine eoliche, d'altra parte, sono difficili da installare e dismettere quando vengono usati pali battuti e ancoraggi a gravità.

Di conseguenza, gli ancoraggi ad aspirazione (*suction anchors*) sono la scelta più comune per i modelli con *Taut-leg*. Gli ancoraggi ad aspirazione costringono le ancore ad affondare pompando l'acqua fuori dal tubo di scarico, generando una differenza di pressione. Basta riempire il tubo di scarico con acqua per rimuovere le fondazioni e la pressione spingerà gli ancoraggi in superficie.

0	25/10/2022	EMISSIONE PER SCOPING PRELIMINARE	MS	MS	EB
Rev.	Data	Titolo Revisione	Elaborato	Verificato	Approvato
Documento di proprietà di Mpower S.r.l. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.			File: SNWSCOP.R.05.00 Relazione preliminare sulle strutture di ancoraggio e ormeggio.docx		

Contraente:  global • engineering • solutions	Progetto per la realizzazione di una CENTRALE EOLICA OFFSHORE nel Mare di Sardegna, denominata "SARDINIA NORTH-WEST"			Proponente: 	
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO				
Doc.: SNW.SCOP.R.05.00	Commissa: SARDINIA NW	Rev. 0	Contratto: 30/11/2021	Doc. Prop.:	
Data: 25/10/2022	Pagina 19 di 43				

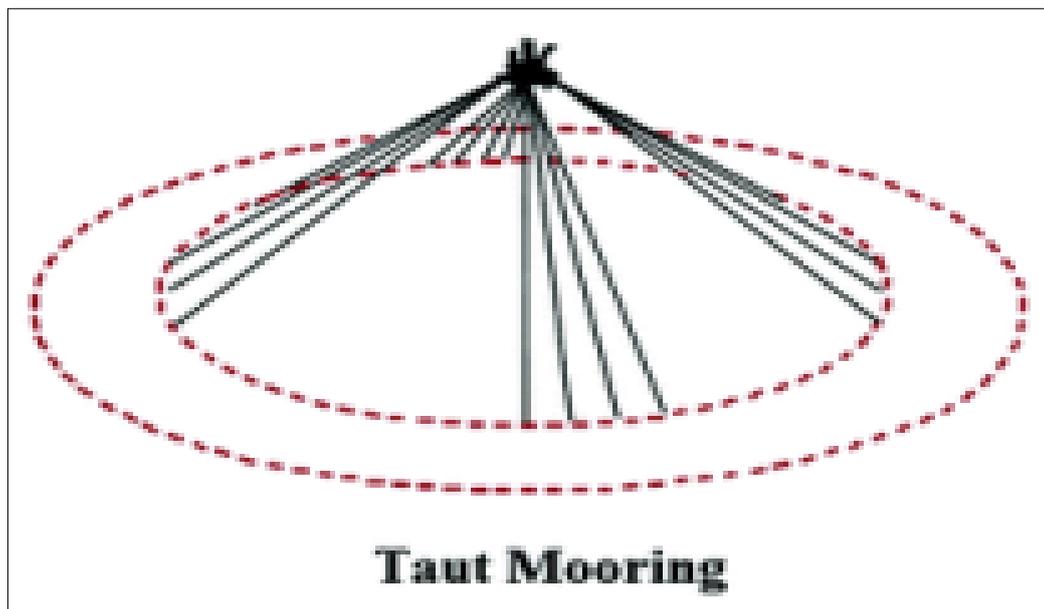


Figura 3.2: Ormeggio teso

3.2.1 Ormeggio a torretta (Turret mooring)

Il *Turret mooring* può anche essere definito come un tipo di *Taut mooring*. Può essere descritto come una struttura galleggiante interna ed esterna con cuscinetti a sfere a supporto del sostegno della colonna fissa della torretta in un sistema di ormeggio *Turret mooring*.

Di conseguenza, le parti attaccate al natante possono spostarsi liberamente attorno alla torretta, che è ancorata al fondale da una serie di cime di ancoraggio di tipo TL. La struttura galleggiante pertanto, può adottare il percorso di minor resistenza alle onde, al vento e alle correnti grazie alla sua configurazione.

Il sistema a torretta, che è collegato a dei massicci cuscinetti rotanti, collega tutte le cime di ormeggio. Questi cuscinetti a sfere consentono alle strutture galleggianti di ruotare liberamente attorno alla torretta come una banderuola, riducendo le sollecitazioni esterne dovute a onde, vento e correnti. Permettono, inoltre, alle strutture galleggianti di ruotare seguendo la direzione del vento, consentendo di aumentare la produttività dell'impianto anche in caso di maltempo.

La serie di ancoraggi TL che compongono tale sistema di ormeggio, sono collegate alla torretta alle loro estremità superiori e hanno un punto di ancoraggio alle loro estremità inferiori. Qui è presente un'altra torretta, la cui struttura cilindrica ha aperture per su cui si collegano gli

0	25/10/2022	EMISSIONE PER SCOPING PRELIMINARE	MS	MS	EB
Rev.	Data	Titolo Revisione	Elaborato	Verificato	Approvato
Documento di proprietà di Mpower S.r.l. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.			File: SNWSCOP.R.05.00 Relazione preliminare sulle strutture di ancoraggio e ormeggio.docx		

Contraente:  global • engineering • solutions	Progetto per la realizzazione di una CENTRALE EOLICA OFFSHORE nel Mare di Sardegna, denominata "SARDINIA NORTH-WEST"			Proponente: 	
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO				
Doc.: SNW.SCOP.R.05.00	Commissa: SARDINIA NW	Rev. 0	Contratto: 30/11/2021	Doc. Prop.:	
Data: 25/10/2022	Pagina 20 di 43				

ancoraggi. All'estremità superiore è posizionato un sistema di tensionamento delle cime di ancoraggio con bloccacatena e i montanti delle strutture di supporto. Il numero di cime di ormeggio in TwinWind™ varia da 6 a 10, a seconda della posizione e dei carichi posti sulla struttura.

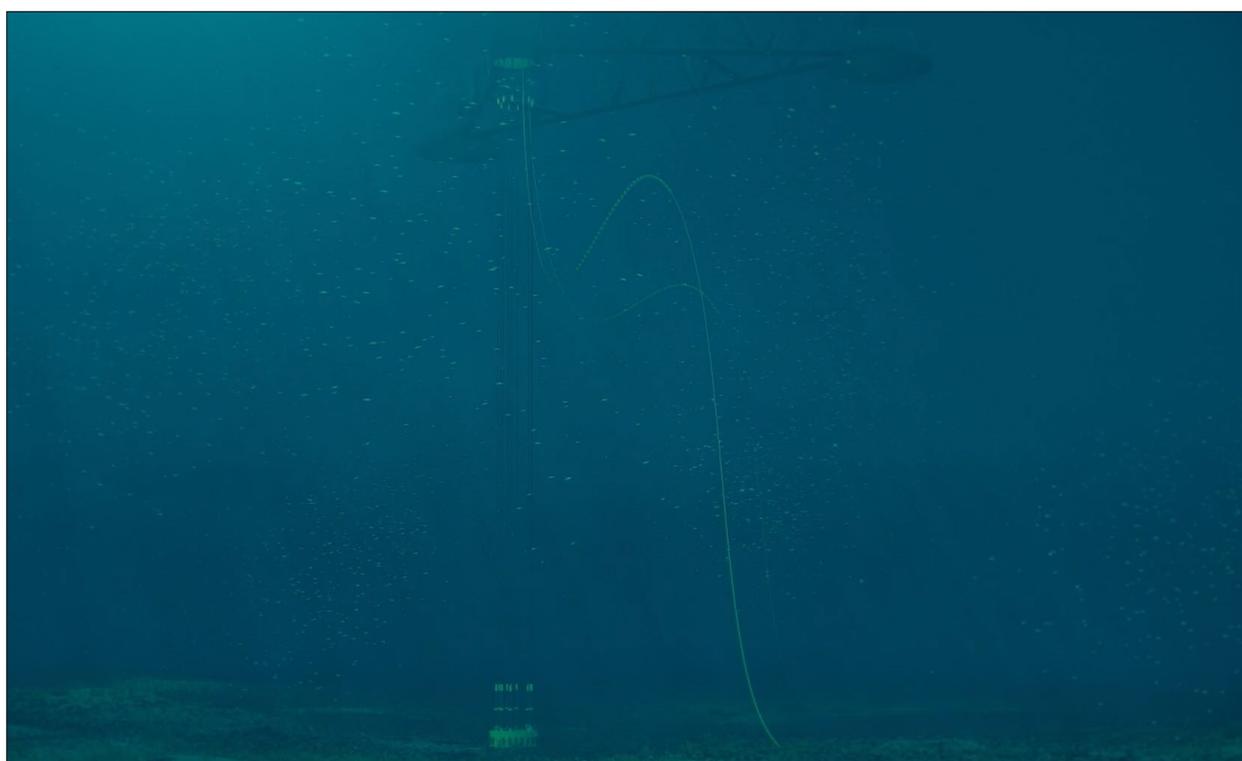


Figura 3.3: Ormeggio torretta

3.3 Componenti del sistema di ormeggio

Un sistema di ormeggio è composto da più parti. Le cime possono essere realizzate con una varietà di materiali, quali catene, funi metalliche e funi sintetiche. I giunti di connessione uniscono le cime e le fissano alla piattaforma o ad ancoraggi come ceppi (*shackles*), grilli (*kenter*) e passacavi (*fairleads*). Alcuni elementi possono essere installati anche per modificare le caratteristiche delle cime (*boe*, *zavorre*).

Alcune delle componenti principali del sistema di ormeggio saranno descritte nei paragrafi seguenti:

0	25/10/2022	EMISSIONE PER SCOPING PRELIMINARE	MS	MS	EB
Rev.	Data	Titolo Revisione	Elaborato	Verificato	Approvato
Documento di proprietà di Mpower S.r.l. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.			File: SNWSCOP.R.05.00 Relazione preliminare sulle strutture di ancoraggio e ormeggio.docx		

Contraente:  global • engineering • solutions	Progetto per la realizzazione di una CENTRALE EOLICA OFFSHORE nel Mare di Sardegna, denominata "SARDINIA NORTH-WEST"			Proponente: 	
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO				
Doc.: SNW.SCOP.R.05.00	Commissa: SARDINIA NW	Rev. 0	Contratto: 30/11/2021	Doc. Prop.:	
Data: 25/10/2022	Pagina 21 di 43				

3.3.1 Materiali delle cime di ancoraggio

3.3.1.1 Catena

Il materiale più caratteristico per i sistemi di ormeggio è la catena. Esistono vari parametri che possono essere utilizzati per classificare una catena. In commercio ne esistono due tipi: *stud-link* e *studless*. La catena senza borchie viene utilizzata per gli ormeggi permanenti e la catena a maglie con perno viene utilizzata per gli ormeggi temporanei. A parità di carico di rottura minimo, le catene *studless* sono leggermente più leggere delle catene *stud-link* (*minimum breaking load* o MBL).

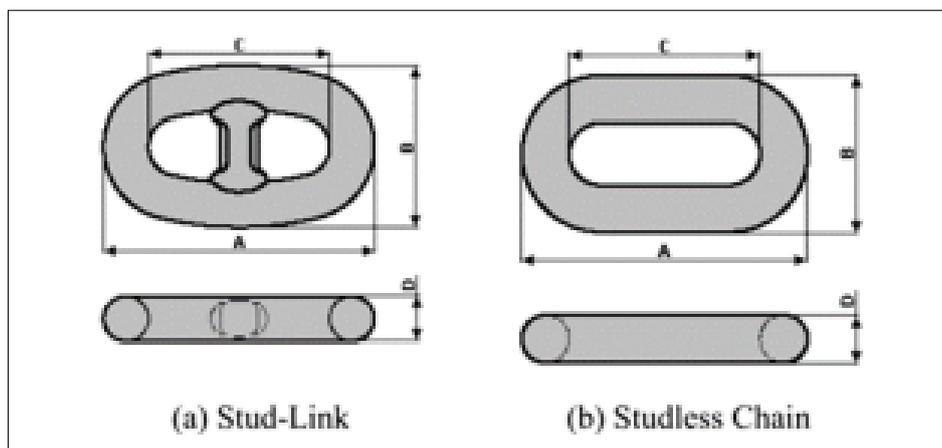


Figura 3.3: Catena Stud-link e Studless

Il grado di acciaio è un altro fattore importante da considerare quando si tratta di catenarie: R3, R3S, R4, R4S e R5 sono i gradi più comuni utilizzate nel settore offshore. All'aumentare della pendenza della catenaria, le caratteristiche meccaniche cambiano. Il vantaggio fondamentale di un grado superiore, nonostante il prezzo maggiore, è che MBL può essere aumentato senza aumentare il diametro (sollecitazioni idrodinamiche) o la massa per unità di lunghezza. La seguente formula può essere utilizzata per determinare il carico di rottura minimo (MBL):

$$MBL = cd^2 (44 - 80d)$$

Dove,

d = diametro barra (mm)

c = coefficiente dipendente dalla qualità dell'acciaio

0	25/10/2022	EMISSIONE PER SCOPING PRELIMINARE	MS	MS	EB
Rev.	Data	Titolo Revisione	Elaborato	Verificato	Approvato
Documento di proprietà di Mpower S.r.l. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.			File: SNWSCOP.R.05.00 Relazione preliminare sulle strutture di ancoraggio e ormeggio.docx		

Contraente:  global • engineering • solutions	Progetto per la realizzazione di una CENTRALE EOLICA OFFSHORE nel Mare di Sardegna, denominata "SARDINIA NORTH-WEST"			Proponente: 	
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO				
Doc.: SNW.SCOP.R.05.00	Commissa: SARDINIA NW	Rev. 0	Contratto: 30/11/2021	Doc. Prop.:	
Data: 25/10/2022	Pagina 22 di 43				

I valori del coefficiente in funzione della qualità dell'acciaio sono riportati nella tabella seguente:

Grado	c
R3	2,23 x 104
R3S	2,49 x 104
R4	2,74 x 104
R4S	3,04 x 104
R5	3,2 x 104

Tabella 3.1: Valori del coefficiente c

3.3.1.2 Funi metalliche

Un altro materiale frequente per gli ormeggi è la fune metallica. Le funi metalliche sono più leggere e hanno più elasticità della catena a parità di MBL. Anche il costo per unità di lunghezza è inferiore. Le funi metalliche a 6 trefoli, 8 trefoli e a spirale sono ampiamente utilizzate nei settori offshore. A causa della zincatura o della protezione sintetica, la fune metallica è meno soggetta alla corrosione (fune metallica rivestita, utilizzo di polietilene ad alta densità o poliuretano).

Il tipo di trefoli scelto è solitamente determinato dalla durata del sistema di ormeggio. Le funi metalliche (o sintetiche) vengono spesso utilizzate con la catena in un design a catenaria. La cima è solitamente composta da una catena appoggiata sul fondale (a causa della maggiore resistenza all'abrasione della catena), seguita da una fune metallica sul tratto di catenaria.

3.3.1.3 Corde Sintetiche

Grazie alla loro leggerezza e all'eccellente flessibilità, le corde sintetiche sono utilizzate principalmente in acque profonde e ultra profonde. Il poliestere è la corda sintetica più diffusa. Le corde in poliestere sono utilizzate nei sistemi di ormeggio semi-teso e teso, risultando tra i sistemi di ormeggio, i più convenienti. Vengono utilizzate anche altre corde sintetiche, come nylon, HMPE (*high modulus polyethylene*) o aramide.

3.3.1.4 Giunti di connessione

I giunti di connessione vengono utilizzati per unire due sezioni di una cima di ormeggio che sono fatte dello stesso materiale o di materiali diversi, nonché per unire la cima al passacavo, all'ancora o ad altri componenti intermedi (boa, zavorra).

0	25/10/2022	EMISSIONE PER SCOPING PRELIMINARE	MS	MS	EB
Rev.	Data	Titolo Revisione	Elaborato	Verificato	Approvato
Documento di proprietà di Mpower S.r.l. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.			File: SNWSCOP.R.05.00 Relazione preliminare sulle strutture di ancoraggio e ormeggio.docx		

Contraente: 	Progetto per la realizzazione di una CENTRALE EOLICA OFFSHORE nel Mare di Sardegna, denominata "SARDINIA NORTH-WEST"			Proponente: 	
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO				
Commissa: SARDINIA NW		Contratto: 30/11/2021			
Rev.	0				
Doc.: SNW.SCOP.R.05.00	Data: 25/10/2022	Pagina 23 di 43		Doc. Prop.:	

Questi giunti si dividono normalmente in due tipologie: quelli utilizzati per i sistemi di ormeggio permanente e quelli utilizzati per i sistemi di ormeggio temporaneo. Per i giunti, la durata sotto stress di fatica è uno dei parametri di progettazione più importante, in quanto la concentrazione delle sollecitazioni che subiscono in alcune sezioni, può contribuire al verificarsi di danni.

Il grillo è il giunto di connessione più comune nel settore offshore. Un'estremità della cima della catenaria può essere collegata a una boa con questo giunto. Sia i sistemi di ancoraggio permanenti che quelli temporanei possono trarre vantaggio dall'uso di grilli.

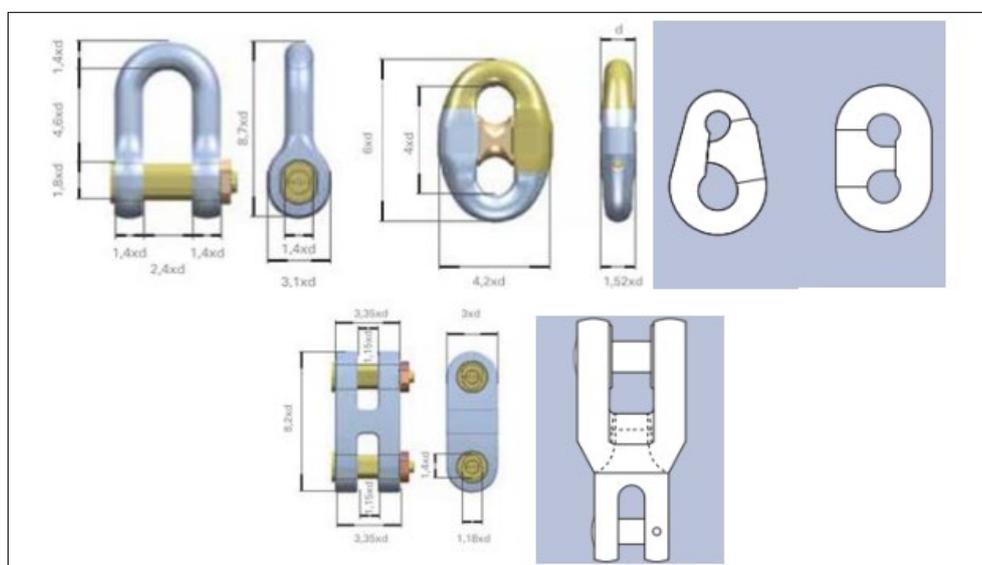


Figura 3.4: Giunti di connessione comunemente usati nell'industria offshore

I *kenter* sono un tipo di giunto che unisce due pezzi di catena dello stesso diametro. A causa della loro breve durata a fatica, questi giunti non sono adatti per l'ancoraggio permanente. I giunti di connessione a forma di pera, come i *kenter*, vengono utilizzati nei sistemi di ormeggio temporaneo per unire due catene di diverso diametro. Non sono utilizzati negli ormeggi permanenti. Altri giunti denominati di tipo C, vengono utilizzati per unire due catene dello stesso diametro. I loro sistemi di apertura li distinguono dai *kenters*.

3.3.1.5 Zavorre (Clump weights)

In fase di progettazione si possono includere zavorre in un sistema di ormeggio a catenaria. I pesi agganciati sono componenti in ghisa o calcestruzzo. Sono impiegati come carichi per

0	25/10/2022	EMISSIONE PER SCOPING PRELIMINARE	MS	MS	EB
Rev.	Data	Titolo Revisione	Elaborato	Verificato	Approvato
Documento di proprietà di Mpower S.r.l. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.			File: SNWSCOP.R.05.00 Relazione preliminare sulle strutture di ancoraggio e ormeggio.docx		

Contraente:  global • engineering • solutions	Progetto per la realizzazione di una CENTRALE EOLICA OFFSHORE nel Mare di Sardegna, denominata "SARDINIA NORTH-WEST"			Proponente: 	
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO				
Doc.: SNW.SCOP.R.05.00	Commissa: SARDINIA NW	Rev. 0	Contratto: 30/11/2021	Data: 25/10/2022	Pagina 24 di 43
			Doc. Prop.:		

aumentare il pretensionamento e la rigidità, con il risultato di una maggior forza di reazione. Di conseguenza, il numero di escursioni è ridotto.

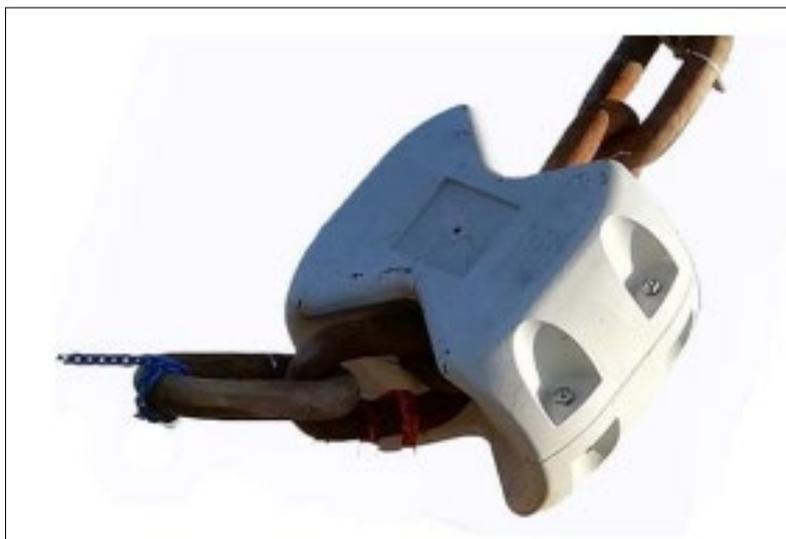


Figura 3.5: Zavorre

3.3.1.6 Moduli di galleggiamento (Buoyancy modules)

I moduli di galleggiamento possono essere utilizzati con i sistemi di ormeggio a catenaria. I moduli di galleggiamento vengono utilizzati per ridurre al minimo la dinamica della cima di ancoraggio, il peso sulla piattaforma e i movimenti di disaccoppiamento tra le cime e i galleggianti. Questi componenti sono molto utili per ridurre l'affaticamento dei cavi dinamici e sono utilizzati in una varietà di combinazioni note come *lazy-wave* o *lazy-S*, che sono comunemente impiegate nell'ingegneria offshore.

0	25/10/2022	EMISSIONE PER SCOPING PRELIMINARE	MS	MS	EB
Rev.	Data	Titolo Revisione	Elaborato	Verificato	Approvato
Documento di proprietà di Mpower S.r.l. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.			File: SNWSCOP.R.05.00 Relazione preliminare sulle strutture di ancoraggio e ormeggio.docx		

Contraente:  global • engineering • solutions	Progetto per la realizzazione di una CENTRALE EOLICA OFFSHORE nel Mare di Sardegna, denominata "SARDINIA NORTH-WEST"			Proponente: 	
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO				
Doc.: SNW.SCOP.R.05.00	Commissa: SARDINIA NW	Rev. 0	Contratto: 30/11/2021	Doc. Prop.:	
Data: 25/10/2022	Pagina 25 di 43				

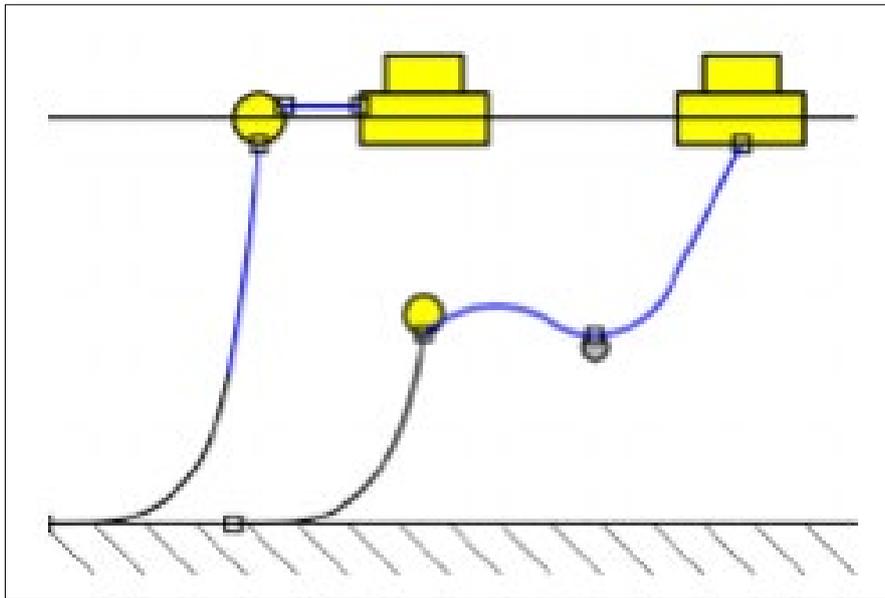


Figura 3.6: Moduli di galleggiamento

3.4 Tipologie di ancore

Un'ancora è un componente dell'equipaggiamento nautico o marittimo utilizzato per impedire a imbarcazioni o strutture di muoversi nell'acqua. Si tratta essenzialmente di un dispositivo metallico utilizzato per fissare una nave o un corpo galleggiante al fondale marino in modo da impedirne movimenti indesiderati dovuti al vento, alla corrente e ad altri carichi ambientali.

Gli ancoraggi sono spesso progettati per essere temporanei in modo che possano essere riavvolti sulla struttura secondo necessità. Alcune costruzioni offshore, invece, richiedono ancoraggi permanenti per mantenerli collegati al fondale, poiché sono stazionari per lunghi periodi di tempo.

Ci sono una varietà di soluzioni di ancoraggio per costruzioni galleggianti nell'eolico offshore. La scelta della struttura galleggiante di supporto più idonea per l'installazione di aerogeneratori è influenzata da una serie di fattori, tra cui la dimensione della turbina, il tipo di supporto galleggiante, la soluzione di ormeggio e le caratteristiche geotecniche, geomorfologiche e ambientali del sito specifico. La profondità del fondale, le caratteristiche meccaniche dei fondali presso i siti di ancoraggio e l'esistenza di specifici limiti ambientali (es. morfologia del fondale, presenza di fauna marina nell'area interessata), sono tutti esempi di questi fattori.

0	25/10/2022	EMISSIONE PER SCOPING PRELIMINARE	MS	MS	EB
Rev.	Data	Titolo Revisione	Elaborato	Verificato	Approvato
Documento di proprietà di Mpower S.r.l. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.			File: SNWSCOP.R.05.00 Relazione preliminare sulle strutture di ancoraggio e ormeggio.docx		

Contraente:  mpower <small>global • engineering • solutions</small>	Progetto per la realizzazione di una CENTRALE EOLICA OFFSHORE nel Mare di Sardegna, denominata "SARDINIA NORTH-WEST"			Proponente:  hexicon AVAPA ENERGY	
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO				
Doc.: SNW.SCOP.R.05.00	Commissa: SARDINIA NW	Contratto: 30/11/2021	Rev. 0		
Data: 25/10/2022	Pagina 26 di 43			Doc. Prop.:	

Le caratteristiche geotecniche hanno un impatto significativo sulla capacità di carico di qualsiasi sistema di ancoraggio. Un incastro più profondo, così come una maggiore quantità di terreno interessato, può aumentare la capacità di carico di qualsiasi ancoraggio. Di conseguenza, gli ancoraggi permanenti possono essere progettati per una varietà di tipi di terreno.

Se ne deduce che più profondo è l'incasso, maggiore sarà la forza di estrazione, fondamentale per massimizzare il carico utile. I carichi verticali richiederanno uno sforzo maggiore per penetrare, mentre i carichi orizzontali possono incastrarsi sempre più in profondità. Di conseguenza, gli ancoraggi caricati verticalmente sono più costosi da installare. Sarà difficile trovare un sistema di ancoraggio a un prezzo ragionevole con un'elevata capacità di carico verticale che sia anche semplice da installare.

Il costo di un sistema di ancoraggio è determinato dal costo dei materiali, dal tipo di installazione e dalle cime di ormeggio di catena, cavo o fune. La scelta del giusto tipo di ancoraggio dipende anche dal tipo di carico che agisce sulla struttura. Ad esempio, i pesi orizzontali possono essere tratti dall'ancoraggio orizzontale, noto anche come ancoraggio a trascinamento.

L'ancora a trascinamento è più comunemente impiegata per gli ormeggi a catenaria, in cui la cima di ormeggio è posata orizzontalmente sul fondo del mare. L'ancora di carico verticale è impiegata nei sistemi di ormeggio a gamba tesa, in cui la cima di ormeggio raggiunge il fondo con un'angolazione inclinata. L'ancoraggio con carico orizzontale è un ottimo punto di partenza in questo caso, perché è comunemente utilizzato e fornirà una soluzione adeguata.

Le forme più comuni di ancoraggio su fondale marino sono illustrate qui di seguito:

- Ancoraggio a gravità (*Deadweight Anchor*)
- Ancoraggio a trascinamento (*Drag Embedded Anchor*)
- Ancoraggio su pali (*Anchor Piles*)
 - *Driven Pile*
 - *Suction Pile*
 - *Torpedo Pile*
 - *Vertical Load Anchor (VLA)*

0	25/10/2022	EMISSIONE PER SCOPING PRELIMINARE	MS	MS	EB
Rev.	Data	Titolo Revisione	Elaborato	Verificato	Approvato
Documento di proprietà di Mpower S.r.l. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.			File: SNWSCOP.R.05.00 Relazione preliminare sulle strutture di ancoraggio e ormeggio.docx		

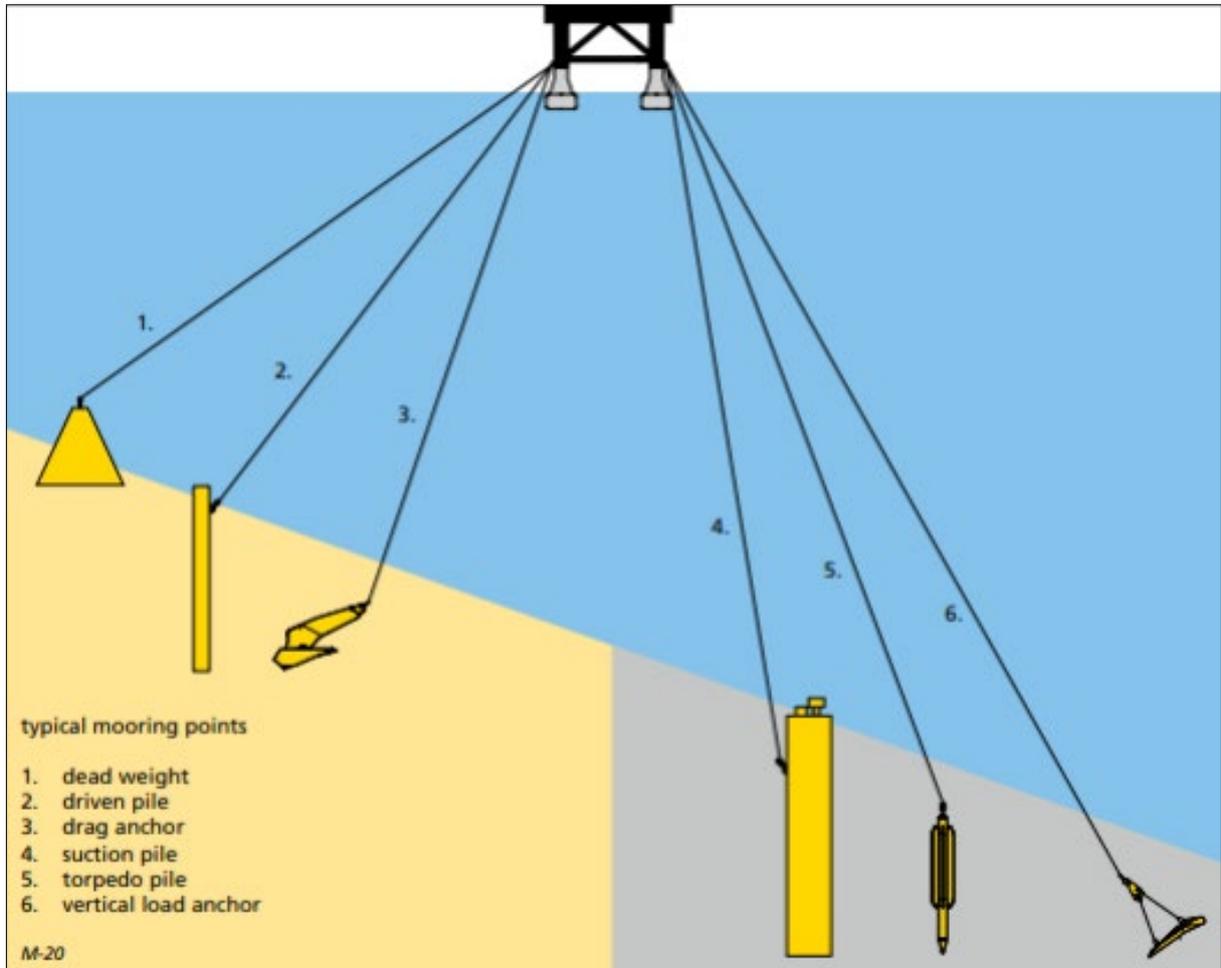


Figura 3.7: Tipi di ancoraggi

I seguenti sono i principi più popolari per scegliere il giusto tipo di ancora per un sistema di ormeggio:

- **Dimensione:** Le dimensioni e il tipo di ancoraggio utilizzato saranno determinati dalla capacità di tenuta dell'ancora desiderata.
- **Suoli:** La dimensione dell'ancora è determinata dal terreno. Alcuni tipi di ancoraggio non sono adatti per l'uso in fondali con argille dure.
- **Il peso:** Il costo della produzione di ancore pesanti è elevato. Ancore grandi e pesanti avranno anche bisogno di imbarcazioni con ponti e gru di maggiore dimensione e potenza per l'installazione, incrementando i loro costi.

0	25/10/2022	EMISSIONE PER SCOPING PRELIMINARE	MS	MS	EB
Rev.	Data	Titolo Revisione	Elaborato	Verificato	Approvato
Documento di proprietà di Mpower S.r.l. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.			File: SNWSCOP.R.05.00 Relazione preliminare sulle strutture di ancoraggio e ormeggio.docx		

Contraente:  global • engineering • solutions	Progetto per la realizzazione di una CENTRALE EOLICA OFFSHORE nel Mare di Sardegna, denominata “SARDINIA NORTH-WEST”			Proponente: 	
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO				
Doc.: SNW.SCOP.R.05.00	Commissa: SARDINIA NW	Rev. 0	Contratto: 30/11/2021	Doc. Prop.:	
Data: 25/10/2022	Pagina 28 di 43				

- **Attrezzatura:** Per l'installazione sarebbero necessarie attrezzature differenti a seconda del tipo di ancoraggio, rendendo la scelta del metodo di installazione un fattore essenziale per i costi.
- **Direzionalità:** Un ancoraggio a trascinamento può supportare solo carichi orizzontali, ma un VLA e un palo possono supportare carichi in tutte le direzioni.

Il tipo di ancoraggio scelto è determinato dalle condizioni del terreno. A seconda del tipo di terreno possono essere utilizzate le seguenti tipologie di ancoraggio analizzate nel presente elaborato:

- **A gravità:** tutti i tipi di terreno;
- **A trascinamento:** argilla tenera, argilla media, argilla dura, sabbia;
- **A guida:** argilla tenera, argilla media, sabbia;
- **Ad aspirazione:** argilla morbida, argilla media;
- **A siluro:** argilla morbida, argilla media.

3.4.1 Ancoraggio a gravità (Deadweight Anchor)

Le ancore a “corpo morto” sono anche chiamate ancore a gravità. Come indica il nome, l'ancoraggio a gravità è un corpo con massa sufficiente a sopportare i carichi verticali e orizzontali trasmessi dalle cime di ancoraggio, mantenendo un fattore di sicurezza adeguato. Il calcestruzzo utilizzato come blocco di ancoraggio può trattenere solo una cima con una forza massima corrispondente alla metà della massa del blocco, a causa delle sue diverse proprietà di compressione e tensione.

La componente della forza orizzontale a cui un ancoraggio a gravità può resistere è determinata dall'adattamento delle due facce di contatto. Ciò potrebbe essere significativo, ad esempio quando l'erosione del fondale o l'assessamento provocano il cedimento dell'ancora a gravità al di sotto del livello di installazione originale; oppure potrebbe essere di minore entità, ad esempio quando un'ancora a gravità con rivestimento quadrato poggia su un letto di roccia irregolare.

Quando si considera la possibilità che accada un flusso di marea che crea forze di sollevamento, è richiesto un fattore di sicurezza elevato per ottenere un grado di affidabilità soddisfacente, in particolare per quanto riguarda i dispositivi galleggianti sommersi. Il fondale deve essere sufficientemente livellato perché un'ancora a gravità funzioni bene, il che richiede una preparazione del sito di ancoraggio in fase preliminare, se non dovesse risultare adatto.

0	25/10/2022	EMISSIONE PER SCOPING PRELIMINARE	MS	MS	EB
Rev.	Data	Titolo Revisione	Elaborato	Verificato	Approvato
Documento di proprietà di Mpower S.r.l. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.			File: SNWSCOP.R.05.00 Relazione preliminare sulle strutture di ancoraggio e ormeggio.docx		

Contraente:  global • engineering • solutions	Progetto per la realizzazione di una CENTRALE EOLICA OFFSHORE nel Mare di Sardegna, denominata "SARDINIA NORTH-WEST"			Proponente: 	
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO				
Doc.: SNW.SCOP.R.05.00	Commissa: SARDINIA NW	Rev. 0	Contratto: 30/11/2021	Data: 25/10/2022	
			Pagina 29 di 43	Doc. Prop.:	

Un'ancora a gravità funziona secondo lo stesso concetto di un'ancora a peso morto e la sua efficacia può essere calcolata utilizzando il diagramma per un corpo libero mostrato di seguito:

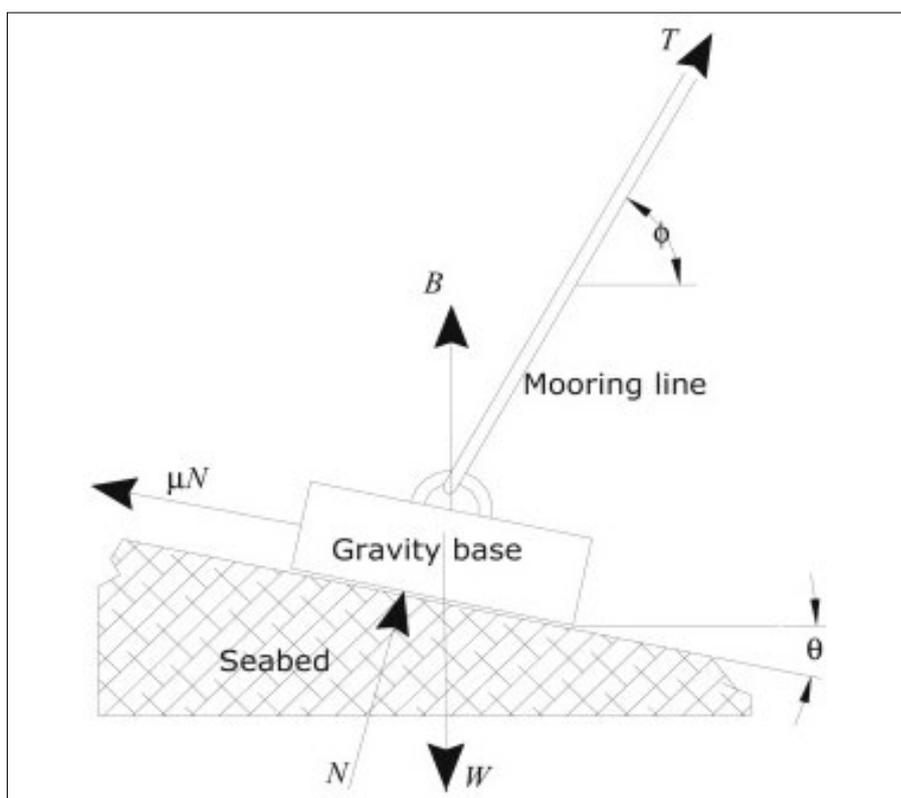


Figura 3.8: Diagramma a corpo libero per ancore a gravità

I TLP utilizzano principalmente l'ancoraggio basato sulla gravità. Il notevole peso morto garantisce una forza di portata sicura in qualsiasi direzione. Il materiale dell'ancora è poco costoso, ma ci vuole molto per raggiungere la capacità richiesta. La capacità di carico è definita dalla differenza tra il suo peso e la galleggiabilità.

3.4.2 Ancoraggio a trascinamento (Drag Embedded Anchor)

Per realizzare un incastro più profondo, questo tipo di ancoraggio viene calato sul fondale e poi tirato. È possibile che i movimenti nel corso del tempo non costituiscano dei rischi per la struttura. Infatti, il peso delle cime di ormeggio produrrà uno stato di tensionamento, che forzerà l'ancora più in profondità.

0	25/10/2022	EMISSIONE PER SCOPING PRELIMINARE	MS	MS	EB
Rev.	Data	Titolo Revisione	Elaborato	Verificato	Approvato
Documento di proprietà di Mpower S.r.l. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.			File: SNWSCOP.R.05.00 Relazione preliminare sulle strutture di ancoraggio e ormeggio.docx		

Contraente:  global • engineering • solutions	Progetto per la realizzazione di una CENTRALE EOLICA OFFSHORE nel Mare di Sardegna, denominata "SARDINIA NORTH-WEST"			Proponente: 	
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO				
Commissa: SARDINIA NW		Contratto: 30/11/2021			
Rev.	0				
Doc.: SNW.SCOP.R.05.00	Data: 25/10/2022	Pagina 30 di 43		Doc. Prop.:	

Di seguito sono riportati alcuni dei vantaggi di questa tipologia di ancoraggio:

- Il costo del tipo di ancoraggio è basso.
- Poiché non è richiesta un'installazione esatta, è adatto per sistemi ormeggiati a catenaria.
- Sono presenti forze di ormeggio orizzontali.

Oltre a un'elevata capacità di carico orizzontale per l'ancoraggio, viene progettata un'elevata capacità di carico verticale. Gli ancoraggi a carico verticale (VLA) sono un tipo di ancoraggio a trascinamento. Questi sono i più adatti per l'ancoraggio di piattaforme di turbine eoliche.

Per comprendere il principio di funzionamento degli ancoraggi a trascinamento, si riporta uno schema con rappresentazione delle componenti principali:

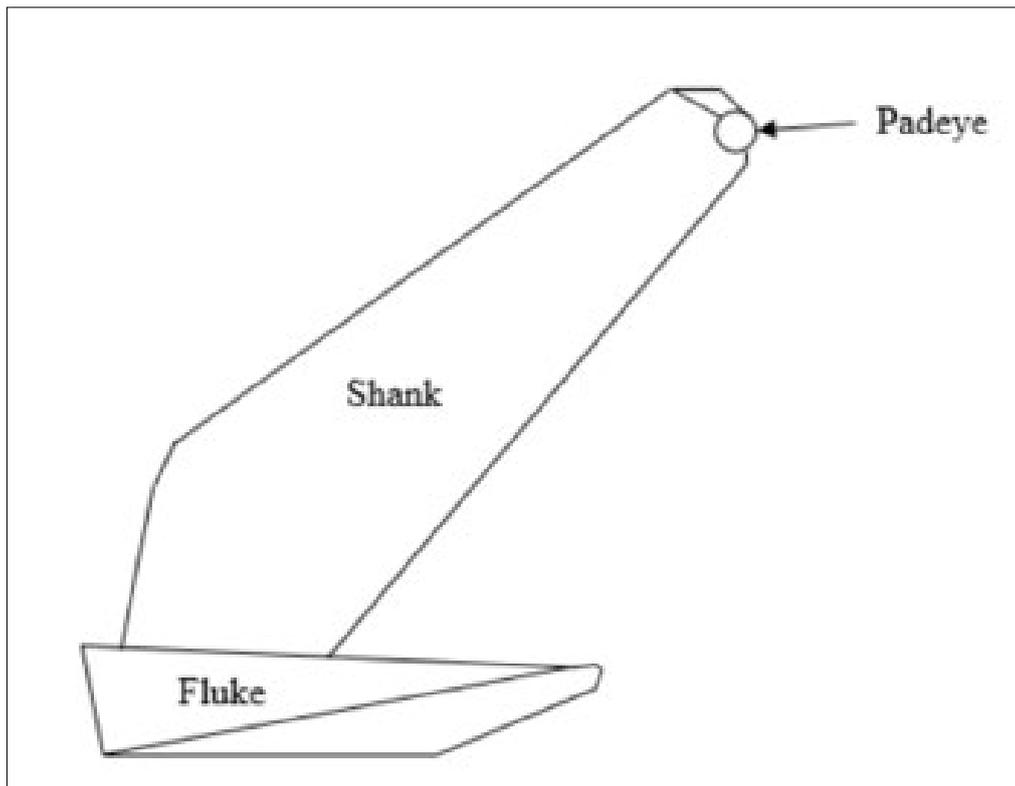


Figura 3.9: Componenti degli ancoraggi di trascinamento

0	25/10/2022	EMISSIONE PER SCOPING PRELIMINARE	MS	MS	EB
Rev.	Data	Titolo Revisione	Elaborato	Verificato	Approvato
Documento di proprietà di Mpower S.r.l. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.			File: SNWSCOP.R.05.00 Relazione preliminare sulle strutture di ancoraggio e ormeggio.docx		

Contraente:  global • engineering • solutions	Progetto per la realizzazione di una CENTRALE EOLICA OFFSHORE nel Mare di Sardegna, denominata "SARDINIA NORTH-WEST"			Proponente: 	
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO				
Doc.: SNW.SCOP.R.05.00	Commissa: SARDINIA NW	Rev. 0	Contratto: 30/11/2021	Doc. Prop.:	
Data: 25/10/2022	Pagina 31 di 43				

3.4.3 Ancoraggio su pali (Anchor Piles)

3.4.3.1 Driven Pile

L'ancoraggio con pali battuti ha dimostrato di essere abbastanza affidabile e in grado di sopportare un grande carico. Questa ancora è stata creata dopo anni di lavoro nel settore petrolifero e del gas.

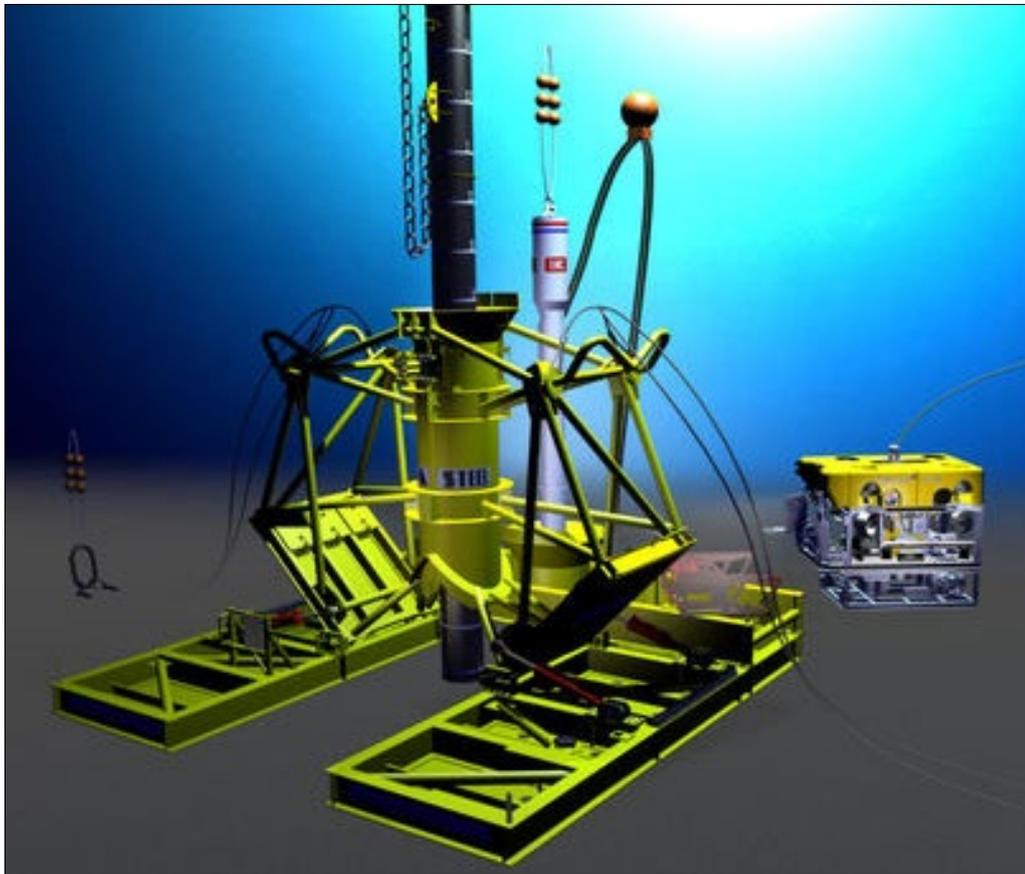


Figura 3.10: Ancoraggio su palo battuto

Tali ancore sono le più utilizzate per la produzione petrolifera offshore grazie alla loro eccellente affidabilità. I vantaggi sono i seguenti:

- Sono irreversibili;
- Situato in posizione ideale;

0	25/10/2022	EMISSIONE PER SCOPING PRELIMINARE	MS	MS	EB
Rev.	Data	Titolo Revisione	Elaborato	Verificato	Approvato
Documento di proprietà di Mpower S.r.l. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.			File: SNWSCOP.R.05.00 Relazione preliminare sulle strutture di ancoraggio e ormeggio.docx		

Contraente:  global • engineering • solutions	Progetto per la realizzazione di una CENTRALE EOLICA OFFSHORE nel Mare di Sardegna, denominata "SARDINIA NORTH-WEST"			Proponente: 	
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO				
Commissa: SARDINIA NW		Contratto: 30/11/2021			
Rev.	0				
Doc.: SNW.SCOP.R.05.00	Data: 25/10/2022	Pagina 32 di 43		Doc. Prop.:	

- Non ci deve essere strisciamento dei pali;
- È adatto al carico verticale.

Il costo elevato potrebbe essere uno svantaggio. L'ancora a palo battuto viene spinta nel fondale marino mediante un martello vibrante o a percussione.

3.4.3.2 Suction Pile

Le ancore ad aspirazione hanno l'aspetto di un lungo tubo con un'estremità inferiore aperta e una parte superiore chiusa. Questi sono un ottimo sostituto degli ancoraggi per pali battuti. L'estremità chiusa è dotata di raccordi per pompe per espellere l'acqua e aspirare il fondale di terra all'interno del tubo.

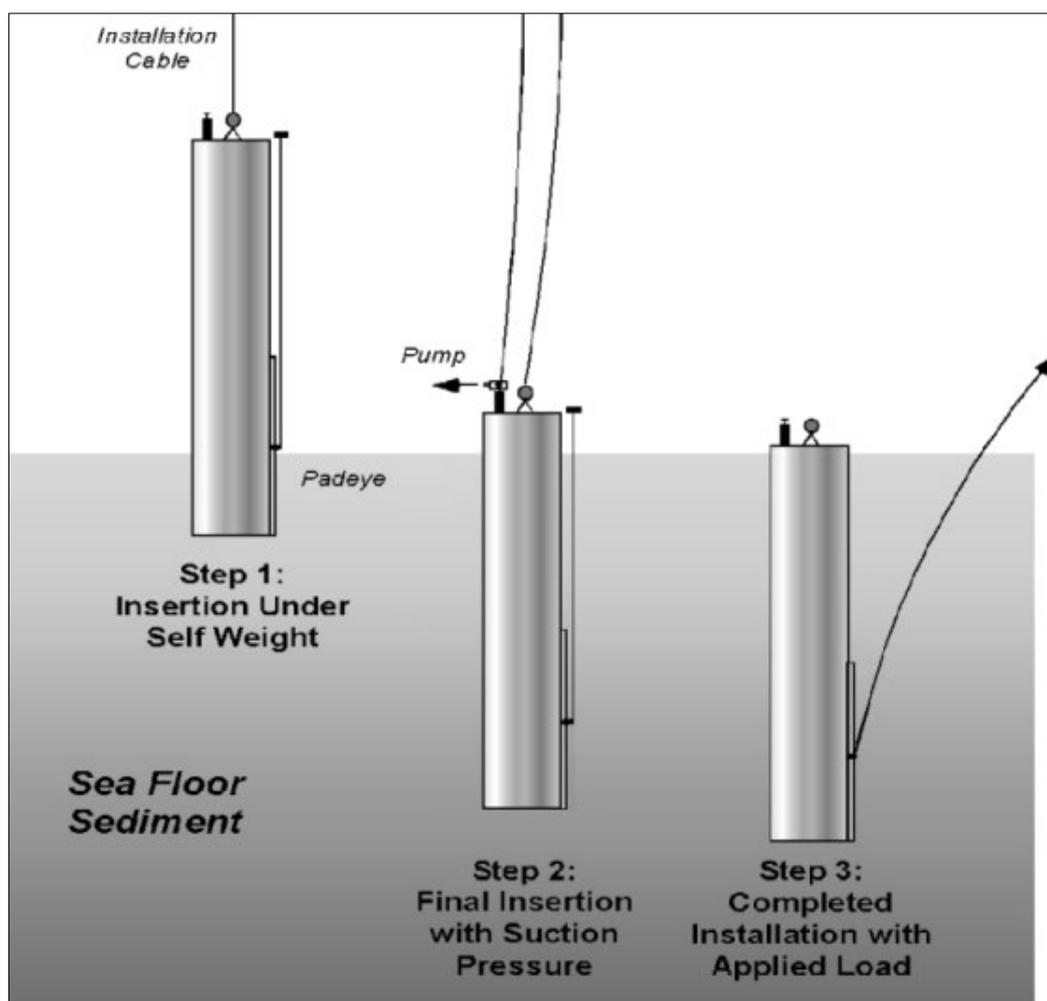


Figura 3.11: Ancoraggio del palo ad aspirazione

0	25/10/2022	EMISSIONE PER SCOPING PRELIMINARE	MS	MS	EB
Rev.	Data	Titolo Revisione	Elaborato	Verificato	Approvato
Documento di proprietà di Mpower S.r.l. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.			File: SNWSCOP.R.05.00 Relazione preliminare sulle strutture di ancoraggio e ormeggio.docx		

Contraente: 	Progetto per la realizzazione di una CENTRALE EOLICA OFFSHORE nel Mare di Sardegna, denominata "SARDINIA NORTH-WEST"			Proponente: 	
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO				
Doc.: SNW.SCOP.R.05.00	Commissa: SARDINIA NW	Rev. 0	Contratto: 30/11/2021	Data: 25/10/2022	
			Pagina 33 di 43	Doc. Prop.:	

Collegando una cima di ancoraggio a un occhiello a tampone a metà del tubo, è possibile stabilire una direzione di sollecitazione trasversale. La cima di tensionamento è sepolta in profondità nel terreno, fornendo in tale modo, un ampio cuneo di terra per sostenere il peso della cima. Rispetto agli ancoraggi a trascinamento, un ancoraggio ad aspirazione è più efficace per i carichi verticali.

3.4.3.3 Torpedo Pile

Le ancore con palo a siluro sono una delle alternative di ormeggio più efficaci per sistemi di ormeggio tesi, perché possono sopportare sollecitazioni verticali. In fase progettuale di strutture galleggianti offshore, la valutazione della capacità di estrazione degli ancoraggi è fondamentale.

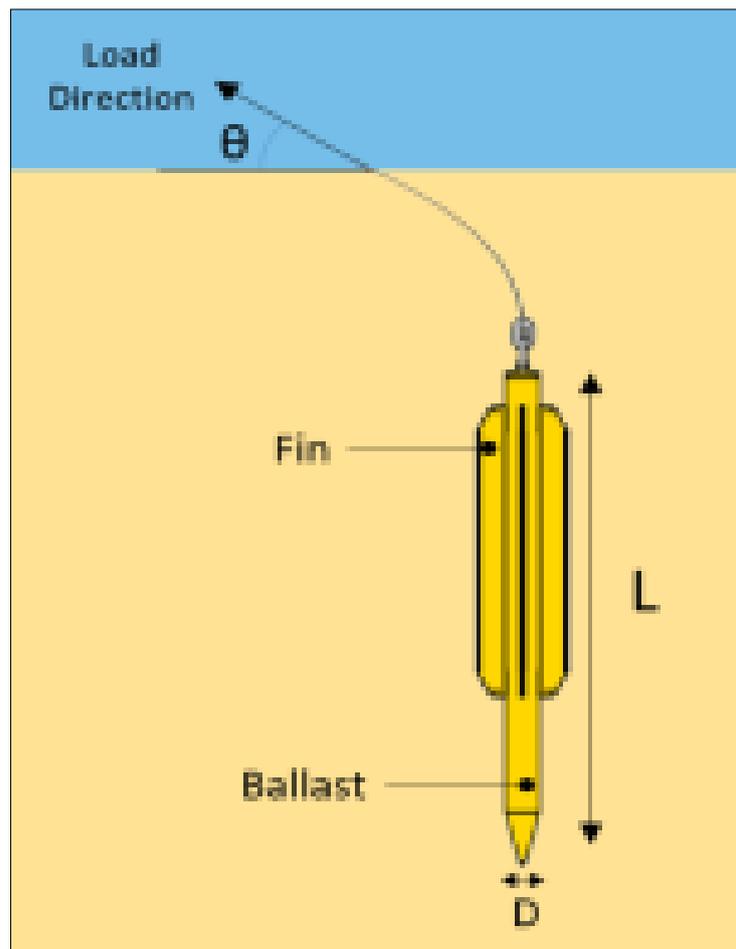


Figura 3.12: Ancoraggio con palo a siluro

0	25/10/2022	EMISSIONE PER SCOPING PRELIMINARE	MS	MS	EB
Rev.	Data	Titolo Revisione	Elaborato	Verificato	Approvato
Documento di proprietà di Mpower S.r.l. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.			File: SNWSCOP.R.05.00 Relazione preliminare sulle strutture di ancoraggio e ormeggio.docx		

Contraente: 	Progetto per la realizzazione di una CENTRALE EOLICA OFFSHORE nel Mare di Sardegna, denominata "SARDINIA NORTH-WEST"			Proponente: 	
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO				
Doc.: SNW.SCOP.R.05.00	Commissa: SARDINIA NW	Rev. 0	Contratto: 30/11/2021	Data: 25/10/2022	
			Pagina 34 di 43	Doc. Prop.:	

Questa tipologia di ancora viene calata sul fondo del mare con enorme potenza, e affonda per il suo stesso peso. La combinazione di un palo a siluro e una piastra direzionale, che può ruotare quando viene applicata la tensione, rappresenta l'opzione più conveniente per le turbine eoliche offshore che utilizzano sistemi di ormeggio verticale.

3.4.3.4 Vertical Load Anchor (VLA)

I VLA rappresentano uno sviluppo relativamente recente per quanto riguarda l'industria offshore. I VLA sono dispiegati in modo simile alle ancore a trascinamento, con un carico orizzontale che fa penetrare l'ancora nel fondale marino; tuttavia, i VLA necessitano di una penetrazione più profonda. Una volta che l'ancoraggio è affondato alla profondità necessaria, un cambiamento nell'angolo dell'ancora gli consente di supportare le sollecitazioni verticali e orizzontali. Quando l'ancora è quasi perpendicolare al carico applicato, il VLA raggiunge un'elevata capacità di tenuta. Possono anche avere una cima di recupero.

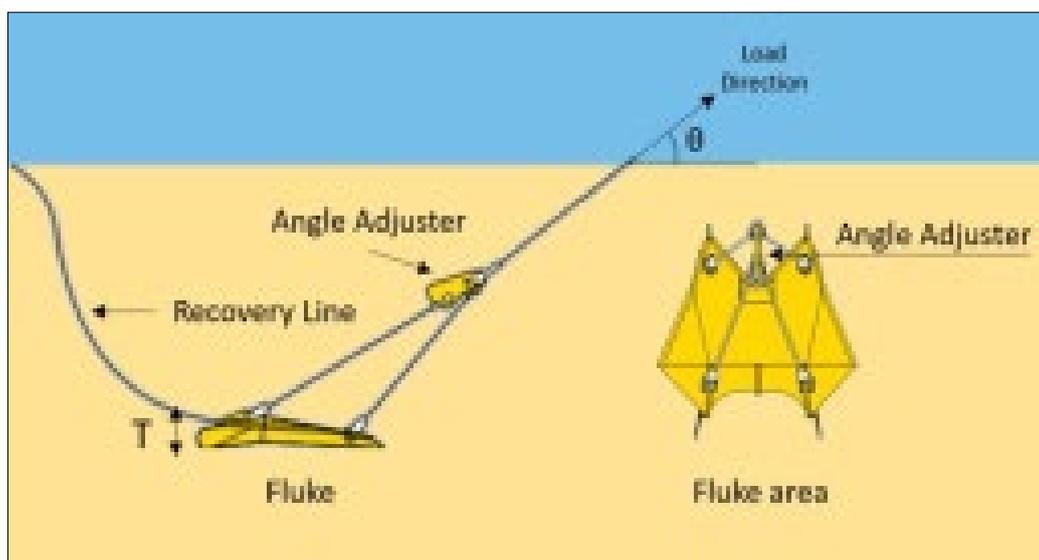


Figura 3.13: Ancoraggio del carico verticale

Infine, la tabella riportata di seguito riassume le caratteristiche principali dei vari tipi di ancoraggio precedentemente descritti.

La tabella è codificata con colori in base ai criteri, con il verde che denota una buona prestazione a basso costo e il rosso che denota una scarsa prestazione a un costo elevato. Il

0	25/10/2022	EMMISSIONE PER SCOPING PRELIMINARE	MS	MS	EB
Rev.	Data	Titolo Revisione	Elaborato	Verificato	Approvato
Documento di proprietà di Mpower S.r.l. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.			File: SNWSCOP.R.05.00 Relazione preliminare sulle strutture di ancoraggio e ormeggio.docx		

Contraente:  global • engineering • solutions	Progetto per la realizzazione di una CENTRALE EOLICA OFFSHORE nel Mare di Sardegna, denominata "SARDINIA NORTH-WEST"			Proponente: 	
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO				
Commissa: SARDINIA NW		Contratto: 30/11/2021			
Rev.	0				
Doc.: SNW.SCOP.R.05.00	Data: 25/10/2022	Pagina 35 di 43		Doc. Prop.:	

livello di importanza di ogni problematica è descritto come basso/scarso, alto/buono. Un grado basso denota un effetto basso o un'indagine non necessaria per costruire l'ancora, risultando in un'indagine del sito più economica e corrispondente alla casella verde.

		Deadweight Anchor	Drag Embedded Anchor	Driven Pile Anchor	Vertical Load Anchor
Tipo di terreno	Argilla morbida	buono	buono	buono	buono
	Argilla media	buono	buono	buono	buono
	Argilla dura	buono	buono	scarso	scarso
	Sabbia	buono	buono	buono	scarso
	Hard rock	buono	scarso	scarso	scarso
Analisi del sito	Resistenza in situ	Basso	Basso	Alto	Basso
	Resistenza in laboratorio	Alto	Alto	Alto	Alto
	Risposta dinamica	N / A	Basso	Alto	Alto
Load Direction	Omnidirezionale	buono	Male	buono	buono
	Orizzontale	buono	buono	buono	buono
Rapporto UHC/peso		Il più basso	Alto	Basso	Alto
Costi di installazione		Caro	Il più economico	Caro	Caro

Tabella 3.2: Confronto tra diversi tipi di ancoraggi

4 PARAMETRI DI PROGETTAZIONE CHIAVE

Un certo numero di elementi chiave delle turbine eoliche offshore galleggianti sono stati evidenziati dall'analisi della letteratura scientifica. I seguenti sei parametri di progettazione principali sono stati determinati sulla base di queste conoscenze. Sono i componenti che hanno la maggiore influenza in termini di realizzabilità da un punto di vista tecnologico, dei parametri

0	25/10/2022	EMISSIONE PER SCOPING PRELIMINARE	MS	MS	EB
Rev.	Data	Titolo Revisione	Elaborato	Verificato	Approvato
Documento di proprietà di Mpower S.r.l. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.			File: SNWSCOP.R.05.00 Relazione preliminare sulle strutture di ancoraggio e ormeggio.docx		

Contraente:  mpower <small>global • engineering • solutions</small>	Progetto per la realizzazione di una CENTRALE EOLICA OFFSHORE nel Mare di Sardegna, denominata "SARDINIA NORTH-WEST"			Proponente:  hexicon AVAPA ENERGY	
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO				
Doc.: SNW.SCOP.R.05.00	Commissa: SARDINIA NW	Contratto: 30/11/2021	Rev. 0	Data: 25/10/2022	
		Pagina 36 di 43		Doc. Prop.:	

di progettazione critici che sono stati descritti. Viene offerto un punto di vista e un'analisi a supporto di ogni parametro di progettazione come componente critico.

4.1 Stabilità

La costruzione deve essere abbastanza stabile da restare dritta, situazione caratterizzata da un equilibrio stabile. Deve essere in grado di gestire un disturbo sotto forma di forze o momenti eccitanti e quindi di tornare all'equilibrio dopo che l'eccitazione è terminata.

Lo standard di progettazione DNV-OS-J103 specifica i criteri di stabilità per le turbine eoliche offshore galleggianti. Specifica che la struttura galleggiante deve essere in grado di mantenere la stabilità delle turbine eoliche alla velocità del vento che produce il massimo sforzo nel rotore. Deve anche essere in grado di mantenere la stabilità con il rotore fermo in caso di forti temporali ed è necessario garantire un'adeguata stabilità per fasi temporanee come il montaggio e il traino sul sito di installazione.

L'angolo tra la direzione del flusso di vento e il piano del rotore determina la quantità di potenza prodotta da una turbina eolica. Questo angolo varia quando la turbina ruota di beccheggio e la potenza generata dalla turbina diminuisce con il coseno dell'angolo di beccheggio. Per diminuire la rotazione attorno a questo asse, la rigidità dell'asse y della struttura dovrebbe essere ripristinata nella misura massima possibile. Angoli di beccheggio superiori a 10 gradi si tradurranno in una significativa riduzione dell'efficienza della turbina. In questo studio, l'angolo di beccheggio statico è fissato a 10 gradi per preservare l'efficienza della turbina.

Il vento può soffiare da qualsiasi direzione in un sito. Tuttavia, alcuni siti sono principalmente interessati dal vento proveniente da una singola direzione o settore. Il vento proverrà in gran parte dal lato mare piuttosto che dal lato costiero per i siti offshore vicino alla costa. La sottostruttura essendo ancorata al fondale, consente solo modesti movimenti di imbardata. Poiché il rotore e la gondola ruotano rispetto alla torre in base alla direzione del vento, la costruzione deve essere in grado di resistere ai momenti e alle forze generate dal vento da tutte le direzioni.

4.2 Periodo naturale

I periodi naturali della struttura dovrebbero essere al di fuori della gamma di eccitazione ad alta energia delle onde. Alcuni periodi d'onda avranno molta energia a seconda del sito. Secondo la norma DNV-OSJ103, l'energia è significativa per le onde oceaniche con durate che vanno da 5 a

0	25/10/2022	EMISSIONE PER SCOPING PRELIMINARE	MS	MS	EB
Rev.	Data	Titolo Revisione	Elaborato	Verificato	Approvato
Documento di proprietà di Mpower S.r.l. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.			File: SNWSCOP.R.05.00 Relazione preliminare sulle strutture di ancoraggio e ormeggio.docx		

Contraente:  global • engineering • solutions	Progetto per la realizzazione di una CENTRALE EOLICA OFFSHORE nel Mare di Sardegna, denominata "SARDINIA NORTH-WEST"			Proponente: 	
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO				
Doc.: SNW.SCOP.R.05.00	Commissa: SARDINIA NW	Rev. 0	Contratto: 30/11/2021	Data: 25/10/2022	
			Pagina 37 di 43	Doc. Prop.:	

25 secondi. Per ridurre la risonanza e l'enorme risposta che potrebbe verificarsi durante il periodo di risonanza, il periodo naturale della struttura dovrebbe essere al di fuori di questa fascia.

Motion Type	Semi-Submersible	Spar Buoy	TLP
Surge	65.9	103.3	45.2
Heave	21.9	31.3	0.6
Pitch	43.2	35.5	0.6
Yaw	53.4	7.6	20.8

Tabella 3.3: Periodo Naturale in sec. Per DOF differenti

Il TLP ha i tempi di sbalzo, sollevamento e beccheggio più brevi dei tre tipi. Ciò indica che è rigido e ha un'elevata frequenza naturale, che si spiega con la tensione nei tendini che mantengono la struttura in posizione. A causa della modesta inerzia in questo grado di libertà, la piattaforma ad asta (*Spar buoy*) ha un breve tempo di imbardata, ma ha una durata prolungata di sbalzo e sollevamento a causa dell'enorme volume di spostamento. A causa della mancanza di rigidità in questi gradi di libertà, il Semi-sommergibile ha durate intermedie nei rialzi delle onde, ma i periodi più lunghi in beccheggio e imbardata.

4.3 Procedura di assemblaggio

Le sottostrutture galleggianti hanno il vantaggio di poter assemblare la turbina e la sottostruttura in un cantiere utilizzando una gru a terra. Prima che la turbina venga sollevata sulla sottostruttura per installazioni fisse sul fondo, la sottostruttura viene normalmente fissata al fondo del mare.

L'assemblaggio di turbine e sottostrutture offshore è, in generale, una operazione complessa e costosa, poiché richiede l'uso di speciali imbarcazioni per il sollevamento e l'installazione. Il processo di montaggio deve essere spesso programmato per un periodo in cui il tempo è clemente, che dipende dalla stagione in luoghi diversi. Il clima è spesso migliore in estate e la stagione pertanto, sarà caratterizzata da molti lavori di installazione, e pertanto, le imbarcazioni per il trasporto e l'installazione saranno molto richieste.

Le soluzioni galleggianti hanno il vantaggio di poter essere assemblate in piazzale o in una località portuale. L'assemblaggio in cantiere è l'ideale poiché consente di montare la turbina utilizzando una gru sulla terraferma. A causa delle loro dimensioni, diversi tipi di sottostruttura

0	25/10/2022	EMISSIONE PER SCOPING PRELIMINARE	MS	MS	EB
Rev.	Data	Titolo Revisione	Elaborato	Verificato	Approvato
Documento di proprietà di Mpower S.r.l. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.			File: SNWSCOP.R.05.00 Relazione preliminare sulle strutture di ancoraggio e ormeggio.docx		

Contraente:  global • engineering • solutions	Progetto per la realizzazione di una CENTRALE EOLICA OFFSHORE nel Mare di Sardegna, denominata "SARDINIA NORTH-WEST"			Proponente: 	
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO				
Doc.: SNW.SCOP.R.05.00	Commissa: SARDINIA NW	Contratto: 30/11/2021	Rev. 0		
Data: 25/10/2022	Pagina 38 di 43			Doc. Prop.:	

non potranno essere fabbricate in cantiere. Queste strutture, tuttavia, offrono un vantaggio rispetto alle alternative fisse sul fondo in quanto l'assemblaggio può essere eseguito in un'area protetta dalle intemperie come, ad esempio, un porto.

4.4 Dimensioni d'ingombro

La struttura deve essere in grado di attraversare aree potenzialmente restrittive in termini di accesso al sito di installazione, nonché adattarsi alle dimensioni degli impianti industriali. L'intera dimensione della costruzione può essere limitata da ponti, cavi elettrici tesi sul livello del mare o fondali poco profondi sulla rotta di transito. Le dimensioni dei moli, delle officine o dell'area marittima oltre il cantiere possono limitare ulteriormente il pescaggio, l'ampiezza e l'altezza consentiti.

L'altezza totale del sistema è determinata più dalle dimensioni della turbina e dalla lunghezza della torre che dal tipo di fondazione utilizzata. L'altezza totale della struttura sopra la linea di galleggiamento potrebbe essere influenzata dal bordo libero della sottostruttura. Tuttavia, poiché le torri sono dimensionate in base al bordo libero per raggiungere l'altezza del mozzo appropriata, questo è raramente il caso.

Quando sono in uno stato di galleggiamento, i semi-sommergibili hanno le dimensioni massime in lunghezza e larghezza. Questi enormi diametri sono essenziali per fornire un momento di ripristino e una distanza sufficienti tra le colonne.

I TLP possono variare in larghezza e lunghezza a seconda del design, sebbene siano generalmente più piccoli dei semi-sommergibili. Una colonna sporge dalla superficie dell'acqua in alcuni modelli TLP, con una struttura inferiore che si estende dal centro della colonna per il collegamento dei tendini (*Blue H TLP*). Diverse colonne attraversano la superficie del mare in altri progetti TLP.

Nello stato di galleggiamento, le piattaforme *Spar buoy* sono sostanzialmente più piccole delle altre due categorie in termini di lunghezza e larghezza. Le costruzioni per la produzione e il trasporto, invece, sono piuttosto lunghe rispetto alle altre categorie.

4.5 Massa

Per le sottostrutture di energia eolica offshore, la massa strutturale è un fattore di costo. Il numero di ore di produzione, le dimensioni delle attrezzature di sollevamento necessarie e i costi di trasporto sono tutti influenzati dalla massa. La massa ridotta non è richiesta per il

0	25/10/2022	EMISSIONE PER SCOPING PRELIMINARE	MS	MS	EB
Rev.	Data	Titolo Revisione	Elaborato	Verificato	Approvato
Documento di proprietà di Mpower S.r.l. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.			File: SNWSCOP.R.05.00 Relazione preliminare sulle strutture di ancoraggio e ormeggio.docx		

Contraente:  global • engineering • solutions	Progetto per la realizzazione di una CENTRALE EOLICA OFFSHORE nel Mare di Sardegna, denominata "SARDINIA NORTH-WEST"			Proponente: 	
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO				
Commissa: SARDINIA NW	Contratto: 30/11/2021				
Rev. 0					
Doc.: SNW.SCOP.R.05.00	Data: 25/10/2022	Pagina 39 di 43		Doc. Prop.:	

funzionamento delle turbine eoliche, ma è un criterio di progettazione importante per abbassare i costi e ridurre l'impatto ambientale. Per ridurre al minimo la massa strutturale, è necessaria una ottimizzazione della progettazione.

4.6 Costi

Il costo per unità di energia generata viene utilizzato per confrontare le opzioni energetiche. Affinché l'eolico galleggiante offshore sia competitivo con altre fonti di energia, in particolare quelle non rinnovabili, il costo deve essere basso e la produzione di energia deve essere elevata. I costi di sottostruttura, ormeggio, allacciamento elettrico, procedura di installazione e manutenzione sono tutti inclusi nel prezzo. Attualmente, il costo di gestione di un numero limitato di turbine galleggianti è considerevole rispetto a quanto ci si potrebbe aspettare se la tecnologia fosse ampiamente utilizzata.

Tre argomenti sono molto significativi nell'analisi dei costi delle turbine eoliche e sono qui indicati:

- Il costo in conto capitale è un termine che si riferisce alla quantità di denaro speso (CAPEX);
- Il costo per le operazioni (OPEX);
- I costi energetici livellati (LCOE).

I costi in conto capitale (CAPEX) sono i fondi che un'azienda spende per acquistare e acquisire beni fisici che verranno utilizzati per più di un anno. Ciò significa il costo di investimento di tutti i componenti fisici del sistema e include turbina, installazione, ancoraggi, ormeggi, piattaforma, disattivazione e bilanciamento del sistema (trasferimento di energia alla rete).

I costi operativi (OPEX) sono i costi sostenuti un'azienda per gestire la sua attività. Per una turbina eolica offshore ciò include la manutenzione e il funzionamento delle strutture e degli impianti.

Il costo livellato dell'energia (LCOE) è il denaro speso per la produzione di un'unità di energia ed è descritto come importo per kWh. Il costo totale della vita della struttura include sia il CAPEX che l'OPEX del sistema. Il calcolo dell'LCOE può essere eseguito secondo l'equazione di seguito indicata:

$$LCOE = \frac{\text{Total Lifetime Cost}}{\text{Total Lifetime Output}}$$

0	25/10/2022	EMISSIONE PER SCOPING PRELIMINARE	MS	MS	EB
Rev.	Data	Titolo Revisione	Elaborato	Verificato	Approvato
Documento di proprietà di Mpower S.r.l. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.			File: SNWSCOP.R.05.00 Relazione preliminare sulle strutture di ancoraggio e ormeggio.docx		

Contraente:  global • engineering • solutions	Progetto per la realizzazione di una CENTRALE EOLICA OFFSHORE nel Mare di Sardegna, denominata "SARDINIA NORTH-WEST"			Proponente: 	
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO				
Commissa: SARDINIA NW		Contratto: 30/11/2021			
Rev.	0				
Doc.: SNW.SCOP.R.05.00	Data: 25/10/2022	Pagina 40 di 43		Doc. Prop.:	

L'aumento delle dimensioni degli aerogeneratori e della relativa potenza erogata è una tecnica per ridurre il costo delle turbine eoliche offshore. A parità di generazione di energia, le turbine più grandi richiedono meno sottostrutture, cavi e processi di installazione.

La figura seguente mostra l'evoluzione della potenza nominale media delle turbine offshore dal 1991 al 2017. Come si può vedere, la potenza delle turbine è cresciuta notevolmente, con la turbina eolica offshore media eretta nel 2017 con una capacità nominale di 5,9 MW.

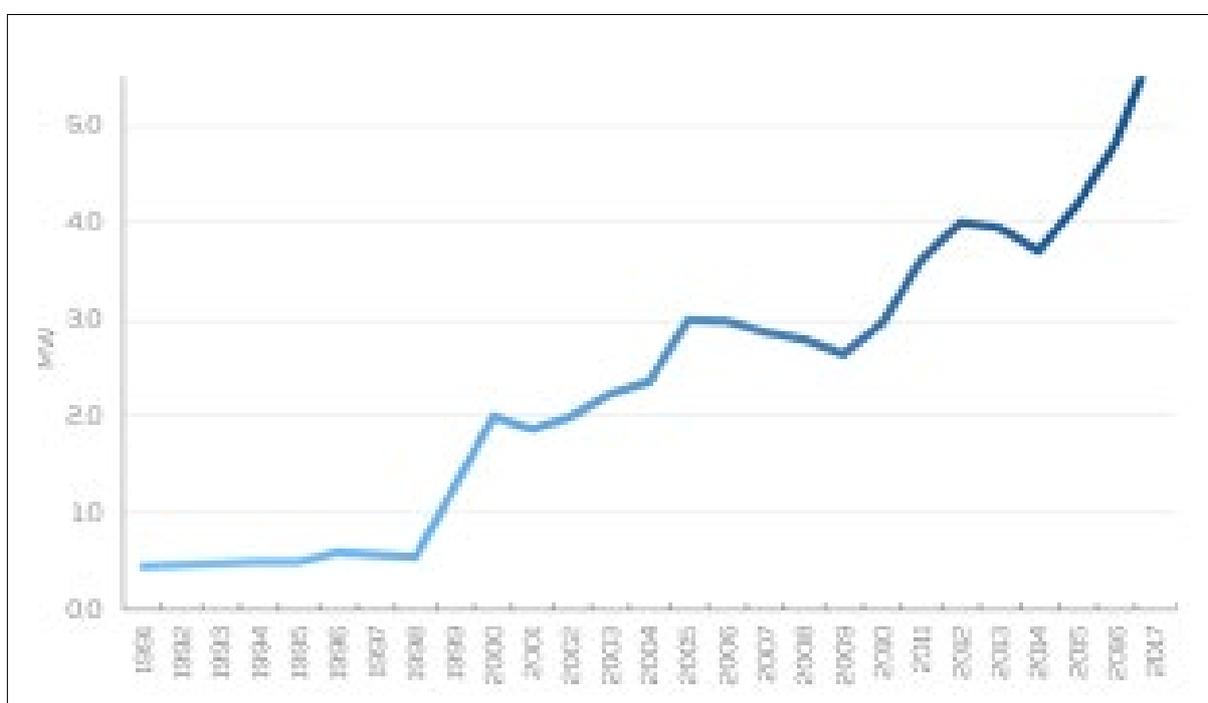


Figura 4.1: Media annua della potenza nominale installata di una turbina eolica offshore

5 SISTEMA DI CAVI PER TWINWIND™

In particolare, la possibilità di utilizzare le acque profonde per la generazione di energia da centrali eoliche offshore galleggianti, ha suscitato un notevole interesse pubblico in tutto il mondo. Per questo progetto dimostrativo è stato implementato un sistema di cavi dinamici che garantisce una trasmissione affidabile dell'energia da impianti soggetti a forti movimenti.

0	25/10/2022	EMISSIONE PER SCOPING PRELIMINARE	MS	MS	EB
Rev.	Data	Titolo Revisione	Elaborato	Verificato	Approvato
Documento di proprietà di Mpower S.r.l. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.			File: SNWSCOP.R.05.00 Relazione preliminare sulle strutture di ancoraggio e ormeggio.docx		

Contraente: 	Progetto per la realizzazione di una CENTRALE EOLICA OFFSHORE nel Mare di Sardegna, denominata "SARDINIA NORTH-WEST"			Proponente: 	
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO				
Doc.: SNW.SCOP.R.05.00	Commissa: SARDINIA NW	Rev. 0	Contratto: 30/11/2021	Doc. Prop.:	
Data: 25/10/2022	Pagina 41 di 43				

I cavi per tali tipologie di impianti contengono componenti per consentire loro di muoversi con il galleggiante, a differenza dei tipici cavi sottomarini, che sono posizionati o fissati sul fondale. Il comportamento della corrente di marea e del galleggiante sottopone continuamente i cavi a forze di flessione e torsione, e pertanto, sono inclini a subire danni meccanici in varie aree.

E' necessario l'utilizzo di cavi dinamici con un'eccezionale resistenza meccanica per consentire il trasferimento stabile di potenza dai generatori eolici offshore alla costa.

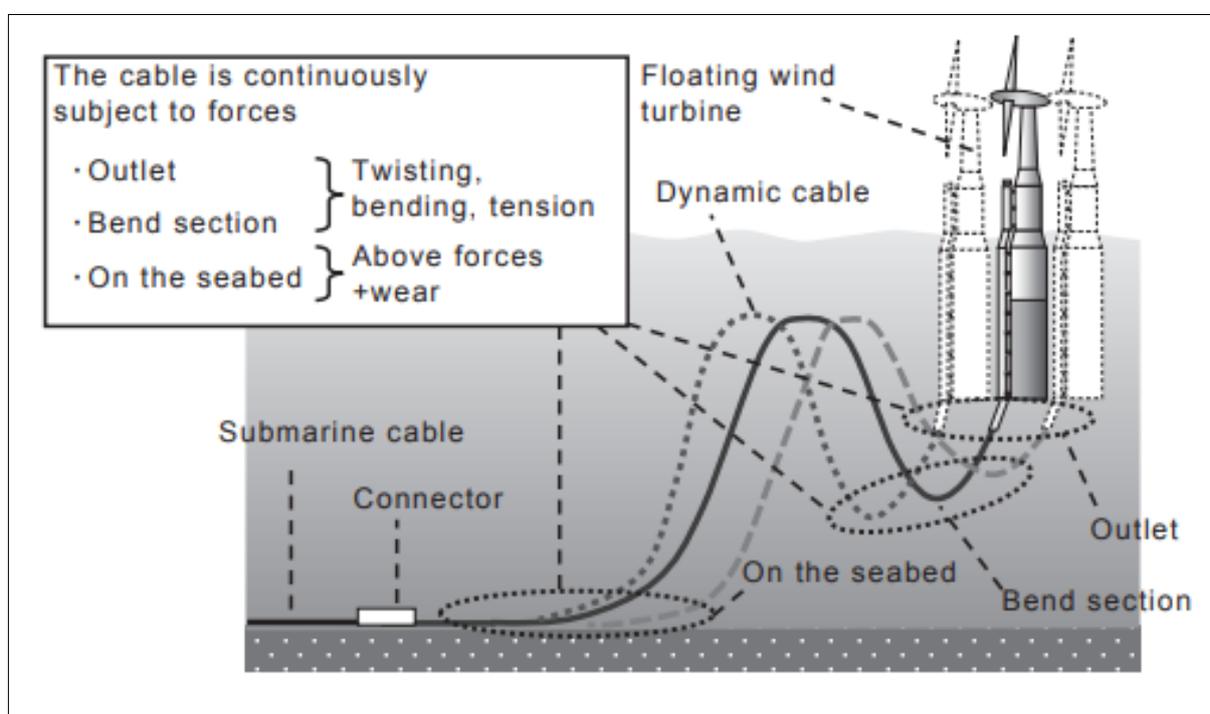


Figura 5.1: Collegamento via cavo a un impianto galleggiante di generazione di energia eolica offshore

5.1 Progettazione del Cavo

La determinazione della durata a fatica dei cavi dinamici è una fase determinante nel processo di progettazione. Ci sono tre passaggi essenziali in questo processo:

- Analisi globale;
- Analisi Locale;
- Test di fatica.

0	25/10/2022	EMISSIONE PER SCOPING PRELIMINARE	MS	MS	EB
Rev.	Data	Titolo Revisione	Elaborato	Verificato	Approvato
Documento di proprietà di Mpower S.r.l. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.			File: SNWSCOP.R.05.00 Relazione preliminare sulle strutture di ancoraggio e ormeggio.docx		

Contraente:  global • engineering • solutions	Progetto per la realizzazione di una CENTRALE EOLICA OFFSHORE nel Mare di Sardegna, denominata "SARDINIA NORTH-WEST"			Proponente: 	
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO				
Commissa: SARDINIA NW	Rev. 0		Contratto: 30/11/2021		
Doc.: SNW.SCOP.R.05.00	Data: 25/10/2022	Pagina 42 di 43		Doc. Prop.:	

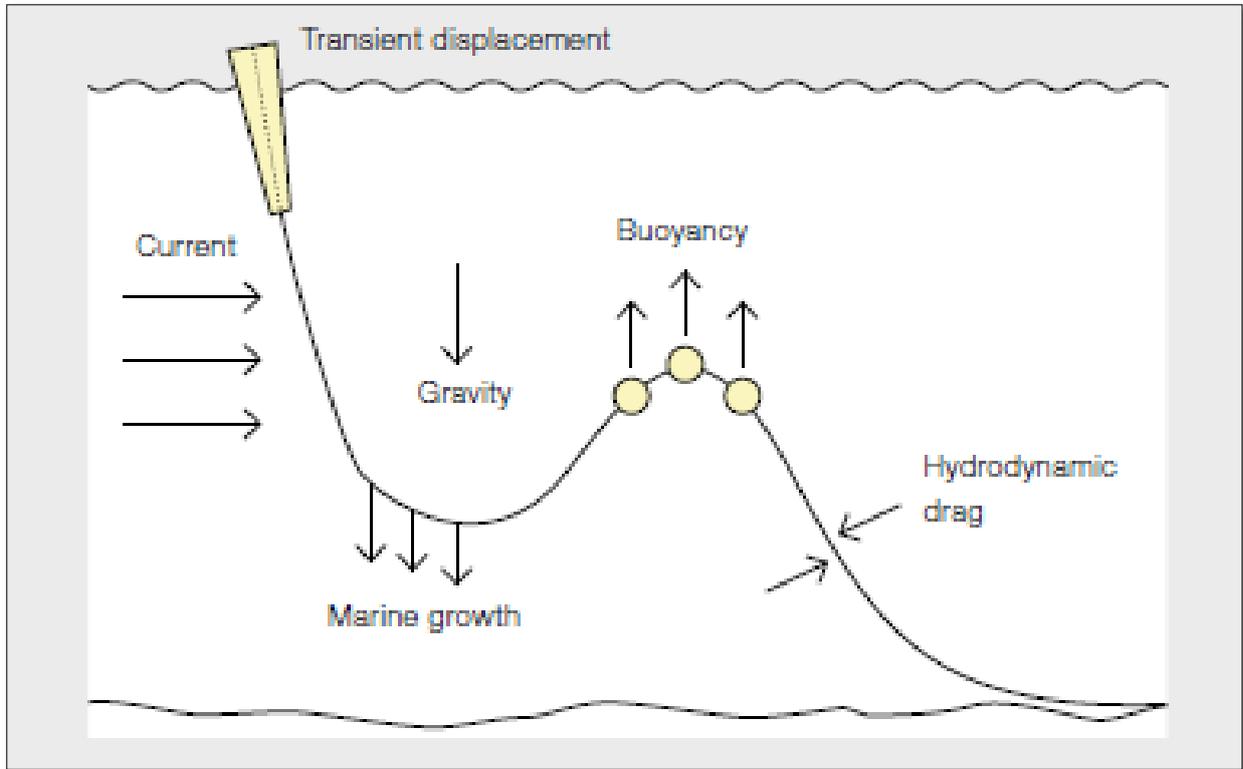


Figura 5.2: Fattori che influenzano il carico meccanico sul cavo dinamico

5.1.1 Analisi globale

Il movimento della piattaforma, le correnti d'acqua, il moto ondoso e la disposizione dei cavi sono alcuni dei fattori che influiscono sul carico meccanico agente sui cavi dinamici.

Simulando il cavo come una stringa unidimensionale e utilizzando parametri globali come peso, diametro, rigidità assiale, flessionale e torsionale, è possibile valutare come il cavo risponde a traslazione, forza, curvatura, ecc.

Un processo iterativo viene solitamente utilizzato per ottimizzare la configurazione, scegliendo tra gli altri fattori come la posizione, le dimensioni e la quantità delle unità di galleggiamento. In condizioni ambientali difficili, vengono esaminate la forza assiale e la curvatura del cavo. Una combinazione delle azioni prodotte da un'onda con tempo di ritorno di 100 anni e una corrente con tempo di ritorno di 10 anni è un esempio di un tipico scenario grave.

0	25/10/2022	EMISSIONE PER SCOPING PRELIMINARE	MS	MS	EB
Rev.	Data	Titolo Revisione	Elaborato	Verificato	Approvato
Documento di proprietà di Mpower S.r.l. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.			File: SNWSCOP.R.05.00 Relazione preliminare sulle strutture di ancoraggio e ormeggio.docx		

Contraente:  global • engineering • solutions	Progetto per la realizzazione di una CENTRALE EOLICA OFFSHORE nel Mare di Sardegna, denominata "SARDINIA NORTH-WEST"			Proponente: 	
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO				
Commissa: SARDINIA NW		Contratto: 30/11/2021			
Rev.	0				
Doc.: SNW.SCOP.R.05.00	Data: 25/10/2022	Pagina 43 di 43		Doc. Prop.:	

Anche in queste circostanze, la curvatura e le forze assiali devono rimanere entro i parametri di progetto. Parallelamente a questa analisi, viene condotta uno studio delle interferenze per determinare se è possibile che i montanti vicini e le infrastrutture sottomarine si scontrino. In nessun caso tali eventi sono accettabili.

5.1.2 Analisi locale

Un cavo dinamico è una struttura complessa. È realizzato con una varietà di materiali e di componenti distinti. Esistono vari approcci generali alla simulazione del cavo a livello locale. I modelli analitici e la modellazione agli elementi finiti sono approcci tipici.

Per stimare la durata del cavo, viene calcolata la deformazione dei componenti critici per affaticamento. Questa deformazione dipende da una serie di variabili, tra cui la curvatura e l'attrito tra i componenti elicoidali.

Sulla base della ricerca, la durata dei componenti critici per la fatica selezionati viene solitamente determinata utilizzando l'approccio dell'accumulo lineare del danno.

5.1.3 Test di affaticamento

Lo scopo del test di affaticamento è stabilire un diagramma di Wöhler (o curva SN, una curva che mostra la sollecitazione del ciclo rispetto alla rottura) del componente critico identificato soggetto a fatica. Viene evidenziata la guaina in rame saldato del cavo, o la barriera radiale d'acqua.

0	25/10/2022	EMISSIONE PER SCOPING PRELIMINARE	MS	MS	EB
Rev.	Data	Titolo Revisione	Elaborato	Verificato	Approvato
Documento di proprietà di Mpower S.r.l. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.			File: SNWSCOP.R.05.00 Relazione preliminare sulle strutture di ancoraggio e ormeggio.docx		