







COMMITTENTE:	 ACCIONA ENERGIA GLOBAL ITALIA S.r.l. Via Achille Campanile, 73 00144 - Roma												
	 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												
PROGETTISTA:													
PROJECT TEAM:	Dott. Arch. Attilio Massarelli (Staff di Coordinamento e Rendering) Dott. Ing. Giovanni Battaglia (Staff di Coordinamento) Dott. Geol. Alessandro Treffeletti (GIS) Dott. Geol. Damiano Gravina (GIS) Dott. Geol. Marco Gagliano (GIS) Dott. Geol. Stefania Nitopi (GIS) Dott. Geol. Salvatore Bannò (Geologia) Dott. Geol. Stefania Serra (Aspetti Naturalistici ed Ambientali)	Dott. Ing. Elio Occhino (Acustica Ambientale) 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:	STUDIO PRELIMINARE AMBIENTALE RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO												
REV.	DATA	OGGETTO DELLA REVISIONE	ELABORAZIONE	VERIFICA	APPROVAZIONE								
00	20-01-2023	EMISSIONE PER SCOPING PRELIMINARE	MS	MS	EB								
SCALA:	CODICE DOCUMENTO:		CODICE ELABORATO:										
FORMATO: A4	<table border="1"> <tr> <td>PA</td> <td>SCOP</td> <td>R.05</td> <td>00</td> </tr> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>FASE</td> <td>TAVOLA</td> <td>REV.</td> </tr> </table>		PA	SCOP	R.05	00	COMMESSA	FASE	TAVOLA	REV.	R.05.00		
PA	SCOP	R.05	00										
COMMESSA	FASE	TAVOLA	REV.										

Contraente:  mpower <small>global • engineering • solutions</small>	Progetto per la realizzazione di una CENTRALE EOLICA OFFSHORE nel Mare Adriatico Meridionale, denominata "PUGLIA_A"			Proponente:  acciona energia		
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO					
Commissa: PUGLIA_A		Contratto: 30/11/2021				
Rev.	0					
Doc.: PA.SCOP.R.05.00	Data: 20/01/2023	Pagina 1 di 37		Doc. Prop.:		

Sommario

1	INTRODUZIONE	3
1.1	Premessa	3
1.2	Scopi e obiettivi	3
2	TIPI DI FONDAZIONE OFFSHORE	4
2.1	Fondazioni galleggianti	5
2.1.1	Tension leg platform	7
2.1.2	Barge	9
2.1.3	Semi-sommergibile (Semi-submersible)	10
2.1.4	Spar Buoy	12
3	SISTEMI DI ORMEGGIO	7
3.1	Ormeggio a catenaria (Catenary mooring)	14
3.2	Ormeggio teso (Taut mooring)	16
3.3	Componenti del sistema di ormeggio	17
3.3.1	Materiali delle linee di ancoraggio	17
3.3.1.1	Catena	17
3.3.1.2	Funi metalliche	19
3.3.1.3	Corde Sintetiche	19
3.3.1.4	Connettori	19
3.3.1.5	Pesi a grappolo (Clump weights)	20
3.3.1.6	Moduli di galleggiamento (Buoyancy modules)	21
3.4	Tipologie di ancore	22
3.4.1	Ancoraggio a gravità (Deadweight Anchor)	25
3.4.2	Ancoraggio a trascinamento (Drag Embedded Anchor)	26
3.4.3	Ancoraggio su pali (Anchor Piles)	28
3.4.3.1	Driven Pile	28
3.4.3.2	Suction Pile	29
3.4.3.3	Torpedo Pile	30
3.4.3.4	Vertical Load Anchor (VLA)	31
4	PARAMETRI DI PROGETTAZIONE CHIAVE	32
4.1	Stabilità	33
4.2	Periodo naturale	33
4.3	Procedura di assemblaggio	34
4.4	Dimensioni d'ingombro	35
4.5	Massa	35
4.6	Costi	36



0	20/01/2023	EMISSIONE PER RICHIESTA DI SCOPING	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: PA.SCOP.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 Adriatico Meridionale, denominata "PUGLIA_A"			Proponente: 		
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO					
Commissa: PUGLIA_A		Contratto: 30/11/2021				
Rev.	0					
Doc.: PA.SCOP.R.05.00	Data: 20/01/2023	Pagina 2 di 37		Doc. Prop.:		

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	20/01/2023	EMISSIONE PER RICHIESTA DI SCOPING	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: PA.SCOP.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 Adriatico Meridionale, denominata “PUGLIA_A”			Proponente: 	
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO				
Commissa: PUGLIA_A		Contratto: 30/11/2021			
Rev.	0				
Doc.: PA.SCOP.R.05.00	Data: 20/01/2023	Pagina 3 di 37		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 di tipo galleggiante nel Mare Adriatico meridionale, nonché le relative opere di connessione alla Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) da parte dell'azienda proponente **Acciona Energia Global Italia 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. 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 esaminare tutti i tipi di opzioni disponibili per la stabilità della struttura galleggiante offshore 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	20/01/2023	EMISSIONE PER RICHIESTA DI SCOPING	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: PA.SCOP.R.05.00 Relazione preliminare sulle strutture di ancoraggio e ormeggio.docx		

Contraente:  mpower global • engineering • solutions	Progetto per la realizzazione di una CENTRALE EOLICA OFFSHORE nel Mare Adriatico Meridionale, denominata "PUGLIA_A"			Proponente: 	
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO				
Commissa: PUGLIA_A		Contratto: 30/11/2021			
Rev.	0				
Doc.: PA.SCOP.R.05.00	Data: 20/01/2023	Pagina 4 di 37		Doc. Prop.:	

Nell'individuazione della giusta scelta della tipologia di ancora 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 di galleggiamento, onda, azione della corrente e azione del vento.



Gli elementi strutturali della turbina eolica offshore galleggiante 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);
- ✓ Evacuazione dell'area occupata dalle fondazioni (*decommissioning*).

2 TIPI DI FONDAZIONE OFFSHORE

La fondazione è la struttura portante della turbina eolica; in generale questa è appoggiata sul fondale, ma nel nostro caso, date le elevate profondità, è galleggiante ed 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 il vento, i terremoti, l'erosione dei fondali, etc.

0	20/01/2023	EMISSIONE PER RICHIESTA DI SCOPING	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: PA.SCOP.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 Adriatico Meridionale, denominata "PUGLIA_A"			Proponente: 		
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO					
	Commissa: PUGLIA_A		Contratto: 30/11/2021			
Doc.: PA.SCOP.R.05.00	Rev. 0	Data: 20/01/2023	Pagina 5 di 37		Doc. Prop.:	

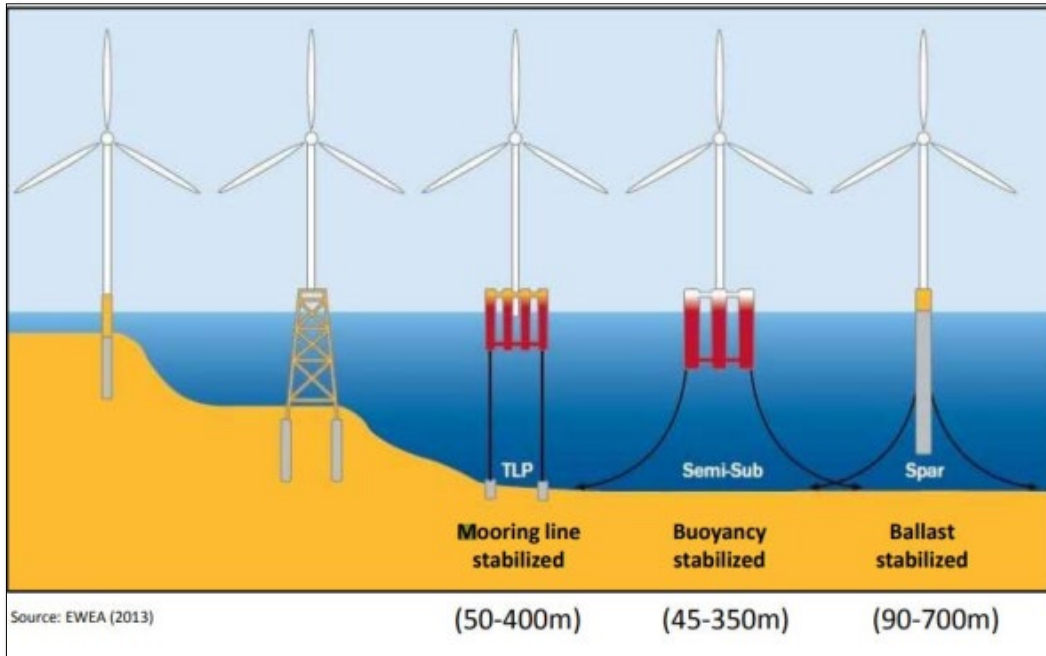


Figura 2.1: Tipi di fondazioni offshore



2.1 Fondazioni galleggianti

A causa delle profondità estreme, 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, gli impianti possono essere realizzati in acque più profonde rispetto agli attuali parchi eolici offshore, diminuendo l'effetto visivo e aumentandone la capacità in termini di potenza installata. In generale, per profondità d'acqua superiori a 100 m, la struttura galleggiante è la scelta migliore che diventa economicamente conveniente già oltre i 50 m di profondità.

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 sei modalità di movimento del corpo rigido che una fondazione eolica galleggiante esibisce 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

0	20/01/2023	EMISSIONE PER RICHIESTA DI SCOPING	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: PA.SCOP.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 Adriatico Meridionale, denominata "PUGLIA_A"			Proponente: 		
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO					
Commissa: PUGLIA_A		Contratto: 30/11/2021				
Rev.	0					
Doc.: PA.SCOP.R.05.00	Data: 20/01/2023	Pagina 6 di 37		Doc. Prop.:		

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.

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 nel diagramma seguente, 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.

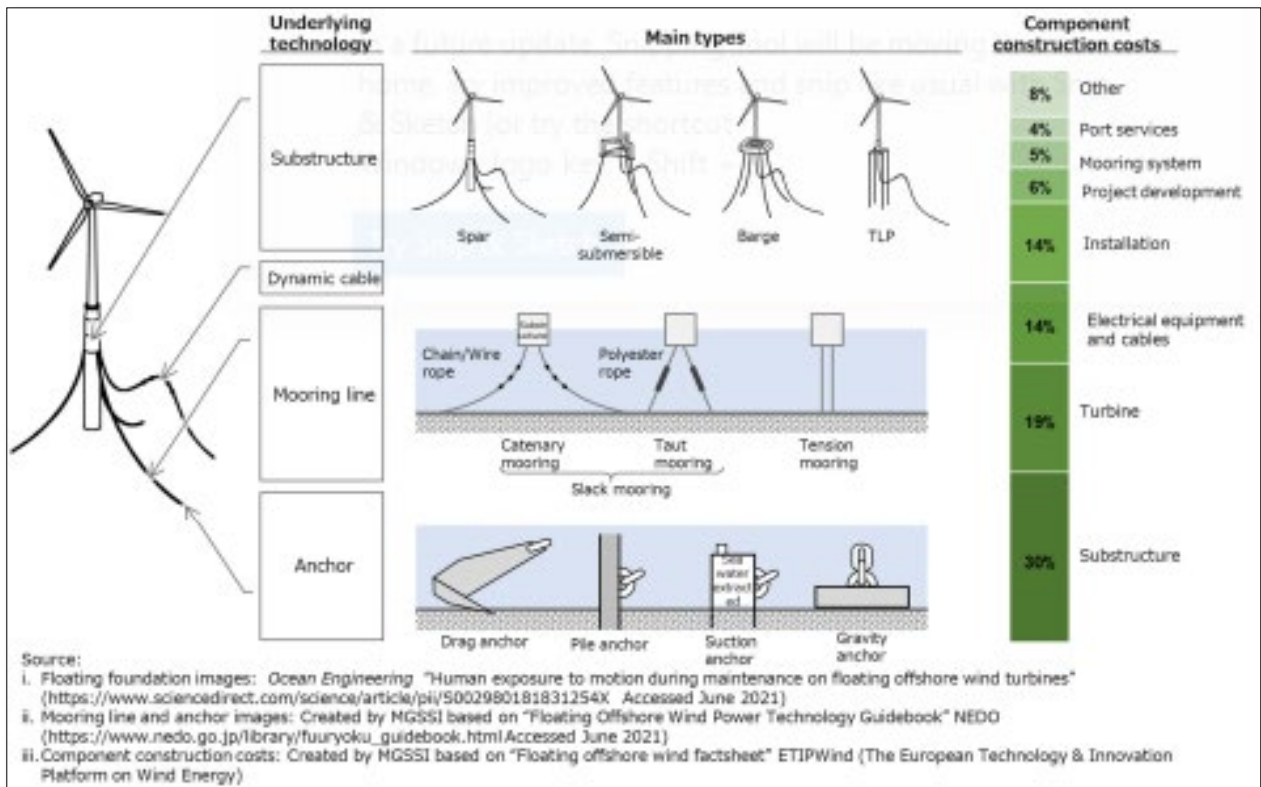




Figura 2.2: Tecnologie per l'energia eolica offshore galleggiante

Esistono quattro tipi di fondazioni per costruzioni eoliche galleggianti, descritte nei paragrafi successivi, che saranno determinate quando si analizzeranno le sollecitazioni dovute alla combinazione di carico dinamico di vento e moto ondoso:

0	20/01/2023	EMISSIONE PER RICHIESTA DI SCOPING	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: PA.SCOP.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 Adriatico Meridionale, denominata "PUGLIA_A"			Proponente: 		
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO					
	Commissa: PUGLIA_A		Contratto: 30/11/2021			
Rev.	0					
Doc.: PA.SCOP.R.05.00	Data: 20/01/2023	Pagina 7 di 37		Doc. Prop.:		

- Tension Leg Platform (TLP);
- Barge;
- Semi-submersible (Semi-sommergibile);
- Spar buoy.

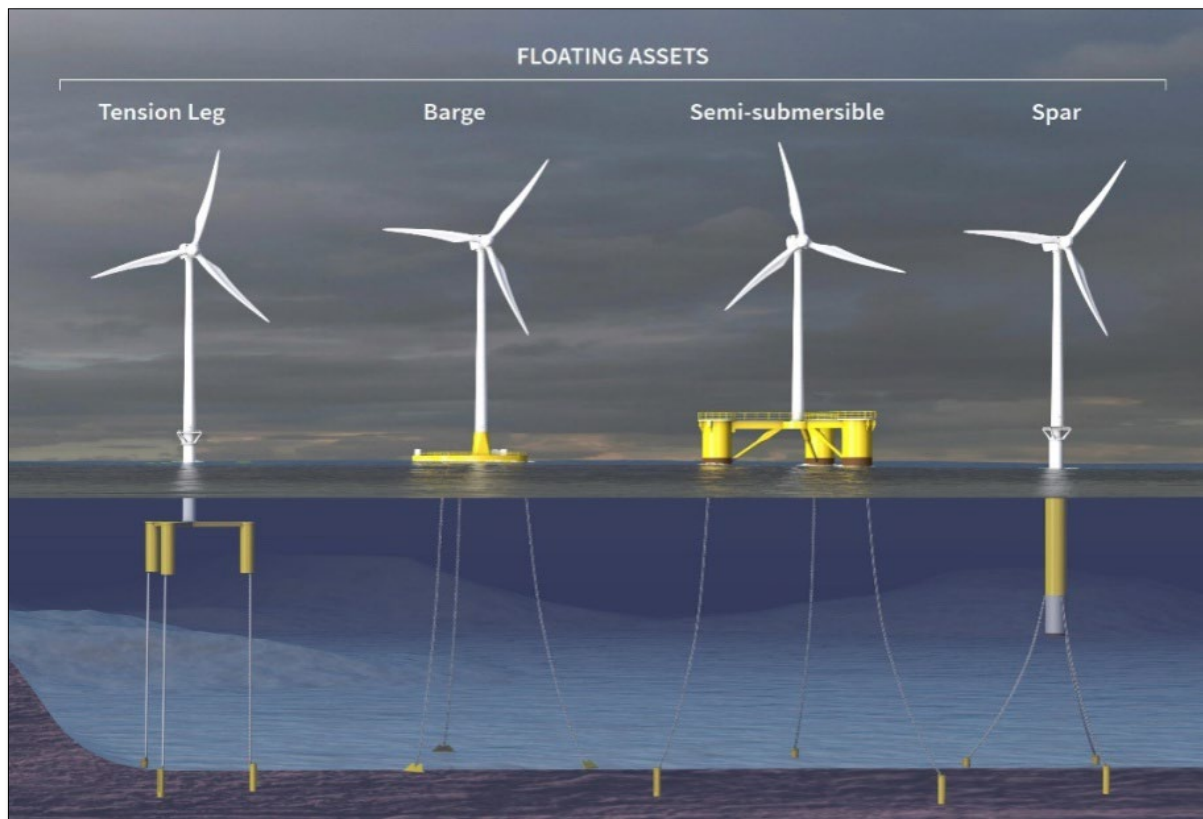




Figura 2.3: Tipi di fondazione degli aerogeneratori galleggianti (www.acteon.com)

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 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.

0	20/01/2023	EMISSIONE PER RICHIESTA DI SCOPING	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: PA.SCOP.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 Adriatico Meridionale, denominata "PUGLIA_A"			Proponente: 	
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO				
Commissa: PUGLIA_A		Contratto: 30/11/2021			
Rev.	0				
Doc.: PA.SCOP.R.05.00	Data: 20/01/2023	Pagina 8 di 37		Doc. Prop.:	

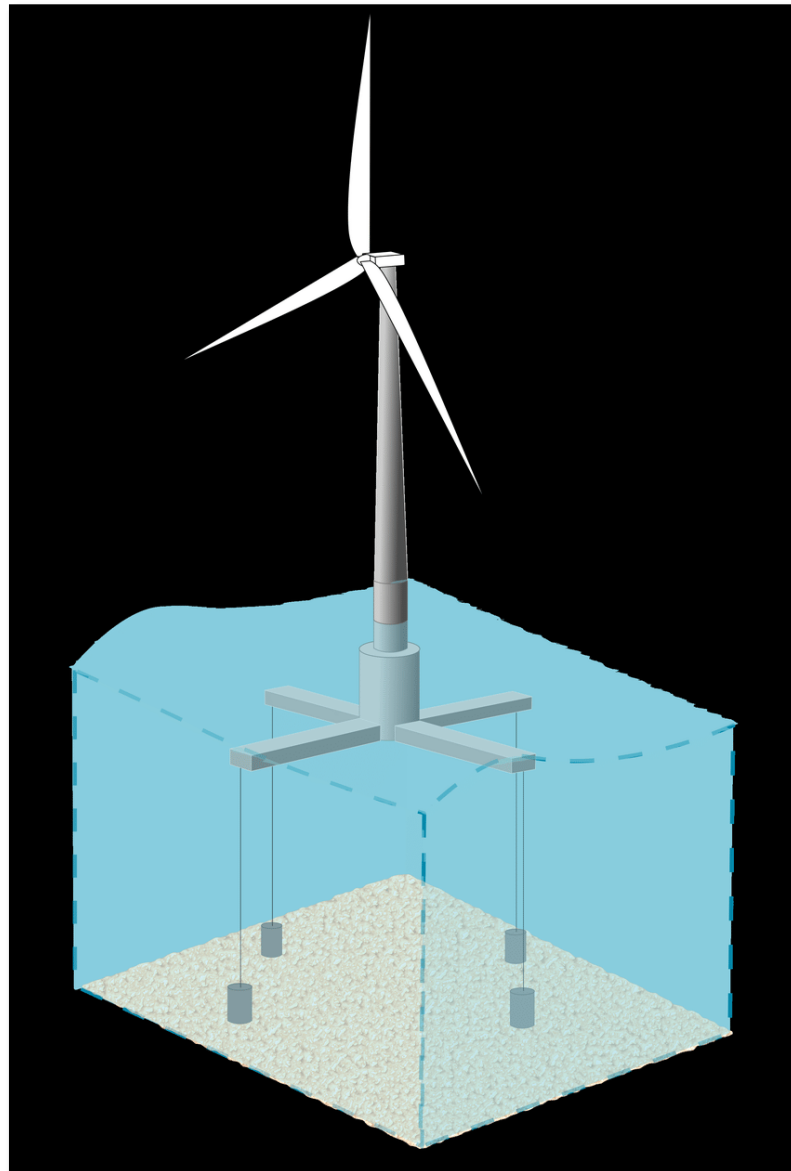




Figura 2.4: Turbina eolica offshore con TLP

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 linee di

0	20/01/2023	EMISSIONE PER RICHIESTA DI SCOPING	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: PA.SCOP.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 Adriatico Meridionale, denominata "PUGLIA_A"			Proponente: 		
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO					
Commissa: PUGLIA_A		Contratto: 30/11/2021				
Rev.	0					
Doc.: PA.SCOP.R.05.00	Data: 20/01/2023	Pagina 9 di 37			Doc. Prop.:	

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.

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-sommergibili.

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.

0	20/01/2023	EMISSIONE PER RICHIESTA DI SCOPING	MS	MS	EB
Rev.	Data	Titolo Revisione	Elaborato	Verificato	Approvato
<small>Documento di proprietà di Mpower S.r.l. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.</small>			File: PA.SCOP.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 Adriatico Meridionale, denominata "PUGLIA_A"			Proponente: 		
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO					
Commissa: PUGLIA_A		Contratto: 30/11/2021				
Rev.	0					
Doc.: PA.SCOP.R.05.00	Data: 20/01/2023	Pagina 10 di 37		Doc. Prop.:		



Figura 2.5: Turbina eolica offshore di tipo *Barge*



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

0	20/01/2023	EMISSIONE PER RICHIESTA DI SCOPING	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: PA.SCOP.R.05.00 Relazione preliminare sulle strutture di ancoraggio e ormeggio.docx		

Contraente:  mpower global • engineering • solutions	Progetto per la realizzazione di una CENTRALE EOLICA OFFSHORE nel Mare Adriatico Meridionale, denominata "PUGLIA_A"			Proponente: 		
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO					
Commissa: PUGLIA_A		Contratto: 30/11/2021				
Rev.	0					
Doc.: PA.SCOP.R.05.00	Data: 20/01/2023	Pagina 11 di 37		Doc. Prop.:		

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 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.

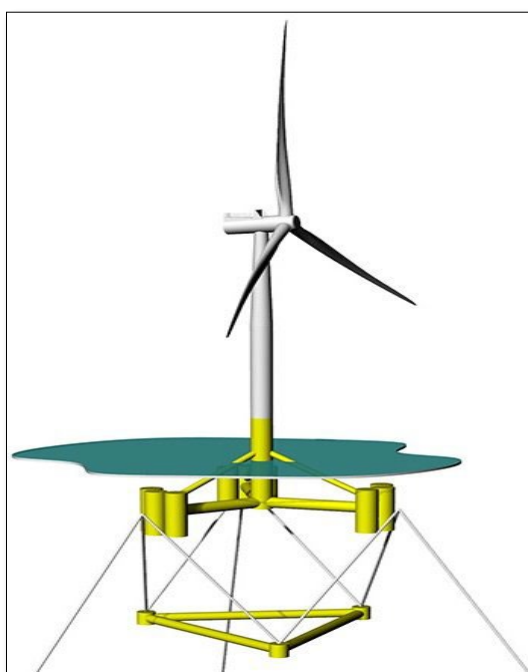




Figura 2.6: Fondazione semi sommergibile

Attualmente la tecnologia semi-sommergibile ha raggiunto il suo apice. Ci sono molti FOWT con tecnologia semi-sommergibile come *Kincardine*, un parco eolico galleggiante da 50 MW nel

0	20/01/2023	EMISSIONE PER RICHIESTA DI SCOPING	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: PA.SCOP.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 Adriatico Meridionale, denominata "PUGLIA_A"			Proponente: 	
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO				
Commissa: PUGLIA_A		Contratto: 30/11/2021			
Rev.	0				
Doc.: PA.SCOP.R.05.00	Data: 20/01/2023	Pagina 12 di 37		Doc. Prop.:	

Regno Unito, che è di gran lunga il più grande parco eolico galleggiante. Il *Windfloat Atlantic* da 25 MW utilizza le fondazioni semi-sommergibili "WindFloat" di Principle Power al largo delle coste del Portogallo settentrionale. La praticità di una fondazione semi-sommergibile è evidente, ma l'abbassamento dei costi di produzione rappresenta ancora un ostacolo.

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 Semisommergibile

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	20/01/2023	EMISSIONE PER RICHIESTA DI SCOPING	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: PA.SCOP.R.05.00 Relazione preliminare sulle strutture di ancoraggio e ormeggio.docx		

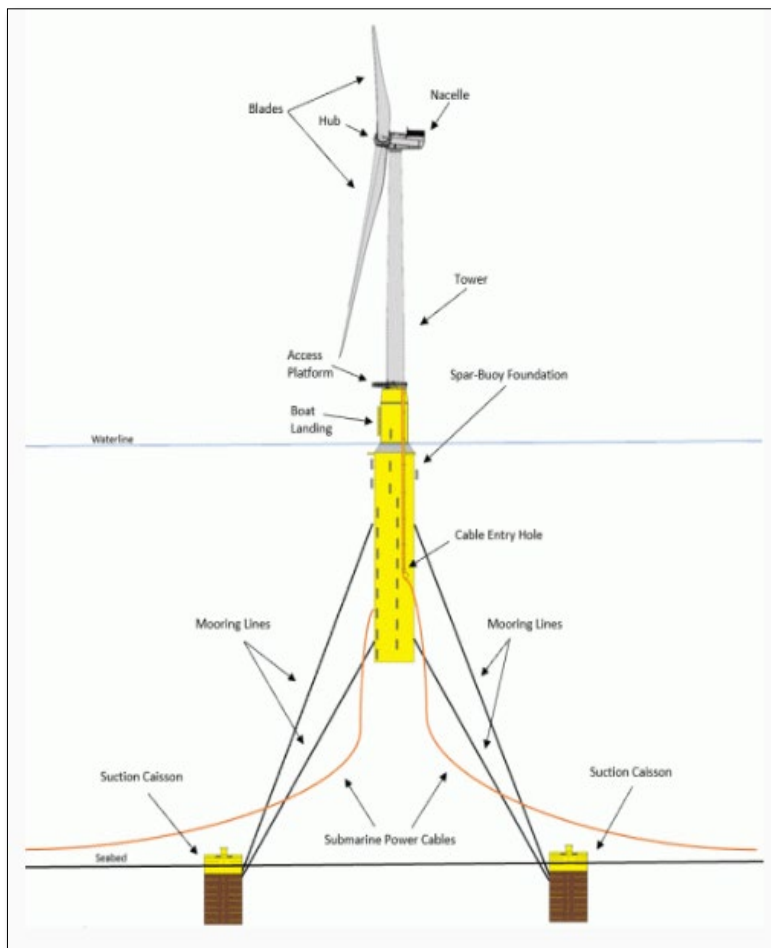




Figura 2.7: Fondazione Spar Buoy

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	20/01/2023	EMISSIONE PER RICHIESTA DI SCOPING	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: PA.SCOP.R.05.00 Relazione preliminare sulle strutture di ancoraggio e ormeggio.docx		

Contraente:  mpower global • engineering • solutions	Progetto per la realizzazione di una CENTRALE EOLICA OFFSHORE nel Mare Adriatico Meridionale, denominata "PUGLIA_A"			Proponente: 		
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO					
	Commissa: PUGLIA_A		Contratto: 30/11/2021			
Doc.: PA.SCOP.R.05.00	Rev. 0	Data: 20/01/2023	Pagina 14 di 37		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 un impatto 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	20/01/2023	EMISSIONE PER RICHIESTA DI SCOPING	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: PA.SCOP.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 Adriatico Meridionale, denominata "PUGLIA_A"			Proponente: 	
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO				
Commissa: PUGLIA_A		Contratto: 30/11/2021			
Rev.	0				
Doc.: PA.SCOP.R.05.00	Data: 20/01/2023	Pagina 15 di 37		Doc. Prop.:	

o cavi di ferro di peso sufficiente. Le disposizioni a catenaria hanno un'impronta 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 fondo del mare. Le ancore resistono alla forza orizzontale, mentre le cime di ormeggio sul fondo del mare forniscono forza di reazione orizzontale per le fondazioni.

Di conseguenza, le boe o il peso a grappolo 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 linee di ormeggio sono più facili da installare utilizzando disposizioni a catenaria, con conseguente riduzione delle spese di ingegneria marittima. Nelle acque più profonde, invece, invece, le catene di ferro stanno venendo rapidamente sostituite dalle funi sintetiche a causa degli eccessivi carichi 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 terreni 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*.

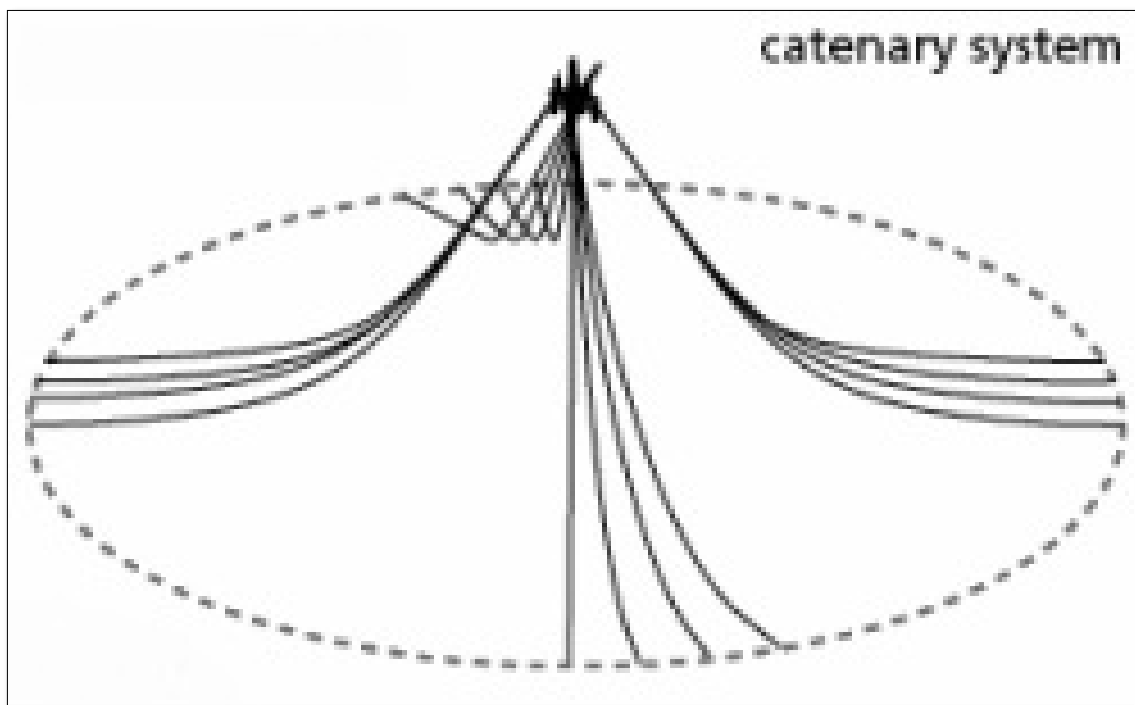




Figura 3.1: Ormeggio a catenaria

0	20/01/2023	EMISSIONE PER RICHIESTA DI SCOPING	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: PA.SCOP.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 Adriatico Meridionale, denominata "PUGLIA_A"			Proponente: 	
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO				
Commessa: PUGLIA_A		Contratto: 30/11/2021			
Rev.	0				
Doc.: PA.SCOP.R.05.00	Data: 20/01/2023	Pagina 16 di 37		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*), che sono comunemente utilizzate in combinazione con piattaforme TLP. Nelle disposizioni a gamba tesa sono utilizzate cime di ormeggio in acciaio o composte da fune o filo di fibra sintetica. Con un angolo di 30-40 gradi tra ciascuna cima di ormeggio e il fondo, i modelli a gamba tesa hanno un ingombro ridotto e una minore occupazione di specchio acqueo e di fondale marino.



I sistemi a gamba tesa conferiscono un'eccezionale 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. In termini di concetti e processi di installazione, i pali battuti e i pali a perni di fondazioni fisse sono comparabili, con costi che aumentano all'aumentare della profondità dell'acqua. Inoltre, il battipalo fa molto rumore.

Gli ancoraggi a gravità sono realizzati mediante calcestruzzo di cemento e armatura in acciaio e hanno la capacità di sostenere tonnellate di peso. 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 gambe tese. 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 demolire le fondazioni e la pressione spingerà gli ancoraggi in superficie.

0	20/01/2023	EMISSIONE PER RICHIESTA DI SCOPING	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: PA.SCOP.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 Adriatico Meridionale, denominata "PUGLIA_A"			Proponente: 	
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO				
Commissa: PUGLIA_A		Contratto: 30/11/2021			
Rev.	0				
Doc.: PA.SCOP.R.05.00	Data: 20/01/2023	Pagina 17 di 37		Doc. Prop.:	

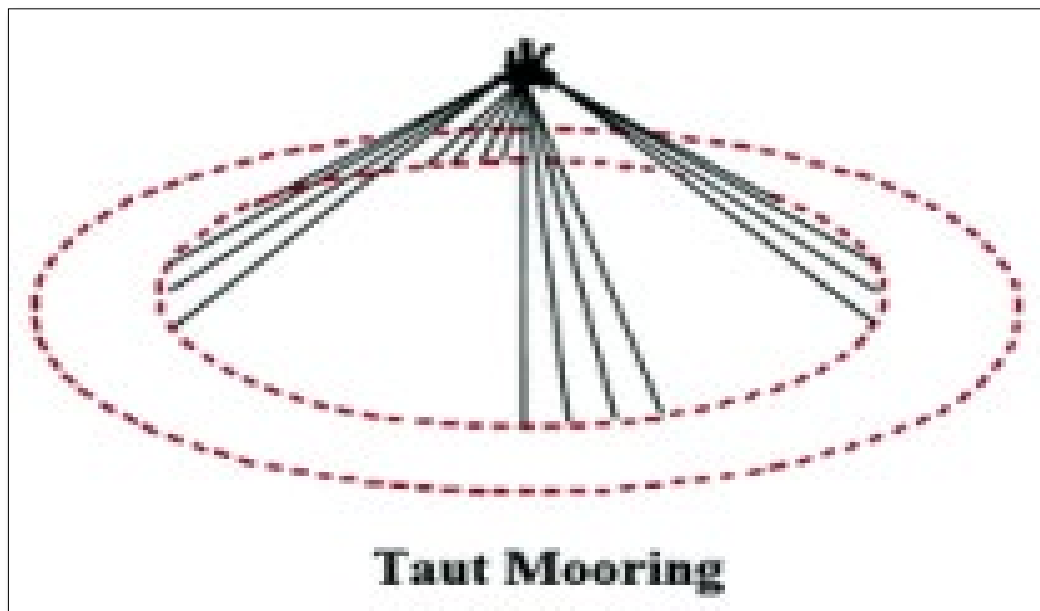


Figura 3.2: Ormeccio teso

3.3 Componenti del sistema di ormeggio

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



Alcuni dei componenti principali del sistema di ormeggio sono stati discussi nella sezione seguente:

3.3.1 Materiali delle linee di ancoraggio

3.3.1.1 Catena

Il materiale più tipico 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* (MBL).

0	20/01/2023	EMISSIONE PER RICHIESTA DI SCOPING	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: PA.SCOP.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 Adriatico Meridionale, denominata "PUGLIA_A"			Proponente: 	
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO				
Commissa: PUGLIA_A		Contratto: 30/11/2021			
Rev.	0				
Doc.: PA.SCOP.R.05.00	Data: 20/01/2023	Pagina 18 di 37		Doc. Prop.:	

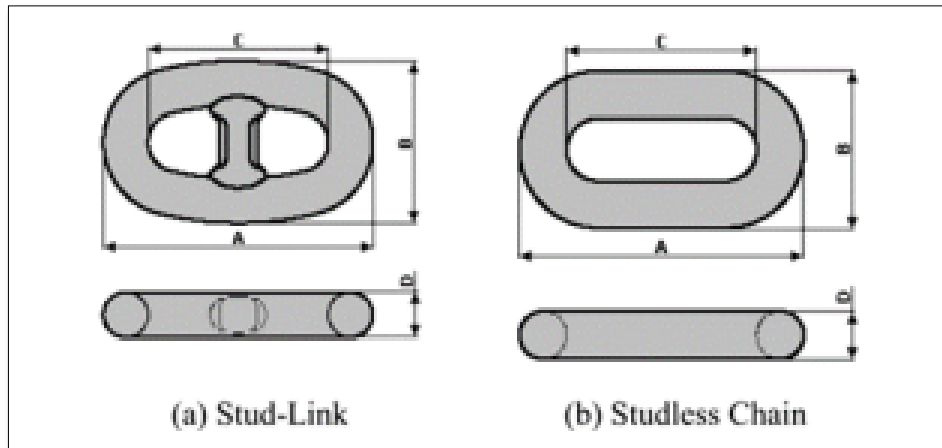


Figura 3.3: Catena Stud-link e Studless

Il grado di acciaio è un altro fattore importante da considerare quando si tratta di catena. R3, R3S, R4, R4S e R5 sono i gradi più comuni utilizzati nel settore offshore. All'aumentare della pendenza, le qualità 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

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

0	20/01/2023	EMMISSIONE PER RICHIESTA DI SCOPING	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: PA.SCOP.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 Adriatico Meridionale, denominata "PUGLIA_A"			Proponente: 	
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO				
Commissa: PUGLIA_A		Contratto: 30/11/2021			
Rev.	0				
Doc.: PA.SCOP.R.05.00	Data: 20/01/2023	Pagina 19 di 37		Doc. Prop.:	

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 linea è solitamente composta da catena appoggiata sul fondo del mare (a causa della maggiore resistenza all'abrasione della catena), seguita da 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 in sistemi di ormeggio più convenienti. Vengono utilizzate anche altre corde sintetiche, come nylon, HMPE (*high modulus polyethylene*) o aramide.



3.3.1.4 Connettori

I connettori 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).

Questi connettori si dividono normalmente in due tipologie: quelli utilizzati per i sistemi di ormeggio permanente e quelli utilizzati per i sistemi di ormeggio temporaneo. Con connettori aventi aree di concentrazione delle sollecitazioni che di solito contribuiscono ai guasti, la durata a fatica è il parametro di progettazione più importante.

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

0	20/01/2023	EMISSIONE PER RICHIESTA DI SCOPING	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: PA.SCOP.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 Adriatico Meridionale, denominata "PUGLIA_A"			Proponente: 	
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO				
Commissa: PUGLIA_A		Contratto: 30/11/2021			
Rev.	0				
Doc.: PA.SCOP.R.05.00	Data: 20/01/2023	Pagina 20 di 37		Doc. Prop.:	

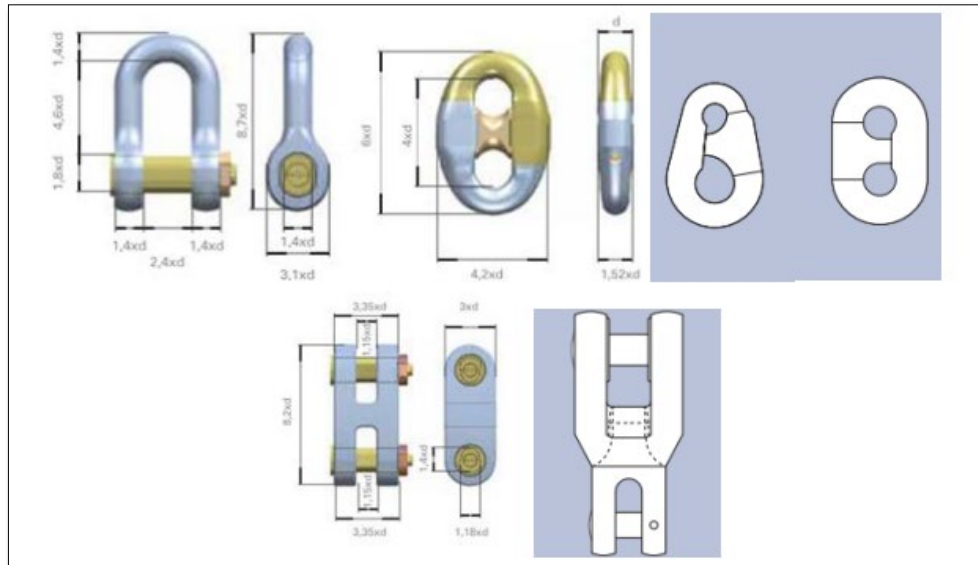



Figura 3.4: Connettori comunemente usati nell'industria offshore

I kenter sono un tipo di connettore che unisce due pezzi di catena dello stesso diametro. A causa della loro breve durata a fatica, questi connettori non sono adatti per l'ancoraggio permanente. I connettori 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 connettori, noti come connettori di tipo C, vengono utilizzati per unire due catene dello stesso diametro. I loro sistemi di apertura li distinguono dai kenter.

3.3.1.5 Pesì a grappolo (Clump weights)

In fase di progettazione si possono includere pesi a grappolo in un sistema di ormeggio a catenaria. I pesi aggregati sono componenti in ghisa o calcestruzzo. Sono impiegati come carichi per aumentare il pretensionamento e la rigidità, con il risultato di una maggior forza di reazione. Di conseguenza, il numero di escursioni è ridotto.

0	20/01/2023	EMMISSIONE PER RICHIESTA DI SCOPING	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: PA.SCOP.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 Adriatico Meridionale, denominata “PUGLIA_A”			Proponente: 	
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO				
Commissa: PUGLIA_A		Contratto: 30/11/2021			
Rev.	0				
Doc.: PA.SCOP.R.05.00	Data: 20/01/2023	Pagina 21 di 37		Doc. Prop.:	

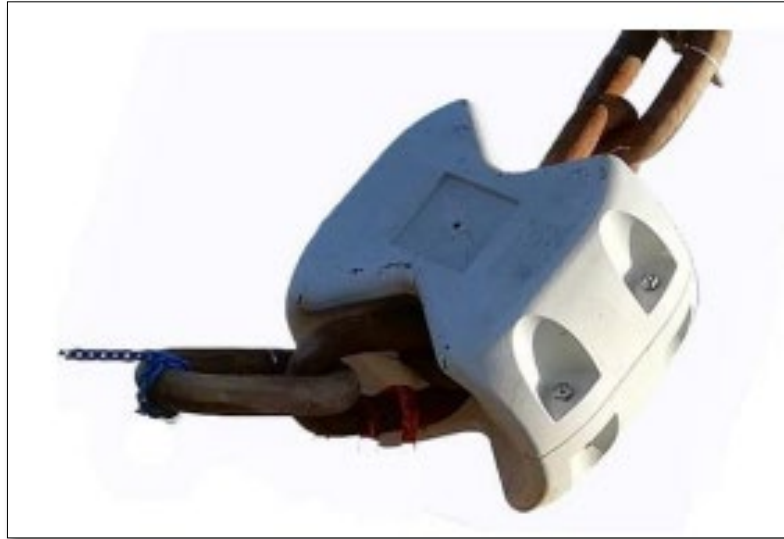




Figura 3.5: Peso a grappolo

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 linea di ancoraggio, il peso sulla piattaforma e i movimenti di disaccoppiamento tra le linee e i galleggianti. Questi componenti sono molto utili per ridurre la fatica nei 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	20/01/2023	EMISSIONE PER RICHIESTA DI SCOPING	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: PA.SCOP.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 Adriatico Meridionale, denominata "PUGLIA_A"			Proponente: 	
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO				
Commissa: PUGLIA_A		Contratto: 30/11/2021			
Rev.	0				
Doc.: PA.SCOP.R.05.00	Data: 20/01/2023	Pagina 22 di 37		Doc. Prop.:	

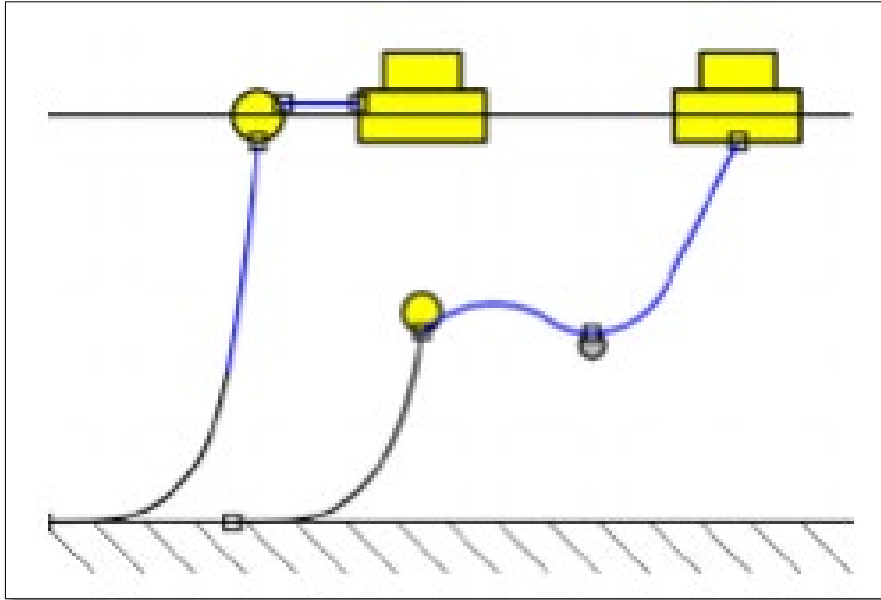


Figura 3.6: Moduli di galleggiamento



3.4 Tipologie di ancore

Un'ancora è un componente di 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 fondo di un 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 fondo del mare 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 colonie di mammiferi nell'area indagata), sono tutti esempi di queste caratteristiche.

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

0	20/01/2023	EMISSIONE PER RICHIESTA DI SCOPING	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: PA.SCOP.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 Adriatico Meridionale, denominata "PUGLIA_A"			Proponente: 		
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO					
Commissa: PUGLIA_A		Contratto: 30/11/2021				
Rev.	0					
Doc.: PA.SCOP.R.05.00	Data: 20/01/2023	Pagina 23 di 37		Doc. Prop.:		

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 è il carico di estrazione, fondamentale per massimizzare il carico. I carichi verticali richiederanno uno sforzo maggiore per penetrare perché 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 linee di ormeggio di catena, cavo o tubo. La scelta del giusto tipo di ancoraggio dipende anche dal tipo di carico che agisce sulla struttura. Ad esempio, i pesi orizzontali possono essere trattenuti 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 un carico orizzontale è un ottimo punto di partenza in questo scenario perché è comunemente utilizzato e fornirà una sfida 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	20/01/2023	EMISSIONE PER RICHIESTA DI SCOPING	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: PA.SCOP.R.05.00 Relazione preliminare sulle strutture di ancoraggio e ormeggio.docx		

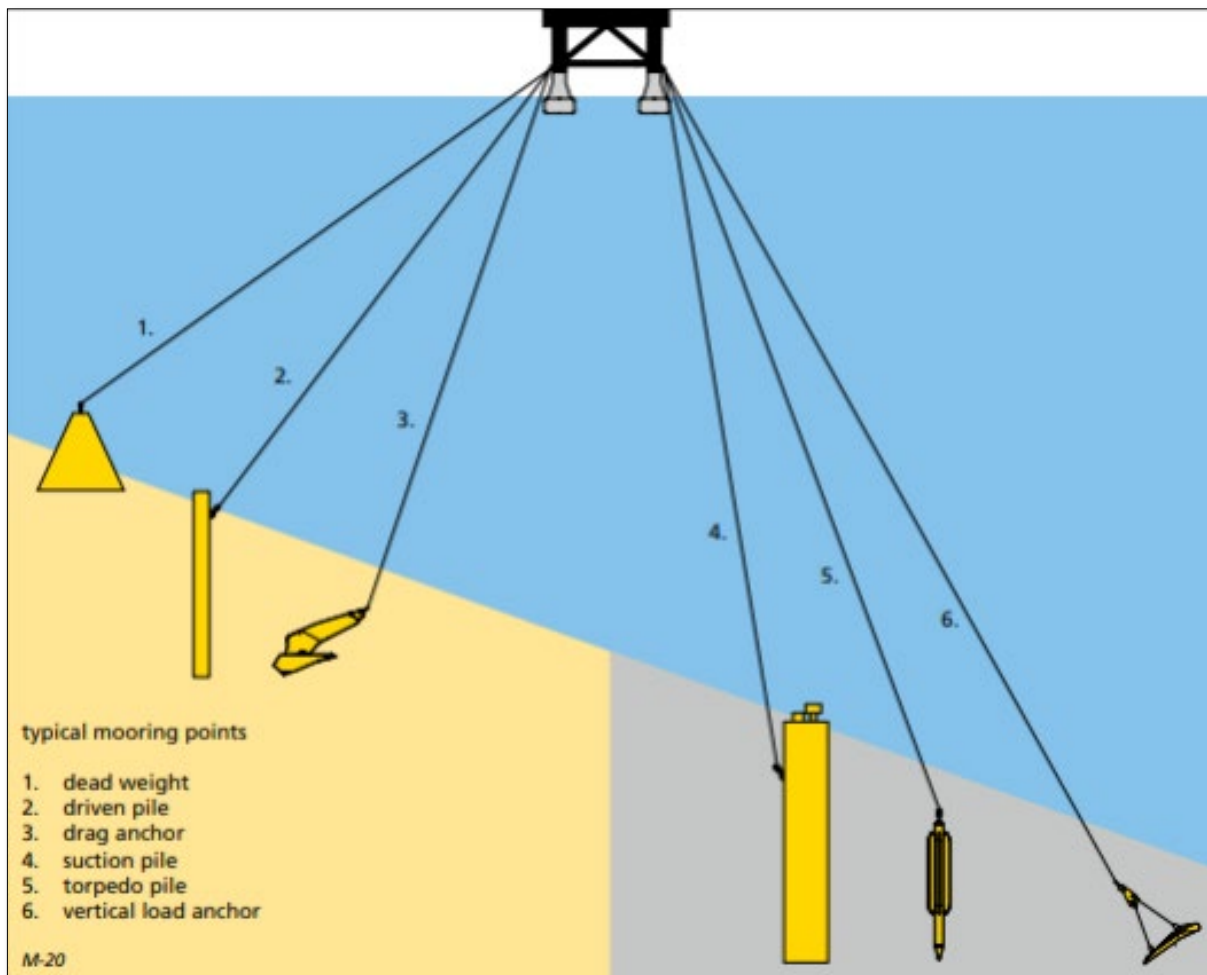




Figura 3.7: Tipi di ancoraggi

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 argille dure.
- **Il peso:** Il costo della produzione di ancore pesanti sarà maggiore. Ancore grandi e pesanti avrebbero anche bisogno di ponti e gru per navi più grandi e potenti per l'installazione, aumentando il loro prezzo.
- **Attrezzatura:** Per installare l'ancoraggio sarebbero necessarie attrezzature diverse a seconda del tipo di ancoraggio, rendendo il metodo di installazione un driver di costo.

0	20/01/2023	EMISSIONE PER RICHIESTA DI SCOPING	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: PA.SCOP.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 Adriatico Meridionale, denominata "PUGLIA_A"			Proponente: 	
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO				
Commissa: PUGLIA_A		Contratto: 30/11/2021			
Rev.	0				
Doc.: PA.SCOP.R.05.00	Data: 20/01/2023	Pagina 25 di 37		Doc. Prop.:	

- **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 "peso morto" sono anche chiamate ancore a gravità. Come indica il nome, l'ancoraggio a gravità è un corpo con massa sufficiente per sopportare i carichi verticali e orizzontali trasmessi dalle linee di ancoraggio, pur mantenendo un fattore di sicurezza appropriato. Il calcestruzzo utilizzato come blocco di ancoraggio può trattenere solo una barra incorporata 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'asestamento 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 di un flusso di marea combinato e 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.

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 a corpo libero mostrato di seguito:

0	20/01/2023	EMISSIONE PER RICHIESTA DI SCOPING	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: PA.SCOP.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 Adriatico Meridionale, denominata "PUGLIA_A"			Proponente: 	
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO				
Commissa: PUGLIA_A		Contratto: 30/11/2021			
Rev.	0				
Doc.: PA.SCOP.R.05.00	Data: 20/01/2023	Pagina 26 di 37		Doc. Prop.:	

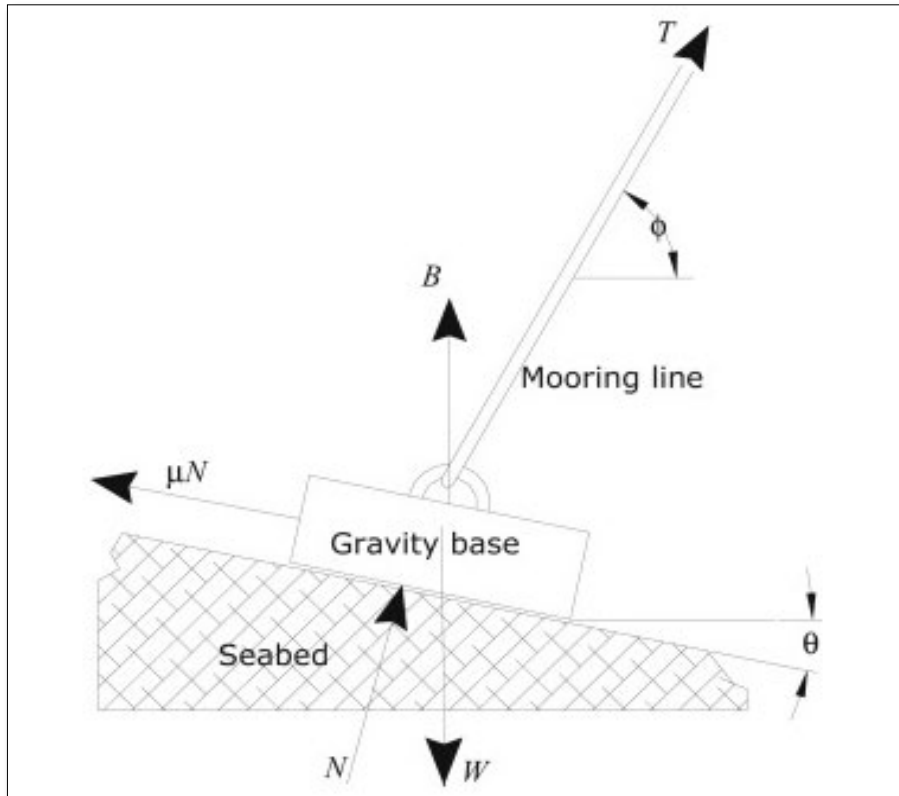


Figura 3.8: Diagramma a corpo libero per ancore a gravità



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 abbassato sul fondale e 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.

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

0	20/01/2023	EMISSIONE PER RICHIESTA DI SCOPING	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: PA.SCOP.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 Adriatico Meridionale, denominata "PUGLIA_A"			Proponente: 		
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO					
Commissa: PUGLIA_A		Contratto: 30/11/2021				
Rev.	0					
Doc.: PA.SCOP.R.05.00	Data: 20/01/2023	Pagina 27 di 37		Doc. Prop.:		

- 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 sono un tipo di ancoraggio incorporato con trascinamento che è stato creato (VLA). Questi sono 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:

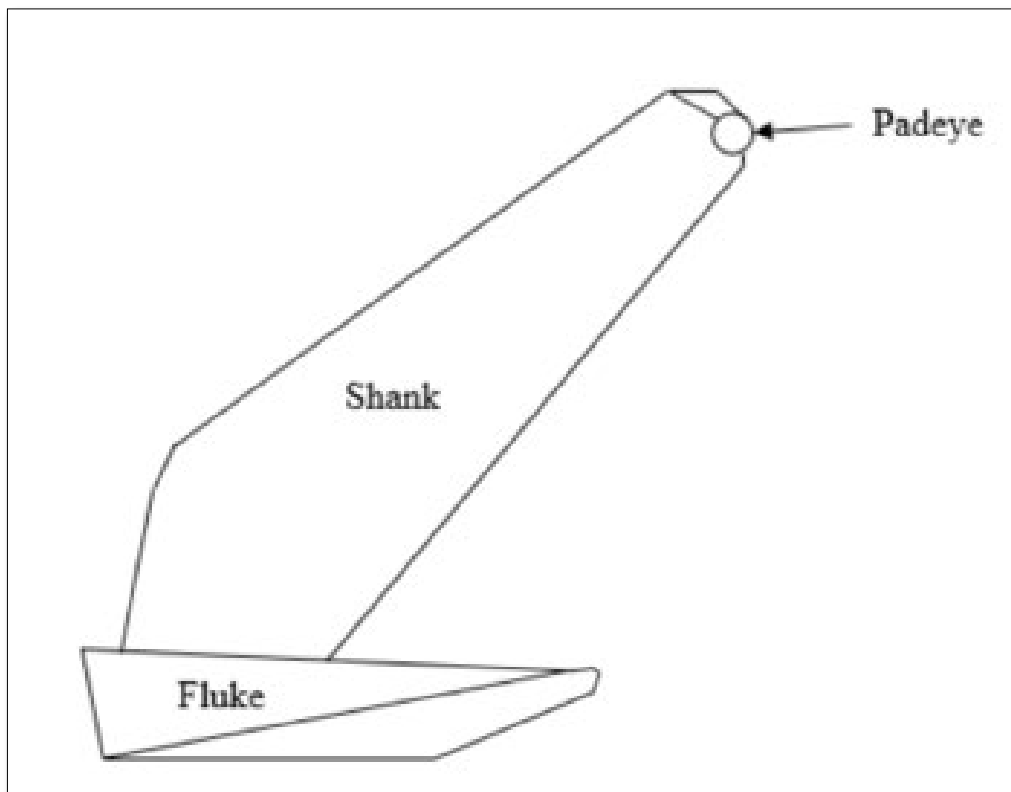




Figura 3.9: Componenti degli ancoraggi di trascinamento

0	20/01/2023	EMISSIONE PER RICHIESTA DI SCOPING	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: PA.SCOP.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 Adriatico Meridionale, denominata "PUGLIA_A"			Proponente: 	
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO				
Commissa: PUGLIA_A		Contratto: 30/11/2021			
Rev.	0				
Doc.: PA.SCOP.R.05.00	Data: 20/01/2023	Pagina 28 di 37		Doc. Prop.:	

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.

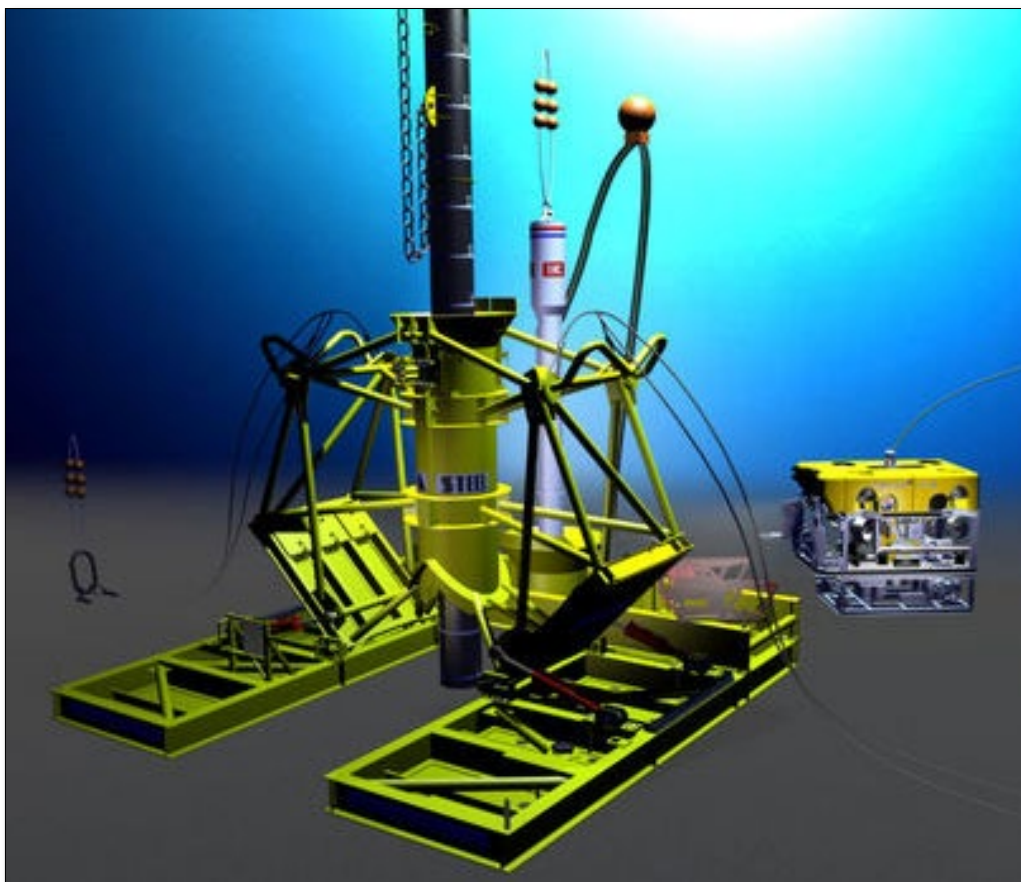




Figura 3.10: Ancoraggio su palo battuto

Queste 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;
- Non ci deve essere strisciamento dei pali;

0	20/01/2023	EMMISSIONE PER RICHIESTA DI SCOPING	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: PA.SCOP.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 Adriatico Meridionale, denominata “PUGLIA_A”			Proponente: 	
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO				
Commissa: PUGLIA_A		Contratto: 30/11/2021			
Rev.	0				
Doc.: PA.SCOP.R.05.00	Data: 20/01/2023	Pagina 29 di 37		Doc. Prop.:	

- 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.

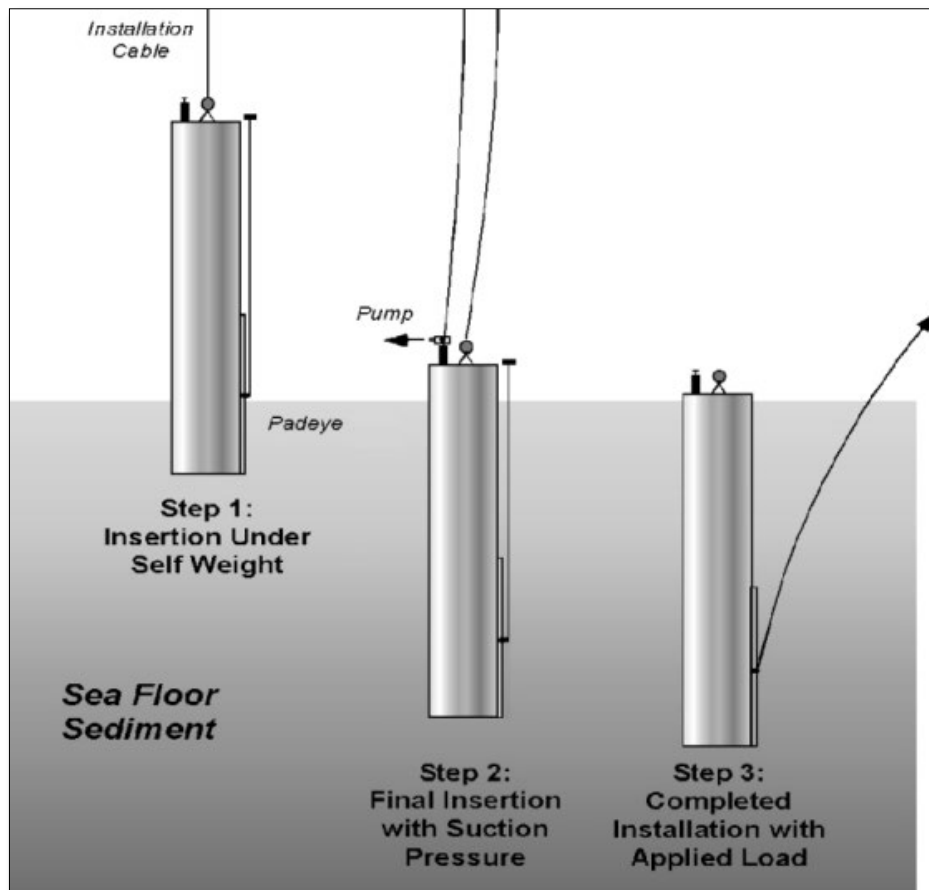



Figura 3.11: Ancoraggio del palo ad aspirazione

Collegando una linea di ancoraggio a un occhiello a tampone a metà del tubo, è possibile stabilire una direzione di sollecitazione trasversale. La linea di tensione è sepolta in profondità

0	20/01/2023	EMISSIONE PER RICHIESTA DI SCOPING	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: PA.SCOP.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 Adriatico Meridionale, denominata “PUGLIA_A”			Proponente: 	
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO				
Commissa: PUGLIA_A		Contratto: 30/11/2021			
Rev.	0				
Doc.: PA.SCOP.R.05.00	Data: 20/01/2023	Pagina 30 di 37		Doc. Prop.:	

nel terreno più profondo in questo modo, fornendo un ampio cuneo di terra per sostenere il peso della linea. Rispetto agli ancoraggi a trascinamento, un ancoraggio a ventosa è il più efficace per il carico verticale.

3.4.3.3 *Torpedo Pile*

Le ancore a siluro sono una delle alternative di ormeggio più efficaci per sistemi di ormeggio tesi perché possono sopportare sollecitazioni verticali. Per la progettazione di strutture galleggianti offshore, la valutazione della capacità di estrazione non drenata degli ancoraggi è fondamentale.

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

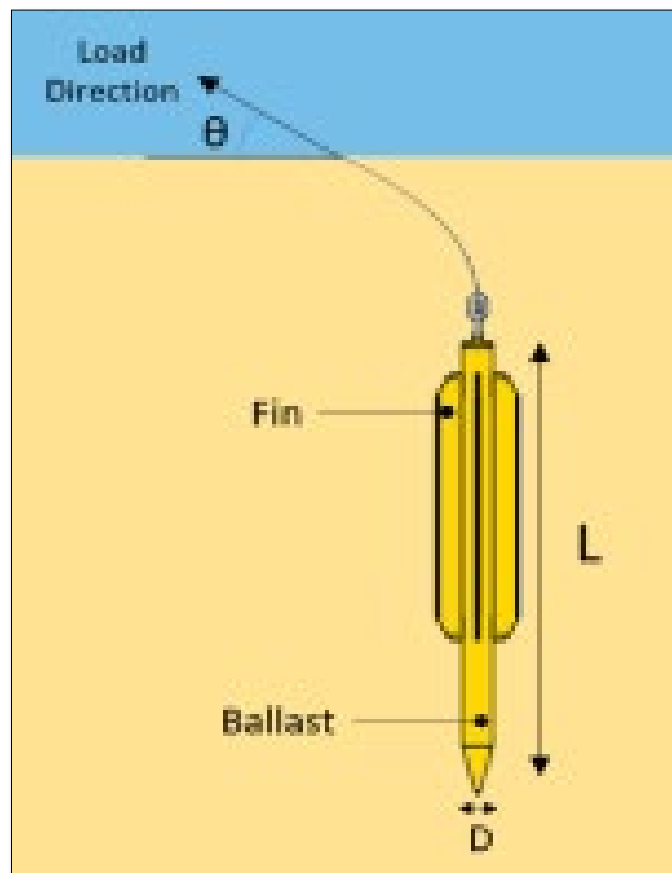




Figura 3.12: Ancoraggio del palo a siluro

0	20/01/2023	EMMISSIONE PER RICHIESTA DI SCOPING	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: PA.SCOP.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 Adriatico Meridionale, denominata "PUGLIA_A"			Proponente: 	
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO				
Commissa: PUGLIA_A		Contratto: 30/11/2021			
Rev.	0				
Doc.: PA.SCOP.R.05.00	Data: 20/01/2023	Pagina 31 di 37		Doc. Prop.:	

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 trascinarsi, 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 penetrato 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 linea di recupero.

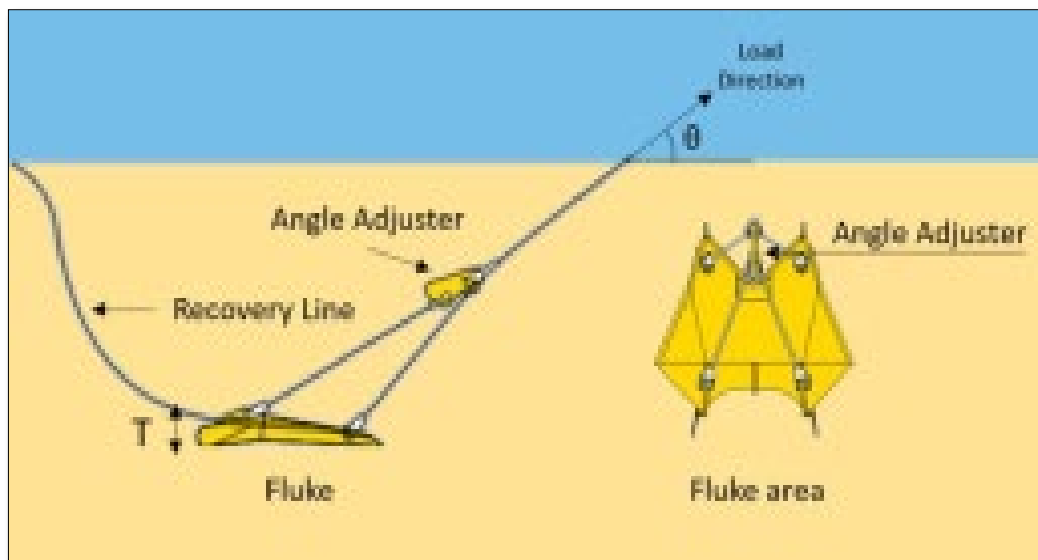




Figura 3.13: Ancoraggio del carico verticale

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

La tabella è codificata a 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. L'importanza di ogni problema è descritta come bassa, alta. 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.

0	20/01/2023	EMISSIONE PER RICHIESTA DI SCOPING	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: PA.SCOP.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 Adriatico Meridionale, denominata "PUGLIA_A"			Proponente: 	
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO				
	Commessa: PUGLIA_A		Contratto: 30/11/2021		
Doc.: PA.SCOP.R.05.00	Rev. 0	Data: 20/01/2023	Pagina 32 di 37		Doc. Prop.:



		Deadweight Anchor	Drag Embedded Anchor	Driven Pile Anchor	Vertical Load Anchor
Tipo di terreno	Argilla morbida	Bene	Bene	Bene	Bene
	Argilla media	Bene	Bene	Bene	Bene
	Argilla dura	Bene	Bene	Male	Male
	Sabbia	Bene	Bene	Buono per Driven	Male
	Hard rock	Bene	Male	Male	Male
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	Bene	Male	Bene	Bene
	Orizzontale	Bene	Bene	Bene	Bene
Rapporto UHC/peso		Il più basso	Alto	Basso	Alto
Costi di installazione		Caro	Il più economico	Caro	Caro

Tabella 3.2: Confronto di 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 creazione da un punto di vista tecnologico, dei parametri di

0	20/01/2023	EMISSIONE PER RICHIESTA DI SCOPING	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: PA.SCOP.R.05.00 Relazione preliminare sulle strutture di ancoraggio e ormeggio.docx		

Contraente:  mpower global • engineering • solutions	Progetto per la realizzazione di una CENTRALE EOLICA OFFSHORE nel Mare Adriatico Meridionale, denominata "PUGLIA_A"			Proponente: 		
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO					
	Commissa: PUGLIA_A		Contratto: 30/11/2021			
Doc.: PA.SCOP.R.05.00	Data: 20/01/2023	Pagina 33 di 37		Doc. Prop.:		

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 rimanere in piedi, 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 necessaria 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 è ancorata al suolo e 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 di dove ti trovi. Secondo DNV-OSJ103, l'energia è significativa per le onde oceaniche con durate che vanno da 5 a 25 secondi. Per ridurre la risonanza e l'enorme risposta che potrebbe verificarsi durante il

0	20/01/2023	EMISSIONE PER RICHIESTA DI SCOPING	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: PA.SCOP.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 Adriatico Meridionale, denominata "PUGLIA_A"			Proponente: 		
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO					
Commissa: PUGLIA_A		Contratto: 30/11/2021				
Rev.	0					
Doc.: PA.SCOP.R.05.00	Data: 20/01/2023	Pagina 34 di 37		Doc. Prop.:		

periodo di risonanza, il periodo naturale della struttura dovrebbe essere al di fuori di questa regione.

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 picco, aumento 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, il che significa che 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 spiaggia. A causa delle loro proporzioni, diversi tipi di sottostruttura non possono essere fabbricati in un cantiere. Queste strutture, tuttavia, offrono un vantaggio

0	20/01/2023	EMISSIONE PER RICHIESTA DI SCOPING	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: PA.SCOP.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 Adriatico Meridionale, denominata "PUGLIA_A"			Proponente: 	
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO				
Commissa: PUGLIA_A		Contratto: 30/11/2021			
Rev.	0				
Doc.: PA.SCOP.R.05.00	Data: 20/01/2023	Pagina 35 di 37		Doc. Prop.:	

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 larghezza e lunghezza. 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 funzionamento delle turbine eoliche, ma è un criterio di progettazione importante per

0	20/01/2023	EMISSIONE PER RICHIESTA DI SCOPING	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: PA.SCOP.R.05.00 Relazione preliminare sulle strutture di ancoraggio e ormeggio.docx		

Contraente:  mpower global • engineering • solutions	Progetto per la realizzazione di una CENTRALE EOLICA OFFSHORE nel Mare Adriatico Meridionale, denominata "PUGLIA_A"			Proponente: 	
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO				
Commissa: PUGLIA_A		Contratto: 30/11/2021			
Rev.	0				
Doc.: PA.SCOP.R.05.00	Data: 20/01/2023	Pagina 36 di 37		Doc. Prop.:	

abbassare i costi e ridurre l'impatto ambientale. Per ridurre al minimo la massa strutturale, è necessaria una progettazione più efficiente.

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:

- La spesa in conto capitale è un termine che si riferisce alla quantità di denaro speso (CAPEX);
- Spesa per le operazioni (OPEX);
- Costi energetici livellati (LCOE).



Le spese 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).

Le spese operative (OPEX) sono i costi che un'azienda ha per gestire la sua attività. Per una turbina eolica offshore ciò include la manutenzione e il funzionamento della struttura.

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	20/01/2023	EMISSIONE PER RICHIESTA DI SCOPING	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: PA.SCOP.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 Adriatico Meridionale, denominata “PUGLIA_A”			Proponente: 		
	RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE DI ANCORAGGIO E ORMEGGIO					
	Commessa: PUGLIA_A			Contratto: 30/11/2021		
Rev. 0						
Doc.: PA.SCOP.R.05.00	Data: 20/01/2023	Pagina 37 di 37		Doc. Prop.:		

L'aumento delle dimensioni della turbina e della potenza erogata è una tecnica per ridurre il costo delle turbine eoliche offshore. Per le turbine che generano la stessa quantità di elettricità, 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.

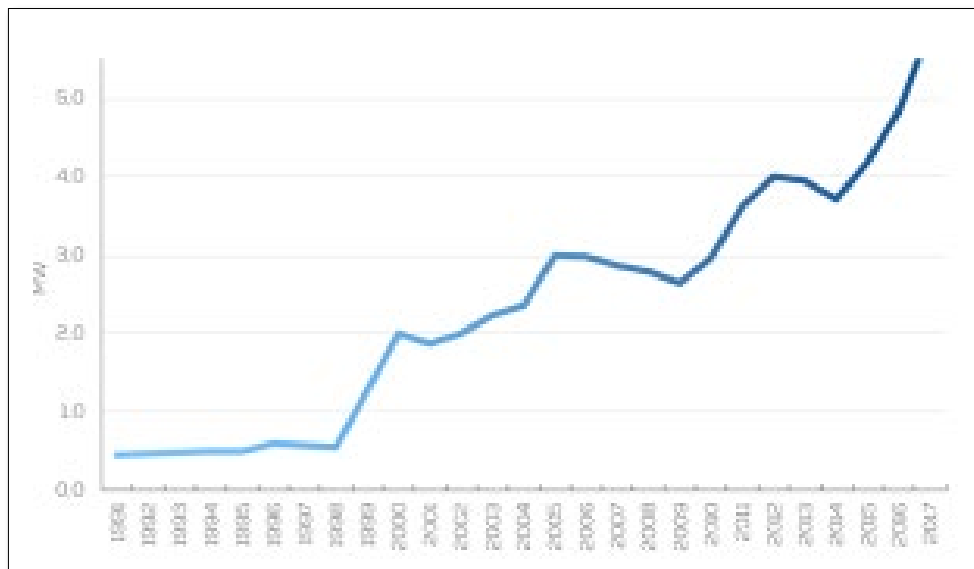


Figura 4.1: Media annua della potenza nominale installata di una turbina eolica offshore

0	20/01/2023	EMISSIONE PER RICHIESTA DI SCOPING	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: PA.SCOP.R.05.00 Relazione preliminare sulle strutture di ancoraggio e ormeggio.docx		