

00	05/10/21	Taormina C	Scarpulla	Alberti	Prima Emissione
REVISIONE	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO		DESCRIZIONE



## PARCO EOLICO OFFSHORE DA 384MW SITUATO NEL GOLFO DI GELA

Definizione dei contenuti dello studio di impatto ambientale

UBICAZIONE

### Golfo di Gela

*Zona d'interesse a terra: Vittoria, Acate,  
Comiso, Chiaramonte Gulfi*

ELABORATO

### RELAZIONE ORMEGGI ED ANCORAGGI

IL PROGETTISTA

*Ing. Alessandro Scarpulla*

I COLLABORATORI

*Ing. Claudio Taormina*

*Ing. Carmelo Antinoro*

*Geol. Angelo Taormina*

*Dott. Vincenzo Scafidi*

*Dott. Fabrizio Castellese*



Apollo Wind S.r.l.  
Via Enzo ed Elvira Sellerio, n. 27  
90141 Palermo  
P.IVA: 06994730825



SCALA <b>1:XXXX</b>		FORMATO <b>A4</b>		SCALA <b>1 di 19</b>	
005	DEFSIA	R	RELORM	A	00
NUMERO DOC. DEPOSITATO	PROCEDURA	TIPOLOGIA	NUM. DOC. DEPOSITATO	PRIVACY DOC.	ORDINALE PRESENTAZ.

## **RELAZIONE ORMEGGI ED ANCORAGGI**

## Sommario

1 Introduzione.....	3
2 Sostegni off-shore .....	4
2.1 Tipologie di sostegni e basamenti off-shore esistenti .....	4
2.2 Sistemi di ormeggio .....	5
2.3 Ancoraggio.....	7
3 Basamenti galleggianti .....	8
4 Ormeggi.....	9
4.1 Sistemi a linee catenarie .....	9
4.1.2 Dimensionamento delle catenarie .....	10
4.2 Sistemi a cime di ormeggio tese.....	11
4.2.1 Dimensionamento degli ormeggi a cime tese .....	12
5 Ancoraggio .....	13
5.1 Ancora a trascinamento (Drag Anchor).....	13
5.2 Ancora a gravità (Deadweight).....	14
5.2.1 Ancora a gravità semplice.....	15
5.2.2 Ancora a gravità con infissione dinamica .....	15
5.2.3 Dimensionamento ancora a gravità .....	16
5.3 Ancora con cassoni ad aspirazione (Suction Buckets).....	16
5.3.1 Dimensionamento Suction Bucket .....	17
5.4 Ancora con pali a vite (Helical Pile) .....	18
5.4.1 Dimensionamento dei pali a vite .....	18
Bibliografia e sitografia .....	19

## 1 Introduzione

L'installazione degli aerogeneratori offshore è un campo in continua evoluzione. La quasi totalità degli impianti attualmente esistenti, presenta dei sostegni ancorati al fondale, attraverso tecniche differenti, con strutture fisse.

Il problema dei sistemi di sostegno attualmente utilizzati per parchi eolici offshore è la profondità. Superata una determinata distanza dal suolo marino, utilizzare determinati sostegni per aerogeneratori risulta molto costoso e difficile, in alcuni casi, le limitazioni meccaniche e/o strutturali ne impedisce l'utilizzo.

La nuova frontiera dei sistemi di sostegno per parchi eolici offshore, si basa sui basamenti galleggianti (Floating). Questi sostegni permettono l'installazione delle turbine eoliche in zone dove la profondità delle acque è tale da rendere impossibile, per i motivi già citati, l'utilizzo di strutture monolitiche fissate al fondale marino. Grazie a questa nuova tipologia di sostegni si ottiene maggiore versatilità legata al posizionamento. È infatti possibile accedere a siti di installazione più lontani dalla costa, il che offre un duplice vantaggio:

- Minor impatto visivo ed acustico;
- Maggior disponibilità energetica;

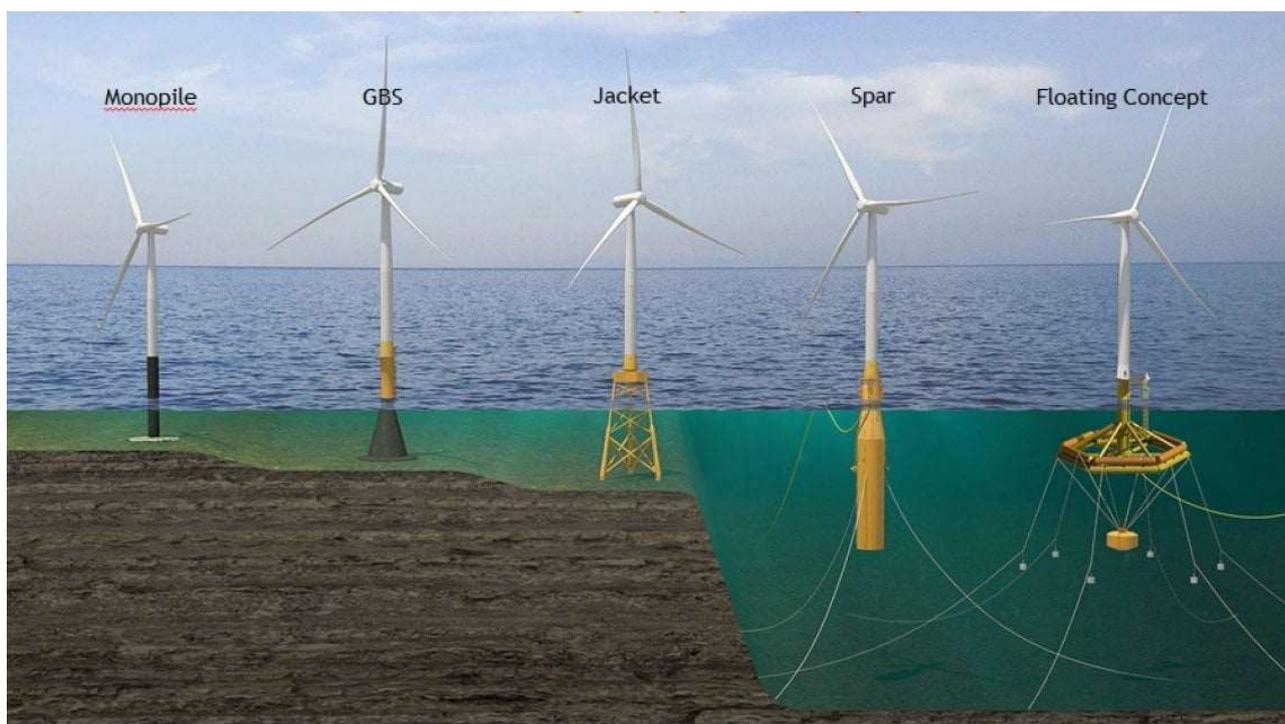
I sostegni galleggianti sono formati da diversi componenti, tra cui il basamento galleggiante dove l'aerogeneratore viene fissato, il sistema di ancoraggio ed il sistema di ormeggio. Il sistema di ormeggio, fissato al basamento galleggiante, ed accoppiato al sistema di ancoraggio, permette all'aerogeneratore di non essere trasportato dalle correnti, salvo momentanei discostamenti dal punto di installazione nell'intorno del posizionamento iniziale. Il collegamento tra il sistema di ancoraggio e il basamento galleggiante può essere fatto con diverse metodologie. Le tecnologie più utilizzate al momento sono i sistemi con catenarie o a funi tese.

## 2 Sostegni offshore

### 2.1 Tipologie di sostegni e basamenti offshore esistenti

Sono disponibili diverse tipologie di sostegni per il posizionamento offshore degli aerogeneratori. La scelta riguardo il sistema utilizzato si basa sugli aspetti economici, ambientali e strutturali. In particolare, la profondità del fondale marino influenza molto la scelta del sostegno.

Alcuni esempi di sostegni per turbine offshore sono quelli mostrati nella *figura 1*:



*Figura 1* Tipologie di strutture per aerogeneratori offshore

**Monopila:** questa tipologia di sostegno è costituita da un grande palo che entra nel fondale svariati metri, può essere impiegato per profondità modeste, dell'ordine dei 5-10 metri, fino a circa 30 metri. La sua costruzione prevede la perforazione nel fondale marino, per permettere il fissaggio stesso del sostegno. Si utilizzano materiali ferrosi resistenti all'ambiente marino. La turbina eolica viene adagiata sulla superficie e poi fissata adeguatamente.

**GBS:** è una tipologia di sostegno definita a "gravità", si costruisce una fondazione in cemento armato, che viene posta sul fondale marino. Sulla parte alta della fondazione viene imbullonato il traliccio dell'aerogeneratore. Il suo campo di applicazione è fino a profondità di 30 metri.



Figura 2 Strutture a gravità

**Jacket (traliccio):** si basa su una fondazione costituita da un tripode, esso viene ancorato al fondale marino tramite più punti di ancoraggio. È una tecnologia adoperata in ambito petrolifero e largamente diffuso in ambito eolico offshore. La struttura è realizzata da profili tubolari formanti il traliccio. Presenta il vantaggio di avere un peso contenuto e ottime caratteristiche idrodinamiche rispetto alle correnti marine. Il suo campo di applicazione si estende fino a 40-50 metri di profondità.

**Spar:** questa tipologia di sostegni, fa parte della famiglia dei sostegni che sfruttano i basamenti galleggianti. La sua funzione è quella di sostenere il peso dell'aerogeneratore e bilanciare il momento ribaltante imposto a tutta la struttura dall'interazione con il vento. Per evitare che il basamento si muova in maniera casuale in funzione delle correnti marine e ventose, viene ancorato al fondale attraverso sistemi di ancoraggio e sistemi di ormeggio (catenarie/funi). Essendo un sistema galleggiante il suo campo di applicazione non presenta limitazioni riguardo alla profondità, o almeno non dovute al basamento ma ai sistemi di ormeggio ed ancoraggio. Si ritrovano applicazioni fino a 100 metri di profondità, e studi effettuati su prototipi in scala in acque profonde anche 200 metri. È comunque possibile estendere il campo di applicazione di questa tecnologia fino a fondali di 1000m.

Come si evince dalla figura 1, la sua struttura ha forma tubolare e si posiziona sotto il livello del mare, questo permette di mitigare gli impatti visivi.

**Basamento galleggiante:** anche questo sostegno appartiene alla famiglia dei sostegni che sfruttano basamenti galleggianti. Il principio di funzionamento è identico al precedente, in questo caso però si hanno delle strutture con volumi maggiori. La grandezza di questi basamenti dipende dalla grandezza delle turbine eoliche che deve sostenere ed i momenti che deve contrastare. Anch'esso viene ancorato al fondale tramite ormeggi ed ancoraggi.

## 2.2 Sistemi di ormeggio

Il sistema di ormeggio è quel componente della struttura di sostegno, che collega il basamento galleggiante con il sistema di ancoraggio. Svolgono le funzioni di resistenza rispetto agli sforzi e di ripristino riguardo la posizione iniziale. Il principio con cui svolgono il loro compito può essere differente a seconda delle tipologie di ormeggi che si utilizzano. Non si hanno ancora dati a sufficienza per poter fornire una soluzione finale. Vengono di seguito illustrate le principali tecniche

di ormeggio utilizzate in tale ambito, considerando che in fase esecutiva, si opterà per la tecnologia meno invasiva dal punto di vista ambientale e soddisfacente dal punto di vista tecnologico.

Le tecniche di ormeggio più utilizzate ad oggi sono:

- Linee catenarie;
- Linee tese;
- Linee zavorrate.

**Sistemi a linee catenarie:** è un sistema applicato per installazioni galleggianti in acque profonde. Si sfruttano lunghe catene, con sviluppo radiale rispetto alla struttura alle quali sono agganciate. Presentano una parte adagiata sul fondale marino ed una parte della catena sospesa (Fig. 3.a).

Quando il basamento galleggiante si sposta, cambia la lunghezza di catenaria posta sul fondale e di conseguenza cambiano gli equilibri in gioco. Si instaura dunque una condizione di squilibrio rispetto alla condizione iniziale che genera una forza di richiamo. La forza di richiamo verso la condizione iniziale è data dalla lunghezza della catenaria adagiata sul fondale, che riducendosi causa uno squilibrio di peso che per essere compensato riporterà il basamento galleggiante sulla posizione iniziale.

La forza di richiamo può essere aumentata a seconda delle condizioni e sfruttando pesi posizionati adeguatamente. L'aggiunta di pesi si basa su un calcolo matematico ed empirico. Si dimostra che la necessità di pesi si ha per fondali bassi, a causa della poca lunghezza delle catenarie e quindi della poca forza di richiamo generabile.

**Sistemi a cime di ormeggio tese e zavorrate:** basano il principio di funzionamento su linee di ormeggio sintetiche simmetriche al supporto. Sono poste tra il basamento ed il sistema di ancoraggio, stavolta però la forza di richiamo non si basa sul peso del cavo, ma sulla rigidità delle linee (Fig. 3.b). Dunque è possibile affermare che il cavo "tira" verso il fondale il basamento galleggiante, sfruttando il punto di ancoraggio. I vantaggi in questo caso sono un approccio ambientale meno invasivo rispetto al precedente, però il loro utilizzo è preferito in acque sufficientemente profonde per una buona spinta idrodinamica opposta alla forza applicata delle cime di ormeggio. Il dimensionamento riguardo le forze applicate in questo caso è più complesso rispetto al caso precedente. I cavi utilizzati possono essere in acciaio, poliestere e nylon. Le proprietà che devono avere sono una sufficiente resistenza alla alta tensione (in termini di sforzi) e peso ridotto. Se necessario tali sistemi possono essere zavorrati per migliorarne le prestazioni, a discapito del costo complessivo finale. Presentano configurazioni verticali o oblique a seconda della progettazione e della conformazione orografica del fondale (Fig. 3.b e 3.c).

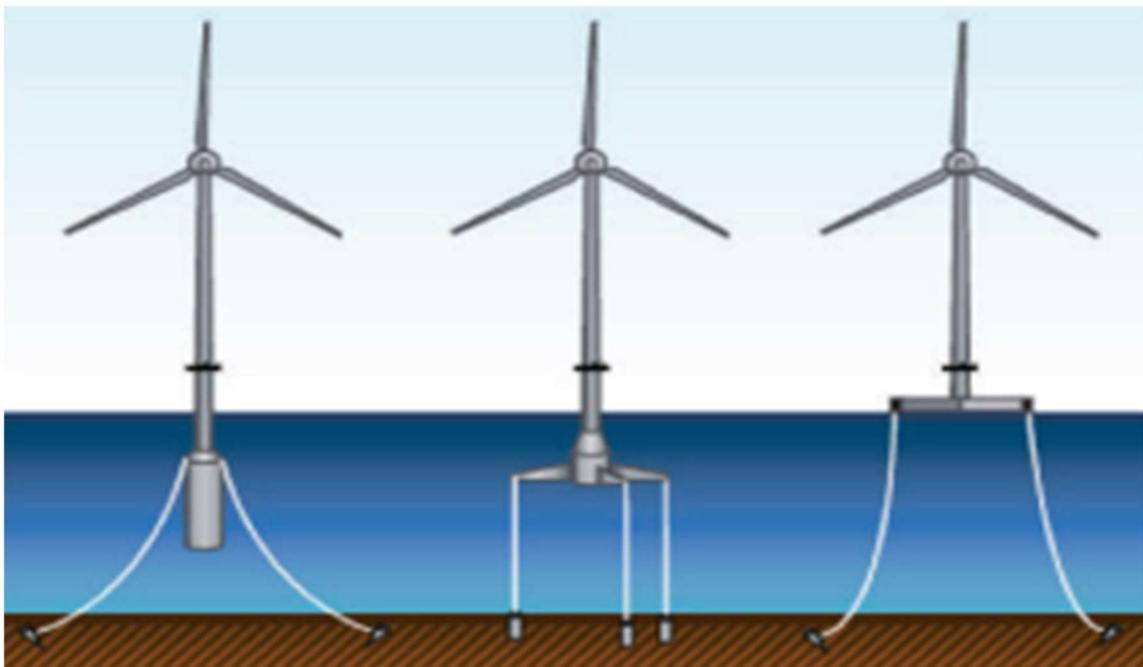


Figura 3 Configurazioni e sistemi di ormeggio a) b) c)

Le sollecitazioni che la struttura subisce sono legate alla tipologia di fluido ed alla velocità. Dopo aver ottenuto un database con le velocità misurate in un sufficiente intervallo di tempo, si può applicare la seguente legge:

$$q = \frac{1}{2} \rho v^2$$

$q$  = pressione unitaria

$\rho$  = densità del fluido

$v^2$  = velocità del fluido considerato, per sicurezza si usa la massima rilevata

Tramite questa formula si ottiene la pressione unitaria che il fluido applica sul sostegno. Per questioni di sicurezza si prende la maggiore velocità misurata nell'intervallo temporale e si aumenta di un coefficiente di sicurezza. Questo approccio ci permette di dimensionare i sistemi di ormeggio per tali sforzi, a cui vanno comunque aggiunti tutti gli altri dovuti ad altri fattori.

Ogni tipologia di ormeggio presenta equazioni specifiche per risultati più precisi.

### 2.3 Ancoraggio

I sistemi di ancoraggio permettono di bloccare in una determinata posizione il basamento. Sono apparecchi dimensionati a seconda della tipologia di terreno e degli sforzi ai quali devono resistere. Il sistema di ormeggio viene collegato in un apposito punto e dopo il posizionamento scaricherà su di esso la forza applicata dal basamento, sia essa di trazione o compressione a seconda dei casi.

Il dimensionamento di questi sistemi dipende anche dalla tipologia che si vuole utilizzare. Le tipologie esistenti sono:

- Ancoraggio a trascinamento;
- Ancoraggio a gravità, semplice e dinamica;
- Ancoraggio con cassoni di aspirazione;
- Ancoraggio con pali a vite.

### 3 Basamenti galleggianti

Il parco eolico in questione verrà posizionato al largo del porto di Gela, a circa 12 km dalla costa, dove la profondità del mare è compresa in un intervallo tra gli 80 ed i 500 metri. Premettendo la necessità verificare la tipologia di fondale marino per capire il miglior sistema di ancoraggio necessario, si è optati per ciò che riguarda la scelta del sostegno per l'aerogeneratore, alla tipologia galleggiante. Un esempio si può visionare nella figura adiacente.

Il basamento è composto da 4 strutture circolari con diametro di circa 20 metri. Sono posizionate con il centro sovrapposto ai vertici di un triangolo equilatero con lato di circa 45 metri. Una struttura circolare invece è posizionata al centro del triangolo, con il centro concentrico al baricentro del triangolo che collega i centri dei cilindri visti dall'alto.



La struttura risulta parzialmente sommersa. L'aerogeneratore viene posto nel cilindro centrale, il che conferisce a tutta la struttura maggiore stabilità e resistenza. Vista la tipologia di sostegno non si hanno direzioni preferenziali di orientamento rispetto ai venti principali, proprio perché si ha una risposta simmetrica a prescindere dalla direzione dei venti.

Il compito del basamento è differente a seconda dell'asse di riferimento considerato:

Asse verticale: il basamento ha il compito di controbilanciare la forza peso applicata dall'aerogeneratore, dunque non farlo sprofondare. Il dimensionamento andrà fatto considerando che il solo aerogeneratore ha un peso che si aggira intorno alle 3200 tonnellate (da scheda tecnica). Al peso dell'aerogeneratore, andranno aggiunti gli sforzi verticali applicati dai cavi di collegamento che sono ancorati all'aerogeneratore e dei sistemi di ormeggio. Infine attraverso modelli di simulazione è necessario considerare le componenti verticali degli sforzi imposti dal vento impattanti sul rotore.

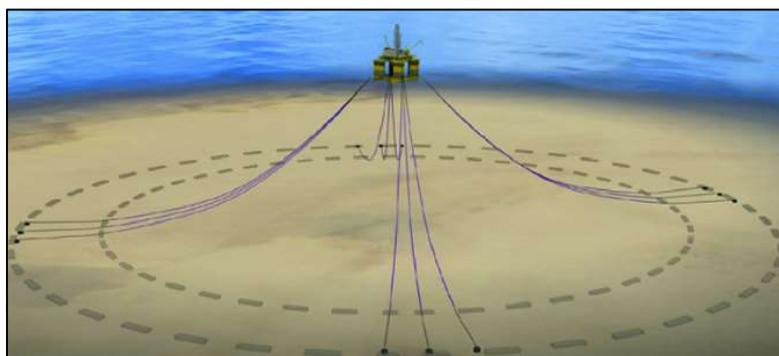
Asse orizzontale: lungo l'asse orizzontale il basamento deve essere in grado di attutire e resistere al momento flettente applicato a tutta la struttura dal vento ed agli sforzi imposti dalle correnti marine. Il momento viene calcolato considerando la componente orizzontale della forza applicata alle 3 pale e come fulcro di rotazione il baricentro della struttura.

In una fase più avanzata ci si servirà di programmi di simulazione che permettono di calcolare tutti i parametri necessari al dimensionamento, fornendo in input tutti i dati sul sito di installazione.

## 4 Ormeggi

### 4.1 Sistemi a linee catenarie

Il sistema di ormeggio a catenaria, basa il collegamento tra il basamento galleggiante, che sostiene la turbina eolica, ed il sistema di ancoraggio al fondale marino su delle catene. La loro funzione è duplice, evitare che il basamento galleggiante si sposti senza controllo ed il restaurarsi della condizione iniziale di equilibrio. Una tipica configurazione è la seguente:



*Figura 4 Configurazione di un sistema di ormeggio a catenaria*

Nell'immagine è possibile distinguere due parti della catenaria. Ipotizzando di trovarci nella fase di equilibrio della struttura, una parte di essa risulta poggiata sul fondale ed una parte risulta sospesa.

Il punto focale di questo sistema, tolta la resistenza meccanica agli sforzi a cui viene sottoposto, è il peso della catenaria stessa, che in caso di necessità può essere aumentato trami l'utilizzo di pesi. La parte di catenaria che non poggia sul fondale, deve essere considerata nel peso da attribuire al basamento galleggiante.

Quando il basamento, viene spinto in una posizione diversa dalla condizione di equilibrio, la porzione di catenaria poggiata sul fondale, diminuisce dal lato da cui proviene la spinta, ed aumenta da quello opposto. Il poggiarsi e sollevarsi della catenaria, porta ad uno squilibrio per quanto riguarda il peso. Questo squilibrio per essere compensato renderà necessario il ritorno alla posizione iniziale.

Più lo scostamento dalla condizione di equilibrio è maggiore, più la forza di ripristino generata dalla catenaria sarà elevata.

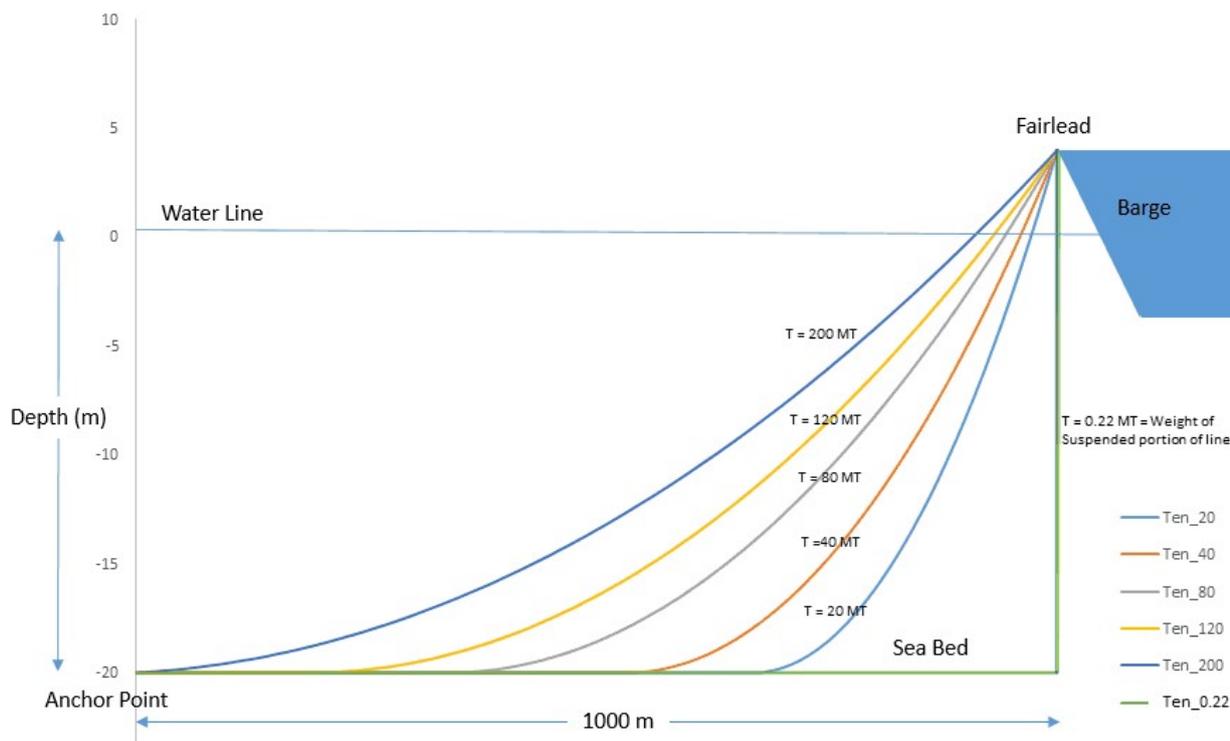


Figura 5 Esempio di catenaria adagiata e sospesa

La superficie di influenza che comprende le catenarie, è direttamente proporzionale sia al fondale che si sta trattando sia al peso che essa deve mantenere nella condizione di equilibrio contrastando eventuali sforzi trasversali.

#### 4.1.2 Dimensionamento delle catenarie

Per il dimensionamento delle catenarie, si impongono delle condizioni:

- Si trascurino le forze idrodinamiche;
- Il cavo risulta essere anelastico.

Le equazioni utilizzabili per il dimensionamento sono:

$$l_s = h \sqrt{\left(\frac{2T_H}{Wh} + 1\right)}$$

$l_s$  = lunghezza della linea di ormeggio sospesa [m]

$h$  = profondità dell'acqua [m]

$W$  = peso del cavo di ormeggio  $\left[\frac{t}{m}\right]$

$T_H$  = carico orizzontale applicato alla linea di ormeggio [t]

Con la formula citata, si riesce a calcolare la porzione di catenaria che si deve adagiare sul fondale marino in funzione dei vari parametri tra cui il carico orizzontale. La distanza orizzontale tra il punto di ancoraggio sul fondale marino ed il punto di aggancio sul basamento si ottiene tramite:

$$X = \frac{T_H}{W} \cosh^{-1} \left( 1 + \frac{Wh}{T_H} \right)$$

$X$  = distanza orizzontale tra il punto di ancoraggio ed il basamento

Tramite trasformazioni matematiche, si riesce a calcolare la distanza reale tra il sistema di ancoraggio sul fondale marino ed il punto di aggancio tra il basamento:

$$X = l - h \sqrt{\left( \frac{2T_H}{Wh} + 1 \right)} + \frac{T_H}{W} \cosh^{-1} \left( 1 + \frac{Wh}{T_H} \right)$$

Infine, avendo ottenuto le dimensioni geometriche in funzione del carico orizzontale, è possibile risalire alla forza di ripristino che il sistema riesce a generare.

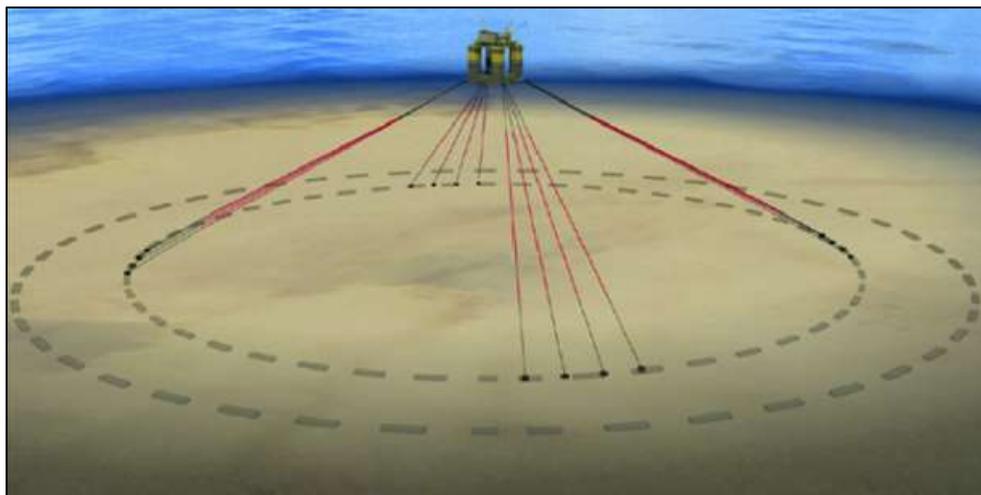
$$C_{11} = \frac{\partial T_H}{\partial X} = W \left[ \frac{-2}{\sqrt{\left( 1 + \frac{2T_H}{Wh} \right)}} + \cosh^{-1} \left( 1 + \frac{Wh}{T_H} \right) \right]^{-1}$$

$C_{11}$  = forza di ripristino

Si evince come la forza di ripristino ha una dipendenza dal peso del cavo. Il punto ottimale per l'eventuale installazione dei pesi lungo la catenaria è esattamente il punto di contatto della catenaria con il fondale marino. Il semplice sollevamento del peso rende più difficile uno scostamento dalla condizione iniziale d'equilibrio. Inoltre se posto nel punto di contatto il peso non grava sul basamento galleggiante in fase di equilibrio.

#### 4.2 Sistemi a cime di ormeggio tese

I sistemi a cime di ormeggio tese, si basano sulla forza di ripristino elastica. Questa forza deriva da un certo numero di cavi che vengono collegati, in maniera verticale (od obliqua), al basamento ed al fondale marino tramite il sistema di ancoraggio. La lunghezza delle funi deve essere tale da permettere una forza di ripristino adeguata alle forze orizzontali e verticali che vengono applicate al basamento ed alla struttura posta sopra di esso. Rispetto alle catenarie, qui i cavi vengono sottoposti ad una trazione costante che li mantiene in tensione.



*Figura 6 Configurazione di un sistema di ormeggio a cime tese*

La tensione necessaria per tenere i cavi in posizione verticale, e con un adeguata forza di ripristino si ottiene tramite la spinta idrostatica fornita dal basamento galleggiante. Ecco perché in questo caso serve un dimensionamento differente rispetto alle catenarie, qui il basamento deve avere caratteristiche di peso e di galleggiamento differenti.

Elevata importanza presenta il cavo utilizzato, esso deve resistente in maniera ottimale alla trazione generata. Gli spostamenti legati all'influenza dei venti sull'aerogeneratore o delle correnti marine impattanti nel basamento galleggiante si trasformano in sforzi di trazione per i cavi, con forze in gioco elevate.

I vantaggi di questi sistemi risiedono in un sistema molto stabile rispetto agli sforzi trasversali proprio per le tensioni a cui vengono sottoposti i cavi già nelle fasi di equilibrio ed a un impatto ambientale riguardo l'ambiente marittimo inferiore. Di contro è necessario l'utilizzo di cavi particolari e sistemi di ancoraggio sul fondale in grado di sostenere la spinta idrostatica data dal basamento.

#### 4.2.1 Dimensionamento degli ormeggi a cime tese

I materiali utilizzati per questa tipologia di ormeggi sono normati dalla "DNV – Position Mooring – Offshore Standard DNV – OS – E301". Le caratteristiche che devono possedere riguardano:

- Resistenza a trazione;
- Rigidità assiale;
- Peso.

L'ambiente di lavoro influenza la tipologia di materiale scelte. Presentano caratteristiche adeguate poliestere, nylon ed acciaio. Il dimensionamento matematico viene fatto con tradizionali equazioni di scienze delle costruzioni tenendo in considerazione l'eventuale deformazione dei cavi a seconda del materiale.

## 5 Ancoraggio

Il sistema di ancoraggio è quel componente che garantisce l'attrito necessario per evitare che il basamento si sposti. Ne esistono di diverse tipologie e forme, a seconda dei pesi in gioco e della tipologia di fondale marino.

In una fase più avanzata verranno effettuati accertamenti sullo stato del fondale marino, e simulazioni tramite software, che permetteranno di capire quale sistema è il più adatto per garantire il corretto posizionamento delle strutture con il minimo impatto ambientale.

I test effettuati tramite software verranno comunque confermati o smentiti da prove effettuate in loco.

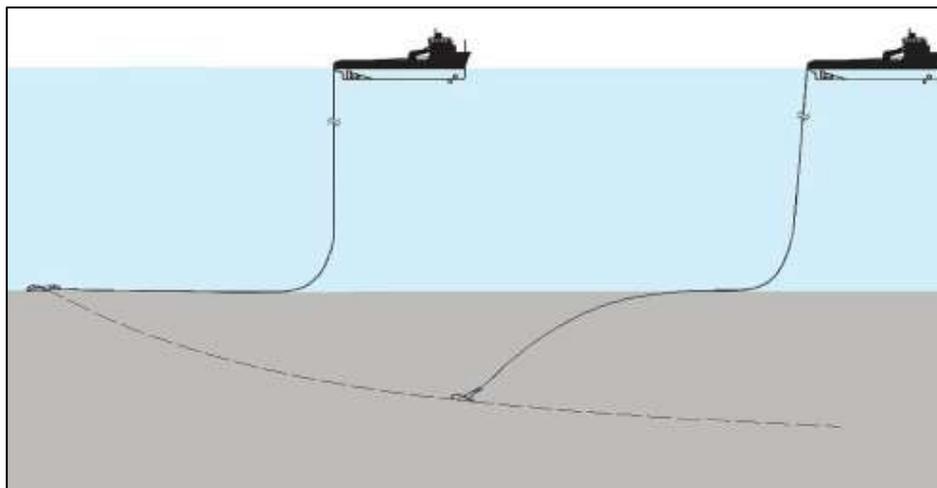
### 5.1 Ancora a trascinamento (Drag Anchor)

Questa tipologia di ancora presenta un peso elevato che dipende dal campo di applicazione, visti i pesi nell'ambito dei parchi offshore, l'ordine di grandezza di questi dispositivi è superiore alle 60 tonnellate.

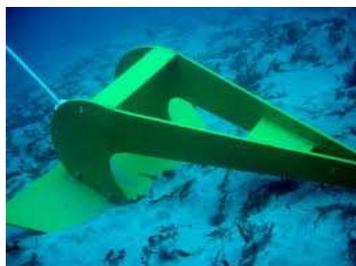
Il principio di funzionamento di questa ancora si basa sulla penetrazione nel fondale marino per aumentare la capacità di fissaggio. La penetrazione nel fondale è resa possibile dalla conformazione stessa dell'ancora, che nella parte bassa presenta una particolare forma che la porta ad affondare nel fondale.

La parte superiore collegata alla testa ad uncino, permette il collegamento ad eventuali catenarie o cavi. Il posizionamento di questi dispositivi viene fatto attraverso barche adeguate che devono avere la capacità di fare affondare adeguatamente l'ancora.





*Figura 7 Esempio di installazione ancora a trascinamento*



Più in profondità viene posta, maggiore sarà la resistenza che fornirà agli sforzi applicati struttura galleggiante. Vengono costruite con sistemi stabilizzanti che permettono di evitare lo sfilamento fuori dal fondale in cui erano penetrate.

## 5.2 Ancora a gravità (Deadweight)

L'ancora a gravità sfrutta interamente il peso del dispositivo, per il bloccaggio dei sistemi galleggianti. L'ancora viene adagiata sul fondale marino e riesce a sostenere carichi orizzontali e verticali, sempre in funzione del peso dell'ancora. Presentano strutture metalliche o in cemento, hanno il vantaggio di essere economiche ed utilizzabili in ogni tipologia di terreno vista la semplicità applicativa. Gli svantaggi derivano dal peso poiché aumenta i costi di trasporto ed installazione.

### 5.2.1 Ancora a gravità semplice

L'ancora a gravità semplice sfrutta come materiali la ghisa o il cemento. La scelta è legata al fatto che essendo la ghisa più densa rispetto al cemento permette di ottenere ancore con volumi più piccoli di circa 4 volte.

La densità del calcestruzzo è di circa  $2,2 \text{ t/m}^3$  mentre quella della ghisa è di  $7,15 \text{ t/m}^3$ . In acqua la densità tecnicamente "si riduce". A causa della spinta di idrostatica, il rapporto massa su volume viene ridotto, infatti la densità del calcestruzzo si porta a circa  $1,17 \text{ t/m}^3$  mentre quella della ghisa a  $6,12 \text{ t/m}^3$ .

L'impatto ambientale marittimo della ghisa è simile a quello che potrebbero avere gli altri componenti fatti dello stesso materiale e che costituiscono l'impianto. Avendo dunque conseguenze esigue sono candidati ottimali per l'impiego.



Figura 8 Ancora a gravità semplice in ghisa

### 5.2.2 Ancora a gravità con infissione dinamica

È una tipologia di ormeggio che sfrutta la sua geometria idrodinamica per aumentare l'impatto con il fondale, e riuscire a penetrare il più in profondità possibile. La sua particolare geometria, gli permette di acquisire velocità quando viene rilasciata e di scendere il più velocemente possibile. Si stabilizza sempre grazie alla sua forma.

Impattando con il terreno, essa è in grado di sprofondare anche di 10-15 metri al di sotto del fondale. Il materiale di cui è costituita solitamente è acciaio o ghisa, adatto per l'ambiente marino. Un vantaggio particolare è legato al posizionamento dell'ancora, poiché con gli adeguati accorgimenti è possibile rilasciarla dalla superficie marina attraverso imbarcazioni adatte. Il cavo viene fissato sulla parte laterale in un'apposita parte dell'ancora e poi agganciato all'eventuale struttura da dover ormeggiare.

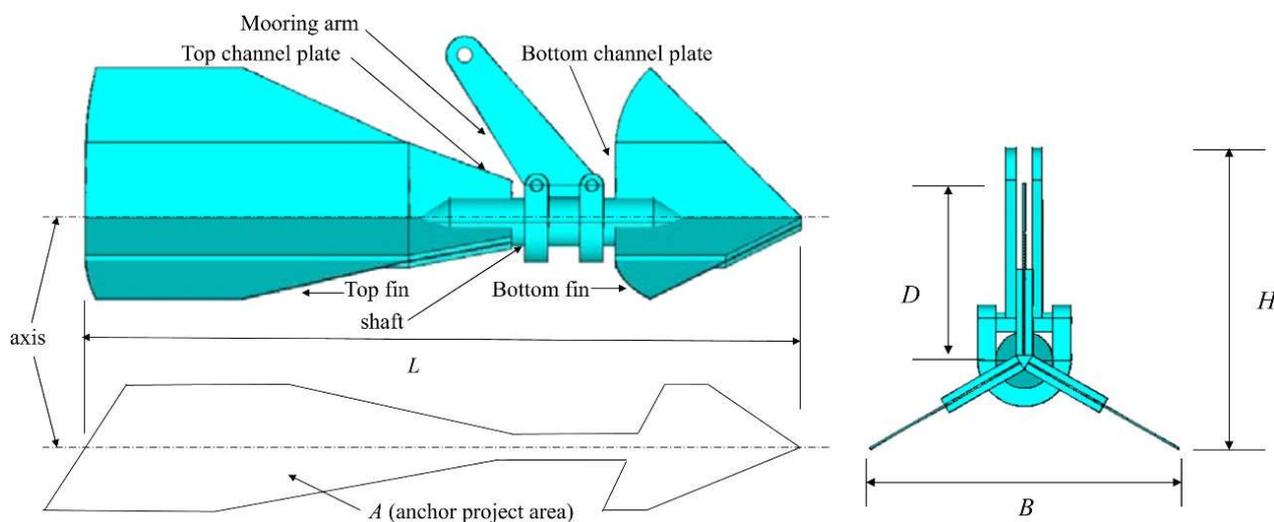


Figura 9 Ancora a gravità dinamica (struttura)

### 5.2.3 Dimensionamento ancora a gravità

Il dimensionamento delle ancore a gravità è differente a seconda della tipologia, l'aspetto in comune è il peso. Si calcola il peso statico (dell'ancora) necessario per resistere alle sollecitazioni compressive che vengono scaricate nell'ormeggio.

Il bilancio si ottiene tenendo in contrapposizione la spinta di idrostatica che viene applicata al basamento galleggiante, che corrisponde alla sollecitazione verticale.

### 5.3 Ancora con cassoni ad aspirazione (Suction Buckets)

I cassoni ad aspirazione sono dei particolari tipi di ormeggi che basano il loro funzionamento sulla depressione interna che gli permette di fissarsi al fondale. La fase di installazione prevede una prima fase in cui vengono posizionati sul fondale marino. Dopo essersi stabilizzati, attraverso ROV adatti, viene estratta l'acqua che era presente al loro interno. In questo modo si genera una depressione che permette la penetrazione del cassone nel suolo.

Le limitazioni di questi ancoraggi sono legate alla tipologia di fondale dove si vanno ad adagiare. Sono adeguati solo per fondali in argilla morbida o media ed in sabbie addensate.

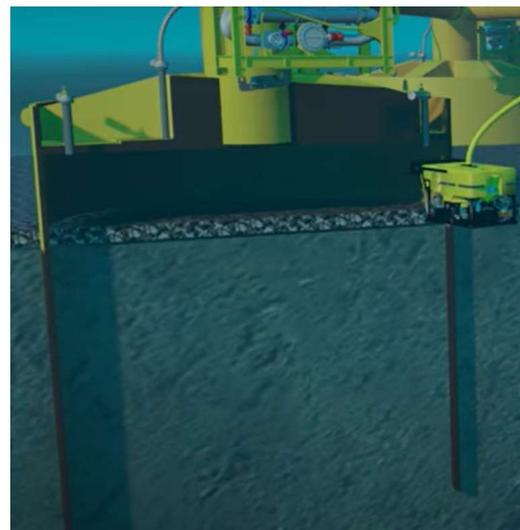
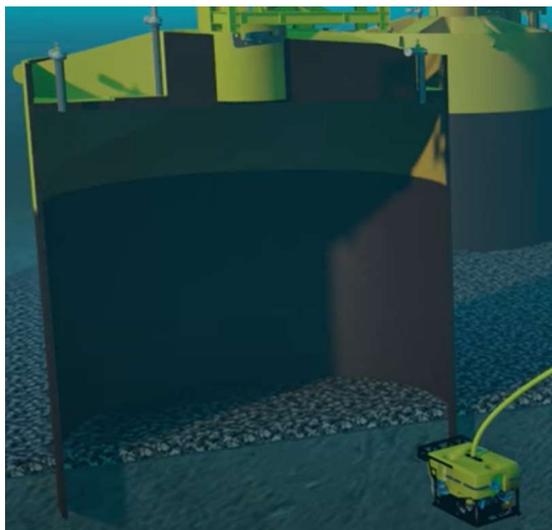


Figura 10 a) Posizionamento ancoraggio a cassone

b) inserimento sistema nel fondale

Le immagini 10 a e 10 b, mostrano il posizionamento del cassone e la sua penetrazione quando tramite un ROV, viene estratta l'acqua che si era accumulata nella sua cavità. Maggiori sono i volumi, maggiore sarà la capacità di questi ormeggi di resistere a sforzi orizzontali e verticali.

### 5.3.1 Dimensionamento Suction Bucket

Il dimensionamento degli ormeggi di questa tipologia, si effettua definendo il "diametro del palo" ( $D$ ) e la "profondità di infissione" ( $L$ ) che bisognerà raggiungere per garantire l'adeguata resistenza agli sforzi orizzontali e verticali. La legge che fornisce la capacità portante per aderenza e/o attrito per un palo avente un determinato diametro  $D$  ed una lunghezza  $L$  si ottiene con la formula:

$$Q_s = \pi D \int_0^L \tau_s dz$$

$\tau_s$

= *tensioni tangenziali tra superficie dell'ormeggio eterreno coesivo saturo circostante*

Viene assunto che le tensioni tangenziali limite, siano una quota parte della resistenza al taglio non drenata originaria del terreno:

$$\tau_s = \alpha C_u$$

$\alpha$  *coefficiente empirico di aderenza che dipende dal tipo di terreno, dalla resistenza al taglio non drenata del terreno indisturbata, dal metodo di costruzione del palo, dal tempo, dalla profondità e dal cedimento del palo*. I valori di  $\alpha$  vengono forniti per tipologie di palo e materiale.

In una fase più avanzata verranno effettuate simulazioni FEM per verificare il comportamento dell'ormeggio inserendo i parametri caratteristici del sito in esame.

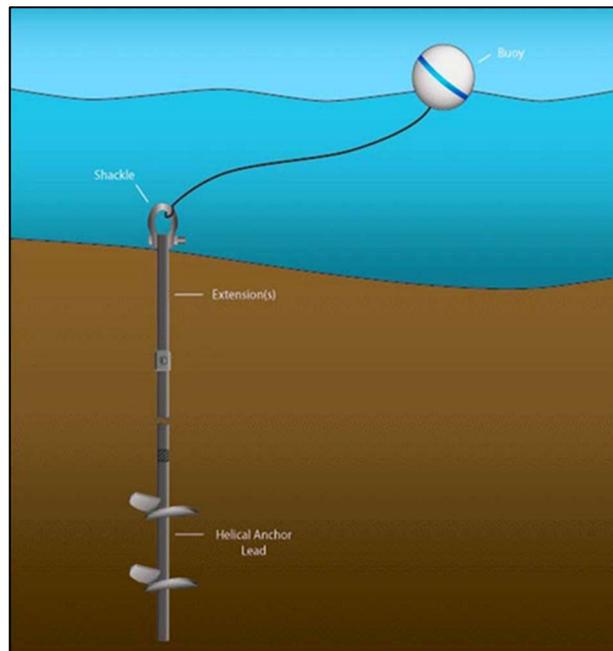
## 5.4 Ancora con pali a vite (Helical Pile)

Gli ormeggi basati sui pali a vite, permettono di fissare tramite cavi o funi i basamenti galleggianti.

Il loro principio di funzionamento si basa sul fissaggio nel fondale tramite avvitamento attorno ad un asse elicoidale, tale asse è costituito di materiale ferroso. Questa specifica forma permette di avvitarli nel fondale marino e riuscire a fare presa in esso. A seconda del peso in gioco e degli sforzi orizzontali e verticali a cui devono resistere, le strutture disponibili sono di svariate dimensioni.

I vantaggi sono costituiti da facilità e rapidità d'installazione, facilità di rimozione, costi relativamente bassi viste le proprietà elencate prima, resistenza sia alla trazione che alla compressione.

Gli svantaggi sono dettati dall'incapacità o comunque difficoltà di installazione nei terreni particolarmente rocciosi e duri.



### 5.4.1 Dimensionamento dei pali a vite

Il dimensionamento del sistema di ormeggio basato sui pali a vite dipende dai seguenti parametri:

- Peso complessivo della struttura da sostenere;
- Materiale costitutivo del palo a vite;
- Risultati dello SPT (Standard Penetration Test);
- Risultati dello CPT (Cone Penetrometer Test);
- Carico assiale trasferito sui pali a vite;
- Materiale costitutivo del fondale marino e resistenza.

In una fase più avanzata verranno utilizzati software di simulazione, che permetteranno di ottenere le geometrie ed i materiali più adatti da poter utilizzare per soddisfare i requisiti imposti dalle condizioni di installazione del sito in esame e dei carichi in gioco.

## Bibliografia

Mahmoud Khalifeh, Arild Saasen, “Different Categories of Working Units” Gennaio 2020.

Deep water, “The next step for offshore wind energy”, EWEA (European Wind Energy Association), Luglio 2013.

Eolico, L.Ferrari CNR, A. Arena ENEA, E. Lembo, L. Serri RSE.

J. Liu et al. “Keying behavior of gravity installed plate anchor in clay” Ocean Engineering 114 (2016) 10–24

## Sitografia

<https://www.farinia.com/fmgc/marine-renewable-energy/subsea-cable-protection-and-stabilisation>

<https://www.researchgate.net/>

<https://thenavalarch.com/mooring-system-design-and-analysis/>