

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PER LA
PRODUZIONE DI ENERGIA MEDIANTE LO SFRUTTAMENTO DEL VENTO
NEL MARE ADRIATICO MERIDIONALE - LUIPIAE MARIS
35 WTG – 525 MW

PROGETTO DEFINITIVO - SIA

Progettazione e SIA



Indagini ambientali e studi specialistici



Studio misure di mitigazione e compensazione



supervisione scientifica



3. STRUTTURE DI FONDAZIONE AEROGENERATORI

REV.	DATA	DESCRIZIONE
------	------	-------------

R.3.2.3 Dimensionamento delle soluzioni di ormeggio e ancoraggio

	05/23	int volon



PARCO EOLICO FLOTTANTE OFFSHORE LUPIAE MARIS, ITALIA

PROGETTAZIONE PRELIMINARE DELLA SOLUZIONE DI ORMEGGIO E ANCORAGGIO

Hope Group

Questo è un documento generato elettronicamente, che è stato rivisto e approvato in conformità con il regolamento di InterMoor Ltd. Procedura di controllo dei documenti. Una traccia di audit della revisione e dell'approvazione è disponibile presso il Controllo documenti.

La versione su schermo di questo documento è la COPIA CONTROLLATA in ogni momento. Quando viene stampata è considerata una copia SOLO PER INFORMAZIONI ed è responsabilità del titolare essere in possesso dell'ultima versione valida.

Il presente documento contiene informazioni di proprietà di InterMoor Ltd. e non potrà essere riprodotta o trasferita ad altri documenti o divulgata a terzi o utilizzata per scopi diversi da quelli per cui è stata fornita senza il previo consenso scritto di InterMoor Ltd.

STATO DELLA REVISIONE

REV	DATA	AUTORE	CONTROLLATO DA	APPROVATO DA	STATO
A1	01/05/2023	S. Vasudevan	C. Ellis	S. Vasudevan	Rilasciato per la revisione interna
B1	12/05/2023	S. Vasudevan	C. Ellis	S. Vasudevan	Rilasciato per la revisione del cliente

STORIA DELLA REVISIONE

REV. NO	DESCRIZIONE
A1	Rilasciato per la revisione interna
B1	Rilasciato per la revisione del cliente

APPROVAZIONE DEL CLIENTE

NOME	AZIENDA	POSIZIONE	FIRMA
PROCEDURA APPROVATA DAL CLIENTE			
PROCEDURA APPROVATA DA TERZI			

INDICE

1	INTRODUZIONE	4
1.1	Premessa	4
1.2	Descrizione del documento	4
2	ABBREVIAZIONI E DEFINIZIONI	5
3	BIBLIOGRAFIA.....	6
4	STUDIO PRECEDENTE	7
5	PROGETTAZIONE DELLA SOLUZIONE DI ORMEGGIO	8
5.1	PROGETTAZIONE DELLA SOLUZIONE DI ORMEGGIO	8
5.2	Casi di carico e criteri di accettazione	10
5.3	Risultati 10	
6	INSTALLAZIONE DEGLI ORMEGGI	11
6.1	Metodologia	11
6.2	Requisiti della nave di supporto offshore per installazione	18
7	CONCLUSIONI	20
APPENDIX A SOLUZIONE DI ORMEGGIO PROPOSTA.....		22
APPENDIX B RELAZIONE E RISULTATI DELL'ANALISI DEGLI ORMEGGI		23

ELENCO DELLE FIGURE

Figura 1: Vista laterale della linea di ormeggio1	8
Figura 2: Configurazione della soluzione di ormeggio - vista in pianta2	9
Figura 3: Navi di supporto offshore per costruzioni	19
Figura 4: Esempi di navi AHV "Anchor Handling Vessels"4.....	19

1 INTRODUZIONE

1.1 PREMESSA

Hope Group sta sviluppando il parco eolico offshore Lupiae Maris, al largo delle coste pugliesi, in Italia, con una profondità d'acqua compresa tra 80 e 110 metri. Il parco eolico sarà composto da 50 turbine eoliche, ciascuna con una potenza nominale di ~15MW. Il WindFloat di Principle Power è il tipo di configurazione di turbina eolica flottante presa in considerazione al momento.

Fabio Paccapelo di Hope Group si è rivolto a InterMoor per la progettazione preliminare della soluzione di ormeggio delle turbine eoliche flottanti, che include la progettazione preliminare delle ancore. A causa della natura rocciosa del fondale, inizialmente si prevedeva che per l'ancoraggio sarebbero stati necessari pali gettati in opera. Tuttavia, una recente reinterpretazione dei dati indica che i pali infissi potrebbero essere una soluzione fattibile.

Questo rapporto presenta il progetto preliminare della soluzione di ormeggio.

1.2 DESCRIZIONE DEL DOCUMENTO

La presente relazione comprende la progettazione preliminare di una soluzione di ormeggio, in conformità con lo stato dell'arte a livello industriale e secondo i codici di progettazione applicabili.

Il rapporto copre i seguenti aspetti.

- Revisione della soluzione di ormeggio e dei dati geotecnici basati sulla documentazione del progetto precedente.
- Definizione della configurazione iniziale della soluzione di ormeggio.
- Analisi numerica della dinamica accoppiata (della turbina eolica galleggiante) con la soluzione di ormeggio selezionata.
- Revisione della soluzione di ormeggio, se necessario, per soddisfare i requisiti di resistenza delle linee di ormeggio e di spostamento dalla verticale (orizzontali) della piattaforma.
- Selezione e dimensionamento degli ancoraggi.
- Metodologia preliminare di installazione degli ormeggi e specifiche delle navi di supporto per installazione
- Sintesi della metodologia e dei risultati.

2 ABBREVIAZIONI E DEFINIZIONI

ABBREVIAZIONE	DEFINIZIONE
AHV	"Anchor Handling Vessel", nave di supporto per la movimentazione delle ancore
DEG	Gradi
DNV	Det Norske Veritas
FWT	"Floating Wind Turbine", turbina eolica flottante
Hs	Altezza d'onda significativa
ILCT	"In-Line Chain Tensioner"
ISO	"International Standardisation Organisation", Organizzazione internazionale di standardizzazione
JONSWAP	"Joint North Sea Wave Project"
kg	Chilogrammi
m	Metri
mm	millimetri
MBL	"Minimum Breaking Load", carico di rottura minimo
MDS	"Mooring Design State"
N	Newton
OCV	Nave di supporto offshore per costruzioni
ORQ	"Oil Rig Quality"
RBS	"Reference Breaking Strength", valore di riferimento di resistenza alla rottura
ROV	"Remotely Operated Vehicle", veicolo a comando remoto
s	secondi
t	Tonnellata (sistema metrico decimale)
ULS	"Ultimate Limit State", resistenza ai carichi ultimi
WROV	"Work class ROV"

3 BIBLIOGRAFIA

RIF.	DOCUMENTO N. & REV.	TITOLO
[1]	-, REV.4, 09/07/2021	Selezione e valutazione di fattibilità di una sottostruttura flottante per turbine eoliche offshore
[2]	IEC TS 61400-3-2:2019	Wind energy generation systems - Part 3-2: Design requirements for floating offshore wind turbines.

4 STUDIO PRECEDENTE

L'Università di Strathclyde ha effettuato una prima selezione della configurazione e una analisi preliminare di fattibilità nel 2021 (Rif.[1]). Si trattava di una valutazione specifica per il sito, basata sulle condizioni ambientali e sulla profondità dell'acqua locali. Sono stati presi in considerazione diversi tipi di sottostruttura galleggiante (semisommersibile, chiatta, chiatta con specchio d'acqua interno di smorzamento, stabilizzata con zavorra (SPAR) e stabilizzata da sistemi di ormeggio (TLP)) in combinazione con la turbina eolica offshore di riferimento IEA da 15 MW. Sulla base di questo studio sono state raccomandate due configurazioni: semisommersibile (simile alla configurazione WindFloat di Principle Power) e una chiatta con specchio d'acqua interno di smorzamento (simile alla configurazione IDEOL).

Hope Group ha incaricato InterMoor di utilizzare il semisommersibile come base per lo studio attuale.

5 PROGETTAZIONE DELLA SOLUZIONE DI ORMEGGIO

5.1 PROGETTAZIONE DELLA SOLUZIONE DI ORMEGGIO

Lo studio di fattibilità di Strathclyde (Rif.[1]) comprendeva una valutazione preliminare dei carichi sulle linee di ormeggio, considerando un sistema di ormeggio a catena a tre linee. I carichi sulle linee di ormeggio indicati in questo rapporto sono stati utilizzati come punto di partenza per il presente progetto.

Si è constatato che un sistema a tre linee avrebbe richiesto componenti di dimensioni troppo grandi. Pertanto, è stato proposto un sistema a sei linee.

Le condizioni del sito sono state dichiarate inadatte all'uso di ancore di trascinamento. Ciò è dovuto alla presenza di aree rocciose in tutta la regione di interesse. Per questo motivo, si è deciso di procedere con un sistema di ormeggio "semi-taut" invece che con un sistema di ormeggio a catenaria.

Ogni linea di ormeggio è costituita dai seguenti componenti:

- un palo infisso o trivellato
- un segmento superiore di catena, 50m x 120mm R3S "studlink"
- un segmento intermedio in fibra di poliestere, 362m x 195mm
- un segmento inferiore di catena, 50m x 120mm R3S "studlink"

La configurazione della soluzione di ormeggio è illustrata Figura 1: Vista laterale della linea di ormeggio1 (vista laterale) e Figura 2: Configurazione della soluzione di ormeggio - vista in pianta(vista in pianta).

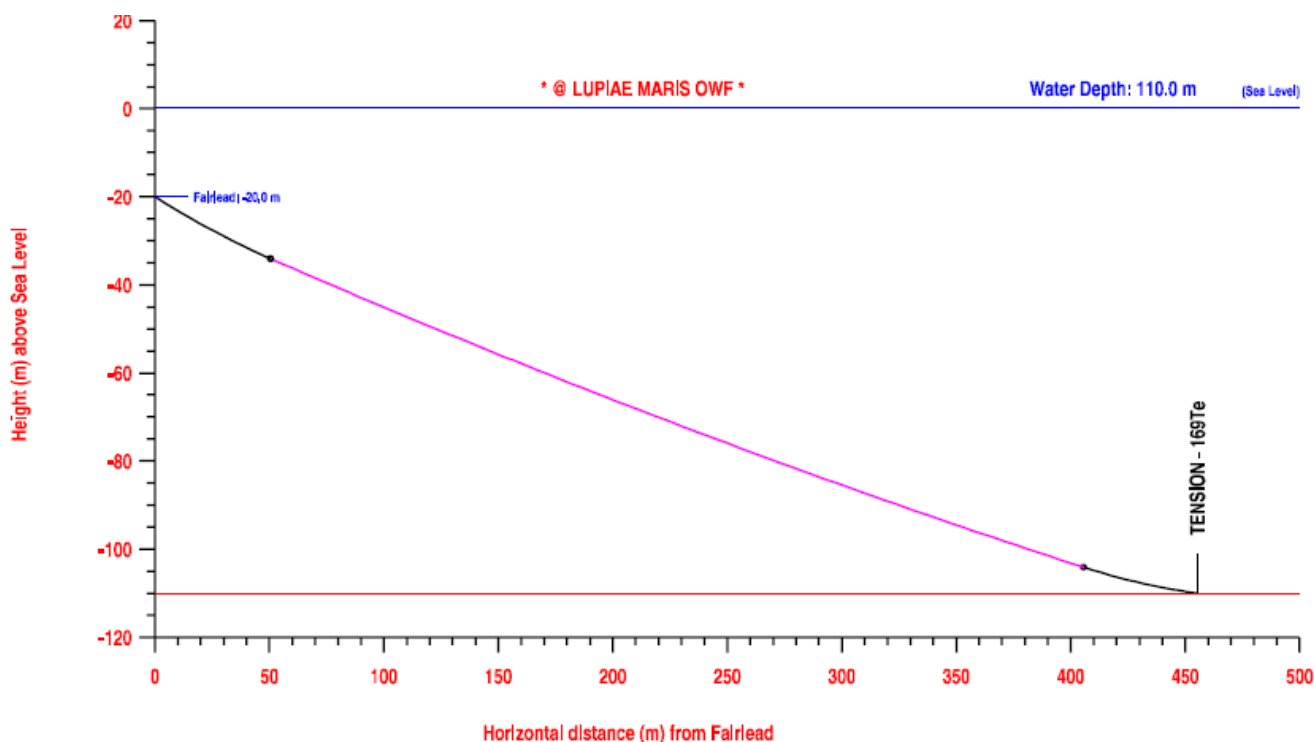


Figura 1: Vista laterale della linea di ormeggio1

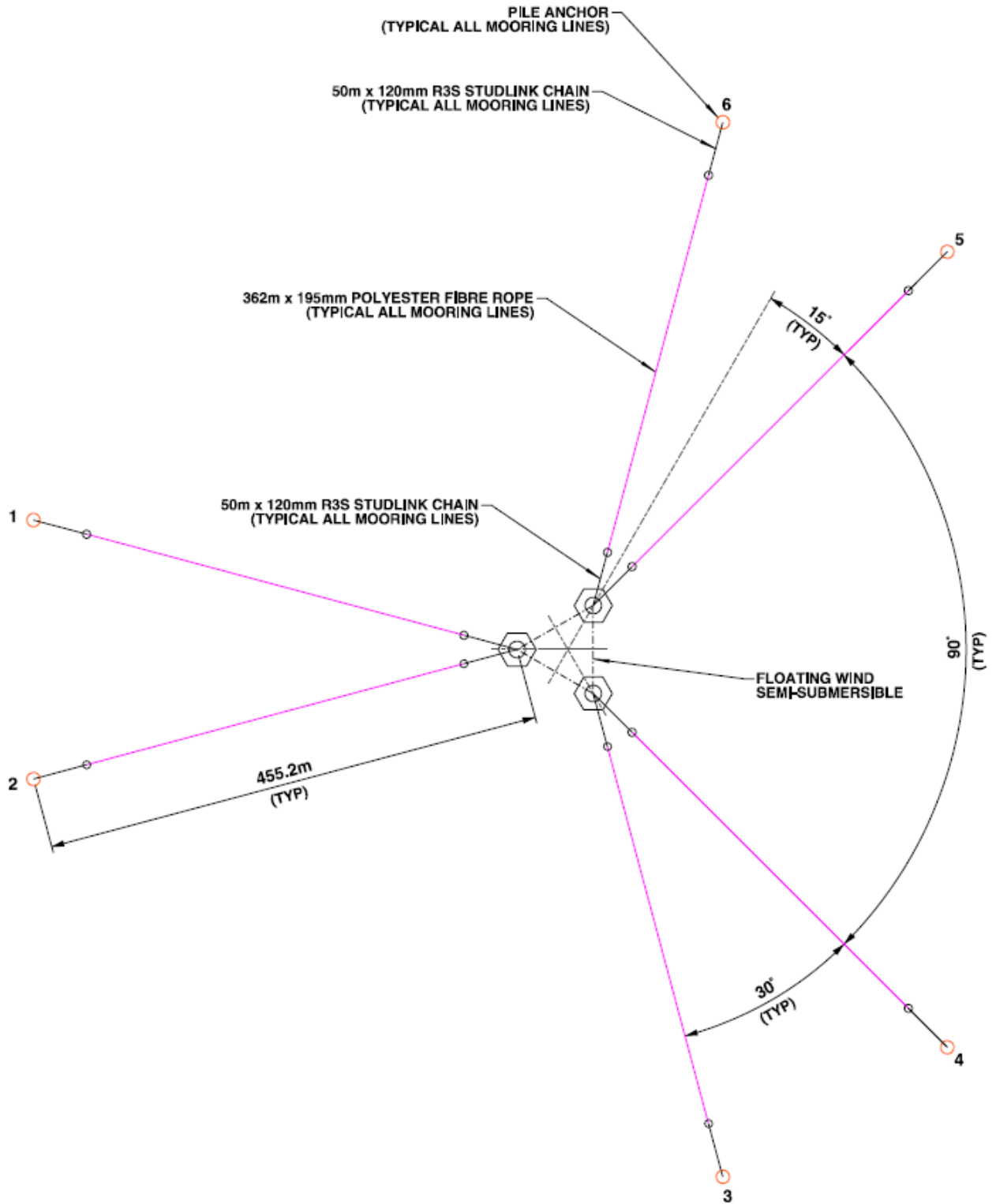


Figura 2: Configurazione della soluzione di ormeggio - vista in pianta2

5.2 CASI DI CARICO E CRITERI DI ACCETTAZIONE

Per questa valutazione sono stati considerati i seguenti casi di carico di progetto, basati sulle linee guida IEC (Rif.[2]):

- DLC 1.4: condizioni di esercizio, con raffiche di vento estreme con cambio di direzione, associate a condizioni di mare normale (NSS),
- DLC 1.6: condizioni di esercizio, con condizioni di vento "Normal Turbulence Model" (NTM), associate a condizioni di onda "Severe Sea State" (SSS),
- DLC 6.1: condizioni di non-esercizio, con condizioni di vento "Extreme Wind Model" (EWM), turbolento, associate a condizioni di onda "Extreme Sea State" (ESS).

Considerando la natura preliminare della progettazione, sono stati utilizzati i seguenti criteri su base conservativa:

- tensione massima nella linea di ormeggio < 50% della MBL

Non sono stati utilizzati criteri specifici per lo spostamento dalla verticale.

5.3 RISULTATI

La tensione massima nelle linee di ormeggio, per ogni DLC, è riassunta di seguito.

CASO DI CARICO	TENSIONE MASSIMA DELLA LINEA [TONNELLATA]	TENSIONE MASSIMA DELLA LINEA [% MBL]
DLC 1.4	346.2	27.5%
DLC 1.6	327.6	26.0%
DLC 6.1	589.8	46.9%

La tensione massima agente sull'ancoraggio, per ogni DLC, è riassunta di seguito.

CASO DI CARICO	FORZA ORIZZONTALE MASSIMA ALL'ANCORAGGIO [TONNELLATA]	FORZA VERTICALE MASSIMA ALL'ANCORAGGIO [TONNELLATA]
DLC 1.4	337.8	50.0
DLC 1.6	507.8	50.9
DLC 6.1	579.6	91.7

Lo spostamento massimo dalla verticale, per ogni DLC, è <10% della profondità dell'acqua.

I risultati completi sono riportati nell'Appendice A.

6 INSTALLAZIONE DEGLI ORMEGGI

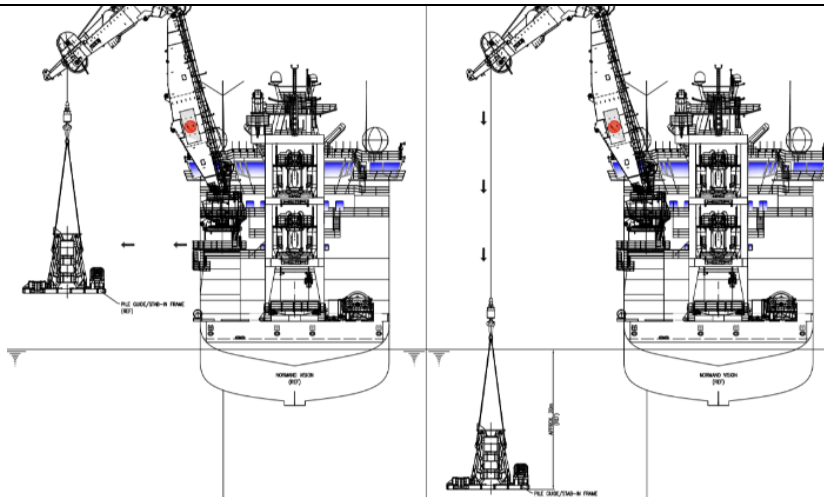
6.1 METODOLOGIA

La metodologia descritta di seguito si basa sulla pre-installazione dei pali di ancoraggio con una nave di supporto offshore per costruzioni (OCV), seguita dalla installazione delle linee di ormeggio e dal collegamento delle stesse al FWT, utilizzando navi di supporto offshore per la movimentazione delle ancore.

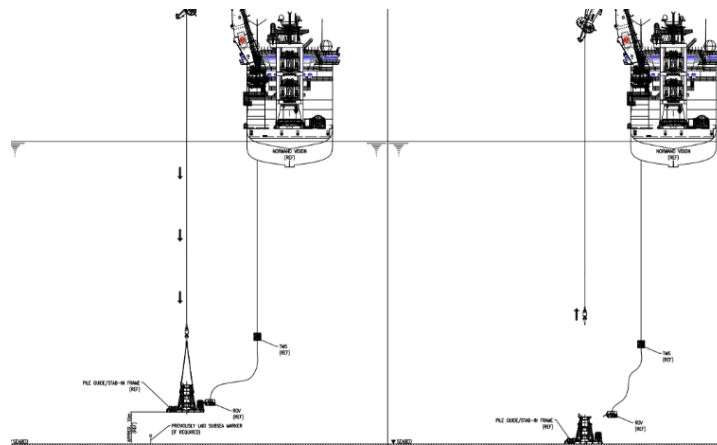
6.1.1 Installazione dei pali infissi

Nota: tutte le immagini qui presentate sono solo a scopo illustrativo.

Attività
Mobilitazione
<p>Mobilitazione della nave di supporto offshore per costruzioni</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Carico del sistema di battitura dei pali (martello e attrezzature associate). ■ Carico del telaio guida per la battitura dei pali ("stab frame"). ■ Carico dei pali di ancoraggio, orizzontalmente (il numero dipende dalla scelta finale dell'imbarcazione e dai dettagli dei pali). Se si utilizza una nave più piccola, i pali e/o il telaio guida per la battitura dei pali possono essere trasportati su una nave/chiatta separata. ■ Carico delle "short chain sections" (linee di ormeggio non complete), "subsea connectors" (connettori per operazioni sottomarine) e "stands". ■ Messa in sicurezza e ancoraggio del carico.
Trasporto
<ul style="list-style-type: none"> ■ Transito dal porto locale verso il sito designato.
Preparazione sul campo delle navi offshore di supporto
<ul style="list-style-type: none"> ■ Prove DP ("Dynamic Positioning", sistema di posizionamento dinamico). ■ Calibrazione dell'indagine geotecnica. ■ Indagine geotecnica se richiesta.
Installazione del telaio guida dei pali - OCV
<ul style="list-style-type: none"> ■ Posizionamento dell'OCV nel punto designato. ■ Telaio guida agganciato alla gru della nave. ■ La gru dell'OCV mette a mare il telaio, calandolo attraverso il pelo libero del mare:



- Posizionamento del telaio guida nella posizione finale di progetto, spostando l'OCV e orientando il telaio con il WROV come richiesto.



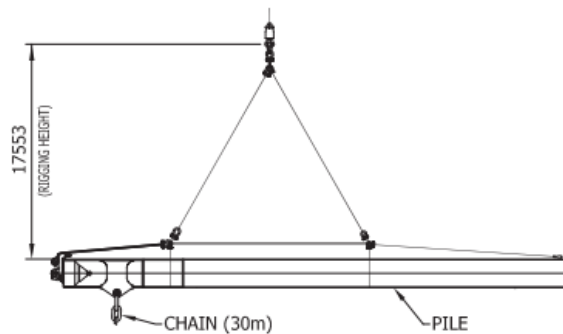
- Approvazione della posizione dalle parti interessate, altrimenti da riposizionare secondo le fasi precedenti.

Installazione dei pali di ancoraggio infissi

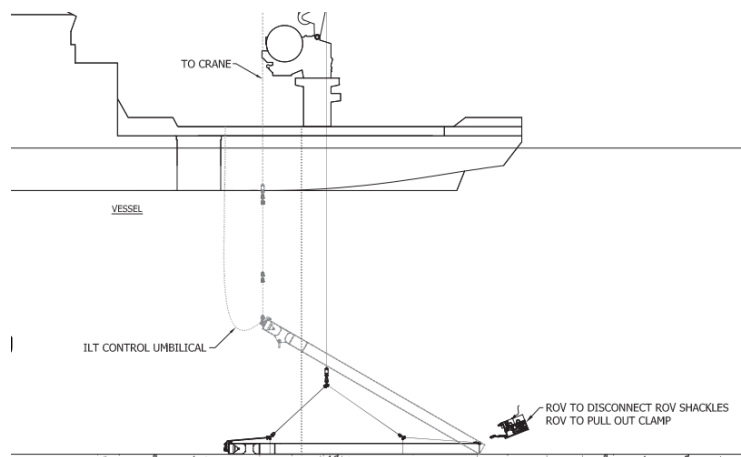
- Preparativi eseguiti in coperta per collegare il "short section chain" al palo di ancoraggio (può essere pre-collegato).
- Un'estremità della catena è collegata al palo, mentre l'altra estremità (con il connettore sottomarino) è collegata a un piccolo supporto sottomarino (vedi figura sotto).



- La gru viene utilizzata per mettere a mare il supporto sottomarino e la catena e collegarli al verricello di ormeggio.
- La gru dell'OCV solleva il palo di ancoraggio orizzontalmente, per poi dare fondo allo stesso, facendo attenzione a mantenere allentata la catena.

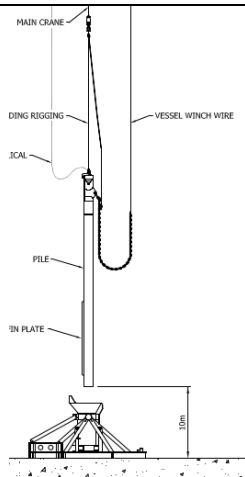


- Il palo viene ruotato dalla posizione orizzontale a quella verticale al livello del fondo marino o prima (scelta definita al livello di progetto dettagliato).

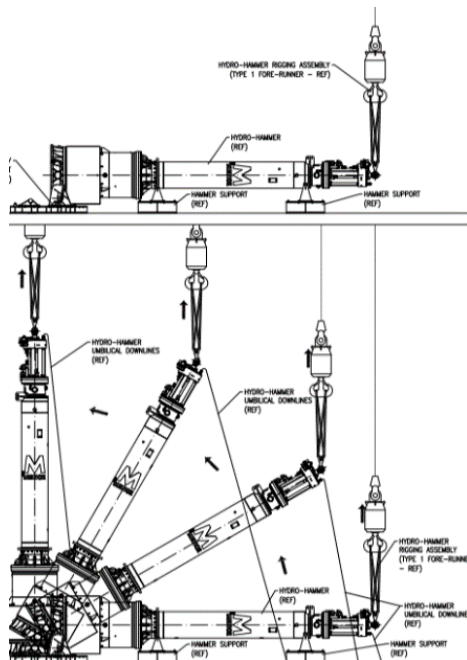


(La catena tra il palo e il verricello di ormeggio è rimossa per chiarezza)

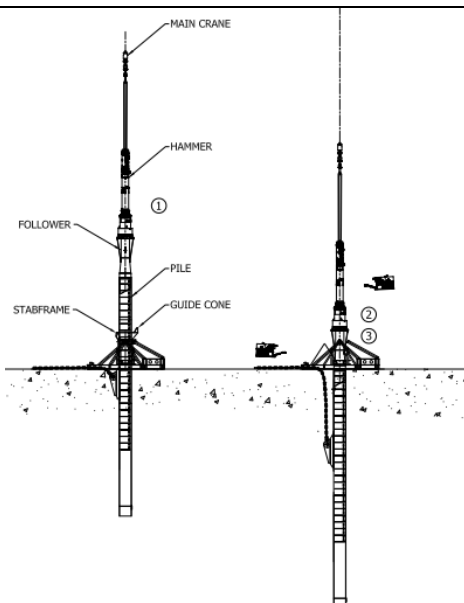
- Una volta che il palo è in posizione verticale, l'OCV inserisce il palo nel telaio guida fino alla livello di penetrazione per peso, facendo di nuovo attenzione nel maneggiare la catena.



- Agganciamento del martello battitore e del "follower" alla gru dell'OCV, seguito dal sollevamento in posizione verticale degli stessi.



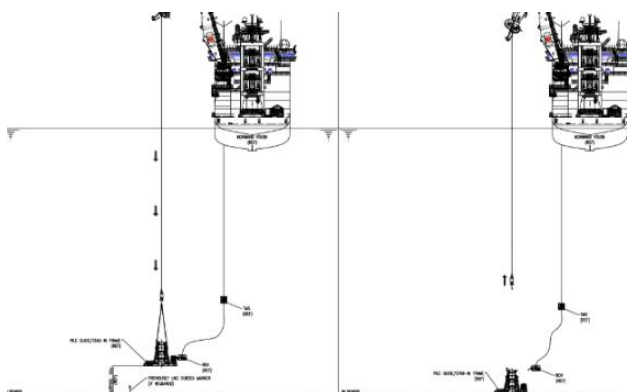
- Martello battitore appoggiato alla parte superiore del palo di ancoraggio.
- Il processo di battitura continua fino al raggiungimento della profondità desiderata della parte superiore del palo.



- Al completamento del processo di battitura, il martello e il "follower" sono recuperati invertendo i passaggi precedenti.

Riposizionamento e recupero del telaio guida - OCV

- Il gancio della gru dell'OCV è ricollegato al telaio guida.
- Il telaio guida è quindi sollevato dal fondale marino fino ad almeno 10 m di altezza rispetto allo stesso, e viene spostato verso la posizione del palo di ancoraggio successivo.
- Il telaio guida è posizionato nel punto di progettazione spostando l'OCV e orientando il telaio con il WROV.



- Dopo il completamento dell'installazione di tutti i pali infissi, il telaio guida sarà recuperato e messo in sicurezza sul ponte.

Il processo viene ripetuto per i pali rimanenti

- Saranno necessari degli scali intermedi per caricare ulteriori pali di ancoraggio e catene. Il numero di scali dipende dal tipo di nave e dalle caratteristiche finali del palo di ancoraggio.

Smobilitazione dell'OCV

- Ritorno al porto.
- Rimozione del martello battitore e del telaio guida.
- Rimozione delle altre attrezzature.

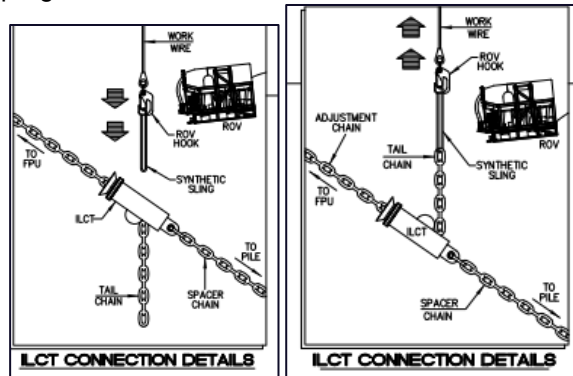
6.1.2 Installazione delle linee di ormeggio e aggancio al galleggiante

Attività
Mobilizzazione
Mobilizzazione della nave per l'installazione di ormeggi – "Anchor Handling Vessel"
<ul style="list-style-type: none"> ■ Carico delle linee di ormeggio a catena. ■ Carico delle sezioni delle linee di ormeggio in fibra sul verricello.
Trasporto
<ul style="list-style-type: none"> ■ Transito dal porto locale verso il sito designato.
Preparazione sul campo delle navi offshore di supporto
<ul style="list-style-type: none"> ■ Prove DP ("Dynamic Positioning", sistema di posizionamento dinamico). ■ Calibrazione dell'indagine geotecnica. ■ Indagine geotecnica se richiesta.
Posizionamento della piattaforma galleggiante
<ul style="list-style-type: none"> ■ La piattaforma galleggiante è trainata e mantenuta nella posizione desiderata da due rimorchiatori oceanici. ■ La piattaforma galleggiante sarà quindi zavorrata in preparazione dell'aggancio delle linee di ormeggio. Si assume che questo pescaggio sia più profondo di 5 m rispetto al pescaggio operativo.
Installazione delle cime di ormeggio e aggancio alla piattaforma galleggiante. (Nota: gli ormeggi possono essere installati prima del galleggiante, a seconda dei dettagli di progetto e del cronoprogramma finale)
<ul style="list-style-type: none"> ■ La nave di supporto offshore per l'installazione è posizionata al di sopra del palo infisso. ■ Il maschio del connettore sottomarino è collegato all'estremità della fune in fibra o della catena. ■ La nave di supporto offshore AHS rilascia le linee di ormeggio fino a quando i connettori sottomarini maschio e femmina possono essere uniti dal ROV. ■ La nave di supporto AHV dispiega la linea di ormeggio verso il centro (verso la piattaforma galleggiante) fino a raggiungere l'estremità della linea. ■ La parte superiore della catena viene collegata alla fune in fibra e dispiegata. ■ In prossimità della piattaforma galleggiante, la linea di trazione del verricello a bordo del galleggiante è collegata alla linea guida ("messenger line") già collegata alla prima linea di ormeggio. La linea guida ("messenger line") viene trasferita all'AHV dal personale a bordo della piattaforma galleggiante. ■ La parte superiore della catena viene collegata alla linea guida ("messenger line") e, a questo punto, il sistema di blocco della linea di ormeggio "shark jaws" viene aperto, rilasciando la linea di ormeggio. ■ Il verricello di ormeggio recupera la linea guida. A questo punto la linea guida viene scollegata e il verricello di trazione della linea di ormeggio viene collegato direttamente al tratto superiore della catena. ■ Il verricello di trazione recupera la linea di catena fino a raggiungere la lunghezza stabilita. Il processo viene ripetuto per le altre linee di ormeggio. ■ Considerando il pescaggio relativamente profondo (20 m), il verricello deve essere in grado di raggiungere e sostenere una tensione, per le ultime due linee di ormeggio, di circa 110 tonnellate. I rimorchiatori oceanici possono essere utilizzati per spingere o tirare la piattaforma galleggiante verso le ancore, in modo da ridurre la tensione sostenuta dal verricello. ■ Dopo l'aggancio di tutte le linee di ormeggio, avviene lo scaricamento di zavorra fino a che la piattaforma galleggiante raggiunge il pescaggio operativo. Questo aumenterà la pretensione in ogni linea fino al valore di progetto di ~170 tonnellate.
<p>Nota: Nel caso in cui si decida di utilizzare una "inline chain tensioner" (ILCT, un sistema di messa in tensione della linea, installato lungo la linea stessa) al posto del verricello sulla piattaforma galleggiante, si considerano le seguenti fasi:</p>

- Linea di ormeggio dispiegata come nel metodo precedente, con l'aggiunta del sistema ILCT e di una linea di catena supplementare per ottenere un allentamento della linea sufficiente per l'aggancio.
 - Si prevede di installare il sistema ILCT all'estremità della catena di ancoraggio, con la fune di poliestere collegata sul lato passivo e con catena di ancoraggio passante (attraverso il sistema ILCT).



- La linea di ormeggio è collegata alla piattaforma galleggiante in uno di questi due modi: o tirando il tratto superiore della catena sul ponte del AHV per effettuare il collegamento, oppure tramite un "pull through connector" installato sulla piattaforma galleggiante.
- Una volta collegate tutte le linee d'ormeggio, il sistema di ormeggio verrà messo in tensione usando il sistema ILCT, la linea di catena passante (attraverso il sistema ILCT) viene recuperata fino a raggiungere la lunghezza/tensione di progetto.



- Il processo è ripetuto per le altre linee di ormeggio fino al raggiungimento della tensione. A seconda delle scelte effettuate durante il progetto dettagliato, il sistema ILCT può essere presente su tutte le linee, su 2 "cluster" (4 linee) o su 1 x "cluster" (2 linee).
- La lunghezza di catena in eccesso deve essere rimossa mediante taglio sottomarino.

Smobilizzazione dell'AHV

- Ritorno al porto.
- Rimozione delle altre attrezzature.

6.2 REQUISITI DELLA NAVE DI SUPPORTO OFFSHORE PER INSTALLAZIONE

6.2.1 Installazione dei pali di ormeggio

I requisiti principali per la nave di supporto offshore sono la portata della gru e lo spazio disponibile sul ponte per lo stoccaggio e la mobilitazione dei pali di ancoraggio. Per l'installazione dei pali sono previste le seguenti specifiche minime per la nave.

Tabella 61: Requisiti della nave per l'installazione dei pali di ormeggio

Dettagli della nave	Criteri	Specifiche della nave di supporto offshore OCV
Capacità di sollevamento della gru	Per il sollevamento e l'abbassamento dei pali di ormeggio e del telaio guida	Gru con compensazione di movimento di sussulto, con capacità di sollevamento >250Te
Spazio sul ponte	Spazio sufficiente sul ponte per riporre i sostegni per i pali, il martello battitore, il telaio guida, e i pali d'ormeggio	Circa 1000m ² Si potrebbe utilizzare un'imbarcazione più piccola se si utilizza anche una seconda nave o chiatta dove vengono caricati il telaio guida e i pali d'ormeggio
Posizionamento	Mantenimento della posizione e posizionamento di precisione	DP2 ("Dynamic positioning class 2")
Sistemi di bloccaggio e movimentazione delle catene	In grado di immagazzinare le catene necessarie per l'installazione	N/D
Altro	Attrezzature per la movimentazione di catene e connettori	2 x verricelli da rimorchio >15T, "chain stopper / hangoff platform" per il bloccaggio della catena durante il suo dispiegamento
ROV	Classe richiesta	WROV

In base alla capacità della gru a bordo della nave di supporto offshore per costruzioni, nel seguito sono presentate delle navi di supporto come esempi:

- Havila Phoenix
- North Sea Giant
- Skandi Acergy
- Normand Frontier
- Maersk I Class



Figura 3: Navi di supporto offshore per costruzioni

6.2.2 Installazione degli ormeggi

I requisiti principali della nave di supporto sono la capacità di stoccaggio delle catene e delle linee sintetiche. Si prevede che questa operazione venga eseguita da una nave AHV tipica del Mare del Nord.

Esempi di nave di supporto sono i seguenti:

- Navi di classe D del Pacifico
- Navi Maersk di classe L
- Navi Maersk di classe M
- Siem Opal e navi gemelle
- Havila Venus



Figura 4: Esempi di navi AHV "Anchor Handling Vessels"4

7 CONCLUSIONI

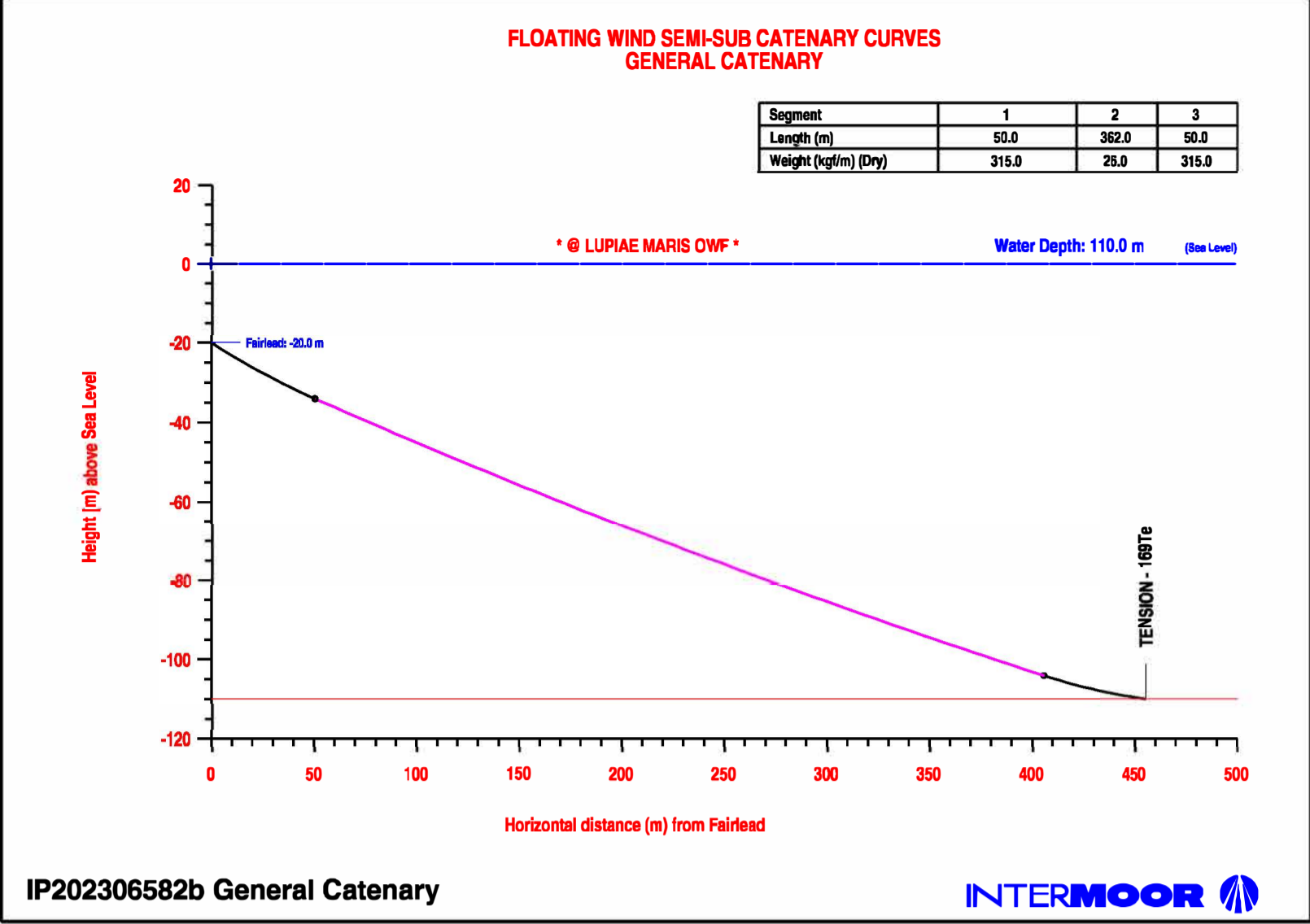
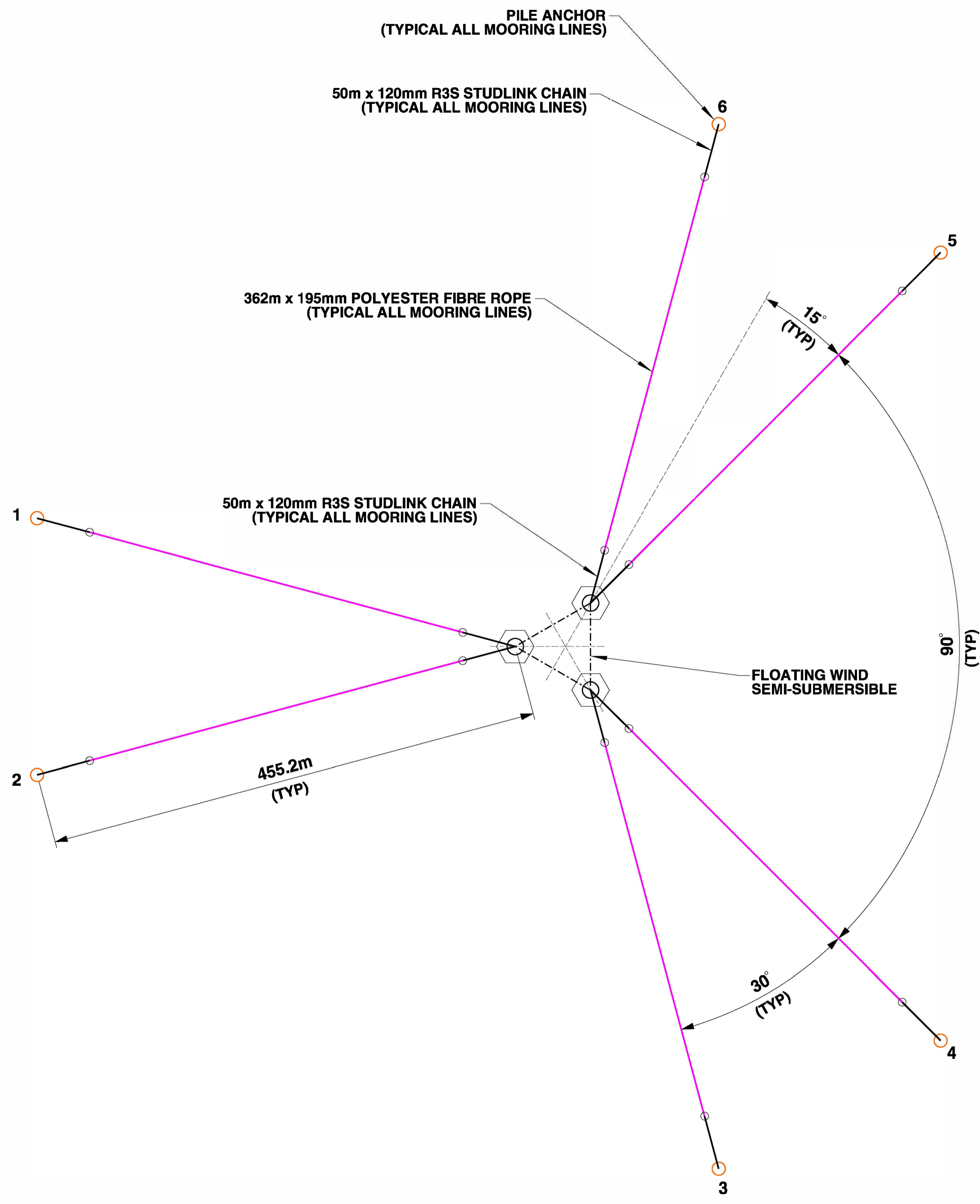
Il sistema di ormeggio "semi-taut" proposto è adatto alla piattaforma considerata. La tensione massima della linea di ormeggio è stata mantenuta inferiore al 50% del carico di rottura minimo (MBL) dei componenti della linea. Lo spostamento dalla verticale massimo della piattaforma è minore del 10% della profondità dell'acqua.

È stata sviluppata una metodologia preliminare per indicare la fattibilità dell'installazione del sistema di ormeggio e del suo aggancio alla piattaforma galleggiante.

La progettazione degli ancoraggi per le condizioni del terreno nel sito di interesse sarà completata in un secondo momento.

APPENDIX A Soluzione di ormeggio proposta

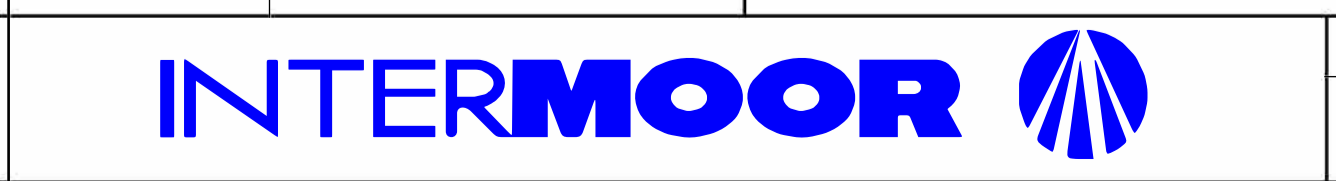
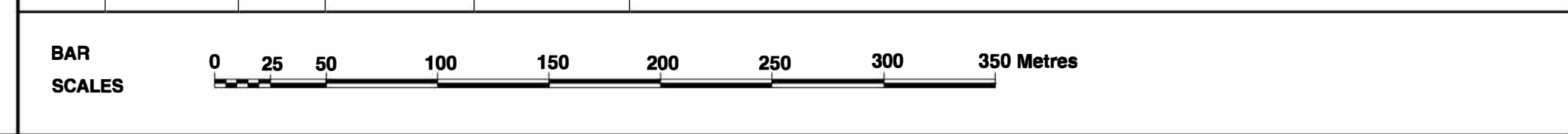
PRELIMINARY
FOR DISCUSSION ONLY



						DRAWN	Mark Cruickshank
						DATE	21-Apr-2023
B	09.05.23	M.C.	S.V.	S.V.	HORIZONTAL RANGE UPDATED	SCALE	1:2500
A	25.04.23	M.C.	S.V.	S.V.		CHECKED	S.V.
REV	DATE	BY	CHKD.	APPVD.	REVISION	APPROVED	S.V.

**INDICATIVE ANCHOR PATTERN FOR
LUPIAE MARIS OFFSHORE WIND FARM, ITALY
(WATER DEPTH 110m)**

CLIENT **GRUPPO HOPE**



DRAWING No	SHEET No	REV
IP202306582	1 of 1	B

APPENDIX B Relazione e risultati dell'analisi degli ormeggi

PROGETTO DELLA SOLUZIONE DI ORMEGGIO PER TURBINE EOLICHE GALLEGGIANTI OFFSHORE IN ITALIA

DOCUMENTO 1 DI 1

Documento: KE3472_Deliverable_1of1_v1.1.docx

Versione: 1.1

Revisione: /

Il presente documento e i suoi contenuti sono stati redatti e sono da intendersi esclusivamente come informazioni per il cliente. L'Università di Strathclyde non si assume alcuna responsabilità nei confronti di terzi in relazione a questo documento e/o al suo contenuto.

Approvazione della revisione del documento



PAROLE CHIAVE: eolico offshore, turbina eolica galleggiante, sistema di ormeggio

CIRCOLAZIONE: Internoor Ltd., Università di Strathclyde

Copia controllata: X Sì • No

TITOLO:

**PROGETTO DELLA SOLUZIONE DI ORMEGGIO PER TURBINE
EOLICHE GALLEGGIANTI OFFSHORE IN ITALIA**

DOCUMENTO 1 DI 1

Versione (Rev)	Preparata da	Controllata da	Approvata da		Data
1.1 correzione parametri statistici	Maurizio Collu	Maurizio Collu	Maurizio Collu		05/05/2023
1.0	Maurizio Collu	Maurizio Collu	Maurizio Collu		24/04/2023
B (per revisione cliente)	Maurizio Collu	Claudio Alexis Rodriguez-Castillo	Maurizio Collu		06/04/2023
A (per revisione cliente)	Maurizio Collu	Claudio Alexis Rodriguez-Castillo	Maurizio Collu		27/03/2023

Revisioni dei documenti emessi

1 Indice

2	Sintesi.....	4
3	Descrizione del lavoro	5
4	Metodologia	6
4.1	Semplificazione delle condizioni dei casi di carico di progetto della norma IEC 61400-3-x.....	7
5	Sistema di assi	8
6	Casi di carico di progetto	9
6.1	Condizioni del vento	10
6.2	Onde	11
6.3	Direzionalità delle condizioni meteomarine	12
6.4	Correnti marine	13
6.5	Livello dell'acqua.....	14
7	Turbina eolica flottante analizzata	15
7.1	Gruppo rotore-navicella	15
7.2	Struttura di supporto	15
7.2.1	Torre	15
7.2.2	Sottostruttura galleggiante.....	15
7.2.3	Sistema di ormeggio	16
8	Risultati.....	21
8.1	DLC 1.4.....	21
8.2	DLC 1.6.....	30
8.3	DLC 6.1.....	39
9	Conclusioni	48
10	Riferimenti.....	49
	Appendix A	50

2 Sintesi

Come da contratto KE 3472 "statement of work", l'ambito del lavoro per il quale l'Università di Strathclyde è stata subappaltata è il seguente:

- modificare il modello numerico OpenFAST sviluppato nel precedente progetto "Selection and feasibility assessment of an Offshore Wind Turbine Floating Substructure" (Collu e Gao, 2021), sostituendo il sistema di ormeggio a catenaria con un sistema di ormeggio "semi-taut", definito da Intermoor Ltd,
- impostare il modello numerico aero-idro-servo-elastico e condurre le simulazioni numeriche, considerando condizioni simili ai casi di carico di progetto 1.4, 1.6 e 6.1 descritti nella norma IEC61400-3-2 (IEC, 2019b), con alcune semplificazioni dovute alla fase iniziale di progettazione,
- analizzare i segnali temporali delle 6 risposte globali della piattaforma (cioè, abbrivio, deriva, sussulto, beccheggio, imbardata) e delle tensioni del sistema di ormeggio, al livello del passacavo e dell'ancora.

Tutti gli obiettivi di cui sopra sono stati raggiunti.

In termini di progettazione, la piattaforma presenta una risposta dinamica accettabile in tutti i gradi di libertà, in tutti i casi di carico di progetto considerati e in particolare:

- lo scostamento orizzontale massimo della piattaforma (abbrivio/deriva) è minore del 10% della profondità dell'acqua,
- la tensione massima della cima è minore del 27% del Minimum Breaking Limit per la cima d'ormeggio scelta.

3 Descrizione del lavoro

InterMoor Ltd¹ ha commissionato all'Università di Strathclyde lo sviluppo di un modello numerico di analisi dinamica accoppiata aero-idro-servo-elastica ("aero-hydro-servo-elastic", AHSE) di una configurazione di turbina eolica flottante di tipo semisommersibile soggetta a condizioni meteomarine del sito descritto in (Collu e Gao, 2021), per supportare la progettazione di una soluzione di ormeggio e ancoraggio per questa piattaforma.

In (Collu e Gao, 2021) è stato proposto un sistema di ormeggio a catenaria, con soluzione a catenaria e ancore a trascinamento, ma sulla base di un'indagine geotecnica svolta successivamente al progetto descritto in (Collu e Gao, 2021), è emerso che nella località prescelta il fondale non è compatibile con la soluzione proposta, a causa della presenza di strati rocciosi. Pertanto, InterMoor è stata incaricata da Hope Group di proporre una nuova soluzione di ormeggio, perfezionando l'analisi di primo livello condotta in (Collu e Gao, 2021) con il supporto dell'Università di Strathclyde.

L'analisi è condotta con un modello numerico accoppiato AHSE della dinamica, sviluppato con OpenFAST, e sono inclusi i seguenti casi di carico critici, in gran parte basati sulla (IEC, 2019b):

- DLC 1.4: condizione di esercizio, con raffiche di vento estreme con cambio di direzione, associate a condizioni di mare normale (NSS),
- DLC 1.6: condizione di esercizio, con condizioni di vento "Normal Turbulence Model" (NTM), associate a stati di mare "Severe Sea State" (SSS),
- DLC 6.1: condizione di non-esercizio (pala a rotazione libera), con Extreme Wind speed Model (EWM), turbolento, associato a condizioni di onda Extreme Sea State (ESS).

Il progetto comprende la preparazione del presente rapporto di analisi della soluzione di ormeggio.

¹Union Plaza (6° piano), 1 Union Wynd, Aberdeen, AB10 1DQ, registration SC167870

4 Metodologia

La metodologia adottata è presentata nella Figura 1 e spiegata di seguito.

1. InterMoor Ltd fornisce una configurazione alternativa preliminare per il sistema di ormeggio e ancoraggio da considerare per la turbina eolica e il sito selezionati – del tipo "semi-taut". Questo viene presentato nella sezione 7.2.32.3.
2. L'Università di Strathclyde sviluppa un modello numerico OpenFAST della turbina eolica galleggiante semisommersibile descritta in (Collu e Gao, 2021), modificando però il sistema di ormeggio con la soluzione alternativa fornita da InterMoor Ltd. Questo viene presentato nella sezione 7
3. L'Università di Strathclyde ricava le condizioni di vento, onde, correnti marine e livello dell'acqua da utilizzare per i casi di carico di progetto da considerare, basandosi sulle condizioni ambientali normali ed estreme riportate in (Scientific Engineering Ltd, 2022), una relazione meteomarina delle condizioni del sito di interesse. Questo viene presentato nella sezione 6
4. Il modello numerico sviluppato nella fase 2 viene utilizzato per eseguire una serie di analisi dinamiche accoppiate aero-idro-servo-elastiche, nel dominio del tempo, che rappresentano le condizioni di esercizio e le condizioni esterne (meteomarine) relative ai DLC 1.4, 1.6 e 6.1, basate in prima approssimazione sulla norma IEC 61400-3-2. Alcune condizioni sono state semplificate (per ulteriori dettagli si veda la relativa sezione, coerentemente con la fase iniziale della progettazione). I risultati delle analisi sono presentati nella sezione 8.

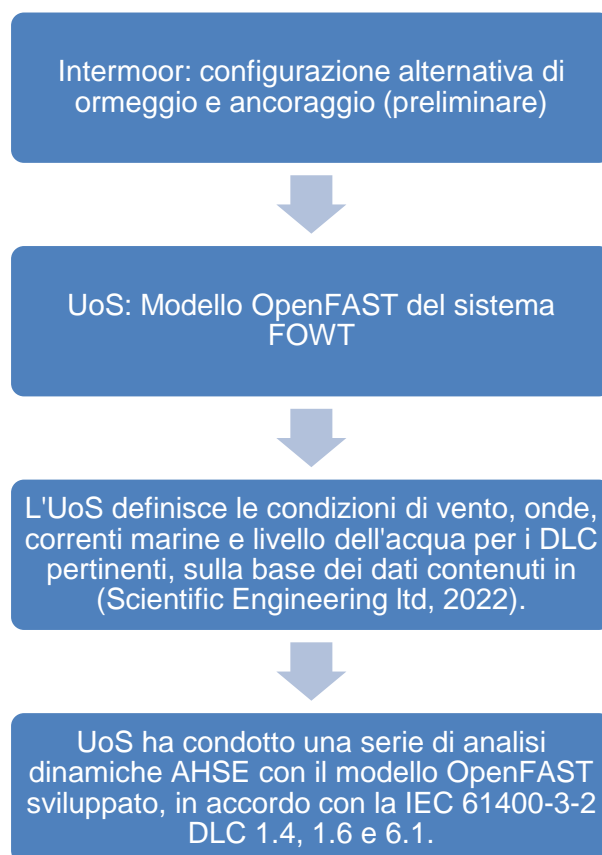


Figura 1: Diagramma di flusso della metodologia

4.1 Semplificazione delle condizioni dei casi di carico di progetto della norma IEC 61400-3-x

La struttura di supporto galleggiante considerata in questa relazione è ancora in una fase iniziale di progettazione, che può essere definita intermedia tra la fase concettuale e quella di progettazione di base, secondo (Muller e *al.*, 2016). Pertanto, le informazioni disponibili sulle condizioni meteomarine e sulla struttura di supporto galleggiante stessa non sono sufficienti per condurre analisi dinamiche esattamente come specificato nelle norme IEC 61400-1, 61400-3-1, 61400-3-2. Tuttavia, per allineare meglio l'attuale fase di progettazione iniziale con le fasi future, si è deciso di eseguire una serie di analisi *basate in prima approssimazione* su un set selezionato di casi di carico di progetto (DLC) della IEC 61400-x, con alcune semplificazioni.

Le principali semplificazioni adottate sono le seguenti:

- Nelle norme IEC 61400-x, nel determinare le condizioni meteomarine gravi ed estreme, si raccomanda di adottare una distribuzione congiunta a lungo termine, insieme a un approccio IFORM². Tuttavia, in assenza di queste distribuzioni a lungo termine, è possibile utilizzare distribuzioni a singola variabile. Poiché nella relazione meteomarina (Scientific Engineering Ltd, 2022) non sono disponibili le distribuzioni congiunte, sono state adottate distribuzioni singole. La sezione 6 fornisce ulteriori dettagli.
- Tutte le analisi che considerano le onde irregolari sono state generate da uno spettro d'onda specifico, quindi il segnale temporale del livello del mare rappresenta la sovrapposizione di onde lineari (con frequenze/lunghezze d'onda diverse e ampiezze diverse).
- In generale, per ogni DLC è necessario ripetere l'analisi numerica almeno 6 volte, utilizzando 6 "seeds" diversi per le condizioni di vento stocastico e onde irregolari. Come compromesso adeguato tra il tempo di calcolo richiesto e l'accuratezza necessaria, sono stati usati 3 "seeds" anziché 6.
- In termini di direzione del vento e delle onde, considerando la simmetria della piattaforma, è stato considerato solo l'intervallo da meno 180° a 0° (Figura 2).
- Per il DLC1.6, il vento e le onde devono essere considerati co-direzionali (COD) e può essere considerata una sola direzione (UNI). Tuttavia, questa dovrebbe essere la direzione corrispondente alla condizione peggiore, e per farlo si dovrebbero analizzare diverse direzioni per identificare quella peggiore. Per identificare la direzione peggiore, sono state considerate più direzioni per tre velocità del vento: una a condizioni inferiori a quelle nominali (3 m/s), una a condizioni nominali (10,59 m/s) e una a condizioni superiori a quelle nominali (23 m/s). Poiché la condizione peggiore è risultata costantemente pari a -150°, si è ritenuto che questa sia la condizione peggiore per tutte le direzioni.

² Inverse First Order Reliability Method

5 Sistema di assi

Il sistema di assi utilizzato è rappresentato nella Figura 2.

Per quanto riguarda la direzione del vento, delle onde e delle correnti marine, è stata adottata la seguente convenzione, coerentemente con OpenFAST:

- Direzione del vento: 0 gradi quando è nella stessa direzione dell'asse x, e positivo per una rotazione in senso orario quando si osserva dall'alto, cioè per una rotazione verso l'asse y negativo.
- Correnti marine e direzione delle onde: 0 gradi se nella stessa direzione dell'asse x, e positivo per una rotazione in senso antiorario, cioè per una rotazione verso l'asse y positivo.

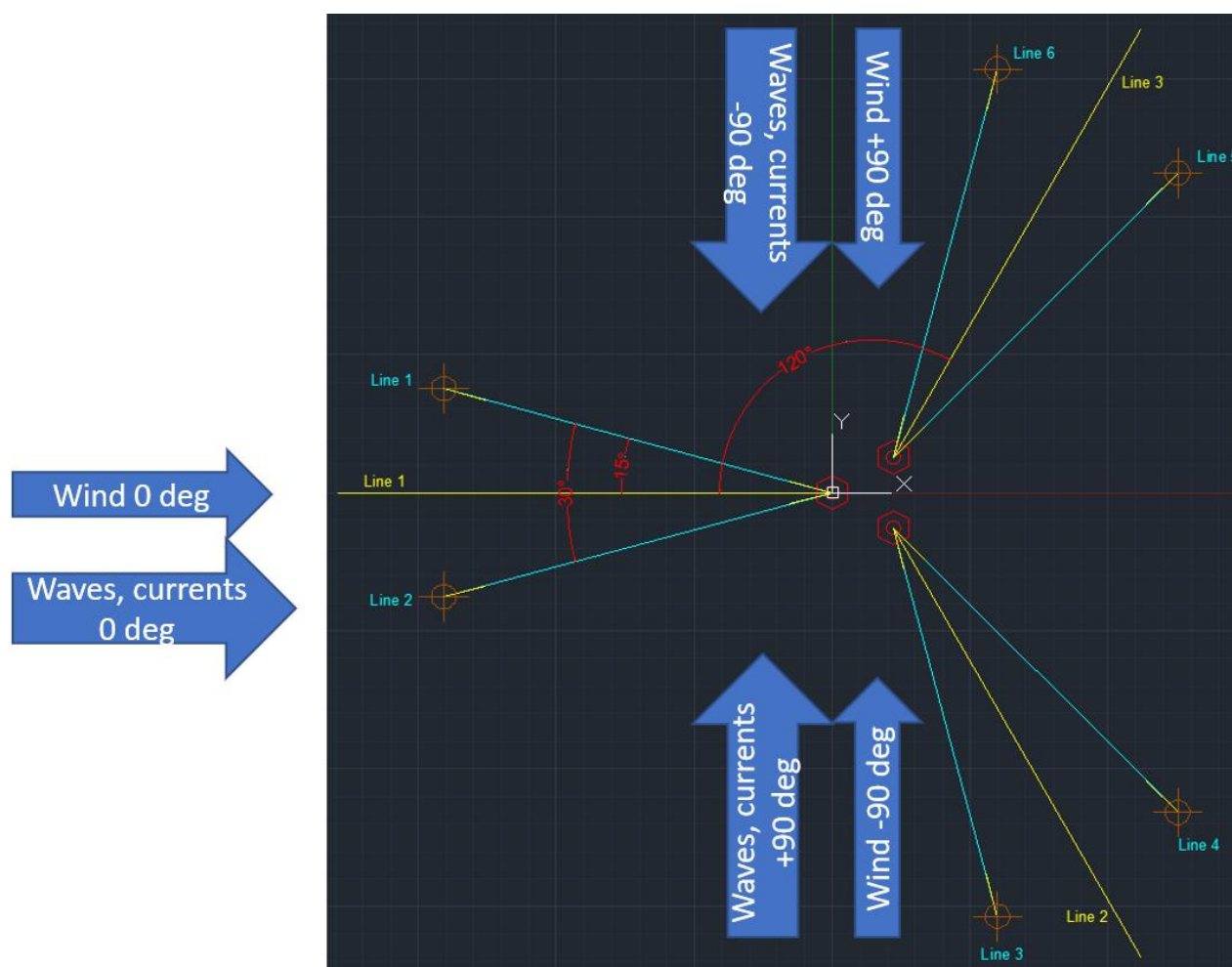


Figura 2: Sistema di assi con notazioni per il movimento della piattaforma e per le condizioni di vento, onde e correnti marine

6 Casi di carico di progetto

Come da proposta tecnica e commerciale, si considerano i seguenti casi di carico di progetto, tratti da (IEC, 2019b), ma semplificati in una versione compatibile con le informazioni disponibili allo stato attuale della progettazione della turbina eolica flottante:

1. Condizione di esercizio con vento estremo (DLC 1.4)
2. Condizione di esercizio con onde estreme (DLC 1.6)
3. Condizione di non-esercizio (pale a rotazione libera) con periodo di ritorno di 50 anni (DLC 6.1)

Facendo riferimento alla norma tecnica (IEC, 2019b), questi DLC corrispondono alle situazioni progettuali e alle condizioni ambientali come da Tabella 1.

Nelle sezioni da 6.1 a 0 vengono valutate le condizioni ambientali per la specifica turbina eolica e lo specifico sito del parco eolico offshore considerato.

Nell'Appendix A è riportato l'elenco completo e dettagliato delle simulazioni numeriche condotte, applicando i DLC sopra menzionati.

Tabella 1: Casi di carico di progetto considerati, estratti e adattati da (IEC, 2019a)

Condizione progettuale	DLC	Condizione del vento	Onde	Direzionalità delle condizioni meteomarine	Correnti marine	Livello dell'acqua	Altre condizioni	Tipo di analisi	Tempo di simulazione
Condizione di esercizio	1.4	ECD $V_{hub} =$ $V_r - 2m/s,$ $V_r,$ $V_r + 2m/s$	NSS $H_s =$ $E[H_s V_{hub}]$	MIS, con cambio di direzione del vento*	NCM	MSL	/	U	10
	1.6	NTM $V_{in} <$ $V_{hub} <$ V_{out}	SSS $H_s =$ H_s, SSS	COD, UNI	NCM	MSL	/	U	600
* IEC61400-3-1 Per il DLC 1.4 si può ipotizzare che il vento e le onde siano co-direzionali prima del cambiamento della direzione del vento.									
Condizione di non-esercizio (rotore frenato o a rotazione libera)	6.1	Modello di vento turbolento EWM, $V_{hub} =$ V_{ref}	ESS, $H_s =$ $H_s, 50$	MIS, MUL	ECM $U =$ U_{50}	EWLR	/	U	3600

Nelle sezioni seguenti, i parametri meteomarine presentati nella Tabella 1 sono quantificati, facendo riferimento alla relazione meteomarina (Scientific Engineering Ltd, 2022), fornito dalla società Hope Group s.r.l., in cui sono forniti i dettagli delle condizioni normali ed estreme di vento, onde, correnti marine e livello dell'acqua, per il sito del parco eolico flottante in questione.

6.1 Condizioni del vento

Tabella 2: Condizioni del vento - valore dei parametri principali

Variabile	u.m.	Valore	Descrizione	Rif.
V_hub	[m/s]	Dipende dal DLC	Velocità media del vento (su 10 minuti) a livello del mozzo	\
V_in	[m/s]	3	Velocità del vento "cut-in" della turbina eolica	(Gaertner e al., 2020)
V_out	[m/s]	25	Velocità del vento "cut-out" della turbina eolica	(Gaertner e al., 2020)
V_r	[m/s]	10.59	Velocità del vento nominale "rated" della turbina eolica	(Gaertner e al., 2020)
V_ref	[m/s]	50	Velocità del vento di riferimento, per turbine eoliche di classe IB	(IEC, 2005)

Tabella 3: Condizioni del vento - acronimi utilizzati

Acronimo	Significato	Descrizione	Rif.
ECD	Extreme coherent gust with direction change (Raffica coerente estrema con cambio di direzione)	$V_{cg} = 15 \left[\frac{m}{s} \right]$ $V(z) \quad \text{for } t \leq 0$ $V(z, t) = \begin{cases} V(z) + 0.5V_{cg} \left(1 - \cos \left(\pi * \frac{t}{T} \right) \right) & \text{for } 0 \leq t \leq T \\ V(z) + V_{cg} & \text{for } t \geq T \end{cases}$ $T = 10 [s]$	(IEC, 2005)
EWM	Extreme wind speed model (Modello di velocità del vento estremo)	<p>Il modello del vento si basa sulla velocità del vento di riferimento, V_ref, e su una deviazione standard della turbolenza fissa, con:</p> $V_{50}(z) = V_{ref} \left(\frac{z}{z_{hub}} \right)^{0.11}$ <p>, cioè l'esponente della legge di potenza $\alpha = 0,11$</p> $\sigma_1 = 0.11 V_{hub}, \text{ i.e., TI } 11\%$	(IEC, 2005)
NTM	(Normal turbulence model) Modello di turbolenza normale	<p>Modello di turbolenza normale</p> $\sigma_1 = I_{ref} (0.75 * V_{hub} + b)$ $b = 5.6 \left[\frac{m}{s} \right]$ <p>I_{ref} è, per una turbina eolica di classe 1B, pari al 14%.</p>	(IEC, 2005)

6.2 Onde

Tabella 4: Onde - acronimi utilizzati e valore dei principali parametri

Acronimo	Significato	Descrizione	Rif.												
ESS H _s = H _{s,50}	Extreme sea state (Stato del mare estremo)	<p>In assenza di informazioni che definiscano la distribuzione di probabilità congiunta a lungo termine di vento e onde estremi, la velocità estrema del vento (media su 10 minuti) con un periodo di ritorno di 50 anni si verifica durante lo stato estremo del mare (media su 3 ore) con un periodo di ritorno di 50 anni.</p> <p>Per il sito dato, la H_s e la T_p associata al periodo di ritorno i 50 anni, in funzione della direzione dell'onda, insieme al "peakedness factor" dello stato di mare, è fornito in (Scientific Engineering Ltd, 2022).</p> <p>In ogni caso, poiché non è ancora stata stabilita la posizione relativa delle turbine flottanti rispetto al Nord geografico, è stato adottato il valore H_s (e la relativa T_p) più alto per tutte le direzioni, pari a (da (Scientific Engineering Ltd, 2022)):</p> <table border="1" data-bbox="603 913 1225 1037"> <thead> <tr> <th>H_s</th> <th>T_p</th> <th>Gamma</th> <th>Theta_{wm}</th> </tr> <tr> <th>[m]</th> <th>[s]</th> <th>[-]</th> <th>[deg]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>6.31</td> <td>10.84</td> <td>4.466</td> <td>Omnidirezionale</td> </tr> </tbody> </table>	H _s	T _p	Gamma	Theta _{wm}	[m]	[s]	[-]	[deg]	6.31	10.84	4.466	Omnidirezionale	(IEC, 2005)
H _s	T _p	Gamma	Theta _{wm}												
[m]	[s]	[-]	[deg]												
6.31	10.84	4.466	Omnidirezionale												
NSS H _s = E[H _s V _{hub}]	Normal sea state (Stato del mare normale)	<p>Le variabili H_s, T_p e la direzione, per ogni NSS, insieme alla velocità media del vento associata, devono essere selezionati in base alla distribuzione di probabilità congiunta a lungo termine dei parametri meteomarini appropriati al sito previsto.</p> <p>La distribuzione di probabilità congiunta a lungo termine non è disponibile in (Scientific Engineering Ltd, 2022), quindi per ricavare il valore estremo di H_s, funzione di V_{hub}, è stata adottata la relazione tra H_s e V_{10m} (velocità del vento a 10 m sopra il livello medio dell'acqua) fornita in (Scientific Engineering Ltd, 2022), pari a:</p> $V_{10m} = a \cdot H_s^b$ $a = 6.526$ $b = 0.6228$ <p>V_{10m} si ricava da V_{hub} applicando la legge di potenza del profilo del vento e il relativo coefficiente α. La T_p associata si ricava utilizzando l'equazione fornita in (Scientific Engineering Ltd, 2022):</p> $T_p = a \cdot H_s^b$ $a = 5.9505$ $b = 0.3258$	(IEC, 2005)												
SSS H _s = H _{s,SSS}	Severe sea state (Stato del mare severo)	<p>Per tutte le velocità medie del vento, l'altezza d'onda significativa estrema incondizionata H_{s,50}, con un periodo di ritorno di 50 anni, può essere utilizzata come valore conservativo di H_{s,SSS}(V).</p> <p>Pertanto, sono stati applicati gli stessi valori dell'ESS.</p>	(IEC, 2005)												

6.3 Direzionalità delle condizioni meteomarine

Tabella 5: Direzionalità delle condizioni meteomarine

Acronimo	Significato	Descrizione	Rif.
COD	Co-direzionale	Vento e onde agiscono nella stessa direzione	(IEC, 2005)
MIS	Non allineato	Vento e onde provengono da direzioni diverse	(IEC, 2005)
MUL	Multi-direzionale	Vento e onde provengono da più direzioni	(IEC, 2005)
UNI	Unidirezionale	Agire in un'unica direzione	(IEC, 2005)

6.4 Correnti marine

Tabella 6: Correnti marine - acronimi utilizzati e valore dei principali parametri

Acronimo	Significato	Descrizione	Rif.						
ECM, U = U_50	Extreme current model (Modello di corrente estrema)	<p>In assenza di informazioni che definiscano la distribuzione di probabilità congiunta degli estremi a lungo termine, è prudente applicare correnti con periodo di ritorno di 1 anno e 50 anni e assumere che la corrente sia co-direzionale con le onde.</p> <p>Per il sito dato, come riportato in (Scientific Engineering Ltd, 2022), viene fornita la velocità della corrente marina con un periodo di ritorno di 50 anni (U_50), in funzione della direzione (rispetto al Nord geografico).</p> <p>In ogni caso, non essendo ancora stata stabilita la posizione relativa delle turbine eolice rispetto al Nord geografico, è stato adottato il valore U_50 più alto, pari a (Scientific Engineering Ltd, 2022):</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>U_50</th> <th>Theta_c</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>[m/s]</td> <td>[deg]</td> </tr> <tr> <td>0.94</td> <td>Omnidirezionale</td> </tr> </tbody> </table>	U_50	Theta_c	[m/s]	[deg]	0.94	Omnidirezionale	(IEC, 2019a)
U_50	Theta_c								
[m/s]	[deg]								
0.94	Omnidirezionale								
NCM	Normal current model (Modello di corrente normale)	<p>Nei presenti DLC, il NCM è assunto per le DLC 1.4 e 1.6, che rappresentano gli stati di mare NSS e SSS, e quindi per ogni caso di carico la velocità delle correnti generate dal vento può essere stimata dalla relativa velocità media del vento, come segue:</p> $U(z) = U(0) \left(1 + \frac{z}{20}\right)$ $U(0) = 0.01V_{1-hour}(z = 10m)$ <p>Dove U(z) è la velocità della corrente marina alla profondità z, U(0) alla profondità 0, cioè al livello della superficie, e V_1-ora(z=10m) è la velocità media (oraria) del vento a 10 m sopra il livello della linea di galleggiamento, dove:</p> $V_{1-hour} = V_{10-min} * 0.95$ <p>Alla velocità della corrente generata dal vento è stata aggiunta la velocità media della corrente dovuta all'effetto marea, quindi la velocità totale della corrente è:</p> $U_{tot}(z) = U(0) \left(1 + \frac{z}{20}\right) + U_{tide,mean}$ $U_{tide,mean} = 0.034 \text{ m/s}$	(IEC, 2019a)						

6.5 Livello dell'acqua

Tabella 7: Livello dell'acqua - acronimi utilizzati e valore dei principali parametri

Acronimo	Significato	Descrizione	Rif.
EWLR	Extreme Water Level Range (Intervallo estremo del livello dell'acqua)	<p>In assenza di una distribuzione di probabilità congiunta a lungo termine che includa il livello dell'acqua, il progettista deve almeno effettuare calcoli basati sui seguenti livelli dell'acqua:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Livello del mare stazionario massimo (Highest still water level) con un periodo di ritorno di 50 anni, basato su una combinazione appropriata di marea astronomica massima e bassa pressione. • Livello del mare stazionario minimo (Lowest still water level) con un periodo di ritorno di 50 anni, basato su una combinazione appropriata di marea astronomica minima e alta pressione. <p>Sulla base dei dati forniti in (Scientific Engineering Ltd, 2022), e considerando un sistema di ormeggio semi-taut, l'EWLR corrisponde a 0,55 m ((Scientific Engineering Ltd, 2022), pagina 71).</p>	(IEC, 2019a)
NWLR	Normal Water Level Range (Intervallo normale del livello dell'acqua)	<p>L'escursione normale del livello dell'acqua è considerata pari alla differenza, su lungo termine, tra la più alta marea astronomica (HAT "Highest Astronomical Tide") e la più bassa marea astronomica (LAT "Lowest Astronomical Tide").</p> <p>Facendo riferimento a (Scientific Engineering Ltd, 2022):</p> $LAT = -0,163 \text{ m rispetto all'MSL}$ $HAT = +0,182 \text{ m rispetto all'MSL}$ <p>Poiché le presenti analisi si concentrano sulle tensioni nelle cime "semi-taut", i carichi più elevati si avranno per il livello dell'acqua corrispondente all'HAT.</p>	
MSL	Mean Sea Level (Livello medio del mare)	È il livello medio del mare nel sito.	(IEC, 2019a)

7 Turbina eolica flottante analizzata

Secondo la definizione di (IEC, 2019b), la turbina eolica galleggiante è composta da due parti principali:

- il gruppo rotore-navicella,
- la struttura di supporto.

Di seguito sono riportate le loro caratteristiche principali.

7.1 Gruppo rotore-navicella

Il gruppo rotore-navicella adottato è la turbina eolica IEA da 15 MW, descritta in dettaglio in (Gaertner e *al.*, 2020).

Il modello numerico OpenFAST sviluppato per questo progetto utilizza il modello numerico dell'insieme rotore-navicella disponibile presso (IEAWindTask37/IEA-15-240-RWT: 15MW reference wind turbine repository developed in conjunction with IEA Wind, no date).

7.2 Struttura di supporto

La struttura di supporto, a sua volta, è composta da tre parti principali, descritte nelle sezioni seguenti:

- la torre,
- la sottostruttura galleggiante,
- il sistema di ormeggio.

7.2.1 Torre

Il modello numerico OpenFAST sviluppato per questo progetto adotta il modello di torre disponibile presso (IEAWindTask37/IEA-15-240-RWT: 15MW reference wind turbine repository developed in conjunction with IEA Wind, no date), modificando la lunghezza totale per estendersi dalla navicella fino al livello del ponte. Il livello del ponte della piattaforma galleggiante originale è di 15 m s.l.m., mentre è di 10 m s.l.m. per la piattaforma presentata in (Collu e Gao, 2021). La massa della torre è stata aumentata linearmente in proporzione alla lunghezza aggiuntiva.

7.2.2 Sottostruttura galleggiante

La struttura galleggiante modellata è la struttura galleggiante semisommergibile presentata in (Collu e Gao, 2021). Nella Figura 3 e nella Tabella 8 sono presentate le dimensioni principali della turbina eolica, mentre per i dettagli si rimanda a (Collu e Gao, 2021).

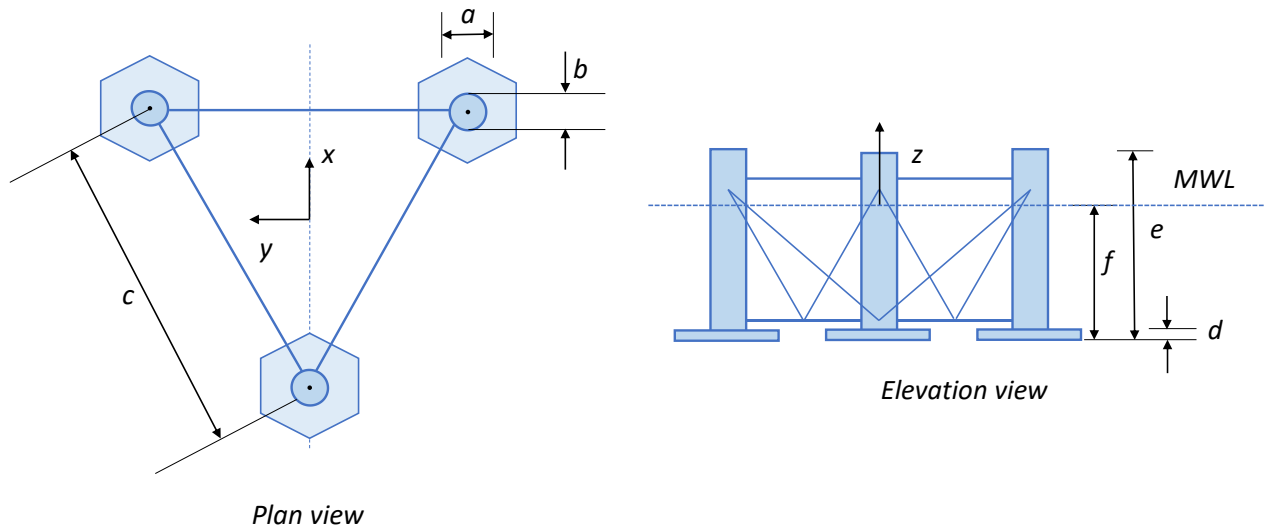


Figura 3: Illustrazione delle dimensioni generali dei semisommersibili (Collu e Gao, 2021)

Tabella 8: Caratteristiche principali dei semisommersibili (Collu e Gao, 2021)

Parametri	Unità	Valore
Quantità di acciaio	t	~4800
a , lunghezza del lato della "water entrapment plate"	m	19.5
b , diametro della colonna	m	15.0
c , distanza tra i centri di due colonne	m	80
d , spessore della "water entrapment plate"	m	1.0
e , altezza totale della colonna	m	30.0
f , pescaggio	m	20.0
Dislocamento totale (volumetrico)	m ³	~14 400
Dislocamento totale (massa)	t	~14 756

7.2.3 Sistema di ormeggio

7.2.3.1 Sistema di ormeggio originale

Nel progetto originale di selezione del concetto e di valutazione della fattibilità (Collu e Gao, 2021) è stato adottato un sistema di ormeggio a catenaria, con tre linee di ormeggio a catenaria "equivalenti", come descritto nella Figura 4, Tabella 9 e Tabella 10. Nella Tabella 9 sono riportate le principali proprietà delle cime di ormeggio.

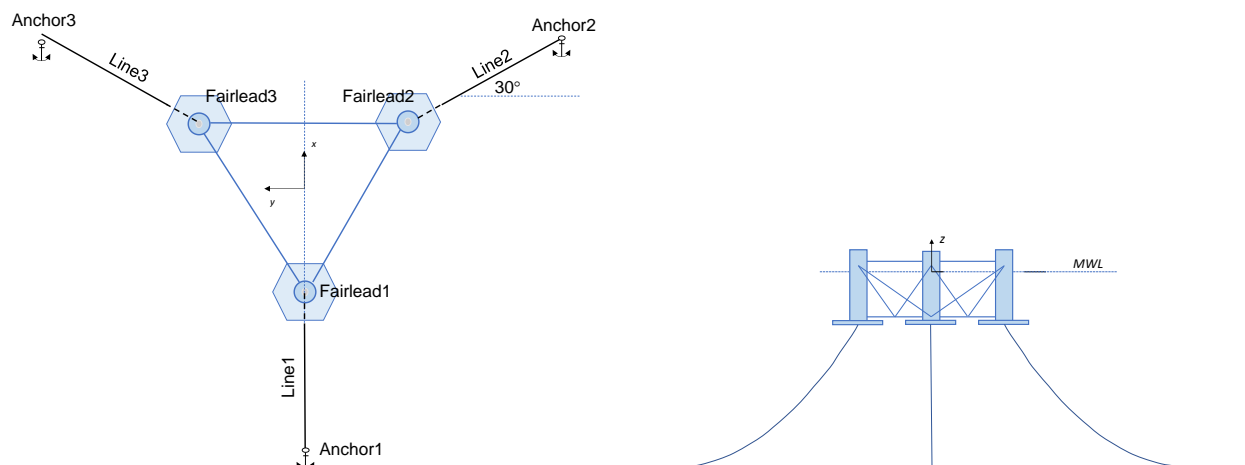


Figura 4: Sistema di ormeggio progettato per piattaforma semisommersibile, da (Collu e Gao, 2021) Sinistra: vista dall'alto, destra: vista laterale

Nella Tabella 10, considerando lo stesso sistema di coordinate utilizzato per la piattaforma, sono forniti la posizione del passacavo e dei punti di ancoraggio.

Tabella 9: Proprietà delle linee di ormeggio per piattaforma semisommersibile, da (Collu e Gao, 2021)

Parametro	Unità	Valore
Tipo di sistema di ormeggio	-	Catenaria
Tipo di linea	-	R3 Studless Mooring Chain
Line Breaking Strength	kN	22,286
Numero di linee	-	3
Profondità all'ancora	m	150
Pescaggio al livello del passacavo	m	20
Densità lineare (in aria)	Kg/m	685
Diametro	m	0.333
Lunghezza della linea	m	600
Forza di ripristino orizzontale (analisi statica)	kN/m	6000
Forza di pre-tensionamento	kN	2280

Tabella 10: Posizione dei passacavi, dei punti di contatto e delle ancore per il sistema di ormeggio per semisommersibili

	X (m)	Y (m)	Z (m)
"Fairlead1" (Passacavo 1)	-46.2	0	-20
"Fairlead2" (Passacavo 2)	23.1	-40	-20
"Fairlead3" (Passacavo 3)	23.1	40	-20
"Touchdown1"	-276.2	0	-150
"Touchdown2"	222.3	-155.0	-150
"Touchdown3"	222.3	155.0	-150
Ancora1	-606.1	0	-150
Ancora2	303.0	-524.9	-150
Ancora3	303.0	524.9	-150

7.2.3.2 Sistema di ormeggio modificato proposto da Intermoor Ltd.

Intermoor Ltd ha proposto una configurazione alternativa del sistema di ormeggio per il presente progetto.

Il nuovo sistema di ormeggio è di tipo "semi-taut", costituito da 6 linee, ogni linea composta da tre segmenti e da due diversi materiali: catenaria in acciaio e cime in poliestere. Le sue caratteristiche sono descritte nella Figura 5 e nella Tabella 11.

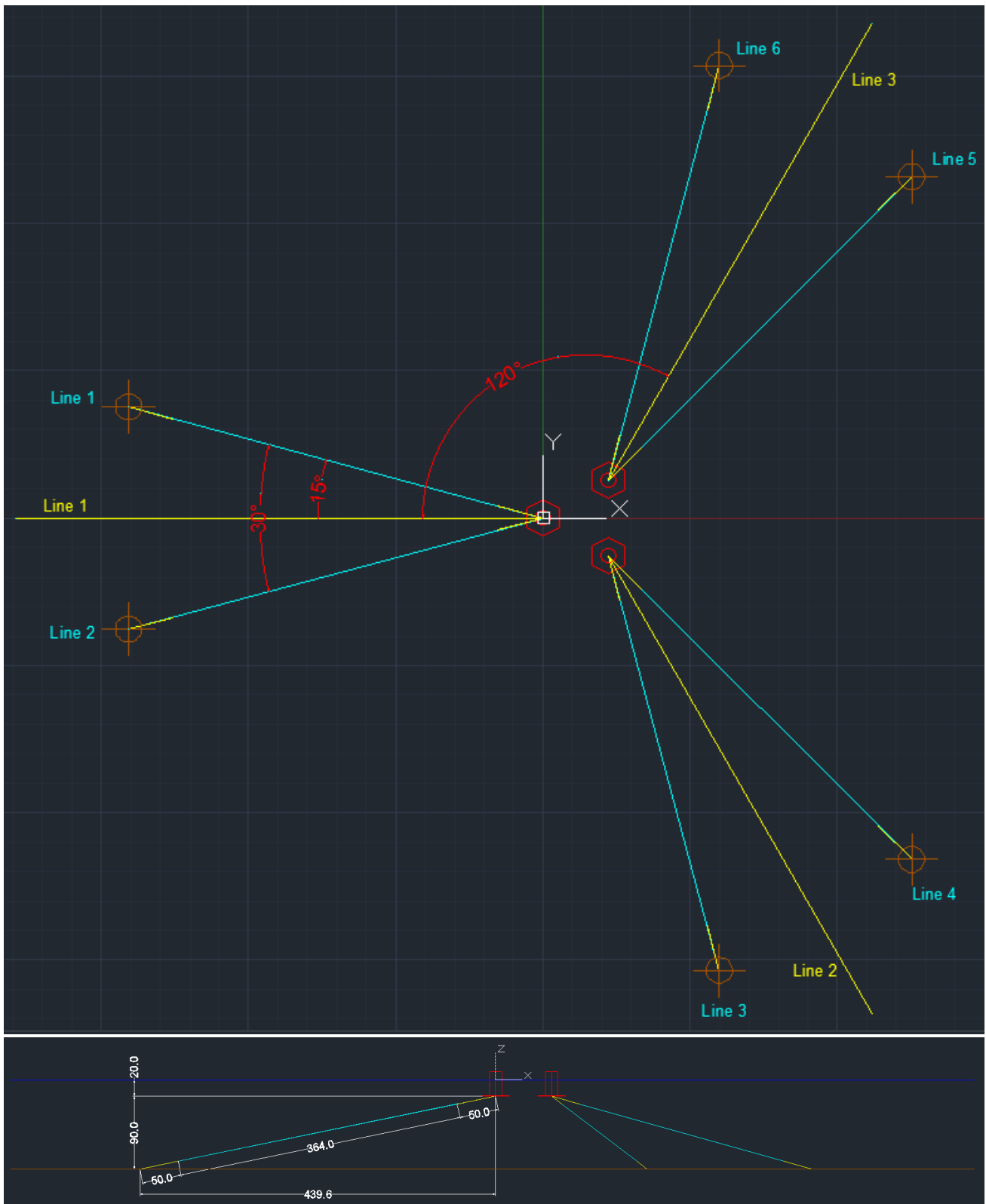


Figura 5: Sistema di ormeggio progettato per piattaforma semisommersibile, come proposto da Intermoor Ltd. In alto: vista dall'alto, in basso: vista laterale. N.B. Nella vista dall'alto, sono rappresentate, in giallo, anche la Linea 1, la Linea 2 e la Linea 3 del concetto originale (come in (Collu e Gao, 2021)), per permettere un confronto con la soluzione proposta da Intermoor Ltd. Si noti che, nella figura in basso, la lunghezza orizzontale di 439,6 m è la proiezione sul piano x-z della lunghezza totale della linea orizzontale, che è di 455 m nel piano della linea.

Tabella 11: Proprietà delle linee di ormeggio alternative per la piattaforma semisommersibile, come proposto da Inter Moor Ltd

Parametro	Unità	Valore
Tipo di sistema di ormeggio	-	Semi-taut
Profondità all'ancora	m	110
Pescaggio al livello del passacavo	m	20
Numero di linee	-	6
Segmenti per linea	-	3 (catena - poliestere - catena)
Segmento 1 (e 3) tipo	-	R3S stud link chain
Diametro nominale del segmento di catena	m	0.120
Massa per unità di lunghezza del segmento di catena (in aria)	kg/m	315
MBL del segmento di catena	kN	12335
Rigidità assiale del segmento di catena	kN	1.454E+06
Tipo di segmento 2	-	Corda in fibra di poliestere
Diametro nominale del segmento in poliestere	m	0.195
Segmento di poliestere (secco) massa/lunghezza	kg/m	26
MBL del segmento in poliestere	kN	12522
Rigidità assiale del segmento in poliestere	kN	2.983E+05
Lunghezza della cima (non tesa) (dal passacavo all'ancora)	m	50 m (catena), 362,0 m (poli), 50 m (catena)

8 Risultati

8.1 DLC 1.4

A causa della simmetria della piattaforma, sono state studiate solo le simulazioni per le seguenti direzioni di vento/onde, come mostrato anche in Appendix A:

- Direzione del vento (all'inizio della simulazione – poi cambio di direzione a causa delle raffiche): 0, 30, 60, 90, 120, 150, 180 gradi;
- Direzione dell'onda: co-lineare con la direzione iniziale del vento.

I risultati presentati sono le medie su tre realizzazioni (3 "seeds").

In questa sede vengono presentati, in formato grafico, solo i seguenti dati – per l'insieme completo dei valori numerici e dei grafici, si rimanda al foglio di calcolo:

“_ParametricExcel_Summary_1_4_PtfmSym_3seeds_TABLE.xlsx”:

- Tensione al passacavo, in Newton [N] - Figura 6
- Tensione al passacavo, in percentuale della MBL [%] - Figura 7
- Tensione all'ancoraggio, in Newton [N] - Figura 8
- Tensione all'ancoraggio, componente orizzontale, in Newton [N] - Figura 9
- Tensione all'ancoraggio, componente x, in [N] - Figura 10
- Tensione all'ancoraggio, componente y, in [N] - Figura 11
- Tensione all'ancoraggio, componente z, in [N] - Figura 12
- Spostamenti lineari [m] e rotazionali [deg] - Figura 13

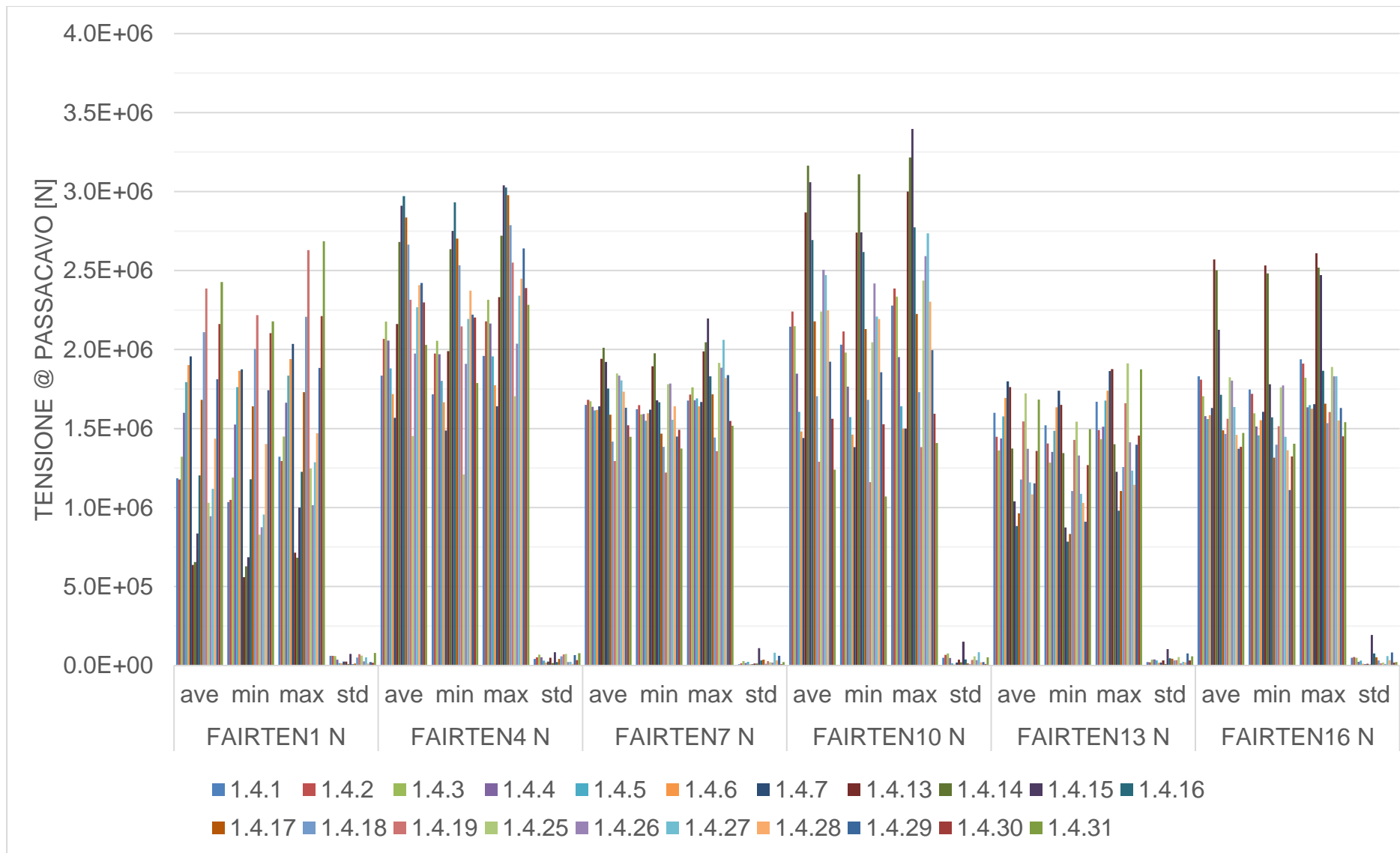


Figura 6: DLC1.4, tensione al passacavo [N]: media, minima, massima, deviazione standard. FAIRTEN1,4,7,10,13,16 N = Tensione nella linea 1,2,3,4,5,6

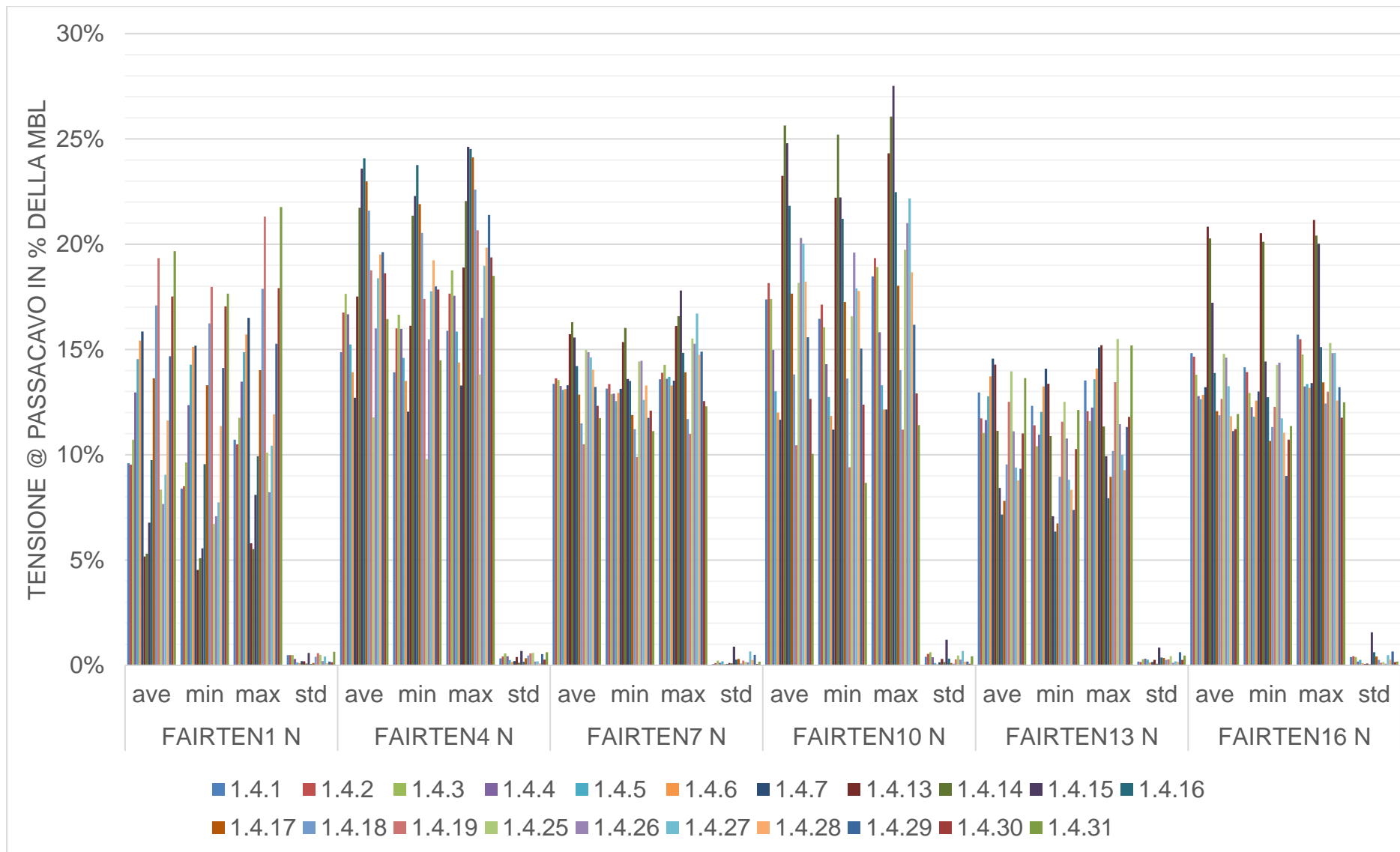


Figura 7: DLC1.4, tensione al passacavo come percentuale di MBL [%]: media, minima, massima, deviazione standard. FAIRTEN1,4,7,10,13,16 N = Tensione nella linea 1,2,3,4,5,6. MBL = 12340 kN

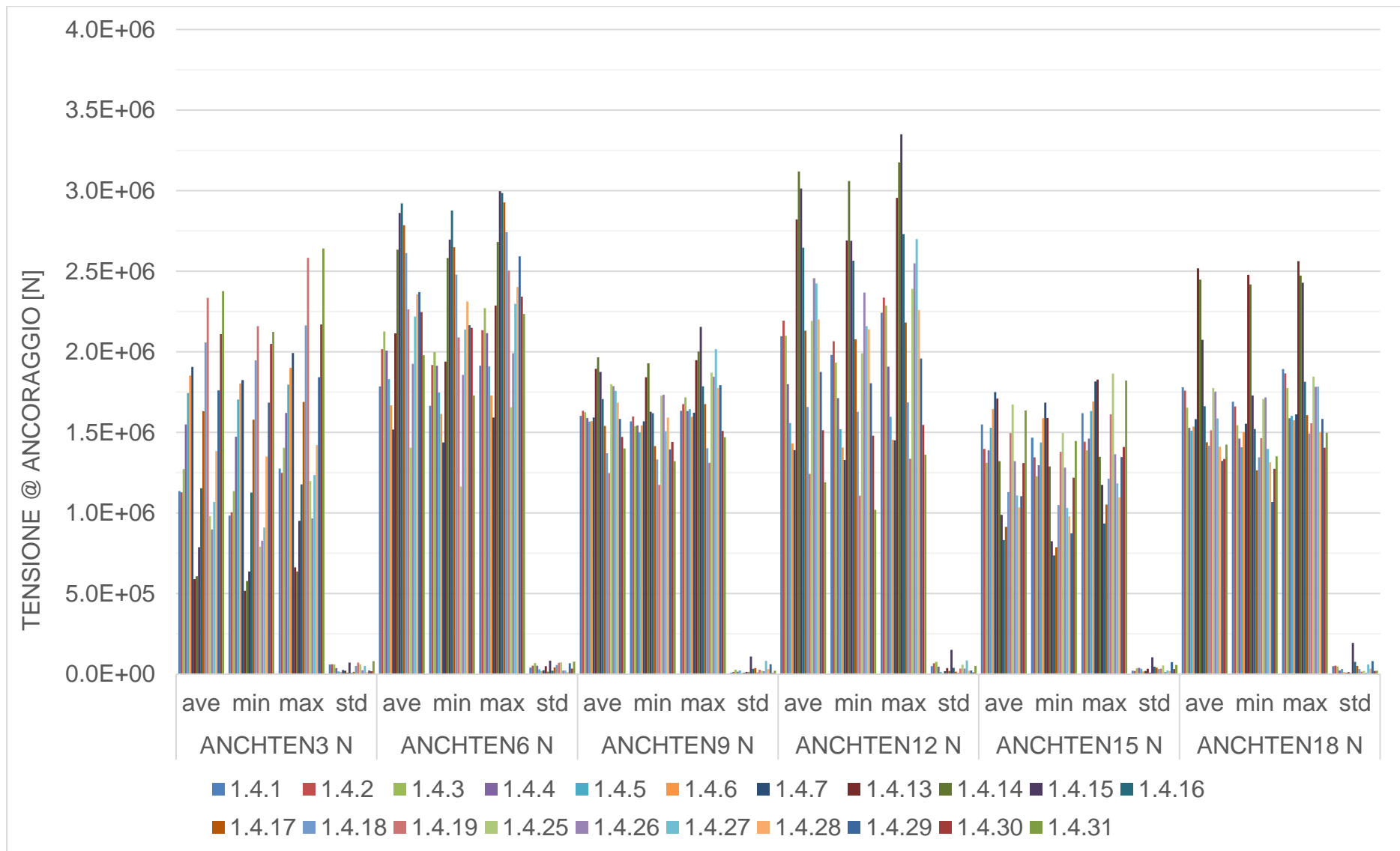


Figura 8: DLC1.4, tensione all'ancoraggio: media, minima, massima, deviazione standard. ANCHTEN3,6,9,12,15,18 N = Tensione all'ancoraggio 1,2,3,4,5,6.

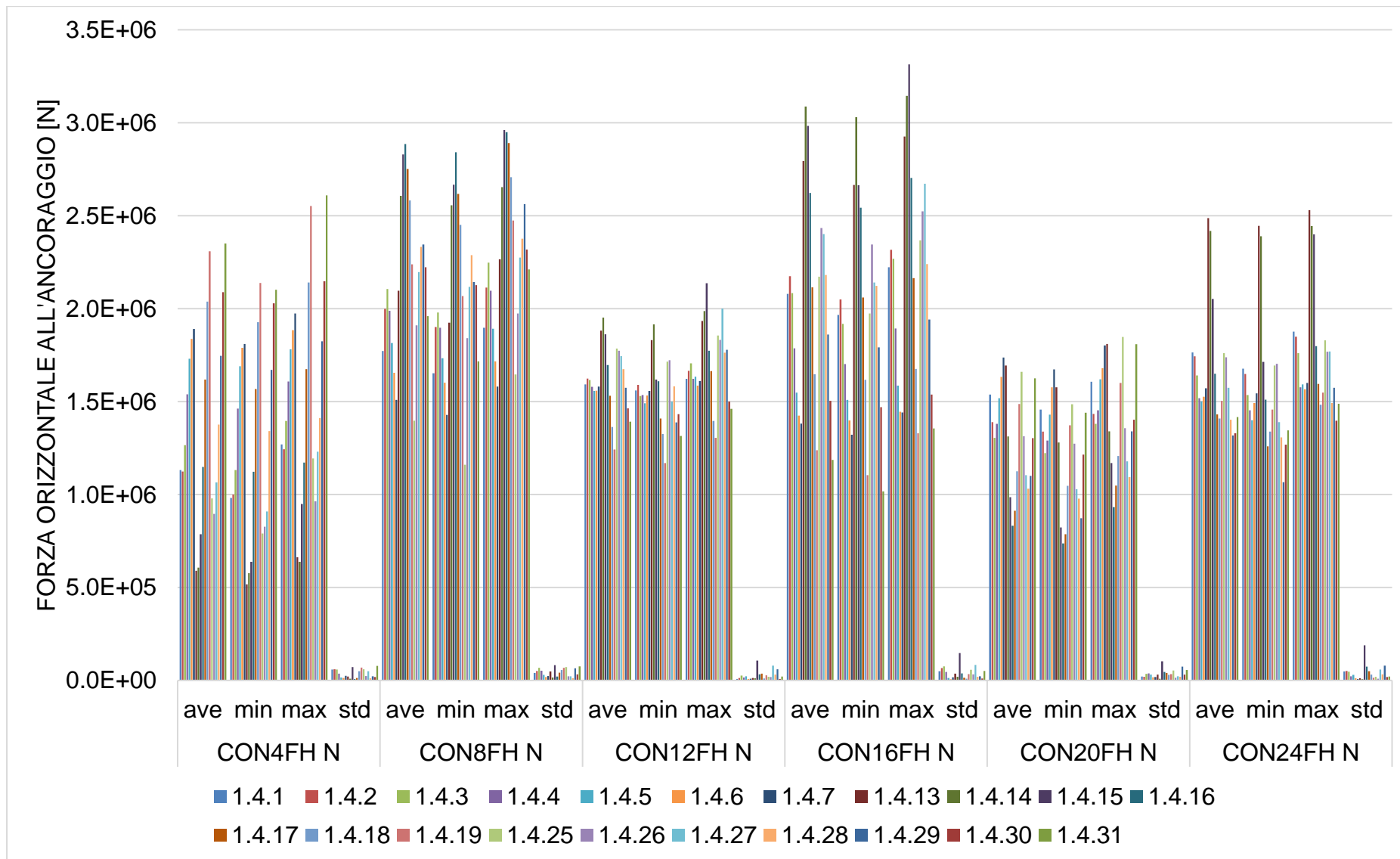


Figura 9: DLC1.4, tensione all'ancoraggio, **componente orizzontale**: media, minima, massima, deviazione standard. ANCHTEN3,6,9,12,15,18 N = Tensione all'ancoraggio 1,2,3,4,5,6.

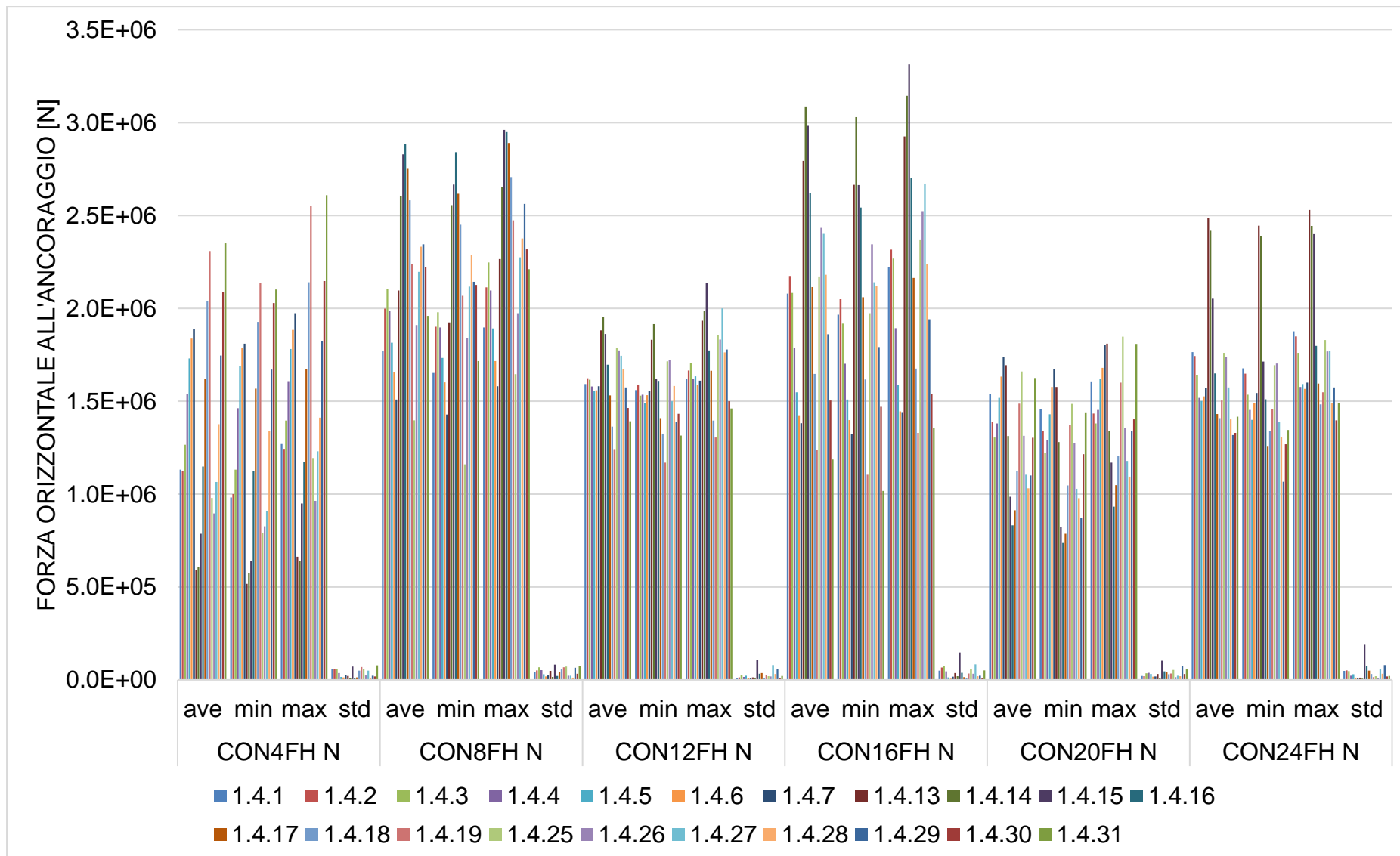


Figura 10: DLC1.4, tensione a livello dell'ancoraggio, **componente x** [N]: media, minima, massima, deviazione standard. **CONnFX**, con $n=4,8,12,16,20$, $n =$ tensione all'ancora della cima d'ormeggio 1,2,3,4,5,6.

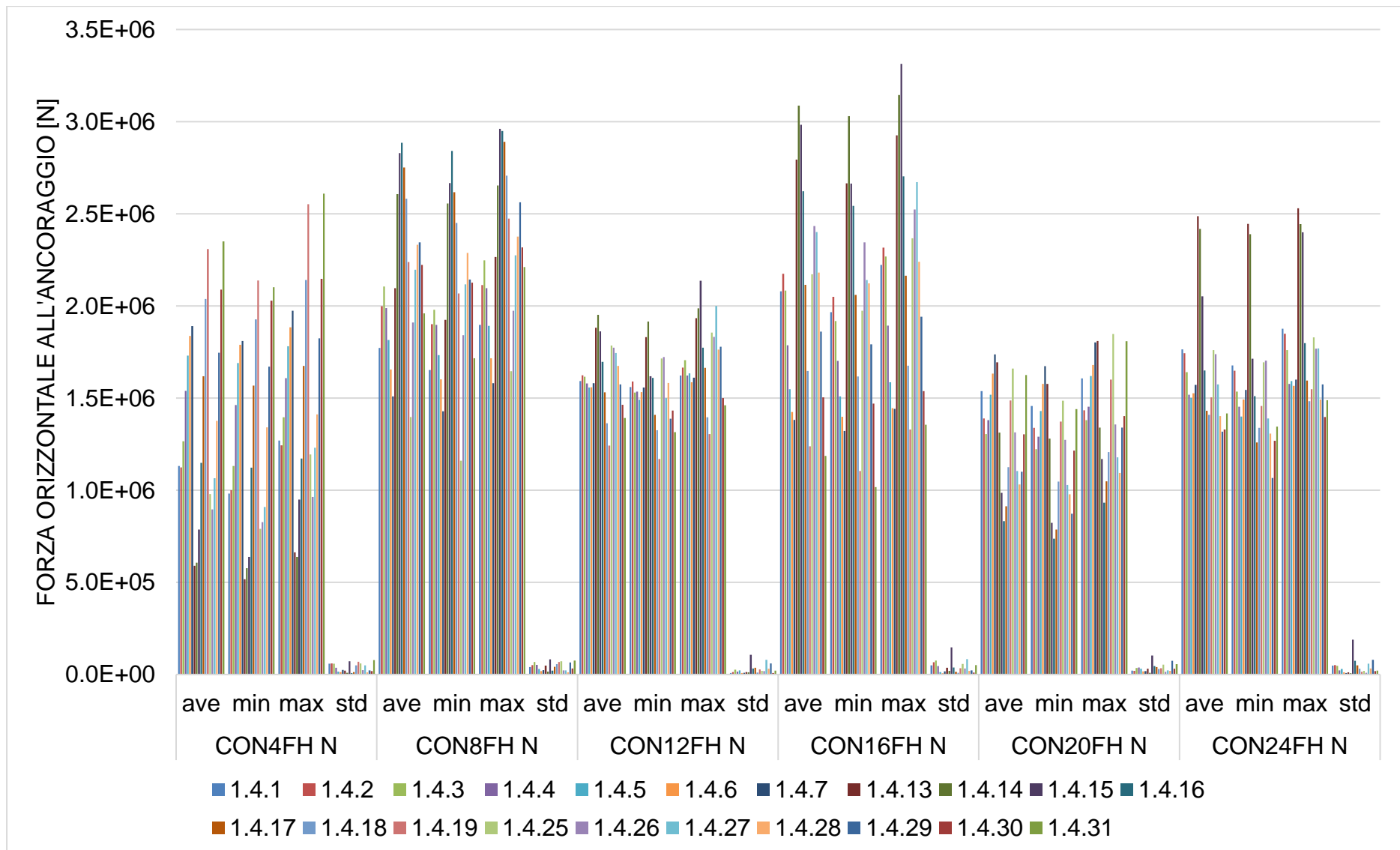


Figura 11: DLC1.4, tensione a livello dell'ancoraggio, **componente y** [N]: media, minima, massima, deviazione standard. **CONnFY**, con $n=4,8,12,16,20$ $N =$ tensione all'ancora della cima di ormeggio 1,2,3,4,5,6.

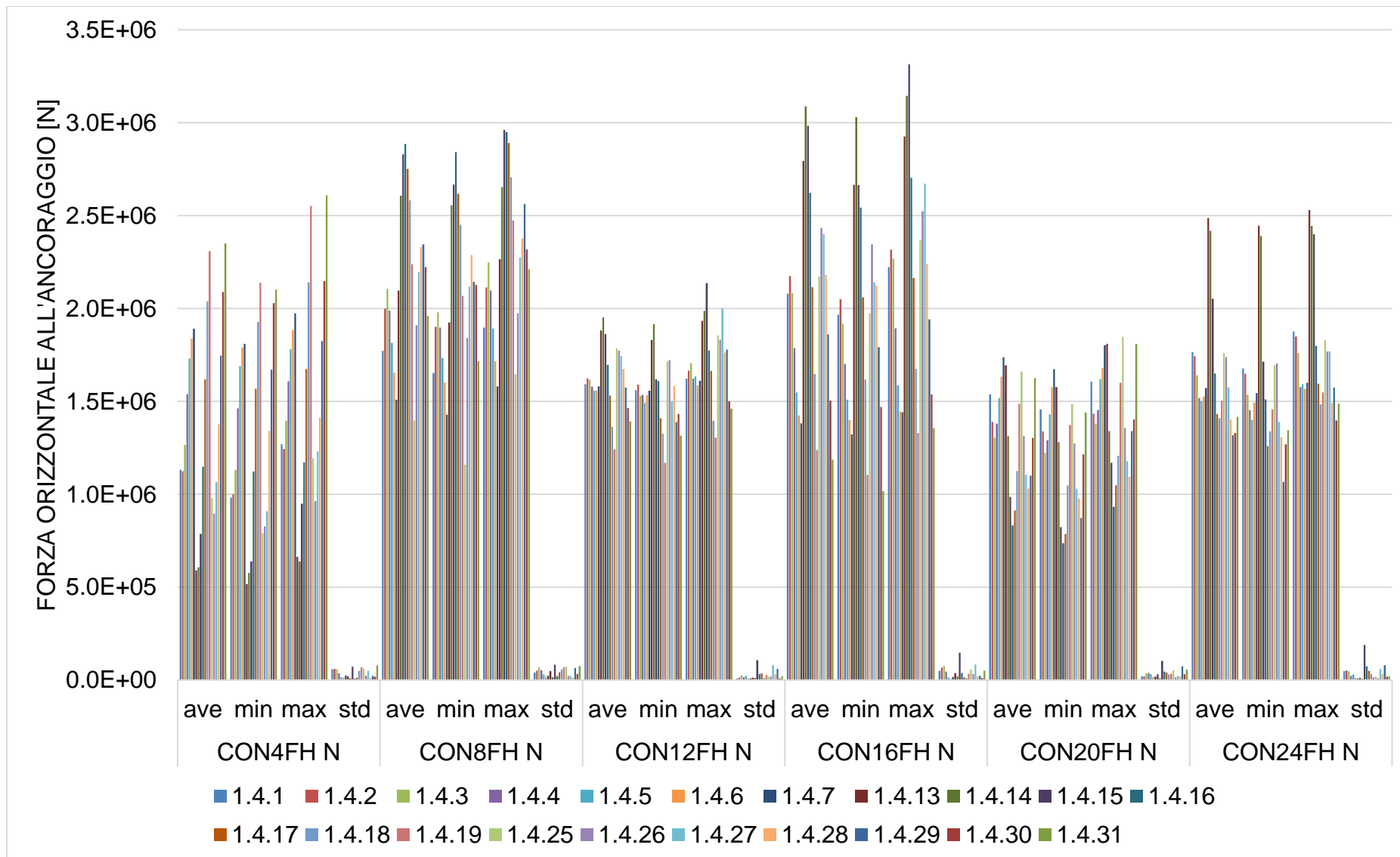


Figura 12: DLC1.4, tensione a livello dell'ancoraggio, **componente z** [N]: media, minima, massima, deviazione standard. **CONnFZ**, con $n=4,8,12,16,20$ $N =$ tensione all'ancora della cima d'ormeggio 1,2,3,4,5,6.

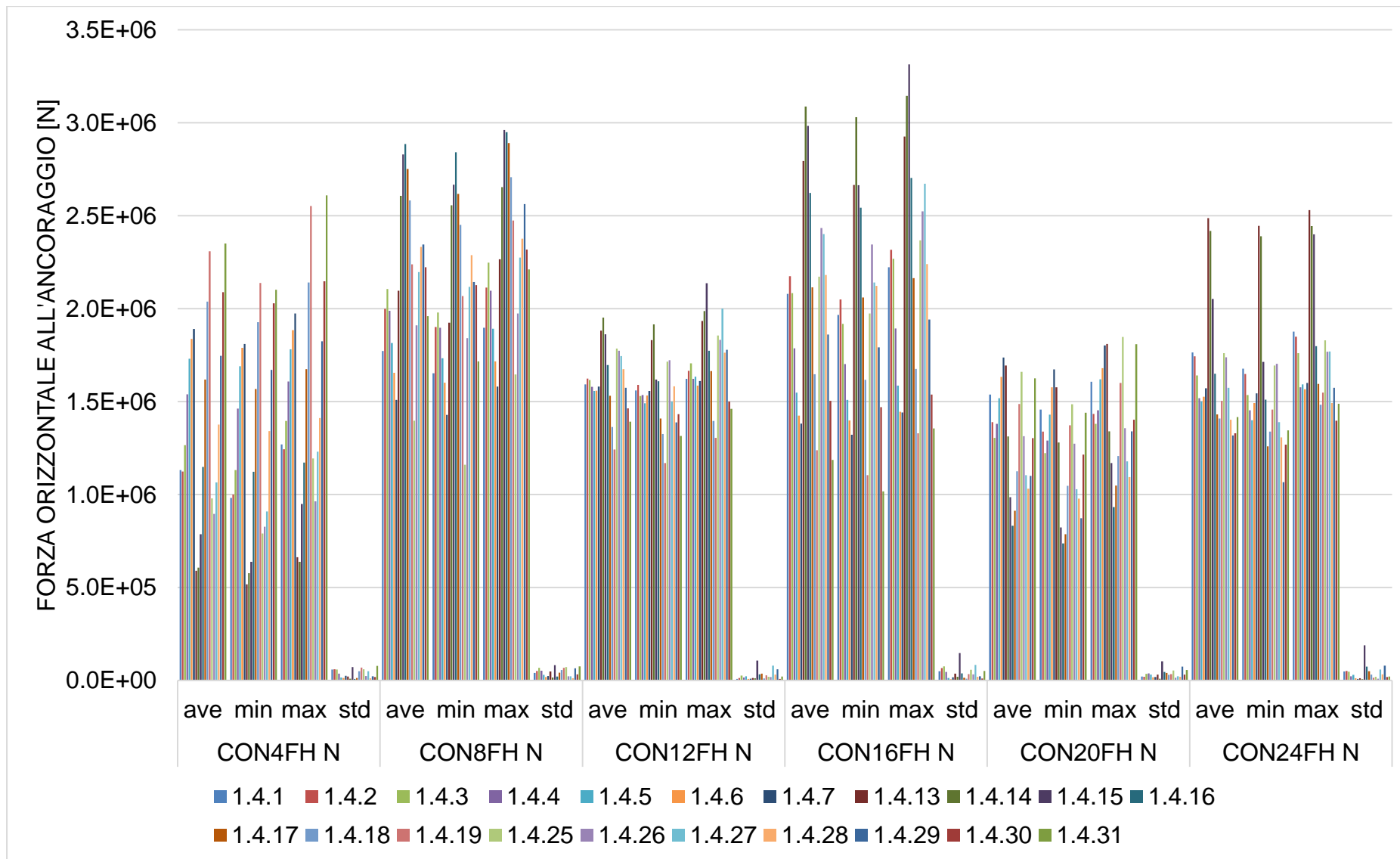


Figura 13: DLC1.4, spostamenti e rotazioni globali della piattaforma (nell'origine): media, minima, massima, deviazione standard. Ptfm = Piattaforma. La profondità dell'acqua è di 110 m.

8.2 DLC 1.6

A causa della simmetria della piattaforma, sono state studiate solo le simulazioni per le seguenti direzioni di vento/onde, come mostrato anche in Appendix A:

- Direzione del vento: co-lineare con la direzione dell'onda;
- Direzione dell'onda: 0, 30, 60, 90, 120, 150, 180 gradi per 3 m/s, 10,59 m/s e 23 m/s. Il DLC1.6 richiede il controllo di una sola direzione, corrispondente alla direzione peggiore per il parametro di interesse. Per 3 m/s, 10,59 m/s e 23 m/s, una direzione d'onda di 150 gradi è quella che dà, per tutte le velocità, la tensione più alta nella linea. Pertanto, per le altre velocità del vento, viene controllata solo questa direzione.

I risultati presentati sono le medie su tre realizzazioni (3 "seeds").

Qui vengono presentati, in formato grafico, solo i seguenti dati selezionati - per l'insieme completo dei valori numerici e dei grafici, si rimanda al foglio di calcolo "*_ParametricExcel_Summary_1_6_PtfmSym_3seeds_TABLE.xlsx*":

- Tensione al passacavo, in Newton [N] - Figura 14
- Tensione al passacavo, in percentuale della MBL [%] - Figura 15
- Tensione all'ancoraggio, in Newton [N] - Figura 16
- Tensione all'ancoraggio, componente orizzontale, in Newton [N] - Figura 17
- Tensione all'ancoraggio, componente x, in [N] - Figura 18
- Tensione all'ancoraggio, componente y, in [N] - Figura 19
- Tensione all'ancoraggio, componente z, in [N] - Figura 20
- Spostamenti lineari [m] e rotazionali [deg] - Figura 21

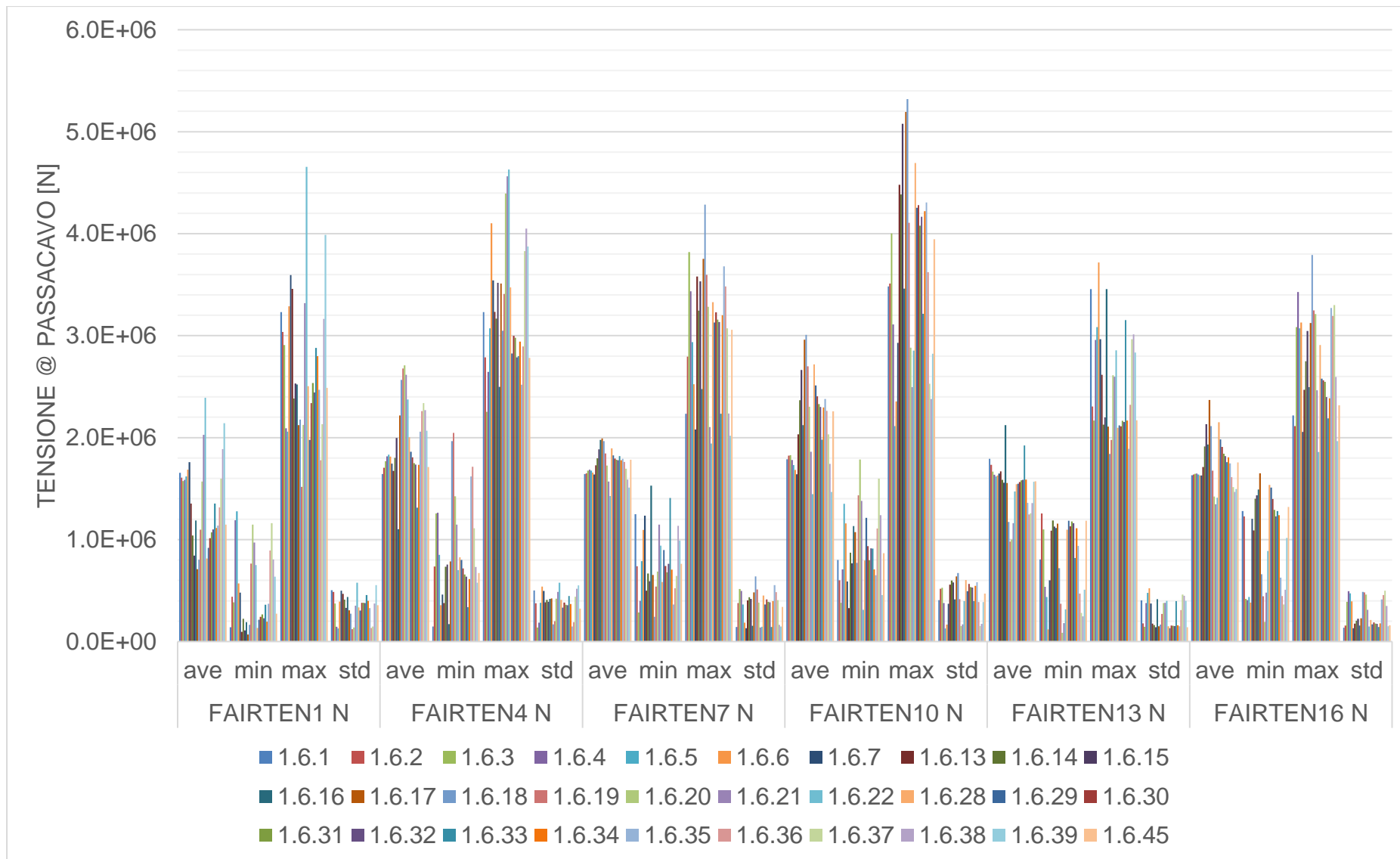


Figura 144: DLC1.6, tensione al passacavo [N]: media, minima, massima, deviazione standard. FAIRTEN1,4,7,10,13,16 N = Tensione nella linea 1,2,3,4,5,6

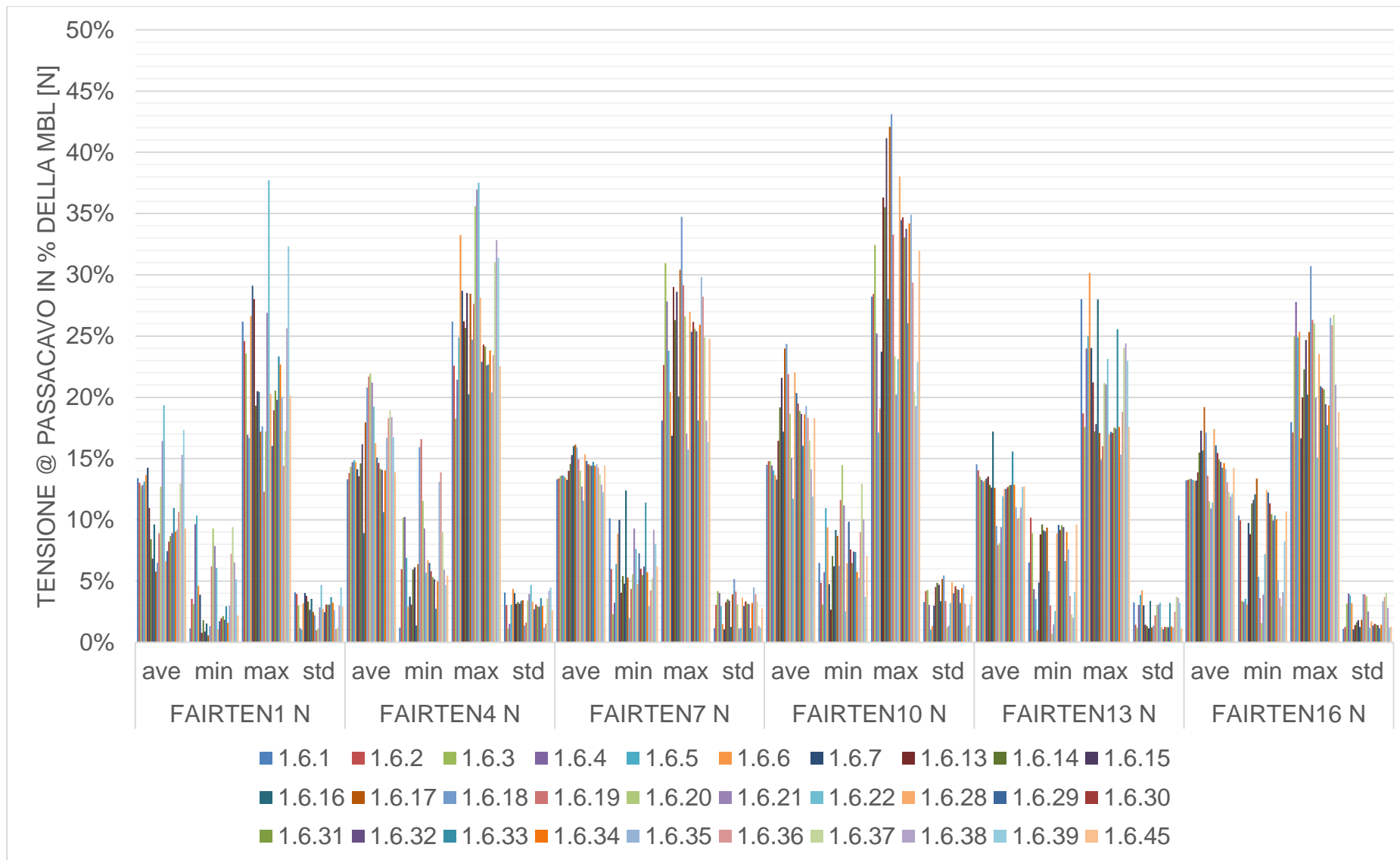


Figura 155: DLC1.6, tensione al passacavo come percentuale di MBL [%]: media, minima, massima, deviazione standard. FAIRTEN1,4,7,10,13,16 N = Tensione nella linea 1,2,3,4,5,6. MBL = 12340 kN

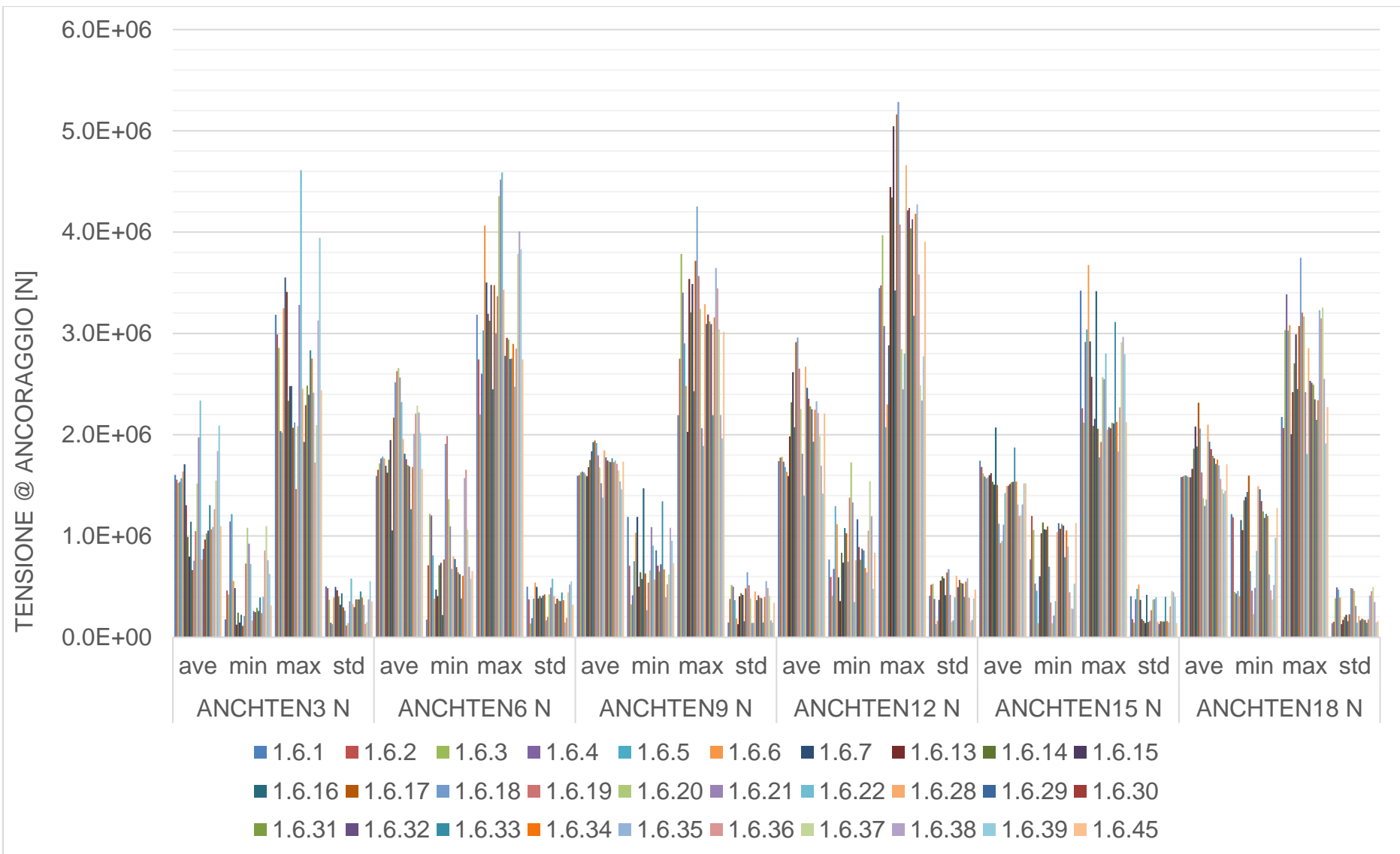


Figura 166: DLC1.6, tensione all'ancoraggio: media, minima, massima, deviazione standard. ANCHTEN3,6,9,12,15,18 N = Tensione all'ancoraggio 1,2,3,4,5,6.

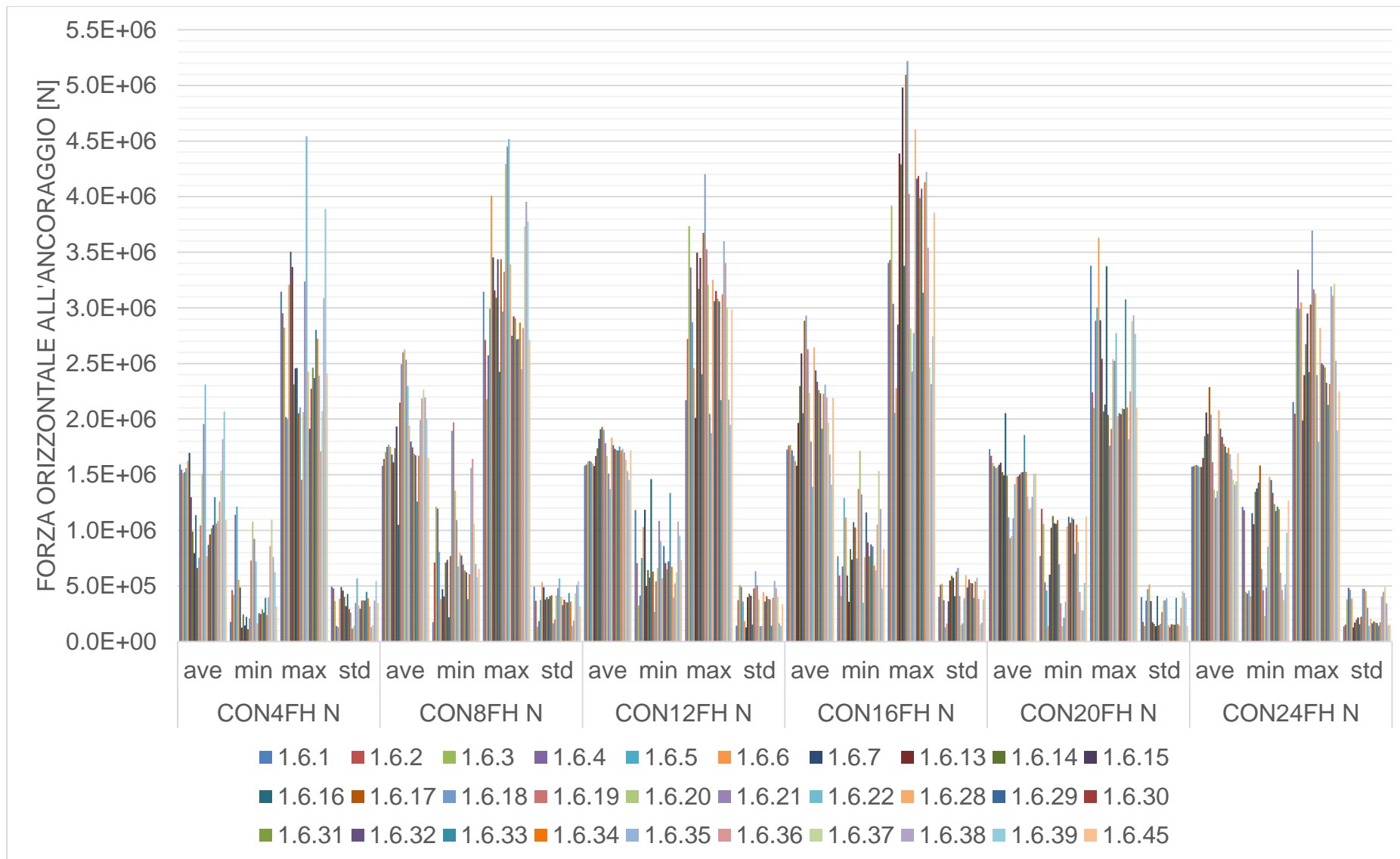


Figura 177: DLC1.6, tensione all'ancoraggio, **componente orizzontale**: media, minima, massima, deviazione standard. ANCHTEN3,6,9,12,15,18 N = Tensione all'ancoraggio 1,2,3,4,5,6.

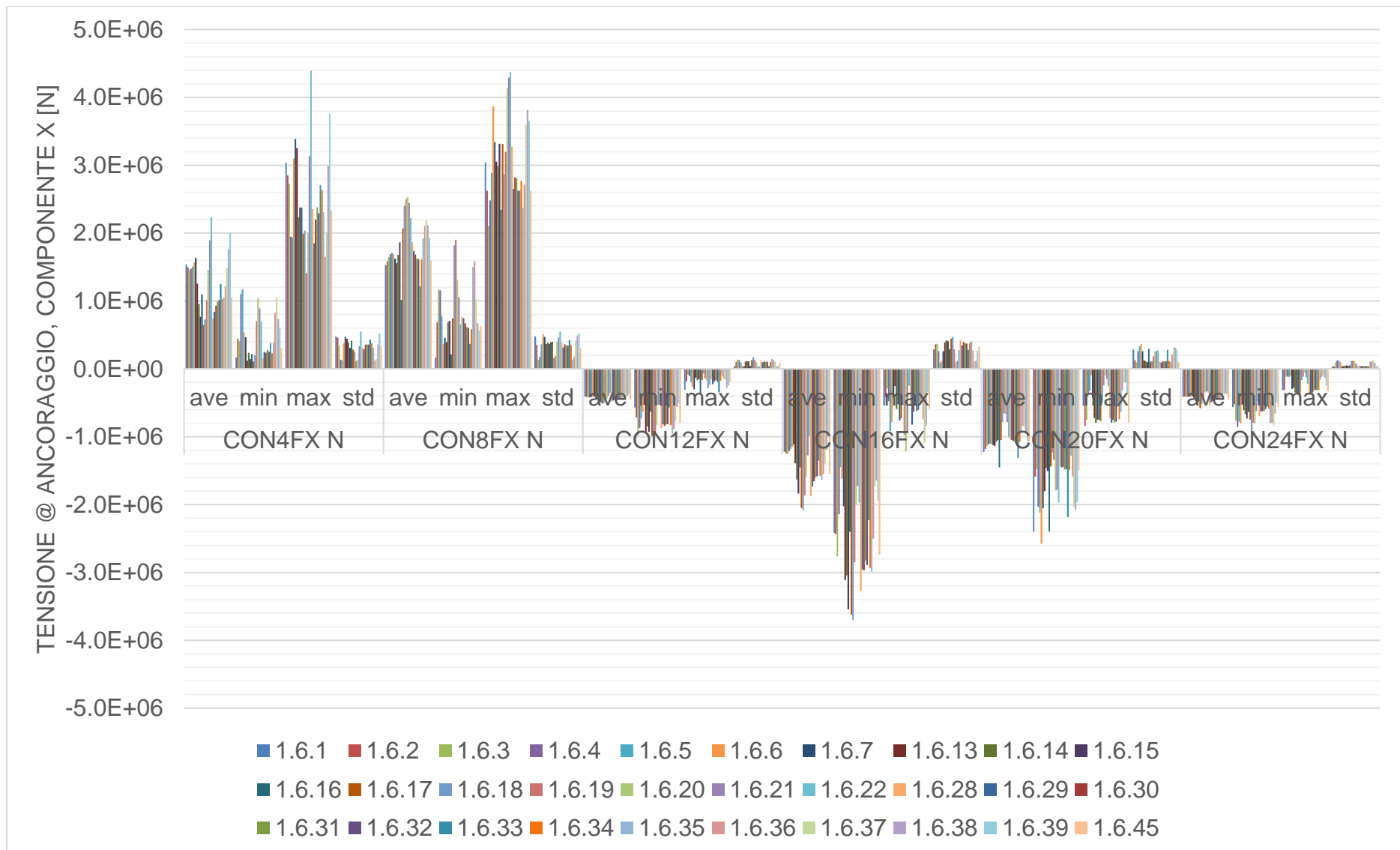


Figura 18: DLC1.6, tensione a livello dell'ancoraggio, **componente x** [N]: media, minima, massima, deviazione standard. **CONnFX**, con $n=4,8,12,16,20$, $n =$ tensione all'ancora della cima d'ormeggio 1,2,3,4,5,6.

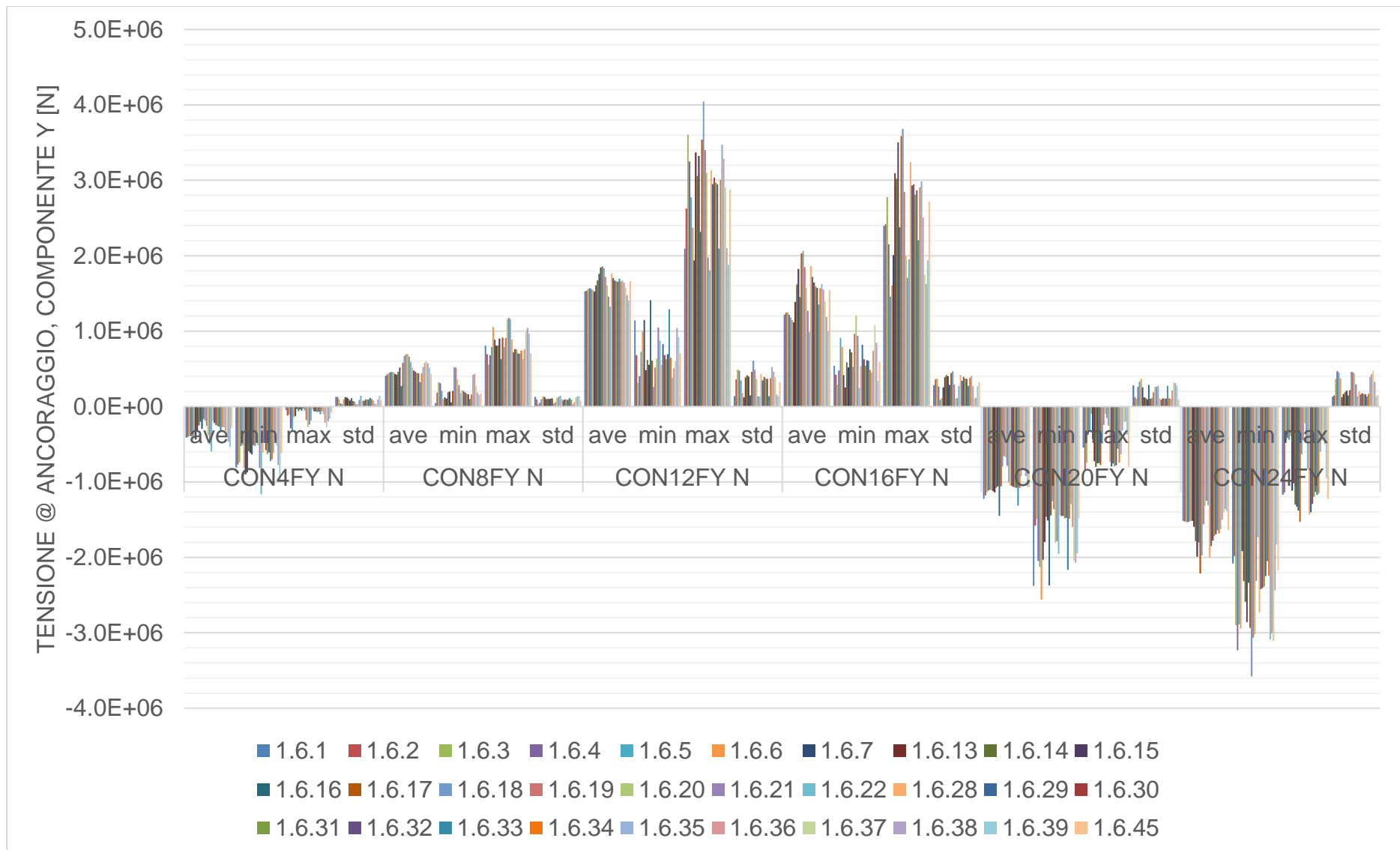


Figura 19: DLC1.6, tensione a livello dell'ancoraggio, **componente y** [N]: media, minima, massima, deviazione standard. **CONnFY**, con n=4,8,12,16,20 N = tensione all'ancora della cima di ormeggio 1,2,3,4,5,6.

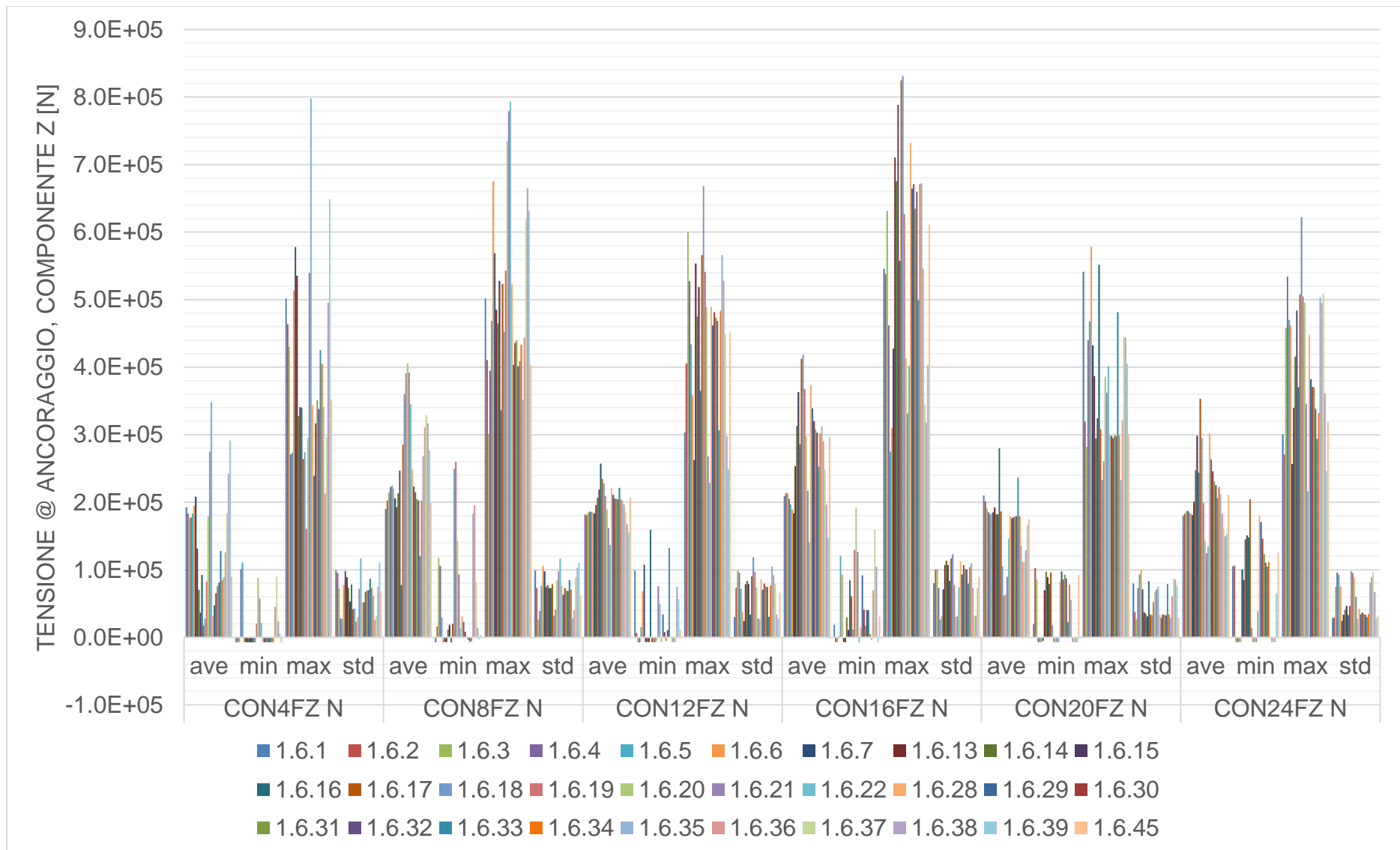


Figura 20: DLC1.6, tensione a livello dell'ancoraggio, **componente z** [N]: media, minima, massima, deviazione standard. **CONnFZ**, con $n=4,8,12,16,20$ N = tensione all'ancora della cima d'ormeggio 1,2,3,4,5,6.

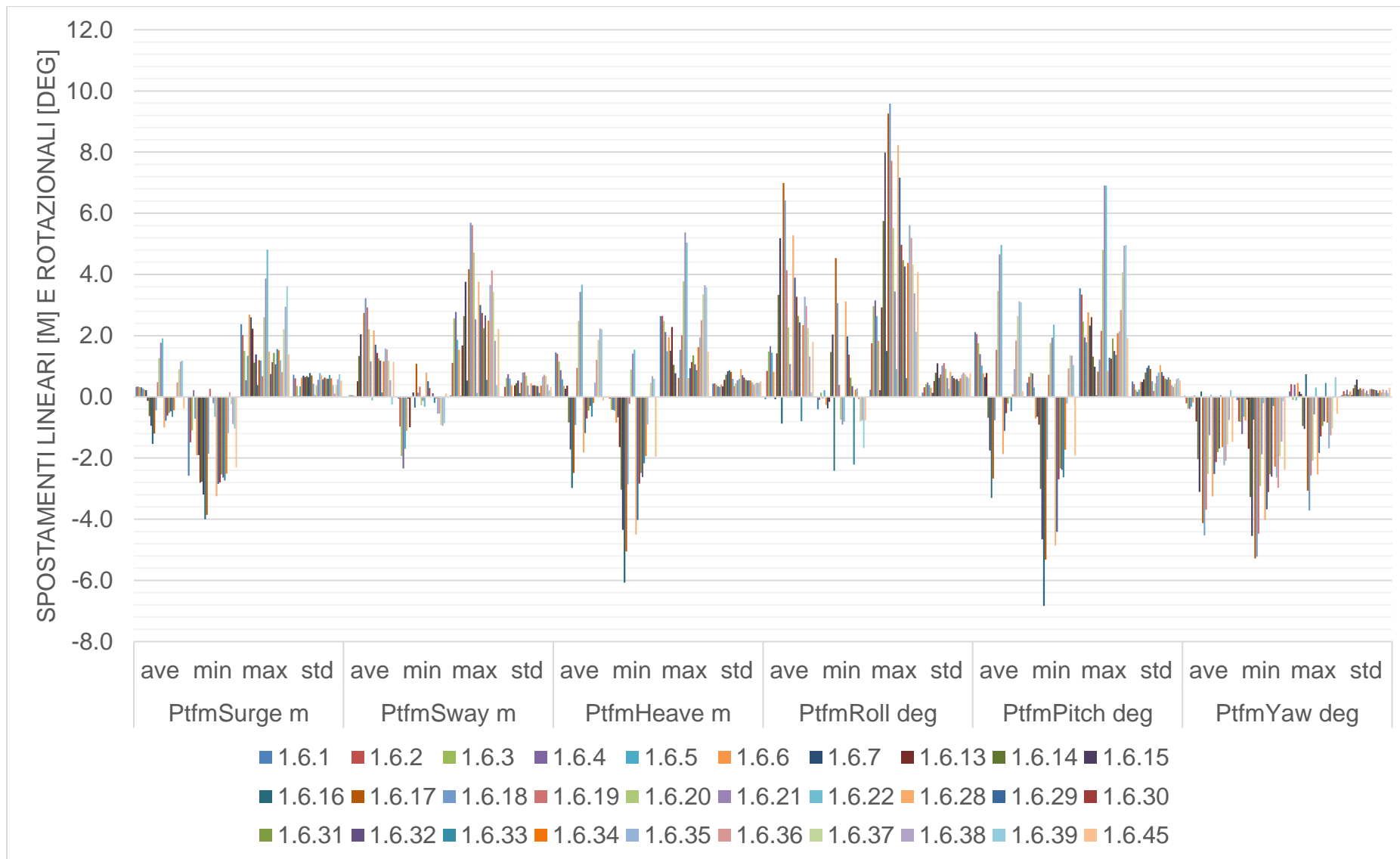


Figura 21: DLC1.6, spostamenti e rotazioni globali della piattaforma (nell'origine): media, minima, massima, deviazione standard. Ptfm = Piattaforma. La profondità dell'acqua è di 110 m.

8.3 DLC 6.1

A causa della simmetria della piattaforma, sono state studiate solo le simulazioni per le seguenti direzioni di vento/onde, come mostrato anche in Appendix A:

- Direzione del vento: per ogni direzione dell'onda, tre casi: direzione dell'onda -30 gradi, uguale alla direzione dell'onda, direzione dell'onda + 30 gradi;
- Direzione dell'onda: 0, 30, 60, 90, 120, 150, 180 gradi.

I risultati presentati sono le medie su tre realizzazioni (3 "seeds").

Qui vengono presentati, in formato grafico, solo i seguenti dati selezionati - per l'insieme completo dei valori numerici e dei grafici, si rimanda al foglio di calcolo "*_ParametricExcel_Summary_6_1_PtfmSym_3seeds_TABLE.xlsx*":

- Tensione al passacavo, in Newton [N] - Figura 22
- Tensione al passacavo, in percentuale della MBL [%] - Figura 23
- Tensione all'ancoraggio, in Newton [N] - Figura 24
- Tensione all'ancoraggio, componente orizzontale, in Newton [N] - Figura 25
- Tensione all'ancoraggio, componente x, in [N] - Figura 26
- Tensione all'ancoraggio, componente y, in [N] - Figura 27
- Tensione all'ancoraggio, componente z, in [N] - Figura 28
- Spostamenti lineari [m] e rotazionali [deg] - Figura 29

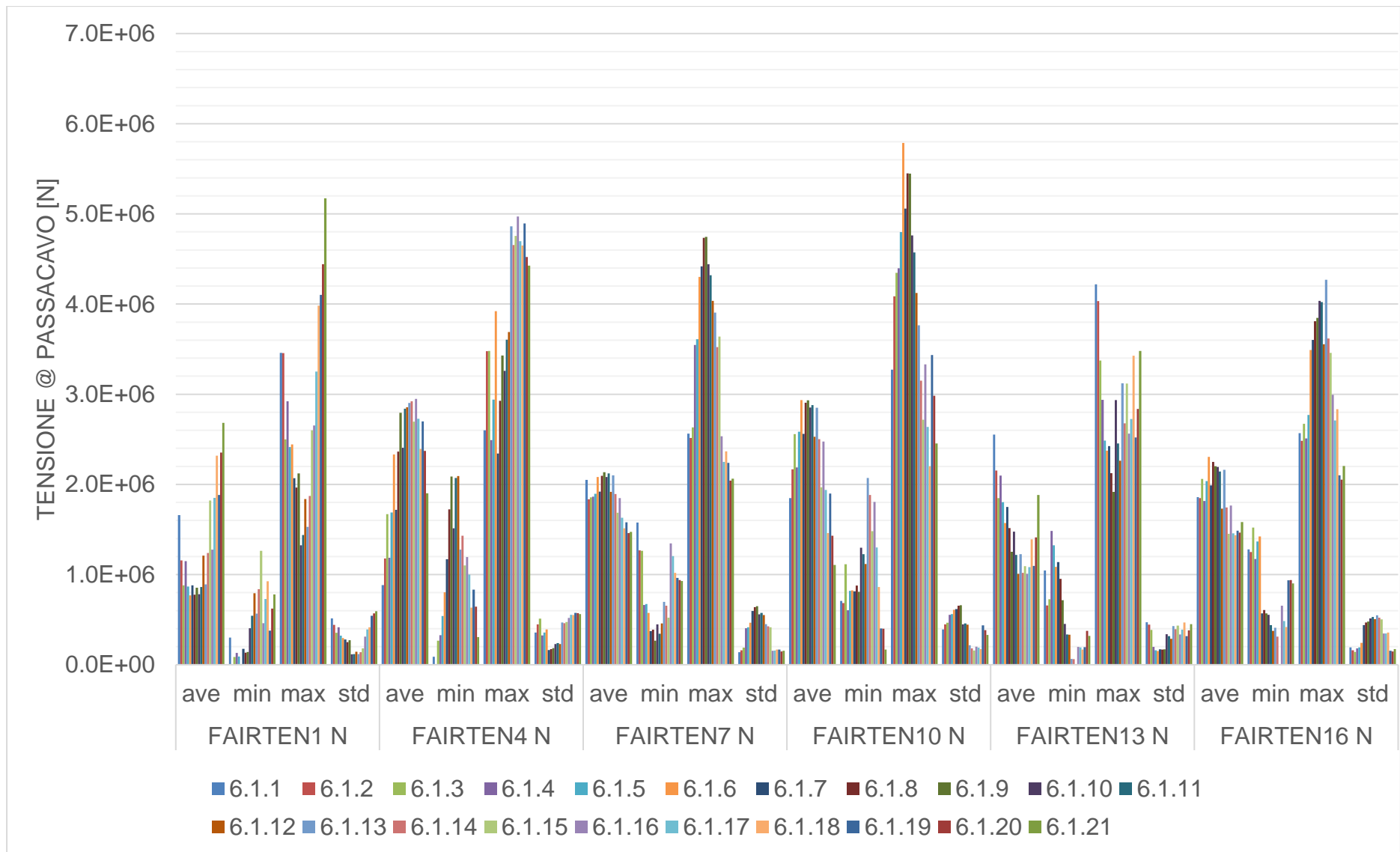


Figura 222: DLC6.1, tensione al passacavo [N]: media, minima, massima, deviazione standard. FAIRTEN1,4,7,10,13,16 N = Tensione nella linea 1,2,3,4,5,6

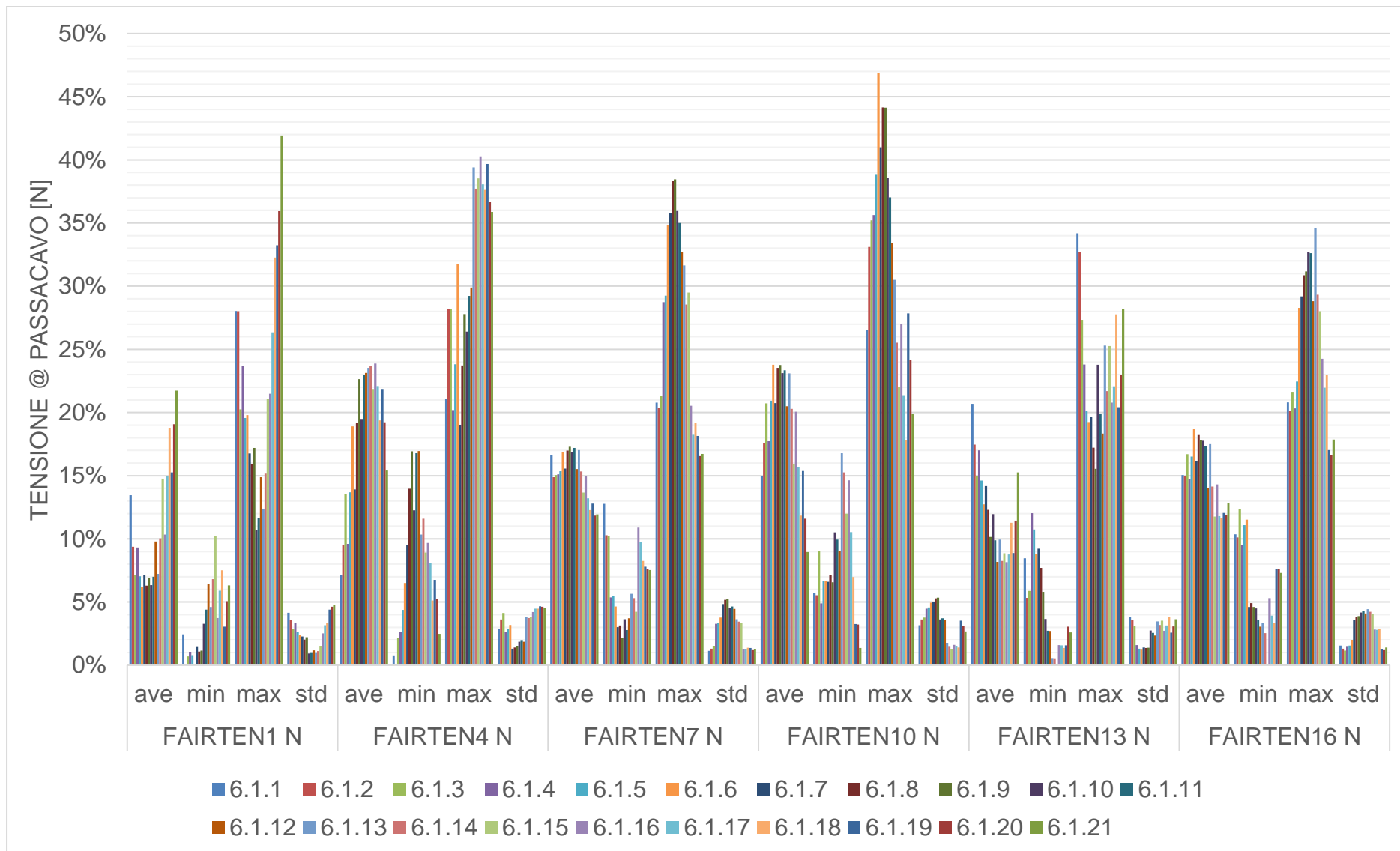


Figura 23: DLC6.1, tensione al passacavo come percentuale di MBL [%]: media, minima, massima, deviazione standard. FAIRTEN1,4,7,10,13,16 N = Tensione nella linea 1,2,3,4,5,6. MBL = 12340 kN

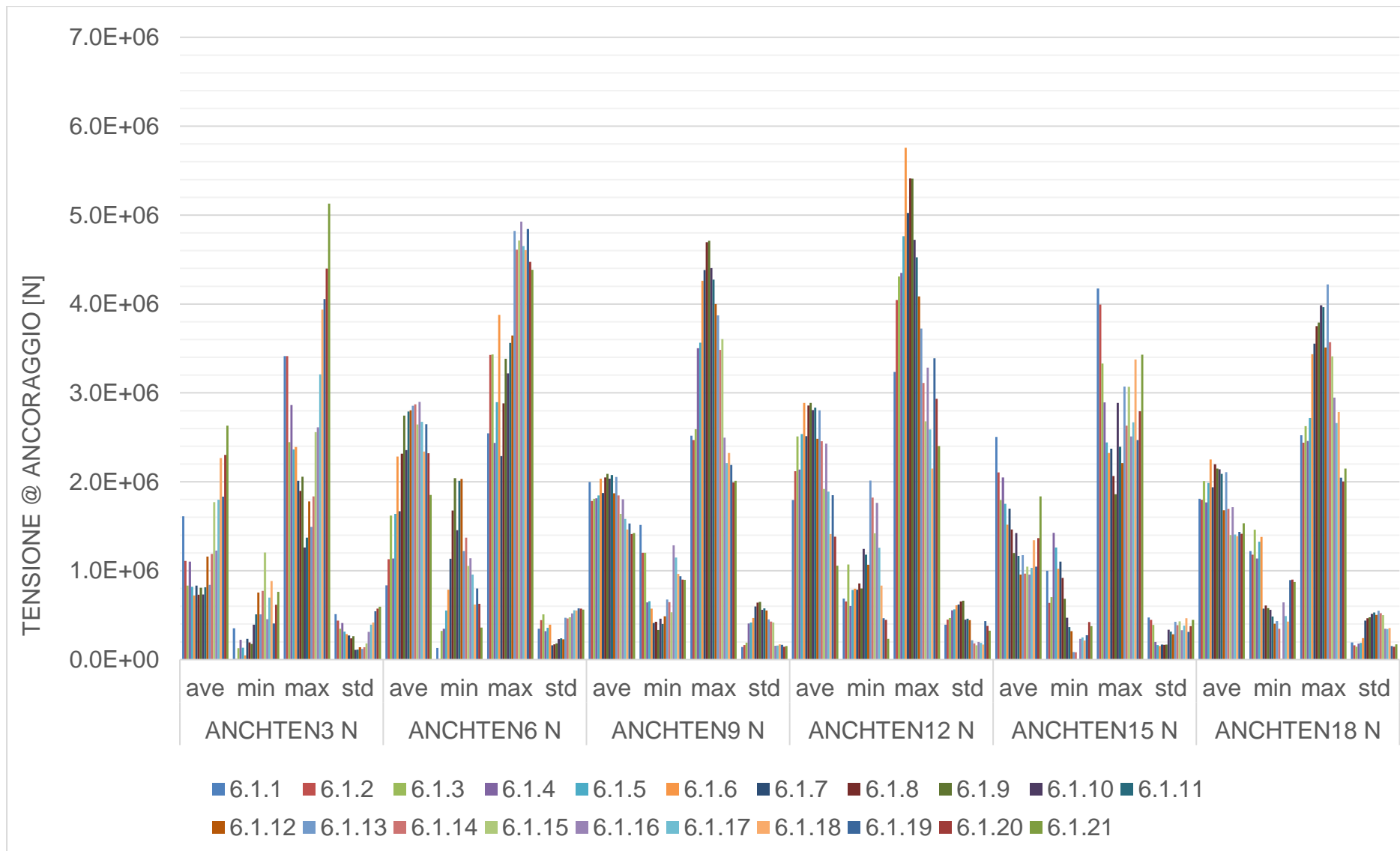


Figura 244: DLC6.1, tensione all'ancoraggio: media, minima, massima, deviazione standard. ANCHTEN3,6,9,12,15,18 N = Tensione all'ancoraggio 1,2,3,4,5,6.

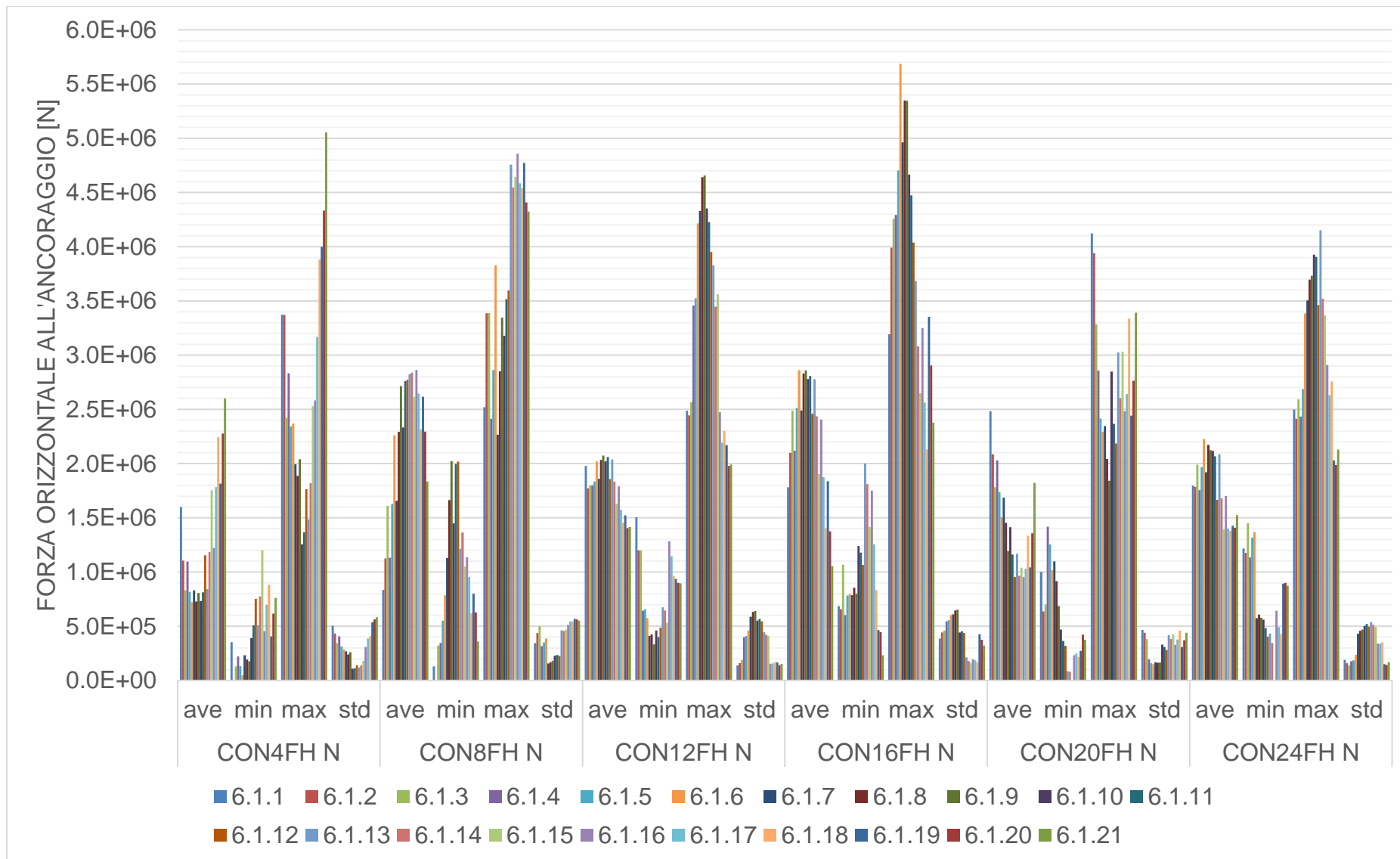


Figura 255: DLC6.1, tensione all'ancoraggio, **componente orizzontale**: media, minima, massima, deviazione standard. ANCHTEN3,6,9,12,15,18 N = Tensione all'ancoraggio 1,2,3,4,5,6.

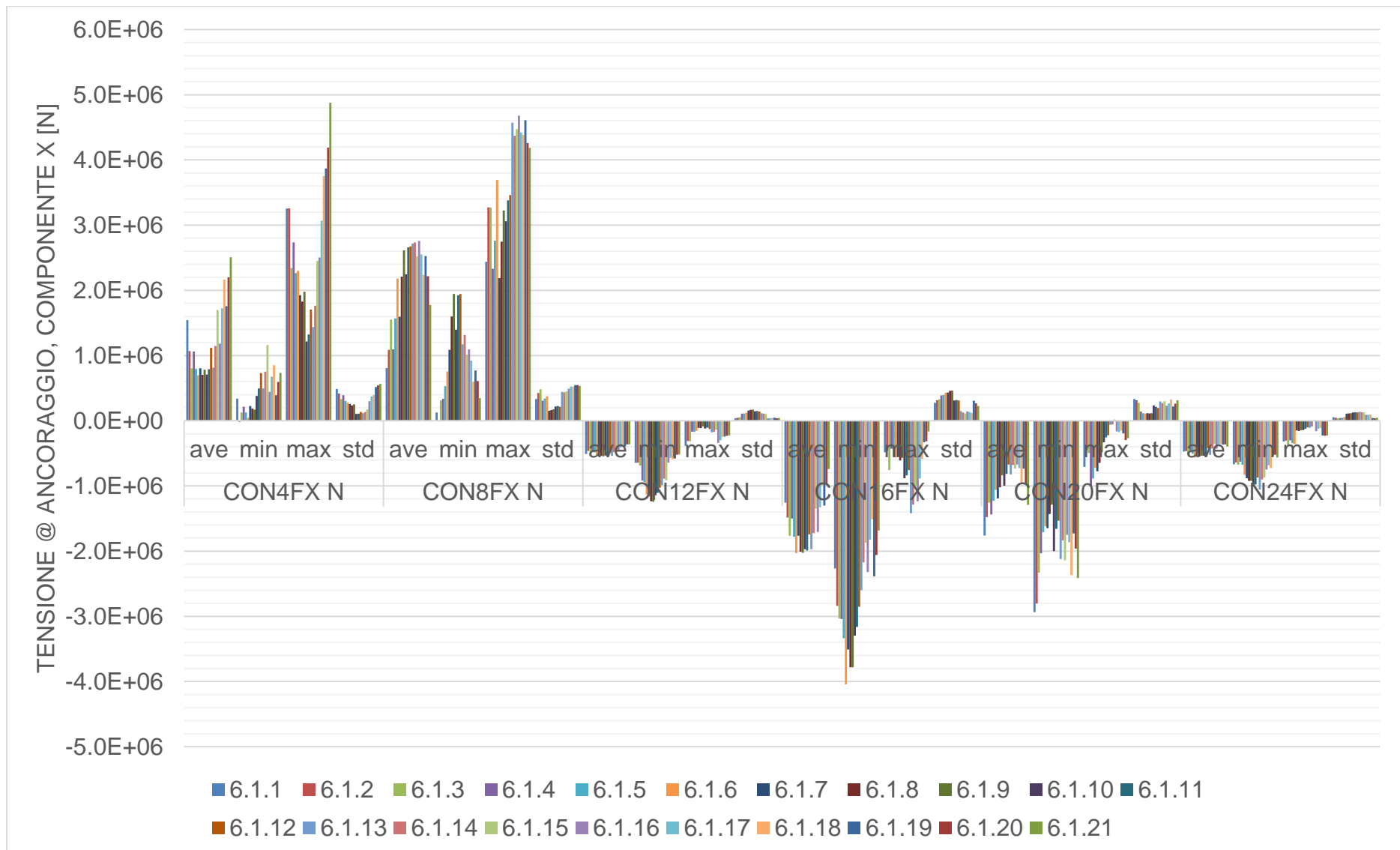


Figura 26: DLC6.1, tensione a livello dell'ancoraggio, **componente x** [N]: media, minima, massima, deviazione standard. **CONnFX**, con n=4,8,12,16,20, n = tensione all'ancora della cima d'ormeggio 1,2,3,4,5,6.

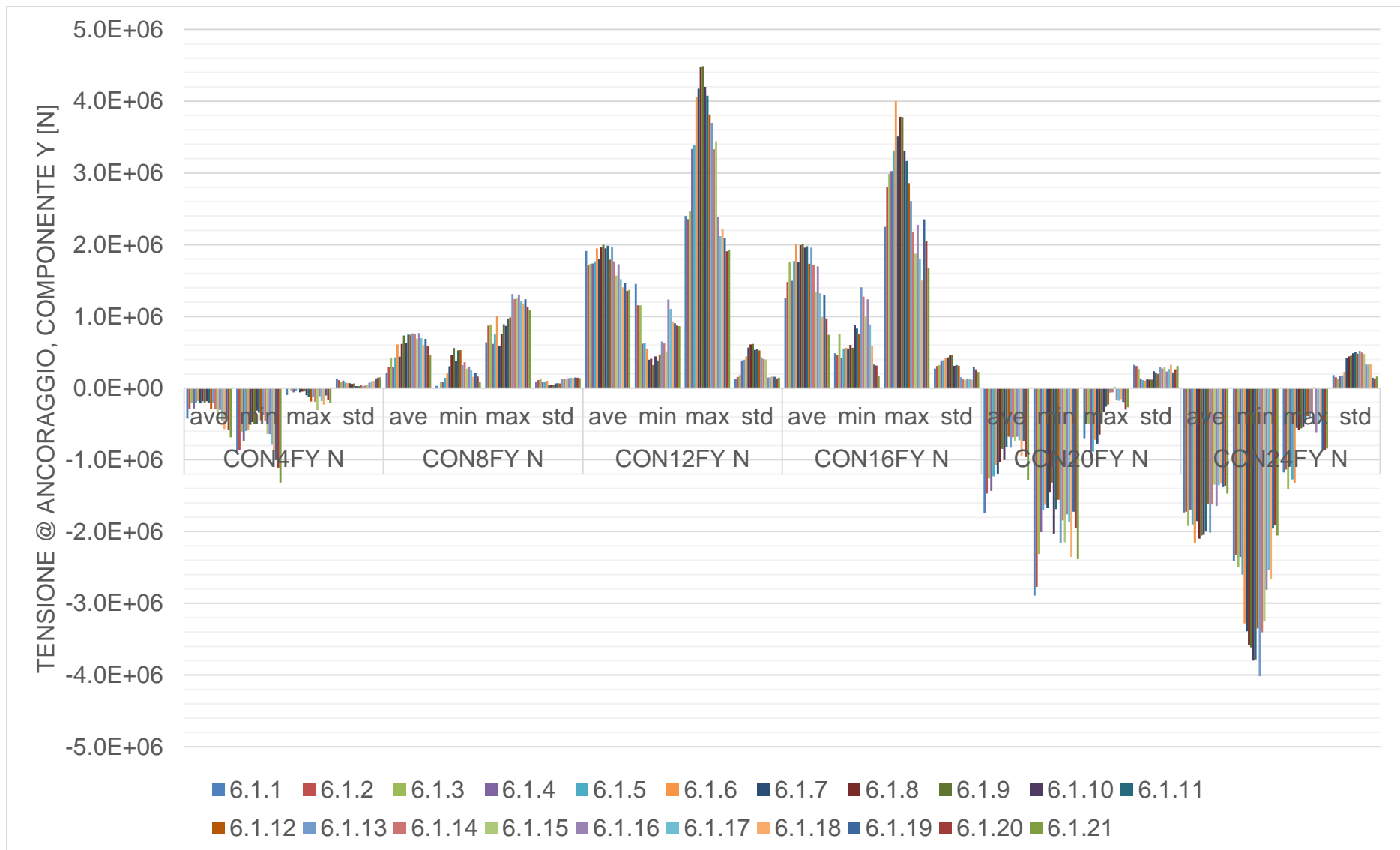


Figura 27: DLC6.1, tensione a livello dell'ancoraggio, **componente y** [N]: media, minima, massima, deviazione standard. **CONnFY**, con n=4,8,12,16,20 N = tensione all'ancora della cima di ormeggio 1,2,3,4,5,6.

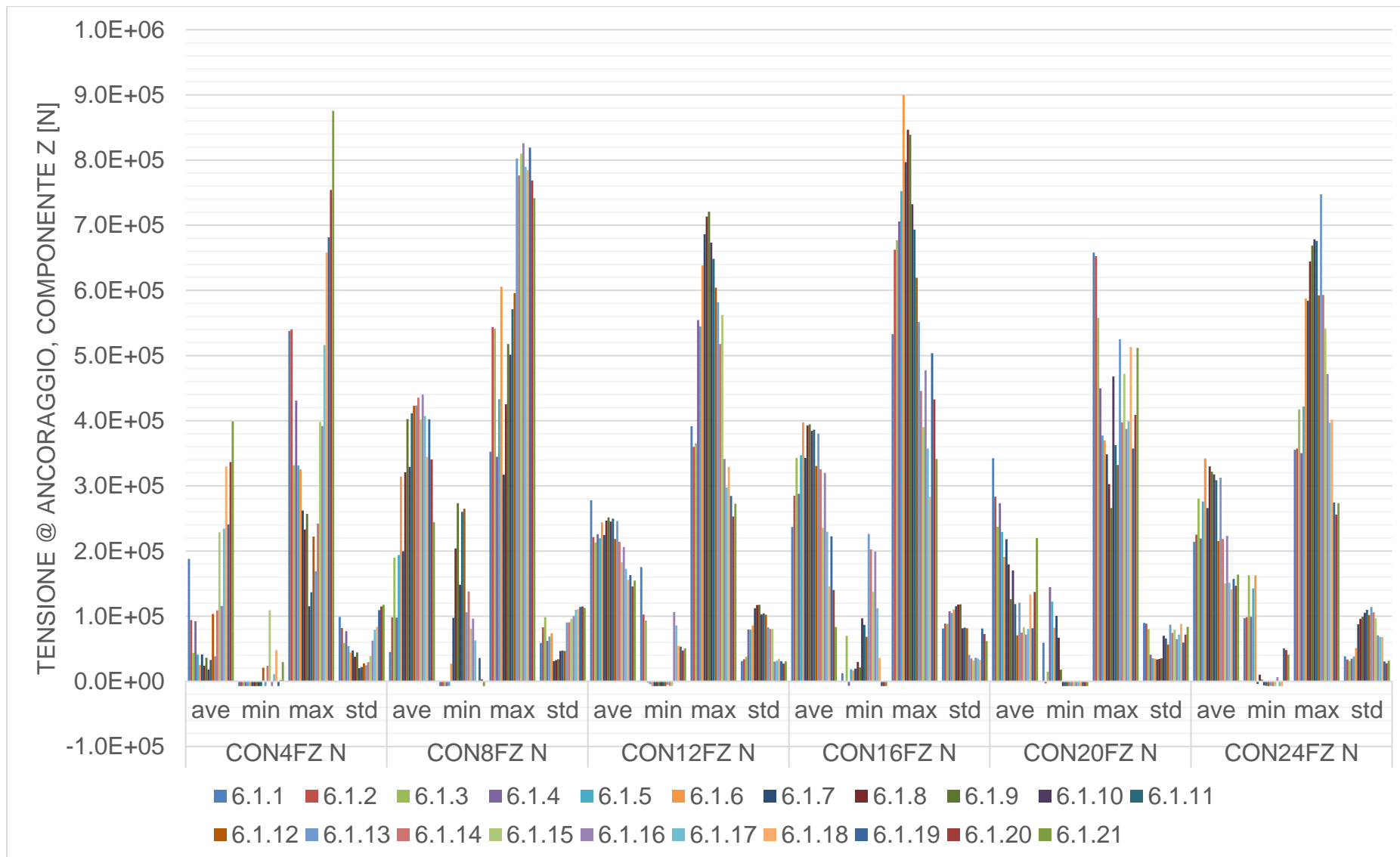


Figura 28: DLC6.1, tensione a livello dell'ancoraggio, **componente z** [N]: media, minima, massima, deviazione standard. **CONnFZ**, con n=4,8,12,16,20 N = tensione all'ancora della cima d'ormeggio 1,2,3,4,5,6.

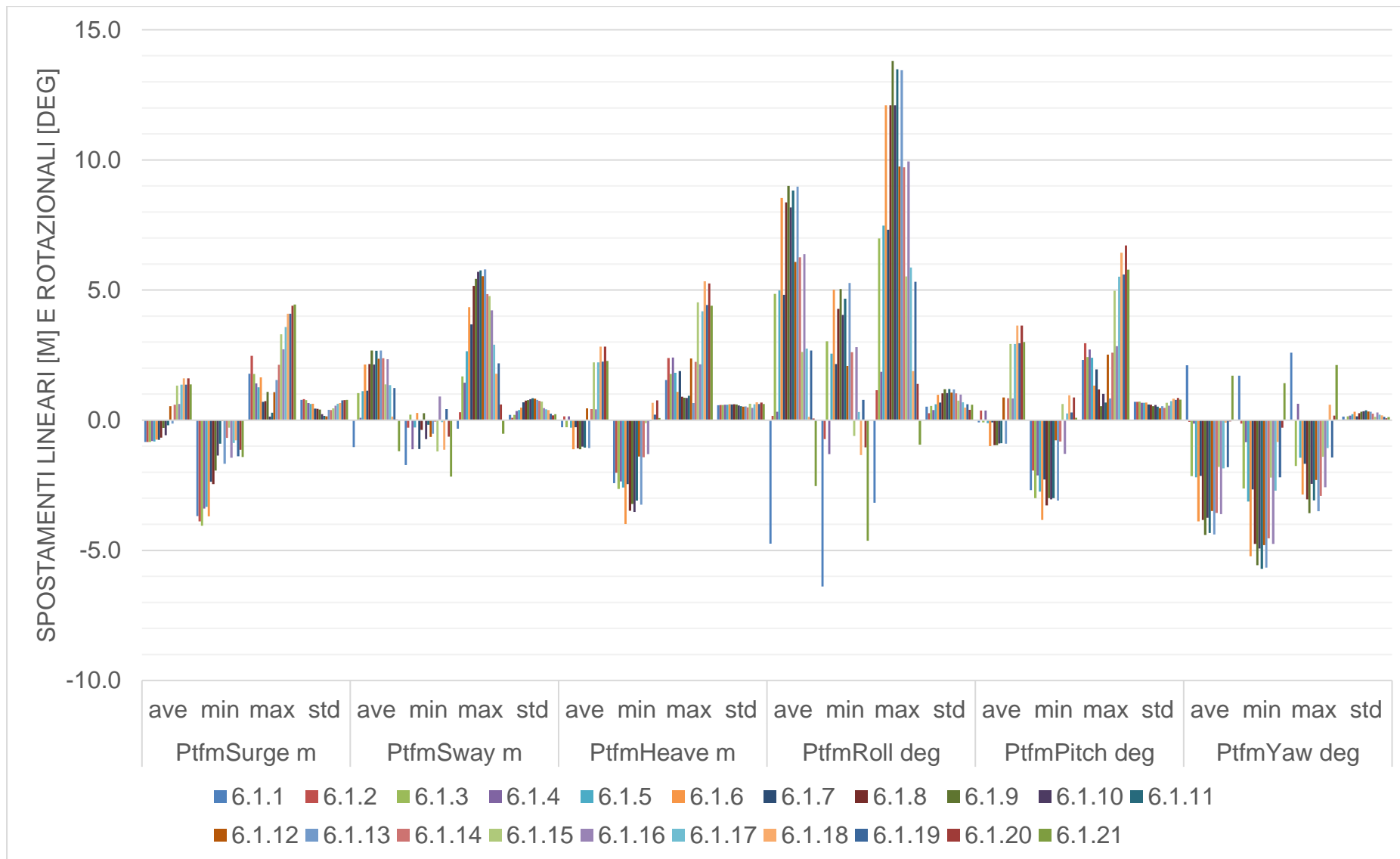


Figura 29: DLC6.1, spostamenti e rotazioni globali della piattaforma (nell'origine): media, minima, massima, deviazione standard. Ptfm = Piattaforma. La profondità dell'acqua è di 110 m.

9 Conclusioni

InterMoor Ltd³ ha commissionato all'Università di Strathclyde lo sviluppo di un modello numerico di analisi dinamica accoppiata aero-idro-servo-elastica ("aero-hydro-servo-elastic", AHSE) di una configurazione di turbina eolica flottante di tipo semisommersibile soggetta a condizioni meteomarine del sito descritto in (Collu e Gao, 2021), per supportare la progettazione di una soluzione di ormeggio e ancoraggio per questa piattaforma.

In (Collu e Gao, 2021) è stato proposto un sistema di ormeggio a catenaria, con cime di catena e ancore a trascinamento, ma sulla base di un'indagine geotecnica che ha avuto luogo dopo il progetto descritto in (Collu e Gao, 2021) è emerso che nella località prescelta il fondale non è compatibile con la soluzione proposta, a causa della presenza di strati rocciosi. Pertanto, InterMoor è stata incaricata da Hope Group di proporre una nuova soluzione di ormeggio, perfezionando l'analisi di primo livello condotta in (Collu e Gao, 2021) con il supporto dell'Università di Strathclyde.

L'Università di Strathclyde ha modificato il modello di dinamica accoppiata aero-idro-servo-elastica OpenFAST definito in (Collu e Gao, 2021), sostituendo il sistema di ormeggio originale a catenaria con il sistema di ormeggio "semi-taut" proposto da InterMoor Ltd.

Il nuovo sistema è stato testato in OpenFAST, effettuando 216 simulazioni, che rappresentano la situazione di progetto e le condizioni esterne dei DLC 1.4, 1.6 e 6.1 della IEC61400-3-2 (anche se parzialmente semplificate a causa della natura preliminare del progetto).

Si è concluso che il sistema di ormeggio "semi-taut" proposto da InterMoor sembra essere adatto alla piattaforma considerata, poiché la tensione massima della cima di ormeggio non supera il 45% del carico minimo di rottura (MBL, "Minimum Breaking Load") e lo spostamento massimo della piattaforma è entro il 10% della profondità dell'acqua.

Insieme alla presente relazione, vengono forniti i seguenti allegati, che riportano in forma numerica i dati presentati qui in forma grafica:

- *_ParametricExcel_Summary_1_4_PtfmSym_3seeds_TABLE.xlsx*
- *_ParametricExcel_Summary_1_6_PtfmSym_3seeds_TABLE.xlsx*
- *_ParametricExcel_Summary_6_1_PtfmSym_3seeds_TABLE.xlsx*

³Union Plaza (6° piano), 1 Union Wynd, Aberdeen, AB10 1DQ, registration SC167870

10 Riferimenti

Collu, M. e Gao, Y. (2021) *SELECTION AND FEASIBILITY ASSESSMENT OF AN OFFSHORE WIND TURBINE FLOATING SUBSTRUCTURE*. Glasgow.

Gaertner, E. e al. (2020) *IEA Wind TCP Task 37: Definition of the IEA 15 MW Offshore Reference Wind Turbine, Technical Report NREL/TP-5000-75698 March 2020*. Golden, CO (United States). Disponibile all'indirizzo: <https://doi.org/10.2172/1603478>.

IEAWindTask37/IEA-15-240-RWT: 15MW reference wind turbine repository developed in conjunction with IEA Wind (no date). Disponibile all'indirizzo: <https://github.com/IEAWindTask37/IEA-15-240-RWT> (Accesso: 11 marzo 2023).

IEC (2005) 'IEC 61400-1 Wind Turbines - Part 1: Design requirements', *International Standard*, pp. 1–92. Disponibile all'indirizzo: <https://doi.org/10.1055/s-2007-985912>.

IEC (2019a) *IEC 61400-3-1:2019 Wind energy generation systems Part 3-1: Design requirements for fixed offshore wind turbines*.

IEC (2019b) *IEC TS 61400-3-2:2019 Wind energy generation systems - Part 3-2: Design requirements for floating offshore wind turbines*. Disponibile all'indirizzo: <https://webstore.iec.ch/publication/29244>.

Muller, K. et al. (2016) *LIFES50+ D7.4 State-of-the-Art FOWT design practice and guidelines*.

Scientific Engineering Ltd (2022), *Relazione Meteomarina Parco eolico offshore 'Lupiae Maris' nel mare Adriatico meridionale (Brindisi)*.

Appendix A

No. di simulazioni	Condizione situazione	DLC	Sub-DLC	Vento				Onde				Correnti marine		Mare livello	Durata della simulazione (escluso il transitorio)
				ECD V_hub = V_r -2m/s, V_r, V_r+2m/s				NSS H_s = E[H_s V_hub]		MIS, cambio di direzione del vento		NCM		MSL	
				V_hub	TI	Alpha	Dir.	H_s	T_p	Gamma	Theta_wm	U_sur	Theta_c	eta	
[-]	[-]	[-]	[m/s]	[-]	[-]	[deg]	[m]	[s]	[-]	[deg]	[m/s]	[deg]	[m]	[s]	
63	Condizione di esercizio	1.4	1.4.1	8.59	N/D	0.14	0.85	5.63	4.466	0.090	Co-direzionale con le onde	0.00	10		
3														-180	180
3														-150	150
3														-120	120
3														-90	90
3														-60	60
3														-30	30
3														0	0
0														30	-30
0														60	-60
0														90	-90
0														120	-120
0			150	-150											
3			1.4.13	10.59	N/D	0.14	1.18	6.29	4.466	0.103	Co-direzionale con le onde	0.00	10		
3														-180	180
3														-150	150
3														-120	120
3														-90	90
3														-60	60
3														-30	30
3	0	0													
0	30	-30													

0			1.4.21			60					-60			
0			1.4.22			90					-90			
0			1.4.23			120					-120			
0			1.4.24			150					-150			
3			1.4.25	12.59	N/D	0.14	-180	1.56	6.88	4.466	180	0.116		
3			1.4.26				-150				150			
3			1.4.27				-120				120			
3			1.4.28				-90				90			
3			1.4.29				-60				60			
3			1.4.30				-30				30			
3			1.4.31				0				0		0.00	10
0			1.4.32				30				-30			
0			1.4.33				60				-60			
0			1.4.34				90				-90			
0			1.4.35				120				-120			
0			1.4.36				150				-150			

No. di simulazioni	Condizione situation	DLC	Sub-DLC	Vento				Onde				Correnti marine		Mare livello	Durata della simulazione (escluso il transitorio)
				NTM $V_{in} < V_{hub} < v_{out}$				SSS $H_s = H_{S,SSS}$			COD, UNI	NCM		NWLR	
				V_hub	TI	Alpha	Dir.	H_s	T_p	Gamma	Theta_wm	U_sur	Theta_c	eta	
[-]	[-]	[-]	[deg]	[m]	[s]	[-]	[deg]	[m/s]	[deg]	[m]	[s]				
90	Condizione di esercizio	1.6	1.6.1	3	0.366	0.14	6.31	10.84	4.466	Co-direzionale con il vento	0.054	Co-direzionale con le onde	0.182	600	
3			1.6.2												-180
3			1.6.3												-150
3			1.6.4												-120
3			1.6.5												-90
3			1.6.6												-60
3			1.6.7												-30
0			1.6.8												0
0			1.6.9												30
0			1.6.10												60
0			1.6.11												90
0			1.6.12												120
3			1.6.13	5	0.262						-150		0.067		
3			1.6.14	7	0.217						-150		0.080		
3			1.6.15	9	0.192						-150		0.093		
3			1.6.16	10.59	0.179						-180		0.103		
3			1.6.17								-150				
3			1.6.18								-120				
3			1.6.19								-90				
3			1.6.20								-60				
3			1.6.21								-30				
3			1.6.22								0				
0			1.6.23								30				
0			1.6.24	60											

0	1.6.25			90				
0	1.6.26			120				
0	1.6.27			150				
3	1.6.28	13	0.165	-150			0.119	
3	1.6.29	15	0.157	-150			0.132	
3	1.6.30	17	0.151	-150			0.145	
3	1.6.31	19	0.146	-150			0.158	
3	1.6.32	21	0.142	-150			0.171	
3	1.6.33	23	0.139	-180			0.184	
3	1.6.34							
3	1.6.35							
3	1.6.36							
3	1.6.37							
3	1.6.38							
3	1.6.39							
0	1.6.40							
0	1.6.41							
0	1.6.42							
0	1.6.43							
0	1.6.44							
3	1.6.45	25	0.136	-150			0.197	

No. di simulazioni	Condizione situation	DLC	Sub-DLC	Vento				Onde				Correnti marine		Mare livello	Durata della simulazione (escluso il transitorio)
				EWM Modello di vento turbolento $V_{hub} = V_{ref}$				ESS $H_s = H_{S,50}$		MIS, MUL	ECM $U = U_{50}$		EWLR		
				V_hub	TI	Alpha	Dir.	H_s	T_p	Gamma	Theta_wm	U_sur	Theta_c	eta	
[-]	[-]	[-]	[m/s]	[-]	[-]	[deg]	[m]	[s]	[-]	[deg]	[m/s]	[deg]	[m]	[s]	
63	Condizione di non-esercizio	6.1	6.1.1	50	0.11	0.11	-210	6.31	10.84	4.466	180	0.94	Co-direzionale con le onde	0.55	3600
3			6.1.2				-180				180				
3			6.1.3				-150				180				
3			6.1.4				-180				150				
3			6.1.5				-150				150				
3			6.1.6				-120				150				
3			6.1.7				-150				120				
3			6.1.8				-120				120				
3			6.1.9				-90				120				
3			6.1.10				-120				90				
3			6.1.11				-90				90				
3			6.1.12				-60				90				
3			6.1.13				-90				60				
3			6.1.14				-60				60				
3			6.1.15				-30				60				
3			6.1.16				-60				30				
3			6.1.17				-30				30				
3			6.1.18				0				30				
3			6.1.19				-30				0				
3			6.1.20				0				0				
3			6.1.21				30				0				
0			6.1.22				0				-30				
0			6.1.23				30				-30				
0			6.1.24				60				-30				

0	6.1.25	30	-60
0	6.1.26	60	-60
0	6.1.27	90	-60
0	6.1.28	60	-90
0	6.1.29	90	-90
0	6.1.30	120	-90
0	6.1.31	90	-120
0	6.1.32	120	-120
0	6.1.33	150	-120
0	6.1.34	120	-150
0	6.1.35	150	-150
0	6.1.36	180	-150