



RINA

FIAMMA 2000

TERMINAL DI ARDEA:
ANALISI PRELIMINARI DEL SISTEMA DI ORMEGGIO

DOC. N.: REP-18211-02

Client FIAMMA 2000 S.p.a.

Client ref. B. Camardella

Supplier RINA Services S.p.A
Via Corsica 12
16128 Genova

Supplier ref. Angelo. Lo Nigro
angelo.lonigro@rina.org
010.5385.883

Document Number REP-18211-03

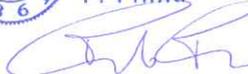
Protocol Number RSSE/ENKA/ROBLO/5380

REVISION SUMMARY

Date	Revision	Revision Description	Prepared	Checked	Approved
01/02/2011	0	Prima Revisione	V. Penzo	R. Longo	P. Pinna



RINA
P. Pinna



INDICE

1. SCOPO DEL DOCUMENTO
2. RIFERIMENTI
3. PREMESSE E DATI DI RIFERIMENTO
4. ANALISI IDRODINAMICHE
5. CONCLUSIONI
6. NOMENCLATURA
7. APPENDICE

1. SCOPO DEL DOCUMENTO

Il presente rapporto documenta i risultati dell'analisi preliminare del sistema d'ancoraggio e del cavo di ormeggio (hawser) relativi al terminale tipo CALM che la società Fiamma 2000 intende installare al largo della costa di Ardea (RM).

Il fondale d'installazione previsto per la boa è di 19 m a livello medio mare.

Per lo scarico a terra del combustibile (GPL) è previsto l'utilizzo di diverse tipologie di navi con dimensioni massime di 185 x 24 m (Cat. 1) e dimensioni minime di 90 x 15 m (Cat. 3).

Il sistema analizzato è costituito da una boa di tipo CALM, 6 linee di ancoraggio vincolate a fondomare, 1 cavo di ormeggio per la nave (hawser).

2. RIFERIMENTI

2.1 Normativa

Le analisi sono state effettuate secondo le prescrizioni contenute nelle seguenti Normative:

1. DNV Offshore Standard DNV-OS-E301 POSITION MOORING
2. DNV Offshore Standard DNV-OS-E403 OFFSHORE LOADING BUOYS
3. DNV Classification Notes 30.5 - ENVIRONMENTAL CONDITIONS AND ENVIRONMENTAL LOADS
4. OCIMF - Recommendations for Equipment Employed in the Mooring of Ships at Single Point Moorings
5. OCIMF - Prediction of Wind and Current loads on VLCCs
6. API - Recommended Practice 2SK

2.2 Documentazione

/D1/ Studio meteomarinario definitivo – Documento n. 400202-ARD-RIN-MM-r0, emesso da DEAM;

/D2/ Manuale d'uso programma Orcaflex - versione 9.3 - Orcina Ltd.

3. PREMESSE E DATI DI RIFERIMENTO

3.1 Generalità

Nei paragrafi seguenti vengono riportati i dati riferimento di base del sistema, utilizzati nelle analisi.

3.2 Ubicazione

Le coordinate del sito di installazione della boa sono:

- latitudine 41°33' 40.3" N
- longitudine 12°29' 8.64" E

Il fondale medio di riferimento è pari a 19 m.

3.3 CALM - Corpo boa

Il corpo della boa è costituito da una struttura cilindrica che supporta la tavola rotante, le linee di trasferimento del prodotto, le linee di ancoraggio al fondomare ed il cavo di ormeggio alla nave.

Le principali caratteristiche della boa sono:

massa:	80 Mg
diametro esterno corpo:	8 m
diametro interno corpo:	2.4 m
diametro skirt:	10.5 m
altezza corpo:	3.6 m
immersione:	1.9 m
dislocamento:	900 kN
zG:	1.9 m
GM:	1.5 m

3.4 Sistema di ancoraggio

E' costituito da 6 catene disposte in modo radiale, equispaziate di 60° una dall'altra.

Le caratteristiche delle catene per inizio e fine vita sono le seguenti, assumendo un rateo di corrosione pari a 0,3 mm/anno:

catene senza traversino tipo NV R3*catene nuove*

diametro nominale:	60 mm
carico di rottura:	3147 kN
peso lineare in aria:	0.703 kN/m
pretensione:	40 kN

catene usurate (termine vita operativa)

vita operativa assunta:	20 anni
diametro ridotto:	54 mm
carico di rottura:	2580 kN
peso lineare in aria:	0.569 kN/m
pretensione:	32 kN

lunghezza:	200 m
distanza centro boa-ancoraggio:	200 m

3.5 Sistema di ormeggio alla nave

La linea d'ormeggio fra la nave e la boa è costituita da un cavo elastico (hawser) e dai relativi componenti per la connessione alla nave e rispettivamente alla boa CALM.

Le caratteristiche della linea sono le seguenti:

cavo in nylon tipo superline braided

diametro nominale:	96 mm
circ.:	12"
carico di rottura:	2276 kN
SWL:	$2276 / 3 = 759$ kN
lunghezza:	40 m

3.6 Caratteristiche navi

Le navi adibite allo scarico del prodotto hanno le seguenti caratteristiche principali:

lunghezza (min – med - max): 90 – 120 - 185 m

larghezza (min – med - max): 15 – 18 - 24 m

Nei calcoli sono state simulate una nave con dimensioni minime (Cat. 3) e una di dimensioni massime (Cat. 1), aventi le seguenti caratteristiche principali:

nave Cat. 3

lunghezza: 90 m

larghezza: 15 m

pescaggio (max:): 6.5 m

dislocamento: 6,100 t

pescaggio intermedio: 4.2 m

dislocamento: 4,000 t

nave Cat. 1

lunghezza: 185 m

larghezza: 24 m

pescaggio (max): 10. m

dislocamento: 31,000 t

pescaggio intermedio: 6.5 m

dislocamento: 20,200 t

3.7 Dati meteorologici

I dati meteorologici assunti nelle analisi dinamiche, desunti da rif. /D1/, sono di seguito riportati per le condizioni estreme di sopravvivenza (periodo di ritorno 100 anni) ed operative, durante il trasferimento del prodotto.

<u>Fondale</u>	19 m
Condizione:	sopravvivenza
<u>Onda (100 anni)</u>	
Spettro:	Jonswap
fattore di picco:	3.3
Hs (m):	5.9
Tz (s):	8.9
Tp (s):	11.4
<u>Corrente (10 anni)</u>	
velocità sup (m/s):	0.68
<u>Vento (100 anni)</u>	
velocità a 10 m m.s.l. (m/s):	27.0 (1 ora)
<u>Marea (assunta)</u>	
ampiezza positiva (m):	1.0
ampiezza negativa (m):	-0.5
Condizione:	operativa
<u>Onda</u>	
Spettro:	Jonswap
fattore di picco:	3.3
Hs (m):	2.5
Tz (s):	6.0 - 7.0
Tp (s):	7.7 - 9.0
<u>Corrente</u>	
velocità sup (m/s):	0.42
<u>Vento</u>	
velocità a 10 m m.s.l. (m/s):	16.5

4. ANALISI IDRODINAMICHE

4.1 Generalità

Nel seguente capitolo viene presentato lo studio idrodinamico del sistema ormeggiato.

Esso comprende le seguenti analisi:

- analisi in condizioni di sopravvivenza con boa libera;
- analisi in condizioni massime operative con presenza della nave di scarico connessa alla boa.

Nel seguito viene descritta la procedura adottata per le analisi dinamiche, comprendente il programma di calcolo, i dati utilizzati, la modellazione del sistema, i criteri di verifica, i casi esaminati ed i risultati ottenuti.

4.2 Programma di calcolo

Per l'analisi idrodinamica nelle varie condizioni, si è utilizzato il programma di calcolo Orcaflex che analizza sistemi marini complessi nel dominio del tempo.

Per una descrizione dettagliata delle caratteristiche e capacità del programma, si rimanda a rif. /D2/.

4.3 Procedura

La procedura completa per lo studio del sistema comprende i seguenti step principali:

- valutazione coefficienti idrodinamici sul corpo boa;
- valutazione forze d'onda, coefficienti idrodinamici, forze di drift e coefficienti di vento e corrente sulla nave;
- analisi dinamica del sistema (boa singola - boa + nave) nel dominio del tempo;
- derivazione parametri di interesse (tensione dei vari componenti);
- valutazione dei valori massimi;
- verifica dei valori massimi.

4.3.1 Forze idrodinamiche e coefficienti

Boa

Per la valutazione dei coefficienti idrodinamici (massa aggiunta e damping potenziale per i diversi periodi dell'onda incidente) sulla boa, sono stati utilizzati dati disponibili di calcoli a diffrazione per una boa di identiche dimensioni.

Nave

Per la valutazione delle forze d'onda, dei coefficienti idrodinamici e delle forze di drift sulla nave alle varie immersioni, sono stati utilizzati dati disponibili per navi similari, scalati opportunamente sulle dimensioni delle navi oggetto delle presenti simulazioni.

Per la valutazione dei coefficienti di vento e corrente alle varie immersioni sono stati utilizzati i dati desunti dal rapporto OCIMF (rif. /5/).

4.3.2 Analisi dinamica

Il comportamento dinamico del sistema è stato analizzato utilizzando il programma di calcolo Orcaflex che risolve la dinamica del sistema nel dominio del tempo e fornisce in uscita le serie temporali dei parametri di interesse ed i valori statistici principali (valore minimo, medio, massimo, deviazione standard del segnale).

La durata delle simulazioni è di 1 ora in condizioni di sopravvivenza (presenza di sola alta frequenza) e di 3 ore in condizioni operative (presenza di alta + bassa frequenza).

4.4 Modellazione del sistema

Nel seguito viene data una sintetica descrizione della modellazione dei diversi elementi relativamente al codice di calcolo utilizzato per le analisi dinamiche (Orcaflex).

Nel modello sono inclusi il corpo boa ed i relativi ancoraggi, la nave con la sua linea d'ormeggio.

4.4.1 Corpo boa

E' simulato mediante un corpo galleggiante cilindrico a 6 g.l.. Vengono definite la geometria (diametro esterno ed interno, altezza), massa ed inerzie rotazionali, coefficienti di massa aggiunta, damping potenziale e drag.

Le caratteristiche della boa simulate fanno riferimento ai dati riportati al punto 3.3.

4.4.2 Nave

E' simulata mediante un corpo galleggiante a 6 g.l..

Vengono definite le caratteristiche di massa ed inerziali, le caratteristiche idrostatiche, i coefficienti idrodinamici di massa aggiunta e damping potenziale, le forze d'onda del primo ordine (o i Rao's dei moti) ed i coefficienti medi di drift, i coefficienti di drag direzionali di corrente e vento, per le varie immersioni considerate.

Le caratteristiche della nave simulate fanno riferimento ai dati riportati al punto 3.6, per le condizioni di immersione specificate.

4.4.3 Linee d'ancoraggio

Vengono simulate mediante linee aventi geometria, massa lineare e peso in acqua opportuni, rigidità assiale, coefficienti di massa aggiunta e drag, pretensione iniziale, vincoli di estremità.

Le caratteristiche delle linee simulate fanno riferimento ai dati riportati al punto 3.4.

4.4.4 Cavo di ormeggio

E' simulato come molla non lineare avente opportuna curva tensione - lunghezza, in funzione delle caratteristiche reali del cavo in esame, massa nulla.

Le caratteristiche del cavo simulato fanno riferimento ai dati riportati al punto 3.5.

Nel calcolo si è tenuto conto della presenza alle estremità degli spezzoni di catena, simulando una lunghezza complessiva di 46 m.

Le caratteristiche lunghezza - tensione schematizzate sono:

Lunghezza (m)	Tensione (kN)
46	0
49.6	227
51.2	455
52	682
52.6	910
53.2	1138

4.5 Criteri di verifica

Il calcolo dei valori massimi delle varie grandezze è stato eseguito sulla base delle formulazioni ed indicazioni riportate nella normativa DNV-OS-E301, Ch.2 sec.2 - B.

Il valore calcolato è il massimo più probabile (eccedenza del 63%), per una durata di esposizione alla tempesta di 3 ore, estrapolato sulla distribuzione dei massimi con curva di Weibull.

La verifica dei carichi massimi su linee d'ancoraggio e cavo d'ormeggio è stata fatta sulla base dei coefficienti di sicurezza ed in accordo ai criteri riportati nella normativa DNV-OS-E301, Ch.2 Sec.2 - D (rif. /1/).

La verifica dei carichi massimi sul sistema d'ancoraggio è stata fatta sulla base dei coefficienti di sicurezza ed in accordo ai criteri riportati nella normativa API (rif. /6/).

Verifica linee d'ancoraggio

In funzione degli stati limite da verificare e della "consequence class", i fattori di sicurezza applicati alle forze degli ancoraggi sono riportati nelle tabelle D1 e D2 della normativa sopra citata. In particolare, per i vari casi contemplati, sono indicati i seguenti coefficienti di sicurezza:

Consequence Class 1 (applicabili a situazioni di boa libera)

ULS (condizioni intatte):

- Partial Safety factor on mean tension = 1.1
- Partial Safety factor on dynamic tension = 1.5

ALS (condizioni danneggiate):

- Partial Safety factor on mean tension = 1.0
- Partial Safety factor on dynamic tension = 1.1

Consequence Class 2 (applicabili a situazioni con tanker ormeggiata)

ULS (condizioni intatte):

- Partial Safety factor on mean tension = 1.4
- Partial Safety factor on dynamic tension = 2.1

ALS (condizioni danneggiate):

- Partial Safety factor on mean tension = 1.0
- Partial Safety factor on dynamic tension = 1.25

La verifica è stata eseguita rispetto ad un carico di rottura pari al 95% del carico di rottura nominale.

Verifica sistema d'ancoraggio

La Normativa API al cap. 7.4 prescrive, per un'analisi dinamica di un sistema d'ormeggio di tipo permanente, i seguenti coefficienti di sicurezza per ancoraggi costituiti da ancore, nella condizione intatta e rispettivamente danneggiata:

- cond. intatta: 1.5
- cond. danneggiata: 1.0

Verifica cavo d'ormeggio

Per la verifica della linea d'ormeggio si assume un coefficiente complessivo pari a 3 (rispetto al carico di rottura nominale), che include già la riduzione dovuta alle terminazioni di estremità ed alla condizione "wet" del cavo.

4.6 Casi analizzati

4.6.1 Generalità

Nel seguente capitolo vengono riassunti i diversi casi analizzati rispettivamente per le seguenti condizioni, comprendente una serie preliminari di calcoli:

- casi preliminari (condizione di sopravvivenza, con boa libera);
- casi finali - condizione di sopravvivenza (con boa libera);
- casi finali - condizione massima operativa (con nave ormeggiata).

4.6.2 Analisi preliminari

In fase preliminare è stata fatta un'analisi di sensitività del sistema con boa libera con riferimento al diametro $d = 54$ mm ed ormeggio intatto, variando i seguenti parametri:

- inizializzazione fasi del mare (seed);
- pretensione iniziale delle linee d'ancoraggio;
- periodo del mare;
- presenza di marea.

Per quanto riguarda il valore di pretensione iniziale sono stati esaminati 2 valori pari a 24 kN e rispettivamente 32 kN.

Per quanto concerne il periodo del mare sono stati esaminati 2 valori aggiuntivi pari a

$T_z = 8,9 \pm 0,5$ sec.

Terminal di Ardea: analisi preliminari del sistema di ormeggio

La tab.1 riassume i casi propedeutici esaminati.

CASO	seed	pret (kN)	marea	fondale (m)	Hs (m)	Tz (s)
1p	1	32	no	19	5,9	8,9
2p	2	32	no	19	5,9	8,9
3p	-	24	no	19	5,9	8,9
4p	-	32	si	20	5,9	8,9
5p	-	32	si	18,5	5,9	8,9
6p	-	32	no	19	5,9	8,4
7p	-	32	no	19	5,9	9,4

Tab. 1 - Cond. sopravvivenza - $d = 54$ mm - Casi propedeutici esaminati

Dalle analisi eseguite si può notare quanto segue (vedi risultati al punto 4.7.2, tab. 8):

- la diversa inizializzazione delle fasi del mare (seed) non incide sul risultato dell'analisi in alta frequenza;
- il valore più alto di pretensione tende a fornire valori massimi di tensione inferiori;
- un periodo del mare più basso tende a fornire valori massimi di tensione superiori;
- una marea negativa (bassa marea) tende a fornire valori massimi di tensione superiori (assimilabile ad un valore di pretensione più basso).

Sulla base dei risultati dell'analisi preliminare si è assunto un valore di pretensione delle linee d'ancoraggio pari a 32 kN e completate le analisi del sistema d'ancoraggio per il diametro $d = 54$ mm e $d = 60$ mm per le condizioni specificate al punto seguente (ormeggio intatto e danneggiato, diverse direzioni degli agenti meteorologici rispetto alla giacitura delle linee).

4.6.3 Condizione di sopravvivenza

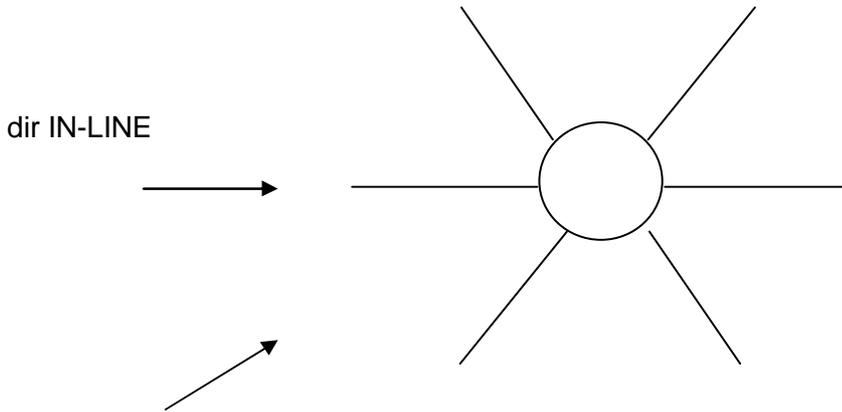
In condizioni di sopravvivenza è stato analizzato il sistema d'ancoraggio con catena nuova ($d = 60$ mm - inizio vita operativa) ed usurata ($d = 54$ mm - fine vita operativa).

Sono stati esaminati diversi casi, in condizioni "IN-LINE" (allineamento delle condizioni meteo ad una linea di ancoraggio) e con condizioni "IN-BETWEEN" (direzione delle condizioni meteo lungo la bisettrice di 2 linee, vedi fig. 1).

Sono state esaminate condizioni con sistema d'ancoraggio intatto e danneggiato.

Per le condizioni danneggiate sono state considerate varie combinazioni fra direzione degli agenti meteo e linea considerata rotta, secondo quanto riportato nelle fig. 2 - 3 - 4.

Per tutti i casi sono stati assunti agenti meteo collineari.



dir IN BETWEEN

Fig. 1 - Condizione intatta

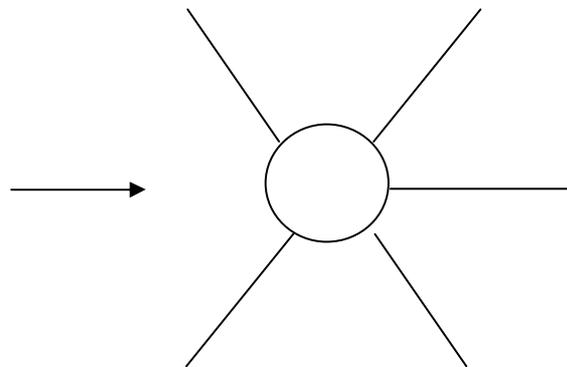


Fig. 2 - Condizione danneggiata - "IN-LINE-a"

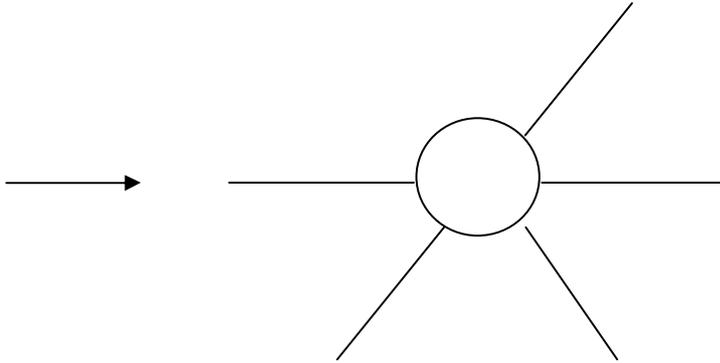
Terminal di Ardea: analisi preliminari del sistema di ormeggio


Fig. 3 - Condizione danneggiata - "IN-LINE-b"

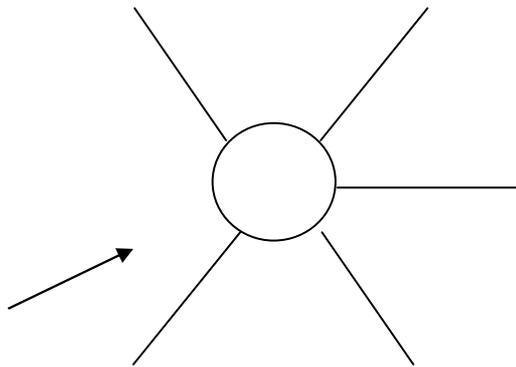


Fig. 4 - Condizione danneggiata - "IN-BETWEEN"

In tab. 2 sono riportati i vari casi esaminati per ormeggio con catena usurata ($d = 54$ mm), mentre in tab. 3 sono riassunti i vari casi esaminati per ormeggio con catena nuova ($d = 60$ mm).

CASO	ormeggio	dir	pret (kN)	Hs (m)	Tz (s)
1	INTATTO	IN-LINE	32	5,9	8,9
2	INTATTO	IN-BET	32	5,9	8,9
3	DANN	IN-LINE-a	32	5,9	8,9
4	DANN	IN-LINE-b	32	5,9	8,9
5	DANN	IN-BET	32	5,9	8,9

 Tab. 2 - Cond. sopravvivenza - $d = 54$ mm - Casi finali esaminati

CASO	ormeggio	dir	pret (kN)	Hs (m)	Tz (s)
6	INTATTO	IN-LINE	40	5,9	8,9
7	INTATTO	IN-BET	40	5,9	8,9
8	DANN	IN-LINE-b	40	5,9	8,9
9	DANN	IN-BET	40	5,9	8,9

Tab. 3 - Cond. sopravvivenza - d = 60 mm - Casi finali esaminati

4.6.4 Condizione operativa

In condizioni operative è stato analizzato il sistema d'ancoraggio con catena usurata (d = 54 mm - fine vita operativa) e nuova (d = 60 mm - inizio vita operativa).

Sono state considerate condizioni con sistema d'ancoraggio intatto e danneggiato e 2 diverse immersioni delle navi all'ormeggio.

E' stata analizzata la condizione d'onda massima operativa ipotizzata (punto 3.7) e 2 combinazioni di allineamento degli agenti meteo (allineate e disallineate). E' stato considerato il periodo dell'onda più conservativo (vedi risultati al punto 4.7.3, tab. 11, casi 1 e 1a).

Per le condizioni allineate è stata analizzata la condizione più sfavorevole ("IN-LINE").

Nelle condizioni disallineate si è adottata la seguente combinazione fra le direzioni di onda, vento e corrente (fig. 5), secondo le indicazioni delle Norme DNV (direzione dell'onda ("IN-LINE")):

- onda: dir. 0°
- vento: dir 30°
- corrente: dir 45°

Per le condizioni danneggiate con agenti meteo disallineati è stata analizzata la condizione con direzione dell'onda "IN-BETWEEN" (fig. 6).

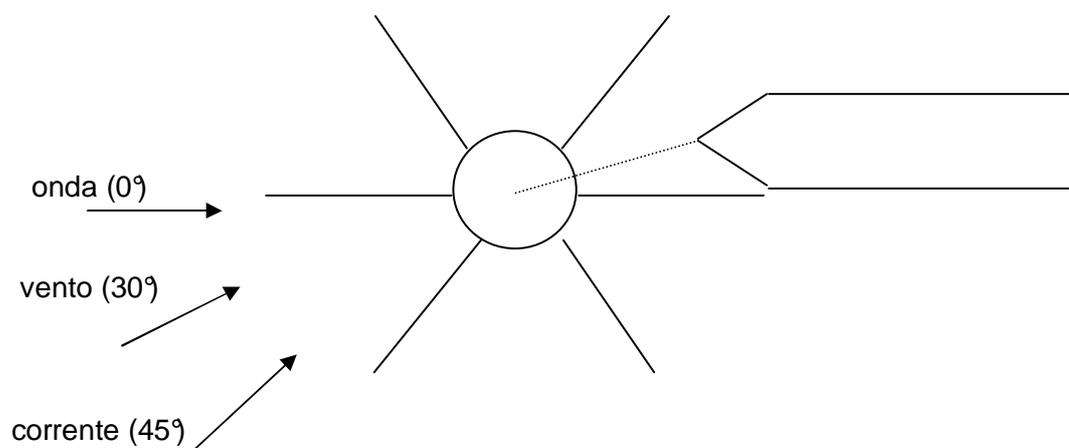


Fig. 5 - Agenti meteo disallineati - Direzione agenti meteo

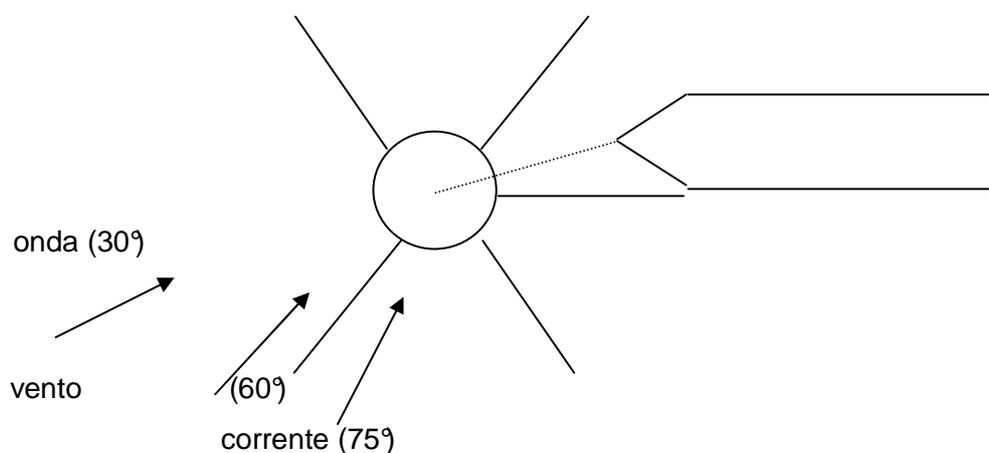


Fig. 6 - Condizione ormeggio danneggiato - Agenti meteo disallineati

In tab. 4 sono riportati i vari casi esaminati per ormeggio con catena usurata ($d = 54 \text{ mm}$) ed ormeggio intatto, mentre in tab. 5 sono riassunti i vari casi esaminati per ormeggio danneggiato. In tab. 6 sono riportati i vari casi esaminati per ormeggio con catena nuova ($d = 60 \text{ mm}$) ed ormeggio intatto, mentre in tab. 7 sono riassunti i vari casi esaminati per ormeggio danneggiato.

caso	orm	cond	nave	imm	pret	Hs	Tz	vw	vc
				(m)	(kN)	(m)	(s)	(m/s)	(m/s)
1	INTATTO	all	Cat. 3	6,5	32	2,5	6	16,5	0,42
1a	INTATTO	all	Cat. 3	6,5	32	2,5	7	16,5	0,42
2	INTATTO	dis	Cat. 3	6,5	32	2,5	6	16,5	0,42
3	INTATTO	all	Cat. 3	4,2	32	2,5	6	16,5	0,42
4	INTATTO	dis	Cat. 3	4,2	32	2,5	6	16,5	0,42
5	INTATTO	all	Cat. 1	10	32	2,5	6	16,5	0,42
6	INTATTO	dis	Cat. 1	10	32	2,5	6	16,5	0,42
7	INTATTO	all	Cat. 1	6,5	32	2,5	6	16,5	0,42
8	INTATTO	dis	Cat. 1	6,5	32	2,5	6	16,5	0,42

Tab. 4 - Cond. operativa - d = 54 mm - Ormeggio intatto - Casi esaminati

caso	orm	cond	nave	imm	pret	Hs	Tz	vw	vc
				(m)	(kN)	(m)	(s)	(m/s)	(m/s)
9	DANN	all	Cat. 3	6,5	32	2,5	6	16,5	0,42
10	DANN	dis	Cat. 3	6,5	32	2,5	6	16,5	0,42
11	DANN	all	Cat. 1	10	32	2,5	6	16,5	0,42
12	DANN	dis	Cat. 1	10	32	2,5	6	16,5	0,42
13	DANN	all	Cat. 1	6,5	32	2,5	6	16,5	0,42
14	DANN	dis	Cat. 1	6,5	32	2,5	6	16,5	0,42

Tab. 5 - Cond. operativa - d = 54 mm - Ormeggio danneggiato - Casi esaminati

caso	orm	cond	nave	imm	pret	Hs	Tz	vw	vc
				(m)	(kN)	(m)	(s)	(m/s)	(m/s)
15	INTATTO	all	Cat. 3	6,5	40	2,5	6	16,5	0,42
16	INTATTO	all	Cat. 3	4,2	40	2,5	6	16,5	0,42
17	INTATTO	all	Cat. 1	10	40	2,5	6	16,5	0,42
18	INTATTO	dis	Cat. 1	6,5	40	2,5	6	16,5	0,42

Tab. 6 - Cond. operativa - d = 60 mm - Ormeggio intatto - Casi esaminati

caso	orm	cond	nave	imm	pret	Hs	Tz	vw	vc
				(m)	(kN)	(m)	(s)	(m/s)	(m/s)
19	DANN	all	Cat. 3	6,5	40	2,5	6	16,5	0,42
20	DANN	all	Cat. 1	10	40	2,5	6	16,5	0,42
21	DANN	dis	Cat. 1	6,5	40	2,5	6	16,5	0,42

Tab. 7 - Cond. operativa - d = 60 mm - Ormeggio danneggiato - Casi esaminati

4.7 Risultati

4.7.1 Analisi preliminari

In tab. 8 sono riportati i risultati principali relativi alle diverse condizioni esaminate nella fase di studio preliminare.

In particolare sono riportati i seguenti parametri (le tensioni sono riferite alla linea d'ancoraggio più caricata ed alla sezione più sollecitata):

Tmed: tensione media linea d'ancoraggio

Tdin: tensione massima dinamica

Tmax: Tmed + Tdin

CASO	seed	pret (kN)	marea	Tz (s)	Tmed (kN)	Tdin (kN)	Tmax (kN)
1p	1	32	no	8,9	35	1480	1515
2p	2	32	no	8,9	35	1485	1520
3p	-	24	no	8,9	25	1535	1560
4p	-	32	si	8,9	40	1425	1465
5p	-	32	si	8,9	30	1535	1565
6p	-	32	no	8,4	35	1580	1615
7p	-	32	no	9,4	35	1295	1330

Tab. 8 - Cond. sopravvivenza - d = 54 mm - Risultati

4.7.2 Condizione di sopravvivenza

In tab. 9 - 10 sono riportati i risultati principali relativi alle diverse condizioni esaminate per la condizione di sopravvivenza, rispettivamente per catena usurata e nuova.

In particolare sono riportati i seguenti parametri (le tensioni sono riferite alla linea d'ancoraggio più caricata ed alla sezione più sollecitata):

Tmed: tensione media linea d'ancoraggio

Tdin: tensione massima dinamica

Tmax: Tmed + Tdin

CASO	ormeggio	dir	Tmed (kN)	Tdin (kN)	Tmax (kN)
1	INTATTO	IN-LINE	35	1485	1520
2	INTATTO	IN-BET	35	940	975
3	DANN	IN-LINE-a	45	1430	1475
4	DANN	IN-LINE-b	45	1555	1600
5	DANN	IN-BET	45	1545	1590

Tab. 9 - Cond. sopravvivenza - d = 54 mm - Risultati

CASO	ormeggio	dir	Tmed (kN)	Tdin (kN)	Tmax (kN)
6	INTATTO	IN-LINE	40	1600	1640
7	INTATTO	IN-BET	40	1000	1040
8	DANN	IN-LINE-b	52	1618	1670
9	DANN	IN-BET	52	1598	1650

Tab. 10 - Cond. sopravvivenza - d = 60 mm - Risultati

4.7.3 Condizione operativa

In tab. 11 - 14 sono riportati i risultati principali relativi alle diverse condizioni esaminate per le condizioni operative.

In particolare sono riportati i seguenti parametri (le tensioni sono riferite alla linea d'ancoraggio più caricata):

Tmed: tensione media linea d'ancoraggio o cavo d'ormeggio

Tdin: tensione massima dinamica linea d'ancoraggio o cavo d'ormeggio

Tmax: Tmed + Tdin

CASO	ormeggio	cond	ancoraggio			cavo di ormeggio		
			Tmed (kN)	Tdin (kN)	Tmax (kN)	Tmed (kN)	Tdin (kN)	Tmax (kN)
1	INTATTO	all	83	1002	1085	58	262	320
1a	INTATTO	all	78	646	724	56	154	210
2	INTATTO	dis	76	869	945	55	230	285
3	INTATTO	all	83	907	990	58	224	282
4	INTATTO	dis	73	827	900	56	209	265
5	INTATTO	all	132	869	1001	121	354	475
6	INTATTO	dis	100	792	892	120	375	495
7	INTATTO	all	133	792	925	123	417	540
8	INTATTO	dis	106	904	1010	123	487	610

Tab. 11 - Cond. operativa - Ormeggio intatto - d = 54 mm - Risultati

CASO	ormeggio	cond	ancoraggio			cavo di ormeggio		
			Tmed (kN)	Tdin (kN)	Tmax (kN)	Tmed (kN)	Tdin (kN)	Tmax (kN)
9	DANN	all	118	816	934	58	201	259
10	DANN	dis	109	811	920	55	195	250
11	DANN	all	185	805	990	121	339	460
12	DANN	dis	161	739	900	102	373	475
13	DANN	all	187	859	1046	124	364	488
14	DANN	dis	167	913	1080	123	482	605

Tab. 12 - Cond. operativa - Ormeggio danneggiato - d = 54 mm - Risultati

CASO	ormeggio	cond	ancoraggio			cavo di ormeggio		
			Tmed (kN)	Tdin (kN)	Tmax (kN)	Tmed (kN)	Tdin (kN)	Tmax (kN)
15	INTATTO	all	89	1116	1205	58	252	310
16	INTATTO	all	89	916	1005	58	222	280
17	INTATTO	all	135	880	1015	121	354	475
18	INTATTO	all	112	913	1025	123	516	639

Tab. 13 - Cond. operativa - Ormeggio intatto - d = 60 mm - Risultati

CASO	ormeggio	cond	ancoraggio			cavo di ormeggio		
			Tmed (kN)	Tdin (kN)	Tmax (kN)	Tmed (kN)	Tdin (kN)	Tmax (kN)
19	DANN	all	125	865	990	58	218	276
20	DANN	all	191	849	1040	121	349	470
21	DANN	all	174	908	1082	123	467	590

Tab. 14 - Cond. operativa - Ormeggio danneggiato - d = 60 mm - Risultati

4.7.4 Verifiche. Carichi di progetto

Sulla base dei risultati ottenuti ed applicando i coefficienti di sicurezza riportati al punto 4.5, sono state verificate le linee d'ancoraggio, il cavo d'ormeggio e valutati i carichi da applicare al sistema d'ancoraggio nelle varie condizioni.

LINEE DI ANCORAGGIO

In tab. 15 è riportato per ciascun caso in condizioni di sopravvivenza, il minimo carico di rottura (MCR) richiesto per ormeggio con catena usurata ($d = 54$ mm), condizioni intatte e danneggiate.

In tab. 16 è riportato per ciascun caso in condizioni di sopravvivenza, il minimo carico di rottura (MCR) richiesto per ormeggio con catena nuova ($d = 60$ mm), condizioni intatte e danneggiate.

In tab. 17 - 18 sono riportati per ciascun caso in condizioni operative, il minimo carico di rottura (MCR) richiesto per ormeggio con catena usurata ($d = 54$ mm) in condizioni intatte e rispettivamente danneggiate.

In tab. 19 - 20 sono riportati per ciascun caso in condizioni operative, il minimo carico di rottura (MCR) richiesto per ormeggio con catena nuova ($d = 60$ mm) in condizioni intatte e rispettivamente danneggiate.

CASO	ormeggio	dir	MCR (kN)
1	INTATTO	IN-LINE	2385
2	INTATTO	IN-BET	1525
3	DANN	IN-LINE-a	1703
4	DANN	IN-LINE-b	1848
5	DANN	IN-BET	1836

Tab. 15 - Sopravvivenza - $d = 54$ mm - MCR

CASO	ormeggio	dir	MCR (kN)
6	INTATTO	IN-LINE	2573
7	INTATTO	IN-BET	1625
8	DANN	IN-LINE-b	1928
9	DANN	IN-BET	1905

Tab. 16 - Sopravvivenza - $d = 60$ mm - MCR

CASO	ormeggio	dir	MCR
			(kN)
1	INTATTO	all	2346
2	INTATTO	dis	2041
3	INTATTO	all	2136
4	INTATTO	dis	1943
5	INTATTO	all	2129
6	INTATTO	dis	1909
7	INTATTO	all	1961
8	INTATTO	dis	2166

Tab. 17 - Cond. operativa - d = 54 mm - ormeggio intatto - MCR

CASO	ormeggio	dir	MCR
			(kN)
9	DANN	all	1198
10	DANN	dis	1182
11	DANN	all	1254
12	DANN	dis	1142
13	DANN	all	1327
14	DANN	dis	1377

Tab. 18 - Cond. operativa - d = 54 mm - ormeggio danneggiato - MCR

CASO	ormeggio	dir	MCR
			(kN)
15	INTATTO	all	2607
16	INTATTO	all	2165
17	INTATTO	all	2158
18	INTATTO	all	2195

Tab. 19 - Cond. operativa - d = 60 mm - ormeggio intatto - MCR

CASO	ormeggio	dir	MCR
			(kN)
19	DANN	all	1270
20	DANN	all	1318
21	DANN	all	1378

Tab. 20 - Cond. operativa - d = 60 mm - ormeggio danneggiato - MCR

CAVO DI ORMEGGIO

In tab. 21 è riportato per ciascun caso in condizioni operative, il minimo carico di rottura (MCR) richiesto per il cavo d'ormeggio (hawser).

CASO	ormeggio	dir	MCR (kN)
1	INTATTO	all	960
2	INTATTO	dis	855
3	INTATTO	all	846
4	INTATTO	dis	795
5	INTATTO	all	1425
6	INTATTO	dis	1485
7	INTATTO	all	1620
8	INTATTO	dis	1830
9	DANN	all	777
10	DANN	dis	750
11	DANN	all	1380
12	DANN	dis	1425
13	DANN	all	1464
14	DANN	dis	1815
15	INTATTO	all	930
16	INTATTO	all	840
17	INTATTO	all	1425
18	INTATTO	all	1917
19	DANN	all	828
20	DANN	all	1410
21	DANN	all	1770

Tab. 21 - Cond. operativa - MCR cavo d'ormeggio danneggiato

SISTEMA DI ANCORAGGIO A FONDO MARE

Per valutare i carichi massimi sul sistema d'ancoraggio (C-ANC), pari al massimo tiro sull'ancora moltiplicato per il fattore di sicurezza relativo a condizione intatta o danneggiata, è stata considerata la condizione più conservativa rappresentata dalla verifica in sopravvivenza dell'ormeggio. I risultati sono riportati in tab. 22 - 23.

CASO	ormeggio	dir	C-ANC (kN)
1	INTATTO	IN-LINE	2280
2	INTATTO	IN-BET	1463
3	DANN	IN-LINE-a	1475
4	DANN	IN-LINE-b	1600
5	DANN	IN-BET	1590

Tab. 22 - Carico su sistema d'ancoraggio - d = 54 mm

CASO	ormeggio	dir	C-ANC (kN)
6	INTATTO	IN-LINE	2460
7	INTATTO	IN-BET	1560
8	DANN	IN-LINE-b	1670
9	DANN	IN-BET	1650

Tab. 23 - Carico su sistema d'ancoraggio - d = 60 mm

Nel seguito si riportano le verifiche ottenute relativamente ai casi più conservativi di ciascuna condizione esaminata.

LINEE DI ANCORAGGIO

linea usurata (d = 54 mm)

carico di rottura = 2580 kN

COND. SOPRAVVIVENZA

	INTATTO	DANNEGGIATO
tiro massimo:	1520 kN	1600 kN
MCR richiesto:	2385 kN	1848 kN

COND. OPERATIVA

	INTATTO	DANNEGGIATO
tiro massimo:	1085 kN	1080 kN
MCR richiesto:	2346 kN	1377 kN

linea nuova (d = 60 mm)

carico di rottura = 3147 kN

COND. SOPRAVVIVENZA

	INTATTO	DANNEGGIATO
tiro massimo:	1640 kN	1670 kN
MCR richiesto:	2573 kN	1928 kN

COND. OPERATIVA

	INTATTO	DANNEGGIATO
tiro massimo:	1205 kN	1082 kN
MCR richiesto:	2607 kN	1378 kN

CAVO D'ORMEGGIO

tiro massimo = 639 kN

MCR richiesto = $3 \times 639 = 1917 \text{ kN} < 2276 \text{ kN}$ **SISTEMA DI ANCORAGGIO A FONDO MARE****COND. SOPRAVVIVENZA**

	INTATTO	DANNEGGIATO
carico massimo:	2460 kN	1670 kN

4.7.5 Sistema di ancoraggio a fondo mare

Sulla base del massimo carico valutato sul sistema d'ancoraggio al paragrafo precedente, ipotizzando di utilizzare un'ancora di tipo Stevpris, (adatta a sostenere anche una componente di tiro verticale), si possono definire le caratteristiche di massima dell'ancora.

Ipotizzando un'efficienza minima pari a 33, un'ancora del peso di 8 t garantisce una capacità pari a :

$UHC = 8 * 33 = 264 \text{ tonn} = 2590 \text{ kN} > 2460 \text{ kN}$

4.7.6 Considerazioni finali

Il sistema di ancoraggio della boa CALM è stato analizzato in condizioni di sopravvivenza e massime operative in presenza della nave adibita allo scarico.

In base ai risultati ottenuti si possono fare le seguenti considerazioni:

- il sistema di ancoraggio ed il cavo di ormeggio soddisfano i limiti di sicurezza in tutti i casi esaminati;
- per quanto riguarda la verifica delle catene, le condizioni più critiche sono riferite alle condizioni di fine vita ($d = 54 \text{ mm}$) in condizioni di sopravvivenza e massime operative con linee intatte;
- il massimo tiro sul cavo di ormeggio si verifica in presenza della nave di taglia maggiore (Cat. 1);
- Il massimo carico sull'ancoraggio si verifica in condizioni di sopravvivenza con linea nuova ($d = 60 \text{ mm}$).

5. CONCLUSIONI

E' stato definito e verificato in via preliminare il sistema di ancoraggio e la linea d'ormeggio di un terminale offshore costituito da una boa di tipo CALM, da utilizzare per il trasferimento a terra di combustibile (GPL).

Il sistema, composto dalla sola boa e relativi ancoraggi in condizioni di sopravvivenza e connesso alla nave nella fase operativa di scarico del prodotto, è stato analizzato con un codice di calcolo che opera nel dominio del tempo (Orcaflex).

Lo studio ha permesso di definire le caratteristiche del sistema d'ancoraggio e della linea d'ormeggio attraverso l'analisi del comportamento dinamico complessivo del sistema (boa libera, boa + nave).

Le caratteristiche preliminari principali del sistema d'ancoraggio e della linea d'ormeggio risultano essere :

SISTEMA DI ANCORAGGIO

n. linee: 6
tipo: catena senza traversino tipo NV R3
diametro: 60 mm
carico di rottura: 3147 kN
diametro ridotto: 54 mm
carico di rottura: 2580 kN
lunghezza minima: 200 m

LINEA DI ORMEGGIO

tipo: nylon superline braided
diametro nominale: 96 mm
circ.: 12"
carico di rottura: 2276 kN
lunghezza: 40 m

ANCORA

tipo: STEVPRIS
massa: 8 t
UHC (ultimate holding capacity): 2590 kN

6. NOMENCLATURA

zG (m): altezza baricentro boa da fondo

GM (m): altezza metacentrica boa

SWL (kN): safe working load (carico sicurezza di lavoro)

MCR (kN): minimo carico di rottura

Hs (m): altezza d'onda signifivativa

Tz (s): periodo medio di zero up-crossing

Tp (s): periodo di picco

vw (m/s): velocità vento

vc (m/s): velocità corrente

Tmed (kN): tensione media

Tdin (kN): tensione massima dinamica

Tmax (kN): Tmed + Tdin = tensione massima totale

C-ANC (kN): massimo carico sull'ancora

UHC (kN): ultimate holding capacity (massima capacità di tenuta ancora)

7. APPENDICE

ELENCO FIGURE

LINEE D'ANCORAGGIO

Fig. a1 - Sopravvivenza - CASO 1 - $d = 54$ mm - ORMEGGIO INTATTO

Fig. a2 - Sopravvivenza - CASO 6 - $d = 60$ mm - ORMEGGIO INTATTO

Fig. a3 - Operativo - CASO 1 - $d = 54$ mm - ORMEGGIO INTATTO

Fig. a4 - Operativo - CASO 15 - $d = 60$ mm - ORMEGGIO INTATTO

CAVO D'ORMEGGIO

Fig. a5 - Operativo - CASO 17

Fig. a6 - Operativo - CASO 18

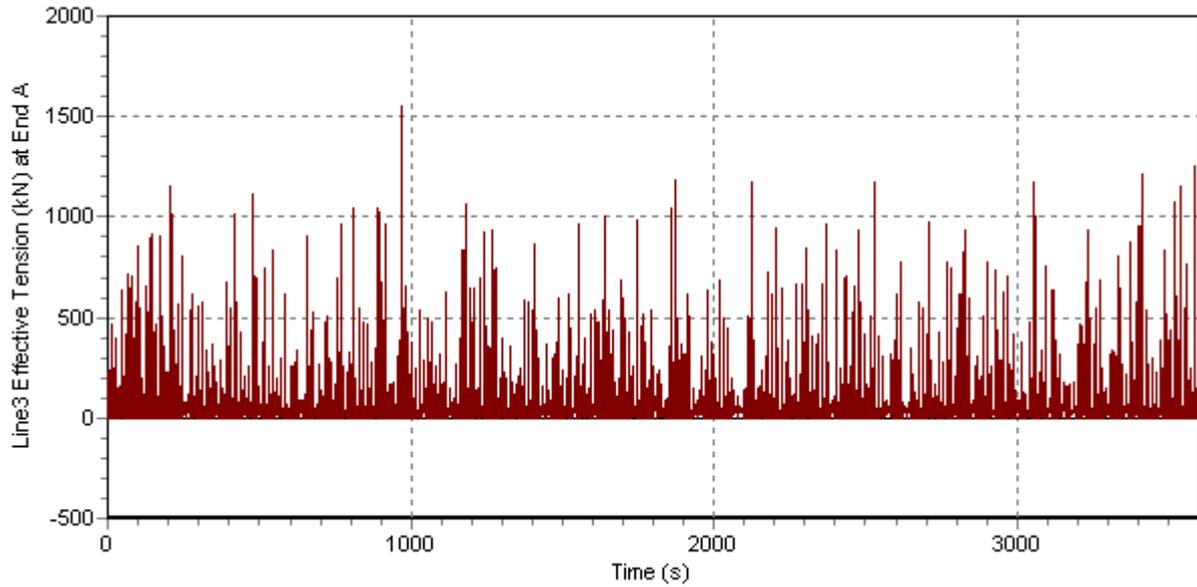


Fig. a1 - Sopravvivenza - CASO 1 - d = 54 mm - INTATTO

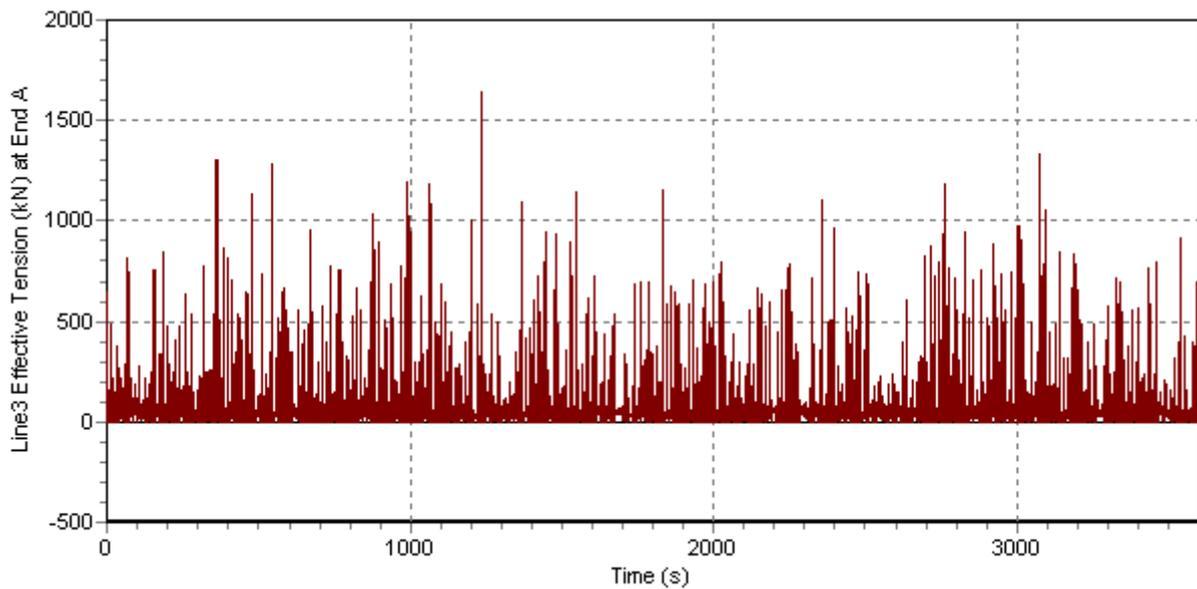


Fig. a2 - Sopravvivenza - CASO 6 - d = 60 mm - INTATTO

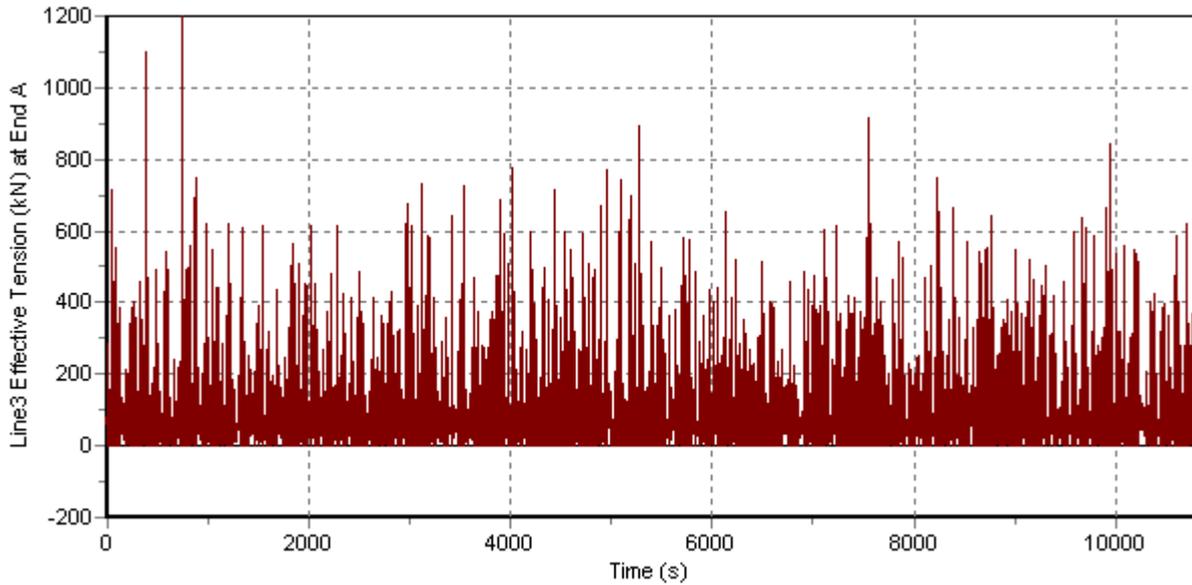


Fig. a3 - Operativo - CASO 1 - d = 54 mm - INTATTO

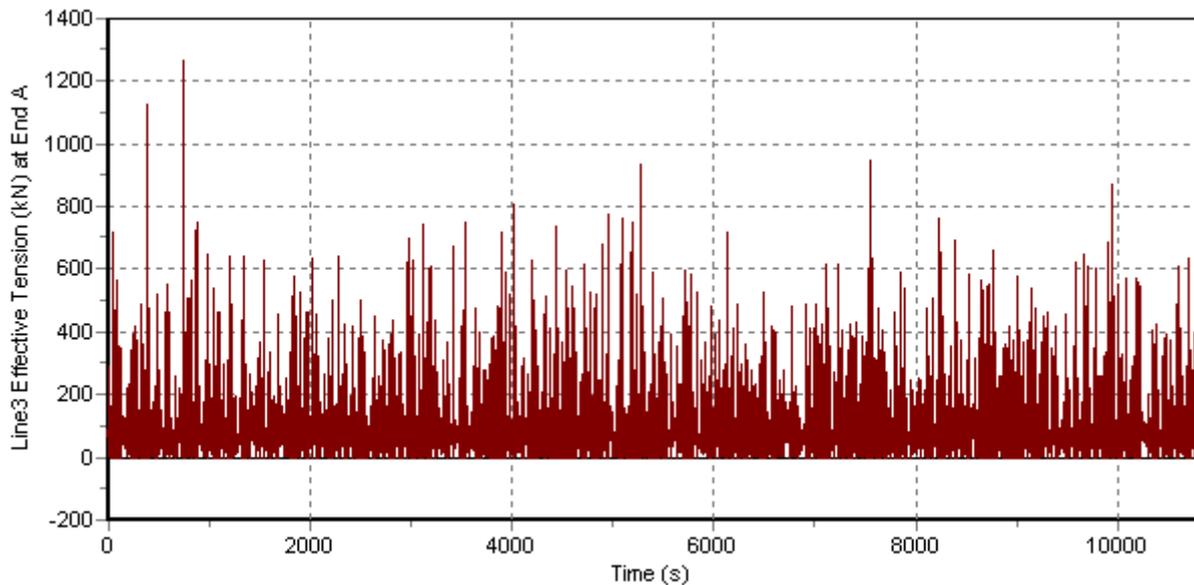


Fig. a4 - Operativo - CASO 15 - d = 60 mm - INTATTO

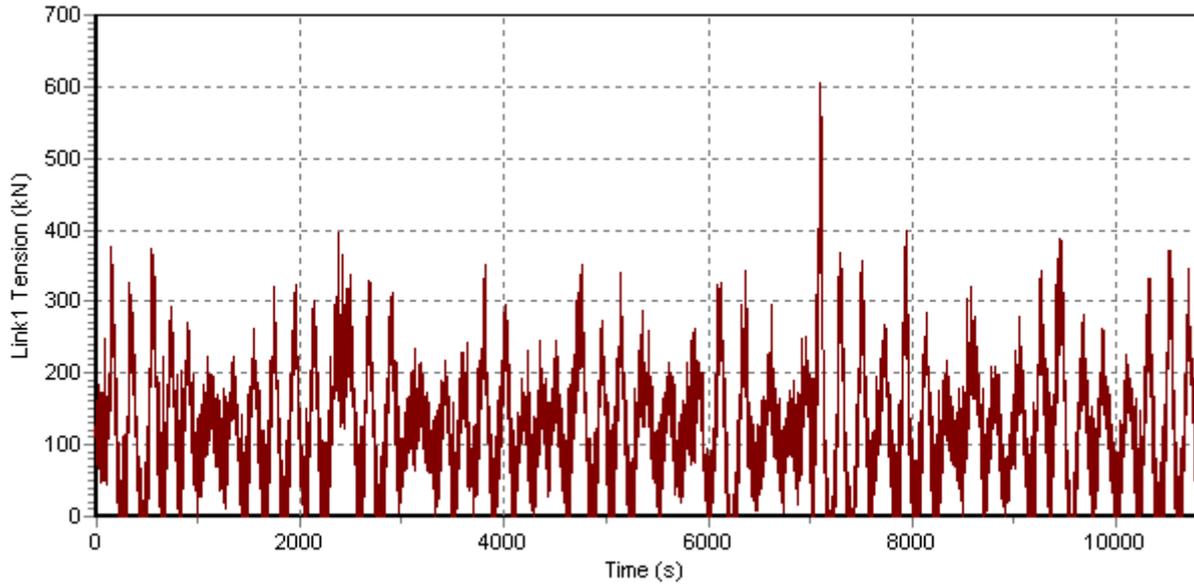


Fig. a5 - Operativo - CASO 17

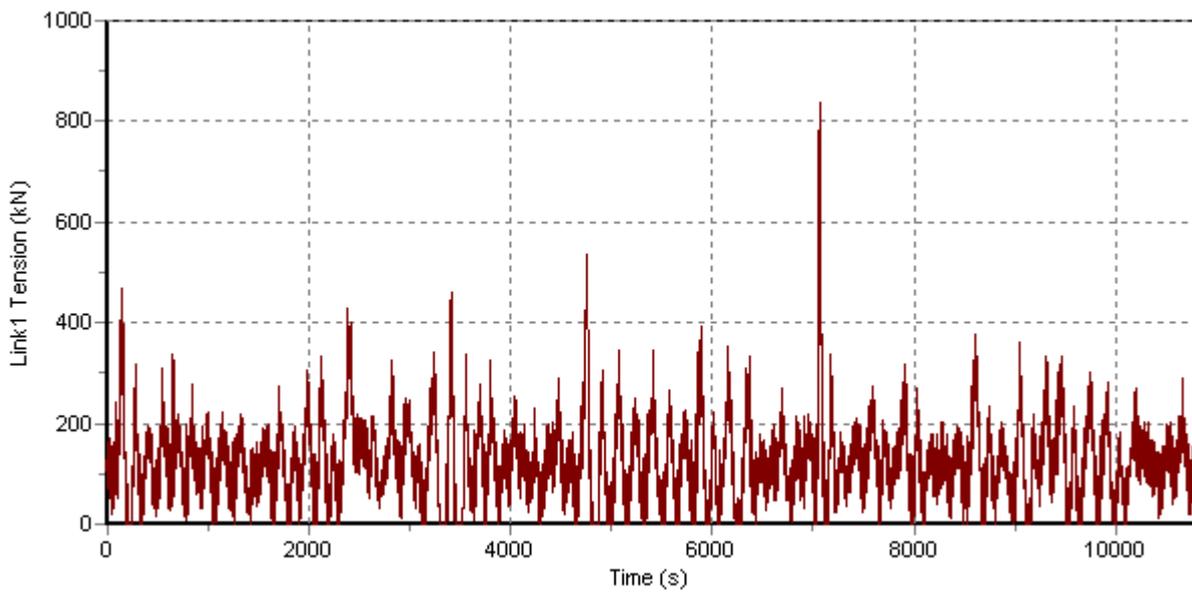


Fig. a6 - Operativo - CASO 18