

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITÀ RAVENNA (RA)	000-ZX-E-17190	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 1 di 35	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3302-009

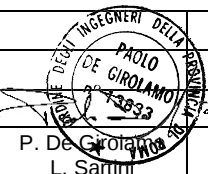
EMERGENZA GAS
Incremento di capacità di rigassificazione (DL 17 Maggio 2022, n. 50)
FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti

PROGETTO FSRU RAVENNA

RELAZIONE DI SINTESI DEI MODELLI FISICI 2D E 3D

CUP ASSEGNATO AL PROGETTO → E63F22000090007



0	Emissione per permessi	 P. De Girolamo L. Sartini	L. Nardi	P. Russo	20/05/2024
Rev.	Descrizione	Elaborato	Verificato	Approvato Autorizzato	Data

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITÀ RAVENNA (RA)	000-ZX-E-17190	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 2 di 35	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3302-009

INDICE

1	INTRODUZIONE	3
2	DESCRIZIONE DELL'OPERA	4
3	HR WALLINGFORD 2D PHYSICAL MODEL STUDY	6
3.1	Descrizione generale del modello fisico	6
3.2	Condizioni di moto ondoso e livello del mare	8
3.3	Programma dei test	9
3.4	Risultati ottenuti	10
3.5	Condizioni di prova B – risposta idraulico-strutturale del cassone	10
3.6	Condizioni di prova B2 – tracimazione del moto ondoso	14
3.7	Condizioni di prova C – protezione nei confronti dell'erosione	18
3.8	Conclusioni	19
4	HR WALLINGFORD 3D MODEL: WAVE DISTURBANCE PHYSICAL MODEL STUDY	21
4.1	Caratteristiche principali del modello fisico in vasca	21
4.2	Confronto tra i risultati ottenuti sperimentalmente con i risultati ottenuti con i modelli numerici	24
4.3	Conclusioni	25
5	MARIN PHYSICAL MODEL STUDY	26
5.1	Modello Nave – FSRU	26
5.2	Sistema di Ormeaggio	27
5.3	Test Effettuati	28
5.4	Metodologia	31
5.5	Conclusioni	33

Allegato 1 - Ravenna offshore LNG terminal – 2D physical model study (HR Wallingford)

Allegato 2 - Ravenna offshore LNG terminal – Wave disturbance physical model study (HR Wallingford)

Allegato 3 - FSRU Ravenna - Offshore Basin Model tests (Maritime Research Institute Netherlands - MARIN)

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITÀ RAVENNA (RA)	000-ZX-E-17190	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 3 di 35	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3302-009

1 INTRODUZIONE

Il progetto “FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti” prevede la realizzazione di un nuovo terminale marittimo per accogliere stabilmente una nave FSRU (Floating Storage and Regasification Unit), allo scopo di importare e vaporizzare gas naturale liquido (Liquid Natural Gas). L'importazione del gas verrà effettuata tramite navi LNG “Shuttle” che si accosteranno alla FSRU per scaricare il gas liquido.

Il nuovo terminale sarà realizzato in mare aperto, a Sud-Est del Porto di Ravenna, ad una distanza dalla costa di circa 8 km, dove attualmente è situato l'esistente terminale offshore Petra.

Il nuovo terminale in progetto sarà protetto da una diga frangiflutti a cassoni da realizzarsi a circa 150 m più ad Est del nuovo terminale. La funzione della diga sarà quella di proteggere il terminale di ormeggio dalle condizioni meteo marine estreme.

Per verificare la capacità della diga di schermare il terminale rispetto alle condizioni meteo-marine di progetto nonché verificare la risposta della nave FSRU, sono state eseguite modellazioni numeriche e verifiche sperimentali con modelli in scala in vasca presso i laboratori della HR-Wallingford in Inghilterra (UK) e della Marin in Olanda (N).

Il presente documento riassume, in italiano, le prove in vasca eseguite in ciascun laboratorio e ne riporta i principali risultati ed è strutturato come segue:

- SEZIONE 2: Descrive le principali caratteristiche geometriche e strutturali della diga frangiflutti
- SEZIONE 3: Riporta le prove ed i risultati del modello bidimensionale in vasca (2D physical model study) eseguito presso il laboratorio HR Wallingford in UK;
- SEZIONE 4 Illustra le prove ed i risultati delle prove in vasca del modello tridimensionale del terminale soggetto al moto ondoso di progetto sempre eseguite presso il laboratorio HR Wallingford in UK;
- SEZIONE 5: Riporta le prove ed i risultati eseguiti presso il Maritime Research Institute Netherlands (MARIN).

Si allegano in appendice anche i rapporti completi in lingua inglese emessi da ciascun laboratorio.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITÀ RAVENNA (RA)	000-ZX-E-17190	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 4 di 35	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3302-009

2 DESCRIZIONE DELL'OPERA

La nuova diga frangiflutti è costituita da un'opera a parete verticale di tipo composto, ampiamente utilizzata nel campo delle costruzioni marittime come opera foranea per proteggere i porti e gli approdi dal moto ondoso incidente in quanto molto vantaggiosa per la costruzione di dighe profonde e distaccate da terra (foranee) in mari microtidali.

L'opera si presenta planimetricamente come una spezzata costituita da due segmenti orientati secondo la direzione principale nord-sud, di sviluppo complessivo al pari a 881.40 m e larghezza 23.50 m che diventa in corrispondenza delle due testate 37.80 m.

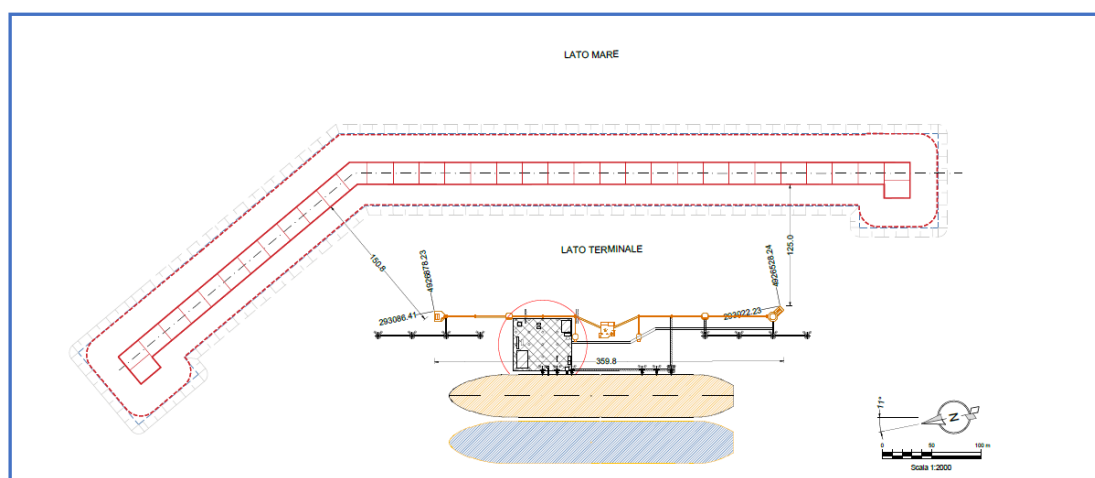


Figura 2-1 – Planimetria di progetto della diga foranea

Gli elementi che la compongono possono essere distinti in:

- cassoni cellulari prefabbricati in c.a. zavorrati con materiale arido e cls magro;
- coronamento dei cassoni in c.a. gettato in opera comprensivo di muro paraonde;
- scanno di imbasamento dei cassoni in pietrame;
- trattamento di vibro-sostituzione con materiale inerte del fondale sottostante i cassoni previo dragaggio alla -17.0 m s.l.m..

L'opera a parete verticale è costituita da n. 35 cassoni cellulari prefabbricati posati in opera su uno scanno di imbasamento in materiale lapideo.

I cassoni hanno forma parallelepipedica con fusto di altezza 12.95 m e dimensioni in pianta di 22,20 m x 26,50 m. La soletta di fondazione ha dimensioni 24,20 m x 26,5 m con spessore 0,8 m.

I cassoni sono stati dotati di celle antiriflettenti concepiti per ridurre la riflessione del moto ondoso dell'opera. La presenza delle celle antiriflettenti sulla parete frontale consente inoltre di ridurre le azioni idrodinamiche sul muro di coronamento e di ridurre la tracimazione del moto ondoso.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITÀ RAVENNA (RA)	000-ZX-E-17190	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 5 di 35	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3302-009

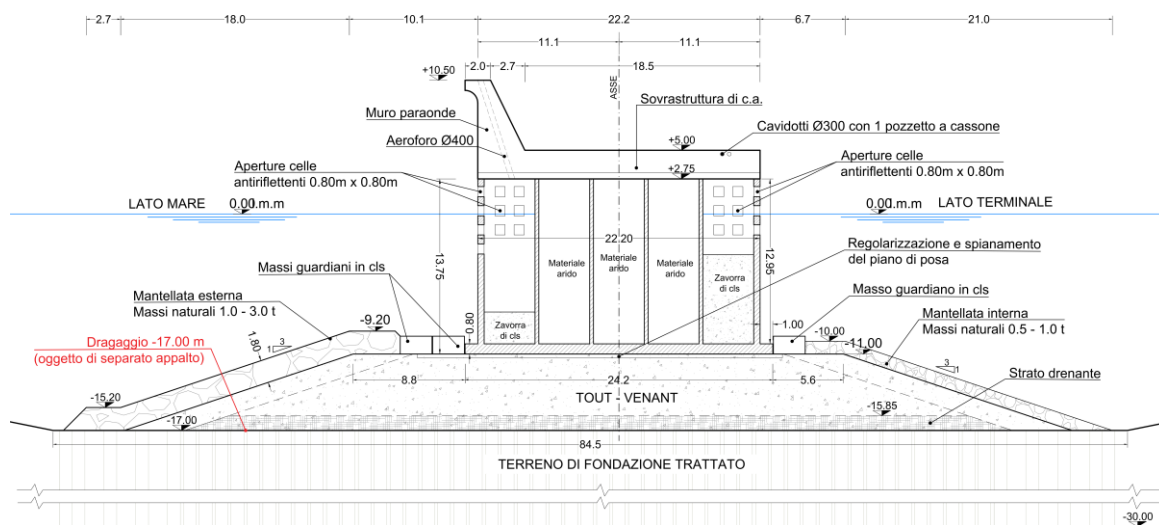


Figura 2-2 – Sezione trasversale 1-1 della diga foranea

La diga frangiflutti è completata da una sovrastruttura di coronamento in c.a. realizzata in opera che dalla quota dell'estradosso del fusto del cassone, posto alla +2.75 m s.l.m., si eleva fino a quota +5.00 m s.l.m..

Lato mare è presente un muro paraonde. I risultati del presente studio hanno portato alla selezione di un muro con coronamento ricurvo con quota di sommità a +10.50 m s.l.m..

I cassoni sono postati su uno scanno d'imbasamento in tout-venant 1÷500 kg protetto da mantellate in massi naturali.

Al piede dei cassoni, lungo tutto il perimetro della diga, è prevista una protezione antiscalzamento con una doppia fila di massi guardiani in calcestruzzo di forma parallelepipedica forati.

Sul lato terminale della diga sono predisposti due fronti di accosto arredati con bitte e parabordi per ospitare la flotta di rimorchiatori a servizio del terminale ed altre piccole imbarcazioni per le attività di monitoraggio e manutenzione delle opere.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITÀ RAVENNA (RA)	000-ZX-E-17190	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 6 di 35	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3302-009

3 HR WALLINGFORD 2D PHYSICAL MODEL STUDY

Si riassumono di seguito i principali risultati delle prove sperimentali eseguite presso il laboratorio inglese di HR Wallingford e descritte nel rapporto dal titolo:

“Ravenna offshore LNG terminal – 2D Physical model study” allegato al presente rapporto.

Lo studio 2D è stato eseguito utilizzando un canale per moto ondoso.

L'obiettivo del modello è stato quello di ottimizzare e verificare dal punto di vista idraulico e strutturale la sezione corrente della nuova diga foranea posta a protezione del terminale FSRU.

In particolare le prove sperimentali hanno riguardato 6 diverse configurazioni per il muro paraonde costituite da tre diverse quote di coronamento del muro (+6,50 m; +8,50 m; +10,50 m sul l.m.m.) e da due diverse forme del muro. In particolare per ciascuna quota del muro si è provato sperimentalmente sia un muro di forma verticale, sia un muro di forma ricurva costituita da settore di cerchio con angolo di apertura di 90° e raggio di 1,0 m.

Seguendo un approccio cautelativo, coerentemente a quanto indicato dalle raccomandazioni internazionali finalizzate al dimensionamento delle strutture di accosto e ormeggio delle navi petroliere e gasiere, sono stati presi in esame stati di mare estremi caratterizzati da un tempo di ritorno $T_r = 100$ anni, che rappresentano sicuramente la condizione più gravosa per la tracimazione e la trasmissione del moto ondoso a tergo della diga che possono compromettere la sicurezza della nave all'ormeggio.

Per la definizione delle condizioni estreme meteomarine di riferimento, sono stati utilizzati i risultati ottenuti nell'ambito degli studi specialistici di idraulica marittima redatti a supporto del presente progetto (000-ZA-E-17075 Studio Meteomarino, 000-ZX-E-17097 Definizione delle condizioni ondometriche estreme).

In sintesi le prove sperimentali hanno permesso di valutare per le 6 configurazioni del muro paraonde:

- le pressioni agenti sul perimetro dell'opera e quindi le relative forze;
- la stabilità dello scanno di imbasamento dei cassoni;
- la portata media di tracimazione (*overtopping*) q (l/s per m);
- i volumi di tracimazione associati ad ogni singola onda V (l per m);
- il moto ondoso residuo a tergo della diga dovuto alla trasmissione del moto ondoso.

3.1 Descrizione generale del modello fisico

Al fine di ottimizzare, dal un punto di vista idraulico e strutturale, la diga foranea a parete verticale posta a protezione del nuovo terminale offshore situato al largo di Ravenna è stata condotta una campagna sperimentale 2D su modello fisico in scala ridotta in similitudine di Froude.

Il canale per moto ondoso utilizzato (Flume 2), mostrato in Figura 3-1, è lungo 40 m e largo 1.2 m e consente di operare con un tirante idrico di 1.6 m. Il generatore d'onda

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITÀ RAVENNA (RA)	000-ZX-E-17190	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fig. 7 di 35	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3302-009

impiegato è in grado di riprodurre stati di mare irregolari e consente l'assorbimento attivo del moto ondoso riflesso dalla struttura in prova. Il modello è stato eseguito in similitudine di Froude adottando per la scala di riduzione geometrica il rapporto 1:35.

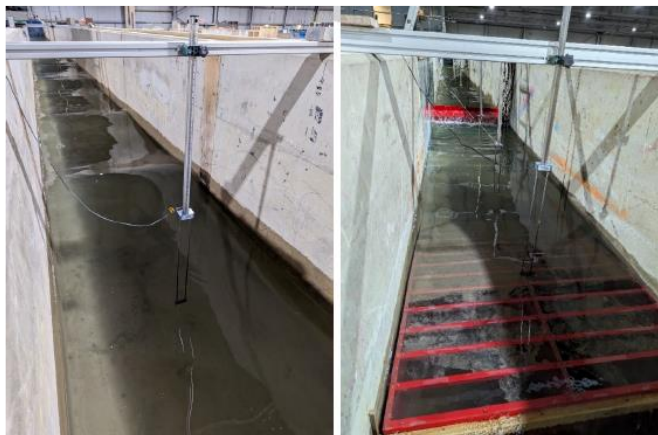


Figura 3-1. HR Wallingford's Flume 2.

La sezione corrente della nuova diga foranea è stata testata in condizioni severe di moto ondoso e livello del mare caratterizzate da un tempo di ritorno di 100 anni. Le prove sperimentali sono state eseguite prendendo in esame tre diversi valori della quota R_c del coronamento del muro paraonde (rispettivamente +6,5 m; +8,5 m; +10,5 m sul l.m.m.) e, per ogni quota, due geometrie del muro, ovvero quella ricurva e quella rettilinea.



Figura 3-2. Modello del cassone sperimentale

In Figura 3-3 è possibile vedere un esempio della configurazione con muro paraonde verticale (rettilineo) e con muro ricurvo provata in laboratorio. Le prove condotte con le due configurazioni hanno consentito un confronto diretto in relazione alla tracimazione, alla trasmissione e alle forze agenti sull'opera in presenza o meno del muro ricurvo.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITÀ RAVENNA (RA)	000-ZX-E-17190	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 8 di 35	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3302-009

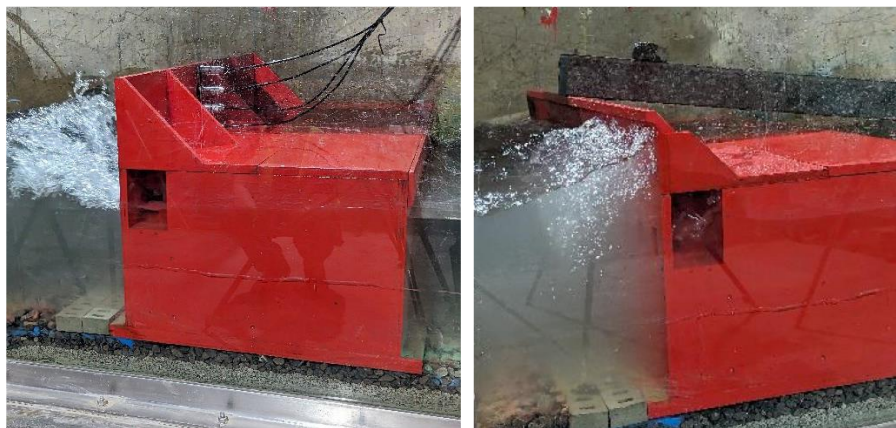


Figura 3-3. Sezione della diga foranea con muro paraonde verticale (a sinistra) e con muro paraonde con coronamento ricurvo (a destra).

Le prove hanno previsto le seguenti serie di misure:

- misura delle portate medie e dei singoli volumi di tracimazione;
- misura delle onde trasmesse a tergo della diga generate dalla tracimazione ondosu;
- misura delle pressioni agenti sul perimetro dell'opera e quindi delle relative forze;
- analisi di stabilità dello scanno di imbasamento dei cassoni.

La misura della tracimazione è stata effettuata con una vasca di raccolta posizionata sul lato interno della diga in cassoni. Per la valutazione delle onde trasmesse a tergo della diga sono state posizionate delle sonde per la misura del moto ondoso lato terminale. La misura delle forze agenti sul cassone e sul muro di coronamento è stata effettuata con trasduttori di pressione integrati nella struttura.

3.2 Condizioni di moto ondoso e livello del mare

Per condurre lo studio sono state usate un totale di cinque condizioni di moto ondoso e livello del mare.

Sono state testate due condizioni di progetto, provenienti dal settore di traversia principale 0 – 90 °N, con tempo di ritorno 100 anni, una in condizioni di acqua bassa e una in condizioni di acqua alta.

Per definire le condizioni di progetto si è fatto riferimento ai risultati dello studio di propagazione del moto ondoso condotto con il modello SWAN (vedi studio "000-ZA-E-17097 - Definizione delle condizioni ondamiche estreme").

La Tabella 3-1 riporta i valori di moto ondoso ottenuti nei punti di estrazione posti a circa 100 m ad Est della diga foranea su fondali compresi tra -14,00 e -14,15 m MSL, sulla base dei quali sono state definite le condizioni per le prove sperimentali.

Considerando l'orientamento della diga sono state prese a riferimento onde con direzione di provenienza al largo 60-90° che si presentano ortogonali all'asse della diga.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITÀ RAVENNA (RA)	000-ZX-E-17190	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 9 di 35	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3302-009

Tabella 3-1. Condizioni di moto ondoso incidente ottenute all'esterno della diga foranea per eventi con tempo di ritorno 100 anni.

Direzione provenienza onda da largo [°N]	Tempo di ritorno 100 anni						
	nel punto al largo ERA5		nel punto P2 all'esterno della diga foranea (-14.15 m)				
	H _s [m]	T _p [s]	H _{mo} [m]	T _p [s]	T _{m0,1} [s]	T _{m-1,0} [s]	Dir [°N]
15	4.9	7.9	3.6	8.0	6.8	7.4	42
30	4.9	7.9	3.9	8.0	7.0	7.5	49
45	6.2	9.5	5.4	9.6	8.3	9.0	58
60	6.2	9.5	5.5	9.6	8.4	9.0	66
75	6.2	9.5	5.6	9.6	8.4	9.0	76
90	6.2	9.5	5.5	9.6	8.4	9.0	86
120	4.7	9.4	4.2	9.4	7.9	8.6	109
135	4.7	9.4	4.0	9.4	7.7	8.5	118
150	4.7	9.4	3.8	9.4	7.6	8.4	127

È stata anche utilizzata una condizione di “overload”, con un incremento di altezza d’onda del 120%, per confermare la stabilità dello scanno di imbasamento e dei massi guardiani.

Sono stati inoltre presi in esame due condizioni caratterizzate da una frequenza di accadimento superiore a quella di progetto, ovvero da un tempo di ritorno rispettivamente di 2 e di 10 anni. Queste prove sono state effettuate per determinare la trasmissione del moto ondoso, e quindi l’agitazione dello specchio acqueo in corrispondenza della FSRU, durante le fasi transitorie di realizzazione del coronamento della diga.

In Tabella 3-2 sono riportate le condizioni di onda e di livello utilizzate per le prove sperimentali.

Tabella 3-2. Condizioni di moto ondoso e livello utilizzate per le prove su modello fisico.

Incident wave condition	Return Period (years)	SWL (m MSL)	Significant wave height H _s (m)	Peak water period T _p (s)	JONSWAP γ factor
Design 1	100	0.46	5.50	9.60	3.3
Design 2	100	1.70	5.50	9.60	3.3
Overload	120%	0.46	6.60	10.90	3.3
Transmission 1	2	1.0	3.70	8.00	3.3
Transmission 2	10	1.20	4.50	8.70	3.3

3.3 Programma dei test

Dopo aver completato la costruzione del modello in scala, lo studio è stato condotto in 3 fasi. Per ognuna delle fasi, di seguito indicate, sono state condotte una serie di prove. In particolare:

- Serie di prove A – hanno riguardato la calibrazione del moto ondoso;
- Serie di prove B – hanno riguardato la misura: (i) delle azioni dovute al moto ondoso; (ii) della tracimazione; (iii) della trasmissione e (iv) della riflessione del moto ondoso. Questa serie di prove ha riguardato tre differenti quote di coronamento del muro paraonde (Rc +6.5 m, +8.5 m, +10.5 m MSL) e due forme dello stesso muro (verticale e

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITÀ RAVENNA (RA)	000-ZX-E-17190	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 10 di 35	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3302-009

ricurvo) per un totale di 6 configurazioni del muro paraonde. Le serie di prove B sono state divise a loro volta in tre sottoserie denominate:

- B1 – per la misura delle azioni del moto ondoso, della trasmissione e della riflessione;
- B2 – per la misura della tracimazione;
- B3 – per la misura della trasmissione del moto ondoso per la sezione provvisoria del cassone in relazione a due configurazioni transitorie, ovvero con coronamento a +3.0 m e a +5.0 m sul MSL.
- Serie di prove C – hanno riguardato stabilità della mantellata posta a protezione dello scanno di imbasamento, la stabilità dei massi guardiani e l'erosione al piede dello scanno di imbasamento. Sono state condotte con muro verticale con la quota +10.50 m MSL.

3.4 Risultati ottenuti

Nel presente capitolo è riportata una sintesi dei risultati estratta dal rapporto HR Wallingford dal titolo: "Ravenna Offshore LNG terminal. 2D Physical model study" a cui si rimanda per ulteriori approfondimenti

3.5 Condizioni di prova B – risposta idraulico-strutturale del cassone

3.5.1 Condizioni di prova B1 – azioni del moto ondoso, trasmissione e riflessione

Le misure di pressione effettuate lungo tutto il perimetro del cassone, con 24 trasduttori di pressione, hanno permesso di valutare le azioni pulsanti (quasi statiche) e le azioni di tipo impulsivo che agiscono sull'opera. Le azioni pulsanti sono state estratte utilizzando un segnale di pressione filtrato, mentre per le azioni impulsive si è fatto riferimento al segnale non filtrato.

3.5.1.1 Azioni pulsanti (quasi statiche)

Le misure di pressione filtrate sono state analizzate per determinare le azioni associate ad ogni singola onda della serie temporale testata.

Seguendo la convenzione adottata sono state così determinate le seguenti forze risultanti:

Fh_max: la forza orizzontale diretta verso terra,

Fh_min: la forza orizzontale diretta verso mare,

Fy_max: la forza verticale diretta verso l'alto

Fy_min: la forza verticale diretta verso il basso,

Mr_max: il momento ribaltante calcolato rispetto allo spigolo lato terra,

Mf_min: il momento ribaltante calcolato rispetto allo spigolo lato mare.

Le azioni sono state ordinate in ordine decrescente al fine di calcolare:

- l'evento indicato con 1/250 (la media dello 0,4% dei valori più elevati);

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITÀ RAVENNA (RA)	000-ZX-E-17190	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 11 di 35	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3302-009

- l'evento più elevato.

È importante sottolineare che i valori massimi delle azioni orizzontali e verticali possono non essere simultanei. Questo aspetto è molto rilevante per la corretta verifica della stabilità allo scorrimento del cassone. Pertanto nel rapporto per ogni valore massimo di forza e di momento sono forniti i valori simultanei delle altre azioni che sono stati misurati in occasione dei valori di picco dell'azione presa in esame.

A seguire è riportato un estratto dei risultati presentati nel rapporto HR Wallingford.

Le azioni pulsanti 1/250 ottenute per le diverse condizioni di prova sono riportate nella seguente tabella 5.2.

Table 5.2: Pulsating 1/250th forces, moments and pressures

Test	Wall	Fh (kN/m)	Fv (kN/m)	Mr (kNm/m)	Mf (kNm/m)
B1-1	+6.5 vertical	866	490	10111	3879
B1-2	+8.5 vertical	879	470	10335	4162
B1-3	+10.5 vertical	879	491	10589	4012
B1-4	+6.5 recurve	1025	598	13159	5891
B1-5	+8.5 recurve	1110	569	14655	7522
B1-6	+10.5 recurve	966	509	13118	6680
C1-1	+10.5 vertical	892	512	10197	4152
C1-2	+10.5 vertical	1136	655	13841	4905

I primi 4 valori delle forze orizzontali Fh positive (dirette verso terra) e negative (dirette verso mare), con i relativi valori simultanei della forza verticale Fv e dei momenti Mr e Mf, sono riportati nelle seguenti tabelle 5.3 e 5.4.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITÀ RAVENNA (RA)	000-ZX-E-17190	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 12 di 35	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3302-009

AZIONI PULSANTI (QUASI STATICHE)

Table 5.3: Top 4 events ranked by positive horizontal force (Fh),
with time coincident values of uplift, moments and pressures

Test	Wall	Event	Fh (kN/m)	Fv (kN/m)	Mr (kNm/m)	Mf (kNm/m)
B1-1	+6.5 vertical	1	925	505	10885	2797
		2	869	482	10170	2443
		3	860	488	10031	2234
		4	808	427	9343	2443
B1-2	+8.5 vertical	1	926	451	10869	3799
		2	890	424	10601	3883
		3	886	474	10395	2841
		4	814	407	9385	2988
B1-3	+10.5 vertical	1	957	482	11355	3716
		2	952	488	11510	3617
		3	822	445	10132	2897
		4	784	451	9183	1871
B1-4	+6.5 recurve	1	1099	622	14208	6188
		2	1042	629	13407	4639
		3	983	572	12506	4899
		4	975	555	12277	4671
B1-5	+8.5 recurve	1	1195	574	15916	8236
		2	1159	628	15569	6793
		3	1049	508	13799	6902
		4	1037	522	13320	6222
B1-6	+10.5 recurve	1	1105	552	15041	7316
		2	930	473	12360	5587
		3	922	500	12836	6286
		4	906	437	11823	5561

Table 5.4: Top 4 events ranked by negative horizontal force (Fh),
with time coincident values of uplift, moments and pressures

Test	Wall	Event	Fh (kN/m)	Fv (kN/m)	Mr (kNm/m)	Mf (kNm/m)
B1-1	+6.5 vertical	1	-607	-662	-7887	3177
		2	-597	-759	-8612	4350
		3	-595	-657	-7706	3181
		4	-588	-599	-7384	2543
B1-2	+8.5 vertical	1	-627	-765	-8695	4064
		2	-601	-680	-7935	3388
		3	-598	-671	-7876	3318
		4	-596	-696	-8231	3539
B1-3	+10.5 vertical	1	-600	-684	-7895	3438
		2	-590	-623	-7307	2875
		3	-586	-613	-7203	2779
		4	-586	-654	-7551	3144
B1-4	+6.5 recurve	1	-614	-751	-8570	4031
		2	-587	-656	-7719	3232
		3	-587	-640	-7572	3027
		4	-581	-652	-7649	3176
B1-5	+8.5 recurve	1	-622	-751	-8497	4156
		2	-600	-689	-7843	3708
		3	-574	-651	-7461	3414
		4	-573	-658	-7502	3561
B1-6	+10.5 recurve	1	-629	-749	-8490	3876
		2	-596	-653	-7564	3164
		3	-591	-665	-7659	3321
		4	-590	-644	-7434	3115

3.5.1.2 Azioni impulsive

La tabella 5.5 estratta dal rapporto HR Wallingford riporta i valori 1/250 delle forze orizzontali, verticali e dei momenti dovute a condizioni di tipo impulsivo, ottenute analizzando i segnali di pressione non filtrati.

Table 5.5: Unfiltered 1/250th forces, moments and pressures

Test	Wall	Fh (kN/m)	Fv (kN/m)	Mr (kNm/m)	Mf (kNm/m)
B1-1	+6.5 vertical	998	541	11876	7115
B1-2	+8.5 vertical	982	505	11870	6150
B1-3	+10.5 vertical	935	522	11330	5891
B1-4	+6.5 recurve	2181	1320	37151	30915
B1-5	+8.5 recurve	2173	739	31467	26520
B1-6	+10.5 recurve	1520	964	29622	23507
C1-1	+10.5 vertical	995	608	12240	5644
C1-2	+10.5 vertical	1487	871	18460	9369

I primi 4 valori delle forze impulsive orizzontali Fh positive (dirette verso terra) in fase di cresta del moto ondoso, e negative (dirette verso mare), in fase di cavo, con i relativi valori simultanei della forza verticale Fv e dei momenti Mr e Mf, sono riportati nelle seguenti tabella 5.6 e 5.7 estratte dal rapporto.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITÀ RAVENNA (RA)	000-ZX-E-17190	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 13 di 35	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3302-009

AZIONI IMPULIVE (segnale non filtrato)

Table 5.6: Unfiltered Top 4 events ranked by positive horizontal force (Fh), with time coincident values of uplift, moments and pressures

Test	Wall	Event	Fh (kN/m)	Fv (kN/m)	Mr (kNm/m)	Mf (kNm/m)
B1-1	+6.5 vertical	1	1093	566	13067	4050
		2	1015	426	12348	5452
		3	946	469	11125	3478
		4	936	467	10580	3279
B1-2	+8.5 vertical	1	1005	378	12279	6361
		2	994	477	11927	4390
		3	984	441	12061	4850
		4	946	494	11003	3014
B1-3	+10.5 vertical	1	1016	493	12110	4311
		2	1001	541	12293	3540
		3	865	420	10287	3401
		4	858	446	10018	2809
B1-4	+6.5 recurve	1	3349	2034	61486	54388
		2	1840	1084	28594	21101
		3	1794	1169	31391	25289
		4	1743	878	27131	21566
B1-5	+8.5 recurve	1	2663	570	39537	30190
		2	2112	308	29311	29758
		3	2053	386	29726	23636
		4	1862	236	27296	22495
B1-6	+10.5 recurve	1	1598	969	31294	25703
		2	1540	923	27870	19775
		3	1530	864	30488	25080
		4	1413	1010	28838	22672

Table 5.7: Unfiltered Top 4 events ranked by negative horizontal force (Fh), with time coincident values of uplift, moments and pressures

Test	Wall	Event	Fh (kN/m)	Fv (kN/m)	Mr (kNm/m)	Mf (kNm/m)
B1-1	+6.5 vertical	1	-637	-665	-8108	2962
		2	-627	-666	-8089	2965
		3	-625	-753	-8758	4041
		4	-624	-626	-7735	2795
B1-2	+8.5 vertical	1	-651	-732	-8542	3475
		2	-628	-685	-8430	3114
		3	-628	-647	-7932	2807
		4	-627	-661	-7978	2898
B1-3	+10.5 vertical	1	-610	-656	-7695	3075
		2	-599	-617	-7257	2824
		3	-597	-613	-7179	2783
		4	-596	-658	-7670	3143
B1-4	+6.5 recurve	1	-636	-738	-8549	3648
		2	-629	-633	-7724	2694
		3	-613	-651	-7841	2883
		4	-612	-643	-7665	2810
B1-5	+8.5 recurve	1	-634	-748	-8438	4188
		2	-607	-681	-7748	3669
		3	-592	-644	-7527	3210
		4	-587	-655	-7495	3411
B1-6	+10.5 recurve	1	-639	-748	-8494	3717
		2	-608	-642	-7529	3018
		3	-604	-662	-7669	3236
		4	-603	-644	-7421	3103

Le misure effettuate dai trasduttori di pressione hanno evidenziato che in presenza del muro ricurvo si verificano azioni di tipo impulsivo elevate sulla porzione ricurva della parete.

3.5.2 Trasmissione del moto ondoso a tergo della diga

Le onde trasmesse sono state misurate in tre punti nello specchio acqueo protetto dalla diga, ad una distanza di 50 m, 100 m e 150 m dalla parete lato terminale del cassone, in prossimità della nave FSRU all'ormeggio.

I risultati ottenuti per ognuna delle sei configurazioni esaminate sono riportati nella seguente tabella estratta dal rapporto HR Wallingford.

La tabella fornisce il valore del coefficiente di trasmissione T_r (espresso in percentuale rispetto all'onda incidente), il valore dell'altezza d'onda significativa H_s osservata nei punti di registrazione dietro alla diga e il valore dell'altezza d'onda massima H_{max} .

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITÀ RAVENNA (RA)	000-ZX-E-17190	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 14 di 35	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3302-009

Table 5.8: Transmission coefficient during design wave conditions

Distance back	Transmission coefficient Tr (%)			Significant wave height behind breakwater H _s (m)			Maximum wave height behind breakwater H _{max} (m)		
	50 m	100 m	150 m	50 m	100 m	150 m	50 m	100 m	150 m
Vertical wall +6.5 mMSL	7.2%	6.6%	6.5%	0.40	0.37	0.36	1.20	1.19	1.08
Recurve wall +6.5 mMSL	5.2%	4.6%	4.6%	0.29	0.25	0.26	1.46	1.48	0.88
Vertical wall +8.5 mMSL	3.8%	3.3%	3.4%	0.21	0.19	0.19	0.91	0.87	0.66
Recurve wall +8.5 mMSL	1.8%	1.5%	2.2%	0.10	0.09	0.12	0.30	0.30	0.19
Vertical wall +10.5 mMSL	2.3%	2.0%	2.4%	0.13	0.11	0.14	0.55	0.39	0.35
Recurve wall +10.5 mMSL	2.1%	1.8%	2.4%	0.12	0.10	0.14	0.20	0.18	0.24

Questi risultati sono presentati nel grafico di Figura 3-5 e mostrano che il muro ricurvo consente una protezione più elevata nei confronti dell'onda trasmessa.

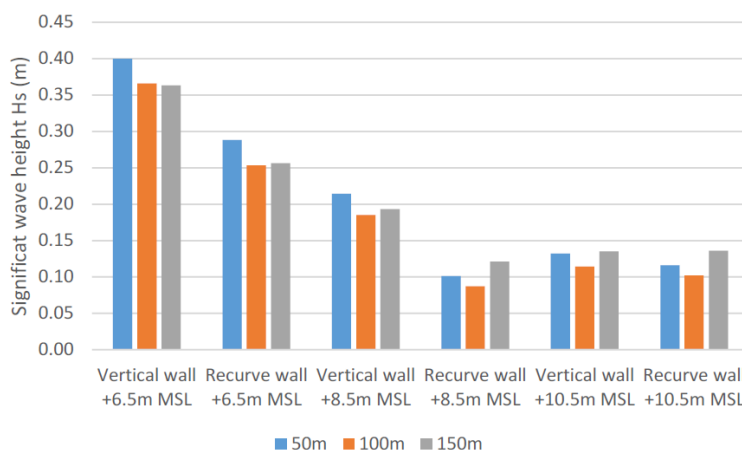


Figura 3-4. Valori di altezza d'onda trasmessa a tergo della diga osservati nei punti di registrazione, posizionati a 50, 100 e 150 m dal margine interno della diga a cassoni, per le 6 configurazioni esaminate.

3.6 Condizioni di prova B2 – tracimazione del moto ondoso

3.6.1 Misura della portata media di tracimazione

Le prove sperimentali di tracimazione, come indicato in precedenza, hanno preso in esame tre diverse quote del muro paraonide Rc (+6.50, +8.50 e +10.50 m sul MSL) e due forme di muro, verticale e ricurvo.

La portata media di tracimazione osservata durante le prove risulta compresa tra 167 l/s/m e 4.9 l/s/m. I valori più elevati di overtopping si sono ottenuti con muro verticale e coronamento Rc a quota +6.5 m MSL e i valori più bassi si sono osservati per muro ricurvo e Rc a +10.50 m MSL.

La seguente tabella estratta dal rapporto HR Wallingford, fornisce per ogni condizione di prova, le portate medie di tracimazione misurate (mean overtopping discharge).

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITÀ RAVENNA (RA)	000-ZX-E-17190	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 15 di 35	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3302-009

I valori di portata ottenuti applicando le formule dell'EuroTop (predicted discharge) hanno fornito il fattore di correzione per le portate misurate che sono risultate sempre inferiori.

Table 5.10: Measured and predicted mean overtopping discharge

Test Series	Test	Breakwater configuration		Wave conditions				SWL (mMSL)	Mean overtopping discharge (l/s/m)	Predicted mean overtopping discharge (l/s/m)
		Crest elevation (mMSL)	With or without recurve	Return period Tr (yrs)	Hs (m)	Tp (m)	Wave spectra			
B2 Wave overtopping tests	B2-1	+6.5	without	100	5.5	9.6	Jonsdap	+1.7	100	179
	B2-2	+8.5		100	5.5	9.6		+1.7	27	65
	B2-3	+10.5		100	5.5	9.6		+1.7	9.4	24
	B2-4	+6.5	with	100	5.5	9.6		+1.7	53	99
	B2-5	+8.5		100	5.5	9.6		+1.7	16	20
	B2-6	+10.5		100	5.5	9.6		+1.7	4.6	4.7

3.6.2 Misura dei volumi massimi di tracimazione

Contestualmente alle misure di portata di tracimazione sono stati rilevati i volumi di overtopping associati ad ogni singolo evento che ha tracimato.

La seguente tabella, estratta dal rapporto di HR Wallingford, riporta, per ogni condizione di prova, i più significativi eventi di tracimazioni osservati, in termine di volume, in ordine decrescente.

Table 5.11: Top 11 overtopping events

Test	Top events (m³/m)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
B2-1 - Vertical wall +6.5	21.5	20.2	18.3	15.4	14.8	14.6	14.4	12.7	12.5	12.4	12.0
B2-2 - Vertical wall +8.5	10.0	9.1	8.9	8.0	7.9	7.8	7.0	6.4	6.1	5.8	5.5
B2-3 - Vertical wall +10.5	4.3	3.8	3.2	3.0	2.7	2.4	2.2	2.0	1.9	1.9	1.9
B2-4 - Recurve wall +6.5	13.5	9.2	9.0	7.6	7.4	7.3	7.1	7.0	7.0	6.8	6.6
B2-5 - Recurve wall +8.5	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
B2-6 - Recurve wall +10.5	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a

Per le prove con coronamento della diga a quota più bassa (Rc = +6.5 m) gli eventi di tracimazione sono risultati molto frequenti e con volume di tracimazione molto elevati. Per la prova B2-1 con muro a parete verticale il volume massimo di tracimazione ha ampiamente superato il valore di 20.000 l/m.

In presenza del muro ricurvo i volumi di tracimazione osservati con Rc = +6.5 risultano quasi dimezzati. Al crescere di Rc i volumi di tracimazione osservati sono stati così piccoli che non è stato possibile acquisire delle misure significative.

3.6.3 Trasmissione del moto ondoso a tergo della diga

Le onde trasmesse sono state misurate in tre punti nello specchio acqueo protetto dalla diga, ad una distanza di 50 m, 100 m e 150 m dalla parete lato terminale del cassone, in prossimità della nave FSRU all'ormeggio.

I risultati ottenuti per ognuna delle sei configurazioni esaminate sono riportati nella seguente tabella estratta dal rapporto HR Wallingford.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITÀ RAVENNA (RA)	000-ZX-E-17190	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 16 di 35	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3302-009

La tabella fornisce il valore del coefficiente di trasmissione T_r (espresso in percentuale rispetto all'onda incidente), il valore dell'altezza d'onda significativa H_s osservata nei punti di registrazione dietro alla diga e il valore dell'altezza d'onda massima H_{max} .

Table 5.8: Transmission coefficient during design wave conditions

Distance back	Transmission coefficient T_r (%)			Significant wave height behind breakwater H_s (m)			Maximum wave height behind breakwater H_{max} (m)		
	50 m	100 m	150 m	50 m	100 m	150 m	50 m	100 m	150 m
Vertical wall +6.5 mMSL	7.2%	6.6%	6.5%	0.40	0.37	0.36	1.20	1.19	1.08
Recurve wall +6.5 mMSL	5.2%	4.6%	4.6%	0.29	0.25	0.26	1.46	1.48	0.88
Vertical wall +8.5 mMSL	3.8%	3.3%	3.4%	0.21	0.19	0.19	0.91	0.87	0.66
Recurve wall +8.5 mMSL	1.8%	1.5%	2.2%	0.10	0.09	0.12	0.30	0.30	0.19
Vertical wall +10.5 mMSL	2.3%	2.0%	2.4%	0.13	0.11	0.14	0.55	0.39	0.35
Recurve wall +10.5 mMSL	2.1%	1.8%	2.4%	0.12	0.10	0.14	0.20	0.18	0.24

Questi risultati sono presentati nel grafico di Figura 3-5 e mostrano che il muro ricurvo consente una protezione più elevata nei confronti dell'onda trasmessa.

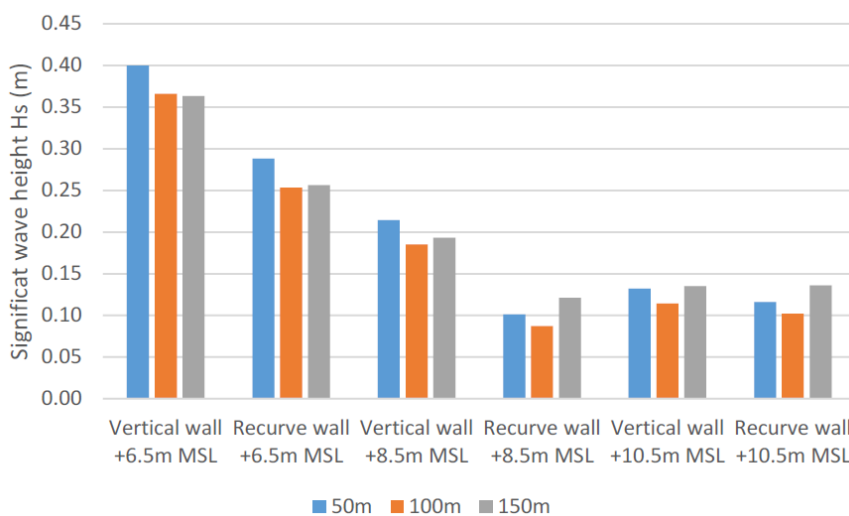


Figura 3-5. Valori di altezza d'onda trasmessa a tergo della diga osservati nei punti di registrazione, posizionati a 50, 100 e 150 m dal margine interno della diga a cassoni, per le 6 configurazioni esaminate.

3.6.4 Condizioni di prova B3 - Trasmissione del moto ondoso durante la fase di costruzione

Sono state effettuate 4 prove supplementari per valutare la trasmissione del moto ondoso associata a differenti fasi di realizzazione, assumendo una quota del coronamento provvisoria a +3.0 m e a +5.0 m MSL (vedi figura seguente), prendendo in esame condizioni di moto ondoso e livello con tempo di ritorno 2 anni e 10 anni.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITÀ RAVENNA (RA)	000-ZX-E-17190	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 17 di 35	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3302-009

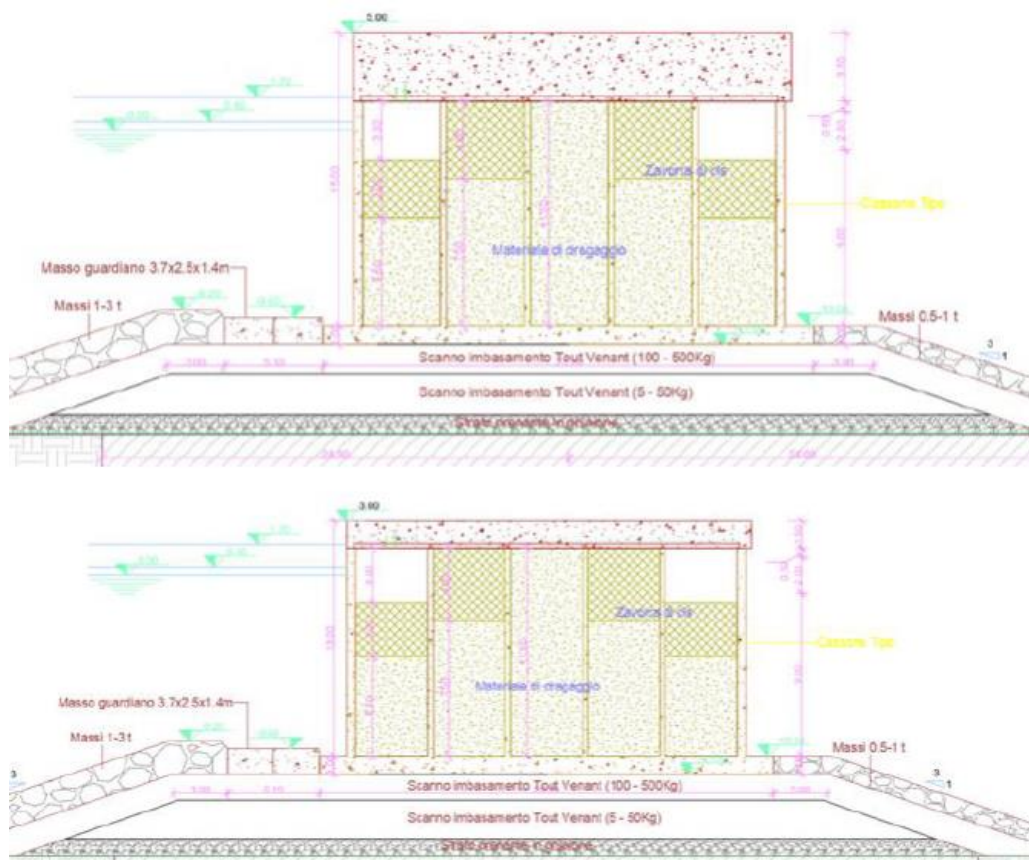


Figura 3-6. Sezioni provvisorie con coronamento a +5.00 m (in alto) e a +3.00 m (in basso).

Le condizioni di prova sono riportate nella seguente tabella.

Table 5.12: Test Series B3 – test matrix

Test Series	Test	Breakwater configuration		Wave conditions				
		Crest elevation (m MSL)	With or without recurve	Return period Tr (yrs)	H _s (m)	T _p (m)	Wave spectra	Still water level (m MSL)
B3 Transmission tests	B3 -1	+5.0	without	2	3.7	8	JONSWAP γ = 3.3.	+1.0
	B3 -2	+5.0		10	4.5	8.7		+1.2
	B3 -3	+3.0		2	3.7	8		+1.0
	B3 -4	+3.0		10	4.5	8.7		+1.2

Come indicato in precedenza l'onda trasmessa dietro alla diga è stata misurata in tre punti di osservazione posti a 50, 100 e 150 m dal paramento interno (lato terminale) dei cassoni. La distanza di 150 m corrisponde circa alla posizione della nave FSRU.

I risultati misurati sono riportati nella seguente tabella.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITÀ RAVENNA (RA)	000-ZX-E-17190	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 18 di 35	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3302-009

Table 5.13: Transmission coefficient during design wave conditions

Distance back	Transmission coefficient Tr (%)			Significant wave height behind breakwater H _s (m)			Maximum wave height behind breakwater H _{max} (m)		
	50 m	100 m	150 m	50 m	100 m	150 m	50 m	100 m	150 m
2 yr return period with +5 m crest	4.0%	3.4%	3.8%	0.15	0.13	0.14	0.75	0.41	0.37
10 yr return period with +5 m crest	7.6%	6.9%	6.8%	0.34	0.31	0.31	1.34	1.07	1.04
2 yr return period with +3 m crest	9.7%	8.3%	8.6%	0.35	0.30	0.31	1.08	1.11	0.80
10 yr return period with +3 m crest	14.4%	12.9%	12.6%	0.64	0.57	0.56	1.93	1.40	1.25

Come riportato in tabella i valori più elevati di altezza d'onda trasmessa sono stati osservati con un coronamento provvisorio a quota +3.0 m. In corrispondenza della nave FSRU (150 m) si ottengono valori di H_s pari a 0.31 m per Tr 2 anni e 0.56 m con tempo di ritorno 10 anni.

Con la quota del coronamento posta +5.0 m i valori di altezza d'onda ottenuti in corrispondenza della FSRU si riducono, H_s = 0.14 m per Tr 2 anni, H_s = 0,31 m per tempo di ritorno 10 anni.

3.7 Condizioni di prova C – protezione nei confronti dell'erosione

La serie di prove C ha investigato la stabilità dei massi anti scalzamento in calcestruzzo posti al piede del cassone e della mantellata in massi naturali posta a protezione dello scanno di imbasamento dei cassoni.

I test sono stati condotti in condizioni di moto ondoso estremo e basso livello del mare (+0.46m MSL).

3.7.1 Stabilità della mantellata

Il livello di danneggiamento della mantellata in massi naturali di peso 1.0 – 3.0 t è stato definito utilizzando tecniche di confronto fotografiche. I risultati ottenuti sono forniti in termini del numero di danneggiamento N_{od} definito come:

$$N_{od} = \frac{N * d_{n,50}}{W}$$

Dove N è il numero di massi movimentati, d_{n,50} è il diametro medio dei massi e W è la larghezza del canale.

La seguente tabella 6.1 estratta dal rapporto HR Wallingford riporta i risultati delle prove.

Table 6.1: armour damage (1.0–3.0 t rock)

Sea State	Tr (yrs)	H _{m0} (m)	T _p (s)	SWL (m msl)	N _{od}
C1-1	100	5.5	9.6	+0.46	0.50
C1-2	overload	6.6	10.9	+0.46	1.09

Il livello di danneggiamento ottenuto è relativamente basso. Le raccomandazioni per opere a parete verticale indicate nel *Rock Manual* (Ciria 2007) indicano i seguenti valori di riferimento:

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITÀ RAVENNA (RA)	000-ZX-E-17190	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 19 di 35	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3302-009

- $N_{od} = 0.5$ 'quasi nessun danno'
- $N_{od} = 2.0$ 'danneggiamento accettabile'
- $N_{od} = 5.0$ 'fallimento'

Anche in occasione della condizione di overload il danneggiamento ($N_{od} = 1.09$) risulta compreso tra la condizione di nessun danno e danneggiamento accettabile.

3.7.2 Stabilità dei massi guardiani di calcestruzzo al piede del cassone

Durante le prove nessun masso è stato estratto dalla sua posizione, nonostante si siano leggermente assestati.

3.8 Conclusioni

Per valutare la risposta idraulico-strutturale della nuova diga foranea di tipo composto a cassoni, posta a protezione del terminale FSRU, è stato condotto uno studio su modello fisico in scala ridotta presso i laboratori di HR Wallingford in Inghilterra.

L'obiettivo delle prove condotte è stato quello di determinare le azioni agenti sul cassone, la portata e i volumi di tracimazione, con sei differenti configurazioni del muro di coronamento della diga, ovvero con due forme per il muro (muro verticale e ricurvo) e con tre quote del muro paraonde: cresta R_c a quota +6.5, +8.5 e +10.5 m sul MSL.

Le azioni del moto ondoso sulla struttura sono state misurate per condizioni di moto ondoso associate ad un tempo di ritorno di 100 anni, in condizioni di acqua alto livello e basso livello di marea.

Nella progettazione di una opera foranea, le forze che variano lentamente nel tempo (con un periodo paragonabile a quello delle onde indicate anche come azioni pulsanti) sono considerate come azioni statiche nelle verifiche di stabilità, senza considerare gli effetti dinamici.

Le forze impulsive, o di breve durata, dovute al moto ondoso possono essere di intensità maggiore ma agiscono per un periodo molto breve (generalmente al di sotto del secondo). Queste forze non possono essere considerate come azioni statiche. Il loro effetto deve essere analizzato considerando la risposta dinamica della struttura, così come l'intensità e la durata delle forze impulsive.

Le forze di tipo impulsivo sono importanti sia per la verifica di tipo globale della diga ma soprattutto per il dimensionamento di elementi strutturali di dimensioni più piccole (come ad esempio il muro ricurvo) presenti sulla struttura.

Per ottenere i valori delle azioni quasi statiche è stato applicato un filtro alle serie temporali di pressione misurate dai trasduttori. Le caratteristiche del filtro sono basate sul periodo proprio di oscillazione della struttura che è stato stimato compreso tra 0.5 s – 1.0 s.

L'analisi delle misure non filtrate ha consentito di misurare le azioni di tipo impulsivo che agiscono sul muro.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITÀ RAVENNA (RA)	000-ZX-E-17190	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 20 di 35	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3302-009

I risultati ottenuti, in termini di azioni quasi statiche e azioni impulsive, sono riportati in una serie di tabelle che forniscono i parametri statistici per le forze e i momenti agenti sul cassone. I risultati, filtrati e non filtrati, sono stati forniti anche in formato elettronico.

Il coefficiente di trasmissione, definito come il rapporto tra l'onda riflessa $H_{mo,r}$ e l'onda incidente $H_{mo,i}$ ottenuto a seguito delle prove sperimentali risulta compreso tra 7,2% e 1,8%.

La portata media di tracimazione osservata risulta compresa tra 100 l/s/m e 4.6 l/s/m.

I valori di portata ottenuti applicando le formule dell'EuroTop risultano più elevati, e risultano compresi tra 179 l/s/m e 4.7 l/s/m.

I valori più elevati di overtopping si sono ottenuti con muro verticale e R_c a quota +6.5 m MSL, i valori più piccoli si sono osservati per muro ricurvo con R_c a +10.50 m MSL.

Con R_c a +6.50 m il sormonto della diga durante i test è risultato molto frequente, i volumi massimi di tracimazione, associati ad una singola onda, sono risultati molto elevati (superiori a 20.000 l/m).

I risultati delle prove hanno mostrato che i volumi di tracimazione si dimezzano in presenza del muro ricurvo e risultano praticamente nulli per valori di R_c pari a +8.50 e +10.50 m MSL.

I risultati ottenuti con muro ricurvo a quota +10.50 m MSL risultano più congruenti ai limiti indicati dall'EuroTop.

Le prove sperimentali hanno inoltre preso in esame la fase provvisoria della diga foranea, in assenza del muro paraonde, allo scopo di valutare l'onda trasmessa dietro alla diga in corrispondenza dell'ormeggio della FSRU.

Per la mantellata in massi naturali 1-3 t, posta a protezione dello scanno di imbasamento, si è ottenuto un danneggiamento estremamente modesto. Anche i massi guardiani di calcestruzzo al piede del cassone sono risultati decisamente stabili.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITÀ RAVENNA (RA)	000-ZX-E-17190	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 21 di 35	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3302-009

4 HR WALLINGFORD 3D MODEL: WAVE DISTURBANCE PHYSICAL MODEL STUDY

Lo studio riporta i risultati ottenuti su modello fisico 3D relativi alle condizioni di moto ondoso che si vengono a creare nella zona di ormeggio della FSRU.

In particolare nel Capitolo 2 vengono descritti i dispositivi sperimentali utilizzati, la scala e il criterio di similitudine utilizzati, la strumentazione sperimentale e la configurazione planimetrica rappresentata nella vasca.

Nel Capitolo 3 sono descritte le condizioni di moto ondoso e di livello del mare simulate sperimentalmente per riprodurre condizioni meteomarine estreme insieme ad alcuni dettagli relativi alla costruzione del modello e al sistema di analisi dati.

Nel Capitolo 4 è riportato il programma delle prove sperimentali.

Nel capitolo 5 sono riportati i risultati delle prove di calibrazione.

Nel Capitolo 6 sono riportati i risultati dello studio di agitazione ondosa nella zona di ormeggio della FSRU.

Infine nel Capitolo 7 viene fornito il riassunto e le conclusioni del lavoro svolto.

Si riportano di seguito i dati salienti del modello fisico svolto e il confronto tra i risultati sperimentali e quelli ottenuti con il modello numerico utilizzato per la progettazione della nuova diga.

4.1 Caratteristiche principali del modello fisico in vasca

Il modello fisico 3D è stato realizzato in scala ridotta e in similitudine di Froude utilizzando per la scala di riduzione delle lunghezze il valore 1:58.

Per la realizzazione del modello si è utilizzato il bacino E di Wallingford che ha le seguenti dimensioni in pianta 27 m x 55,3 m e una profondità di 1,3 m.

Nella Figura 4-1 è riportata la planimetria del modello fisico dove è stata riprodotta la batimetria reale che include la diga, la zona di ormeggio della FSRU e la batimetria antistante la diga per una superficie reale complessiva di circa 1,8 km x 1,2 km.

Nella planimetria sono riportate le tre posizioni del generatore del moto ondoso utilizzate per riprodurre le tre direzioni di moto ondoso riprodotte sperimentalmente.

Il sistema di generazione del moto ondoso consente di riprodurre onde irregolari sia a cresta lunga (long crested waves), sia cresta corta (short crested waves) ed è dotato di un sistema di assorbimento attivo delle onde riflesse.

Una rampa con pendenza 1:20 è stata utilizzata per raccordare la profondità in corrispondenza alla quale sono state generate le onde (-19,5 m LAT) con le profondità del modello nella zona offshore pari a circa -14,5 m MSL.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITÀ RAVENNA (RA)	000-ZX-E-17190	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 22 di 35	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3302-009

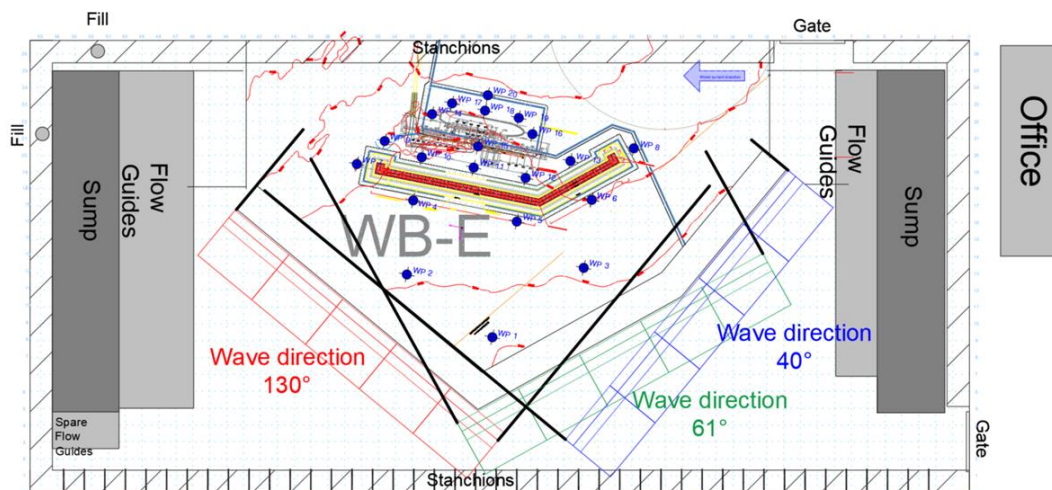


Figura 4-1 Planimetria del modello fisico.

Una volta riprodotta la batimetria reale è stata realizzata la scogliera di imbasamento dei cassoni insieme alla diga.

Per misurare la variazione della superficie libera e quindi le onde sono state utilizzate sonde resistive costituite da coppie di conduttori.

Si riporta in Figura 4-2 la posizione delle sonde di livello utilizzate per i test di agitazione ondosa.

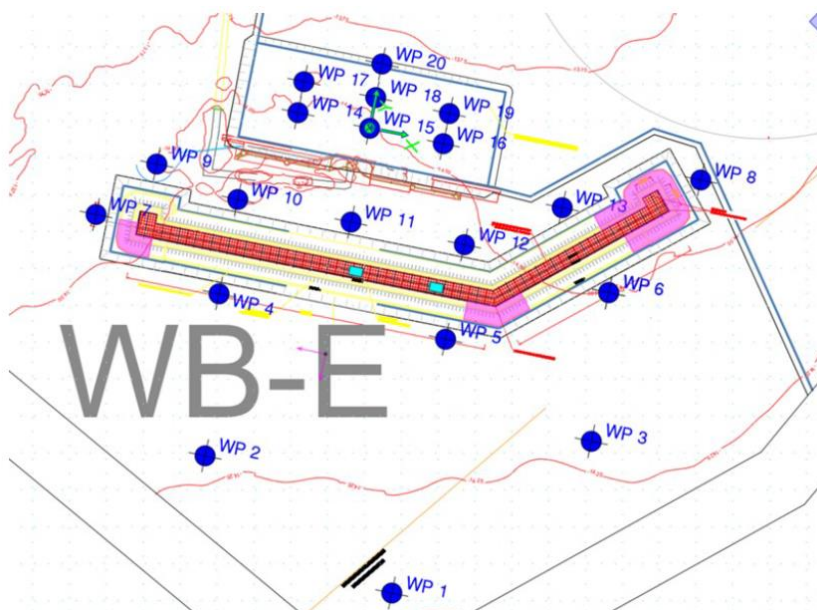


Figura 4-2 - Posizione delle sonde di livello per i test di agitazione ondosa.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITÀ RAVENNA (RA)	000-ZX-E-17190	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 23 di 35	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3302-009

Nella Tabella 4-1 sono riportate le condizioni di moto ondoso riprodotte sperimentalmente che coprono le tre direzioni principali del moto ondoso proveniente dal I e dal II quadrante ed i due tempi di ritorno $Tr = 50$ e 100 anni. Le simulazioni sono state tutte condotte in condizioni di massimo livello di progetto relativo ai due tempi di ritorno utilizzati.

Tabella 4-1 - Condizioni di moto ondoso riprodotte sperimentalmente.

Return period Tr (yrs)	H_s (m)	T_p (s)	JONSWAP γ factor	Wave direction ($^{\circ}N$)	SWL (m MSL)	
50	3.4	8.0	3.3	40	HL	1.6
100	3.6	8.0	3.3		HL	1.7
50	5.2	9.4	3.3	61	HL	1.6
100	5.5	9.6	3.3		HL	1.7
50	3.6	8.9	3.3	125 / 130	HL	1.6
100	3.8	9.4	3.3		HL	1.7

Per le tre direzioni caratterizzate dal $Tr = 100$ anni si sono simulate sia onde “long crested” che “short crested”.

Per le tre direzioni caratterizzate dal $Tr = 50$ anni si sono simulate solo onde del tipo “short crested”.

I risultati sperimentali per le onde a cresta lunga (“long-crested” waves) sono riportati nella Tabella 4-2 mentre nella Tabella 4-3 sono riportati i risultati sperimentali per le “short-crested” waves.

Tabella 4-2 - Risultati delle prove di agitazione ondosa in termini di H_s nella zona di ormeggio della nave per long-crested waves (onde a cresta lunga).

Test	return period Tr (yrs)	Wave conditions				Measured H_s				
		H_s (m)	T_p (s)	Wave direction ($^{\circ}N$)	SWL (m MSL)	WP14 (m)	WP15 (m)	WP16 (m)	Avg. (m)	
B1-1	100	3.60	8.0	40	HL_100	1.7	0.80	0.77	0.79	0.79
B1-2	100	5.50	9.6	61	HL_100	1.7	0.99	0.96	1.08	1.01
B1-3	100	3.8	9.4	125	HL_100	1.7	1.10	0.74	0.62	0.82

Tabella 4-3 - Risultati delle prove di agitazione ondosa in termini di H_s nella zona di ormeggio della nave per short-crested waves (onde a cresta corta).

Test	return period Tr (yrs)	Wave conditions				Measured H_s				
		H_s (m)	T_p (s)	Wave direction ($^{\circ}N$)	SWL (m MSL)	WP14 (m)	WP15 (m)	WP16 (m)	Avg. (m)	
B2-1	50	3.4	8.0	40	HL	1.6	0.99	1.09	1.15	1.08
B2-2	100	3.6	8.0		HL	1.7	1.08	1.14	1.24	1.15
B2-3	50	5.2	9.4	60	HL	1.6	0.96	0.94	1.00	0.96
B2-4	100	5.5	9.6		HL	1.7	1.09	1.05	1.16	1.10
B2-5	50	3.6	8.9	130	HL	1.6	1.50	0.95	0.73	1.06
B2-6	100	3.8	9.4		HL	1.7	1.75	1.10	0.89	1.25

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITÀ RAVENNA (RA)	000-ZX-E-17190	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 24 di 35	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3302-009

4.2 Confronto tra i risultati ottenuti sperimentalmente con i risultati ottenuti con i modelli numerici

Si presenta di seguito il confronto tra i risultati ottenuti con le prove sperimentali e i risultati ottenuti con i modelli numerici di propagazione del moto ondoso impiegati nell'ambito del progetto della diga frangiflutti.

La seguente Tabella 4-4, estratta dal rapporto 000-ZX-E-17090 Studio penetrazione moto ondoso e agitazione interna, riporta i parametri di moto ondoso di progetto in corrispondenza dell'ormeggio della FSRU, ottenuti, a seguito dell'applicazione del modello numerico di diffrazione CGWAVE e del modello spettrale SWAN, per stati di mare provenienti da largo con tempo di ritorno 100 anni.

Tabella 4-4 Valori di altezza d'onda significativa ottenuti per stati di mare provenienti da largo con Tr 100 anni nel punto di ormeggio della FSRU con il modello di propagazione CGWAVE e con il modello SWAN.

Tempo di ritorno 100 anni						Parametri di moto ondoso nella zona di ormeggio della FSRU						Heading [°]	
Dir. onda da largo [°N]	nel punto al largo ERA5		Stati di mare incidenti all'esterno della diga foranea			valori ottenuti con il modello CGWAVE		valori ottenuti con il modello SWAN					
	H _s [m]	T _p [s]	H _s [m]	T _p [s]	Dir [°N]	H _s [m]	dev.std	H _{mo} [m]	T _p [s]	T _{m-1.0} [s]	Dir [°N]		
Grecale	15	4.9	7.9	3.60	8.0	40	1.21	0.2	1.25	8.0	5.0	357	194
	30	4.9	7.9	3.85	8.0	50	0.93	0.1	1.10	8.0	5.2	2	189
	45	6.2	9.5	5.40	10.0	60	1.27	0.1	1.15	9.6	6.4	8	183
	75	6.2	9.5	5.60	10.0	75	1.01	0.1	0.69	9.6	5.9	20	171
Scirocco	90	6.2	9.5	5.60	10.0	90	0.74	0.2	0.53	9.5	4.8	68	123
	120	4.7	9.4	4.20	10.0	110	0.72	0.1	0.69	9.3	4.9	168	23
	135	4.7	9.4	4.00	10.0	120	0.73	0.1	0.88	9.3	5.0	173	18
	150	4.7	9.4	3.75	10.0	125	0.84	0.1	1.05	9.3	4.9	178	13

I valori di altezza d'onda significativa H_s riportati nella Tabella 4-4 sono stati ottenuti simulando onde a cresta corta ("short crested waves"), ossia caratterizzati da dispersione in direzione dell'energia associata al moto ondoso. Si osserva che le simulazioni numeriche di progetto hanno riguardato solo onde a cresta corta.

È opportuno precisare che per ogni direzione di moto ondoso incidente sono stati presi a riferimento i valori più elevati di H_s ottenuti con i due modelli numerici.

Nella Tabella 4-5 si riporta il confronto tra i valori sperimentali ottenuti per condizioni di onda a cresta lunga (long crested waves), misurati in corrispondenza della sonda WP15 (vedi Figura 4-2) posta al centro della zona di ormeggio della FSRU (tratti dalla tabella 7-2 del rapporto HR Wallingford la quale è stata riportata nella precedente Tabella 4-2) con i valori di H_s ottenuti numericamente.

Nella Tabella 4-6 si mostra il confronto tra i valori di H_s sperimentali ottenuti per condizioni di onda a cresta corta (rif. tabella 7-4 del rapporto HR Wallingford che corrisponde alla Tabella 4-3 del presente rapporto) con i corrispondenti valori ottenuti numericamente.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITÀ RAVENNA (RA)	000-ZX-E-17190	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 25 di 35	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3302-009

Tabella 4-5 Confronto tra i valori di H_s nella zona di ormeggio ottenuti con le prove sperimentali, per condizioni di moto ondoso a cresta lunga, e i valori ottenuti con i modelli numerici.

Significant wave height at berth – long-crested waves

Test	Tr	$H_{s,inc}$	T_p	Dir	SWL	WP15
	(yrs)	(m)	(s)	(°N)	(m)	(m)
B1-1	100	3.6	8	40	1.7	0.77
B1-2	100	5.5	9.6	61	1.7	0.96
B1-3	100	3.8	9.4	125	1.7	0.74

Significant wave height at berth – numerical models

Tr	$H_{s,inc}$	T_p	Dir	SWL	H_s	Delta H_s
	(m)	(s)	(°N)	(m)	(m)	(m)
100	3.6	8	40	1.7	1.25	0.48
100	5.2	10	60	1.7	1.27	0.31
100	3.8	10	125	1.7	1.05	0.31

Tabella 4-6 Confronto tra i valori di H_s nella zona di ormeggio ottenuti con le prove sperimentali, per condizioni di moto ondoso a cresta corta, e i valori ottenuti con i modelli numerici.

Significant wave height at berth – short-crested waves

Test	Tr	$H_{s,inc}$	T_p	Dir	SWL	WP15
	(yrs)	(m)	(s)	(°N)	(m)	(m)
B2-2	100	3.6	8	40	1.7	1.14
B2-4	100	5.5	9.6	60	1.7	1.05
B2-6	100	3.8	9.4	130	1.7	1.1

Significant wave height at berth – numerical models

Tr	$H_{s,inc}$	T_p	Dir	SWL	H_s	Delta H_s
	(m)	(s)	(°N)	(m)	(m)	(m)
100	3.6	8	40	1.7	1.25	0.11
100	5.2	10	60	1.7	1.27	0.22
100	3.8	10	125	1.7	1.05	-0.05

Dal confronto è possibile osservare che i valori di H_s ottenuti con i modelli numerici risultano sempre superiori rispetto a quelli ottenuti con le prove sperimentali per condizioni di onda a cresta lunga. Le differenze che si ottengono in termini di H_s risultano comprese tra 0.3 e 0.5 m.

Confrontando i risultati ottenuti sperimentalmente per condizioni di onda a cresta corta con quelli ottenuti dai modelli numerici, si ottengono valori pressoché uguali con differenze assolute in termini di H_s dell'ordine di 5-20 cm.

4.3 Conclusioni

Sulla base del confronto effettuato si può affermare che le previsioni numeriche dell'agitazione di moto ondoso residuo a tergo della diga e in particolare nella zona di ormeggio della FSRU in relazione alle condizioni di moto ondoso di breve periodo generate dal vento nelle condizioni estreme di moto ondoso e di livello di progetto (con moto ondoso proveniente dal I e dal II quadrante) caratterizzate dal tempo di ritorno di 100 anni, le quali sono state utilizzate per il dimensionamento della stessa diga, sono risultate perfettamente congruenti con i corrispondenti risultati ottenuti sperimentalmente presso il laboratorio HR Wallingford.

Inoltre il modello fisico ha consentito di verificare che la nuova diga foranea non è soggetta ad apprezzabili fenomeni di tracimazione ondosa anche con le condizioni meteomarine estreme caratterizzate dal tempo di ritorno di 100 anni.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITÀ RAVENNA (RA)	000-ZX-E-17190	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 26 di 35	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3302-009

5 MARIN PHYSICAL MODEL STUDY

MARIN (*Maritime Research Institute Netherlands*) è un l'Istituto di ricerca marittima dei Paesi Bassi, tra i più grandi istituti al mondo per la ricerca sull'idrodinamica e la tecnologia marittima attraverso simulazioni, test su modelli e misurazioni su scala reale. MARIN concentra il suo lavoro sulle costruzioni navali, sul trasporto marittimo e sull'industria offshore. I principali clienti sono cantieri navali e armatori, società di progettazione e classificazione, produttori dell'industria petrolifera e del GNL e marine militari.

Nei Paesi Bassi MARIN ha lo status di Groot Technologisch Instituut (GTI) collocandosi tra i principali e più prestigiosi centri di ricerca olandesi; oltre l'85% del fatturato è realizzato attraverso progetti commerciali per l'industria marittima internazionale mentre il restante 15% proviene dalla ricerca scientifica.

All'istituto MARIN è stato commissionato per il progetto FSRU Ravenna l'analisi in vasca del sistema FSRU più il relativo sistema di ormeggio al nuovo terminale offshore.

Il lavoro è stato suddiviso in tre fasi:

- Fase 1: Studio del movimento della Nave;
- Fase 2: Studio del Sistema di Ormeggio della FSRU alla piattaforma;
- Fase 3: Studio del sistema di Ormeggio FSRU + LNGC (STS)

5.1 Modello Nave – FSRU

In Figura 5.1 è rappresentato il modello impiegato per i test in vasca. Il modello M10446, in scala 1:30 (Tabella 5-1), è rappresentativo di una LNG Carrier generica ma con dimensioni e comportamento dinamico compatibile con la FSRU Ravenna.

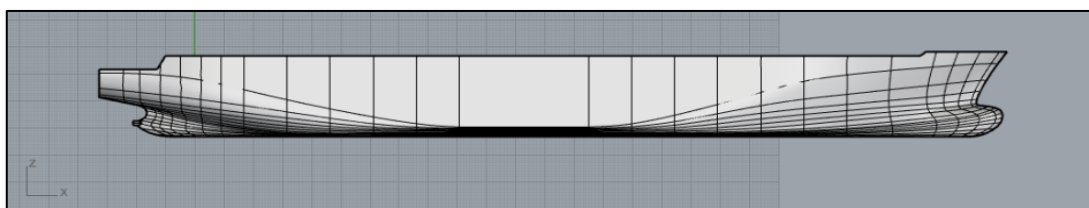


Figura 5.1 – Modello Nave - FSRU (MARIN)

Model	Model Scale		Full Scale (1:30)	
	Lpp [m]	B [m]	Lpp [m]	B [m]
M10446	9.233	1.447	277.0	43.4

Tabella 5-1 Dimensioni: Modello FSRU (MARIN)

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITÀ RAVENNA (RA)	000-ZX-E-17190	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 27 di 35	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3302-009

5.2 Sistema di Ormeggio

Il sistema di ormeggio è stato modellato considerando ciascun elemento di Figura 5.3 nel seguente modo:

- Linee di Ormeggio: Sono state modellate come un singola matassa (bundle), costituito da due/tre coppie formate da codetta e cima di ormeggio; in Figura 5.2 la curva forza-elongazione risultante.

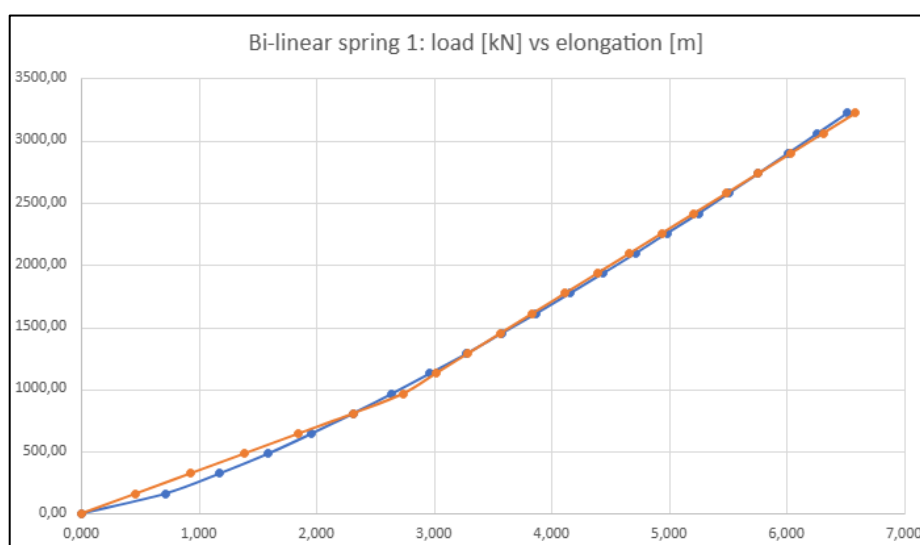


Figura 5.2 – Linea 8: Diagramma Forza-Elongazione (Bundle)

- Briccole di Accosto e di Ormeggio;
- Respingenti (Fender).

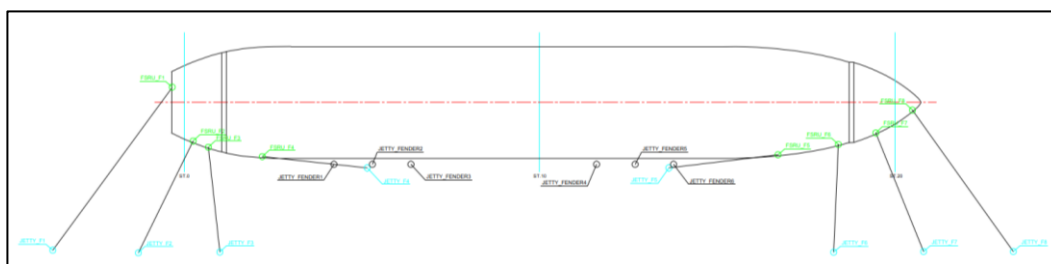


Figura 5.3 – Pianta: Sistema di Ormeggio (MARIN)

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITÀ RAVENNA (RA)	000-ZX-E-17190	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 28 di 35	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3302-009

5.3 Test Effettuati

La matrice dei casi analizzati in vasca è riportata nella seguente Tabella 5-3; le condizioni di carico valutate tramite modello fisico coprono solo il caso zavorrato (ballast) essendo questa la condizione più conservativa da un punto di vista della dinamica del mezzo navale.

Per quanto riguarda le direzioni d'onda, l'altezza significativa (H_s) ed il periodo di picco (T_p) le prove sono state divise in due macro-classi come descritto nelle sezioni successive.

5.3.1 Fase temporanea (MT)

Questa classe di test in vasca è rappresentativa delle condizioni di ormeggio durante la fase temporanea di esercizio della FSRU in assenza della nuova diga di protezione dal moto ondoso. I test sono stati eseguiti per validare il modello numerico dello studio di ormeggio nelle medesime condizioni ed i parametri d'onda (direzione, altezza significativa e periodo di picco) sono stati identificati tra quelli più significativi emersi dal modello numerico.

Caso	H_s [m]	T_p [sec]	Direzione Onda [°]	Spettro	Condizione di Carico
MT – 1	1.50	5.91	100	Jonswap	Ballast
MT – 2	1.50	5.91	190	Jonswap	Ballast
MT – 3	1.50	5.91	315	Jonswap	Ballast
MT – 4	1.50	5.91	45	Jonswap	Ballast
MT – 5	1.50	5.91	280	Jonswap	Ballast
MT – 6	1.50	5.91	10	Jonswap	Ballast

Tabella 5-2 Test effettuati in vasca (MARIN) – Fase Temporanea

5.3.2 Fase permanente (MP)

Questa classe di test in vasca è rappresentativa delle condizioni di ormeggio permanenti, quando cioè la diga di protezione sarà ultimata e completamente operativa. I parametri dell'onda da riprodurre sono stati estratti dalle simulazioni in vasca descritte nelle sezioni precedenti (Sezione 4), in maniera da tenere conto degli effetti diffrattivi della diga che si concretizzano in una considerevole riduzione dell'altezza d'onda significativa a tergo della diga e nelle modifiche alle direzioni di propagazione. La finalità di questa classe di test era quella di verificare che tali effetti schermanti fossero tali da garantire un'operatività della FSRU Ravenna in tutte le condizioni estreme previste per il sito.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITÀ RAVENNA (RA)	000-ZX-E-17190	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 29 di 35	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3302-009

Caso	Hs [m]	Tp [sec]	Direzione Onda [°]	Spettro	Condizione di Carico
MP - 1 (B)	0.77	8.00	190	Jonswap	Ballast
MP - 2 (B)	0.96	9.60	190	Jonswap	Ballast
MP - 3 (B)	0.96	9.60	45	Jonswap	Ballast
MP - 4 (B)	1.29	4.40	315	Jonswap	Ballast
MP - 5 (B)	1.21	3.80	280	Jonswap	Ballast
MP - 6 (B)	1.16	5.00	10	Jonswap	Ballast

Tabella 5-3 Test effettuati in vasca (MARIN) – Fase Permanente

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITÀ RAVENNA (RA)	000-ZX-E-17190	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 30 di 35	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3302-009

Uno schema a blocchi che sintetizza l'approccio seguito è riportato nella seguente Figura 5.4

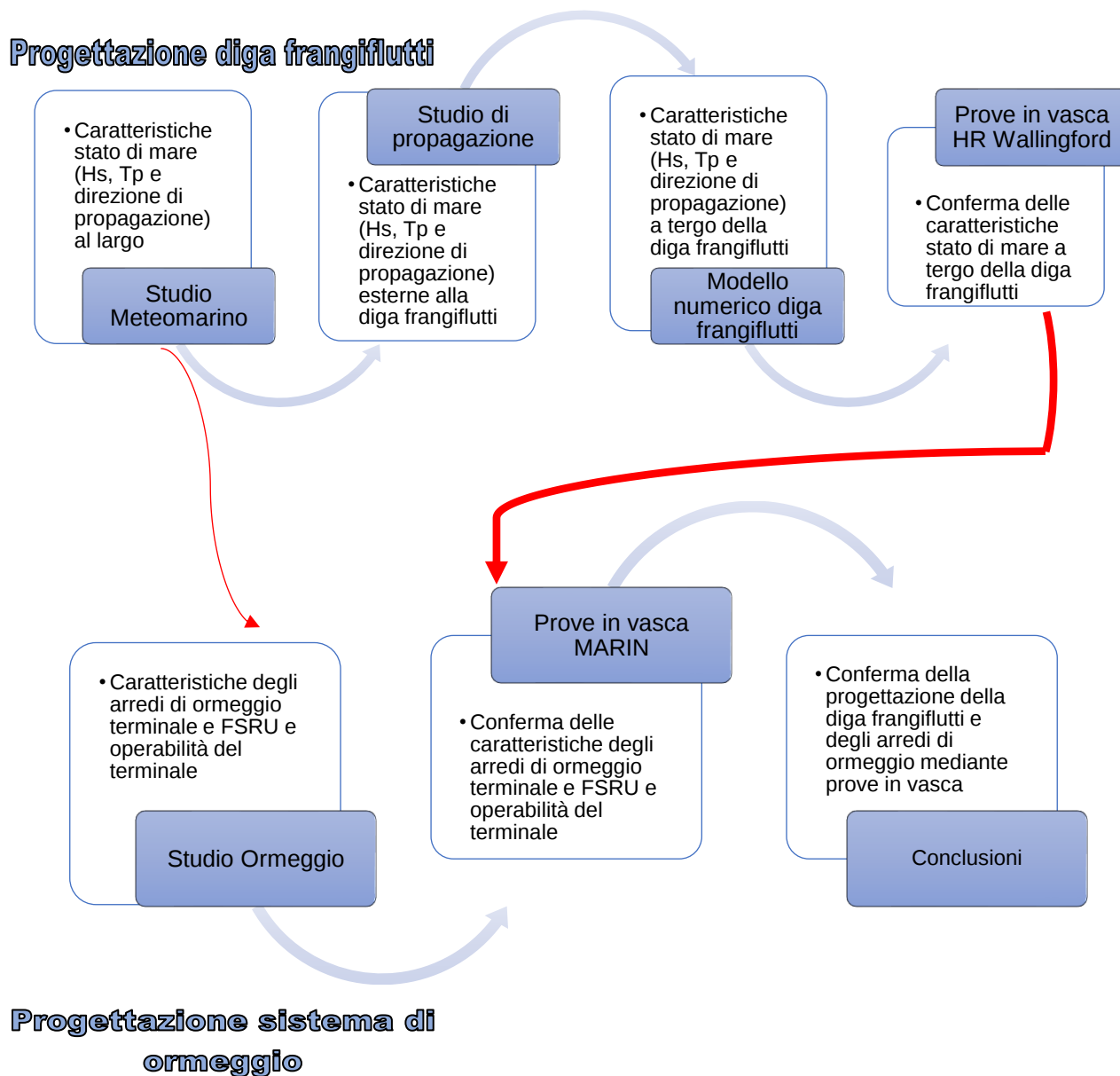


Figura 5.4 – Schema a blocchi metodologia di verifica della progettazione

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITÀ RAVENNA (RA)	000-ZX-E-17190	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 31 di 35	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3302-009

5.4 Metodologia

I parametri di controllo usati per il confronto dei risultati tra le analisi numeriche, effettuate mediante suite OrcaFlex ® ed i test effettuati in vasca sono i seguenti:

- Tensione dei Gruppi Cime;
- Reazione dei Respingenti (Fender);
- Spostamenti Massimo e Minimo (FSRU – BW Singapore).

5.4.1 Gruppi Cime

Ogni cima è raggruppata in accordo alla briccola su cui essa è posizionata, sei (6) sulle briccole di ormeggio e due (2) sulle briccole di accosto.

Ogni gruppo è costituito da due o tre cime, le quali presentano uno specifico valore di massimo carico ammissibile calcolato dividendo il massimo carico di rottura per il fattore di sicurezza identificato dalla normativa (Tabella 5-4).

Codice	Numero Cime	Carico Massimo Ammissibile [kN]
1	2	1503.2
2	3	2254.8
3	2	1503.2
4	2	1503.2
5	2	1503.2
6	3	2254.8
7	2	1503.2
8	2	1503.2

Tabella 5-4 Resistenza per gruppo cime

5.4.2 Respingenti (Fender)

Ogni respingente è posizionato su una briccola d'accosto come da Figura 5.5. La massima reazione di ogni respingente è pari a 3766kN.

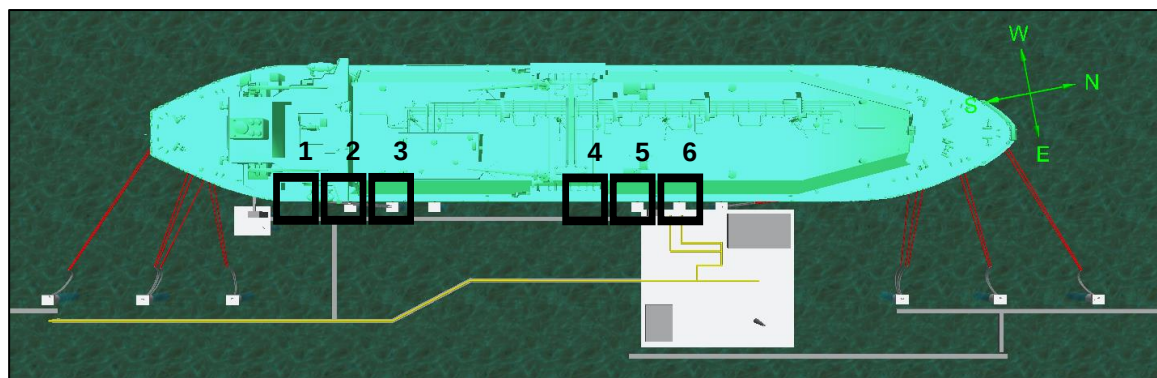


Figura 5.5 – Nomenclatura Respingenti (Fender)

5.4.3 Decay Test

I Decay Test nelle direzioni di surge e sway eseguiti presso MARIN in condizioni ballast sono stati confrontati con gli stessi test effettuati tramite modello numerico; lo

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITÀ RAVENNA (RA)	000-ZX-E-17190	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 32 di 35	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3302-009

smorzamento dovuto agli effetti viscosi è stato quindi aggiunto iterativamente al modello numerico fino ad ottenere una buona aderenza tra le due curve (Figura 5.6 e Figura 5.7). Attraverso questa operazione è stato possibile tarare il modello numerico incorporando gli effetti viscosi che normalmente non sono inclusi nella determinazione del database idrodinamico della nave.

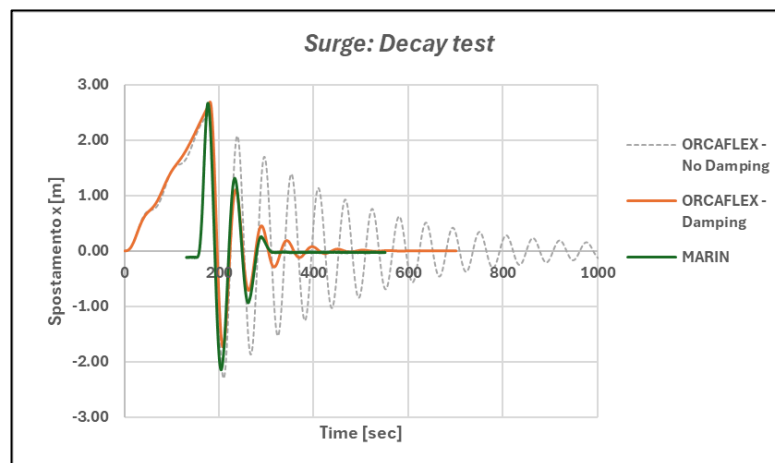


Figura 5.6 –Decay Test – Surge

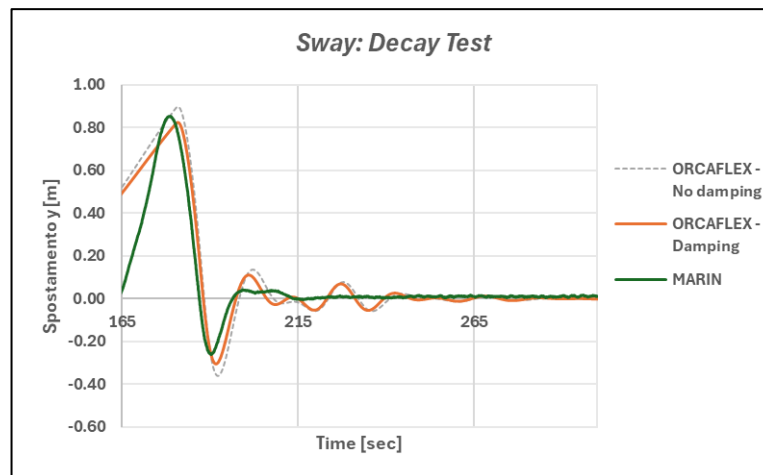


Figura 5.7 –Decay Test – Sway

5.4.4 Criteri di accettabilità

Come descritto nelle Sezioni 5.3.1 e Sezioni 5.3.2, sono state effettuati dodici test con spettro irregolare (Jonswap). I criteri per ritenere accettabile il risultato della prova sono riportati nella sottostante Tabella 5-5; tali criteri sono stati suddivisi in due categorie:

- Criteri Funzionali: relativi al funzionamento dell'impianto;
- Criteri Strutturali: relativi all'integrità delle strutture.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITÀ RAVENNA (RA)	000-ZX-E-17190	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 33 di 35	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3302-009

Parametro	Condizione	Tipologia Criterio
Tensione su linee di ormeggio	SF = 1.67	Strutturale
Max Spostamento longitudinale (surge)	± 1.0 m	Funzionale
Max Spostamento trasversale (sway)	+ 1.0 m (in allontanamento) - 0.8 m (in avvicinamento)	Funzionale
Reazione parabordo	≤ 1883 kN	Strutturale

Tabella 5-5 Criteri di accettabilità per la simulazione

5.5 Conclusioni

I risultati ottenuti dalle prove in vasca sui tre parametri di controllo considerati confermano i valori numerici calcolati nella fase di progettazione del sistema di ormeggio:

- Gruppi Cime: Tutti i valori di tensione sono tra loro simili ed all'interno dei valori limite di progetto;
- Respingenti: I valori delle reazioni dei respingenti sono conformi ed al di sotto dei limiti progettuali;
- Spostamenti: Gli spostamenti analizzati (Surge, Sway e Heave) sono tra loro paragonabili ma si evidenziano delle minime discrepanze ascrivibili principalmente ai limiti intrinseci del modello fisico:
 - *Modello*: Lo scafo utilizzato nei test in vasca presso MARIN (da stock) non è del tutto equivalente al modello numerico costruito in OrcaFlex® per dimensione e stazza. Il modello numerico si basa sul data base idrodinamico estratto partendo dalla carena della FSRU Ravenna. Tuttavia la differenza tra i due scafi (modello fisico e modello numerico) non genera scostamenti significativi tra i risultati.
 - *Pretensionamento*: Il pretensionamento usato nel modello numerico è identico per tutte le simulazioni effettuate mentre, nei test in vasca, il pretensionamento è stato modificato ogni volta che il sistema veniva nuovamente orientato secondo l'*heading* in esame.
 - La variabilità del pretensionamento ad ogni test implica l'instabilità della posizione statica (posizione di equilibrio) da cui calcolare in maniera univoca gli spostamenti della nave;

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITÀ RAVENNA (RA)	000-ZX-E-17190	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 34 di 35	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3302-009

- *Riflessioni delle onde*: nei test in vasca un'aliquota di energia che colpisce lo scafo è dovuta alle riflessioni delle onde generate dopo l'urto con le spiagge che, sebbene progettate per assorbire la maggior parte dell'onda riflessa, presentano comunque delle riflessioni spurie specie per i periodi più alti; questo fenomeno ovviamente non è presente nel modello numerico.

Le tabelle successive mostrano il confronto, per i casi più significativi, fra i valori ottenuti in vasca e quelli calcolati tramite modello numerico.

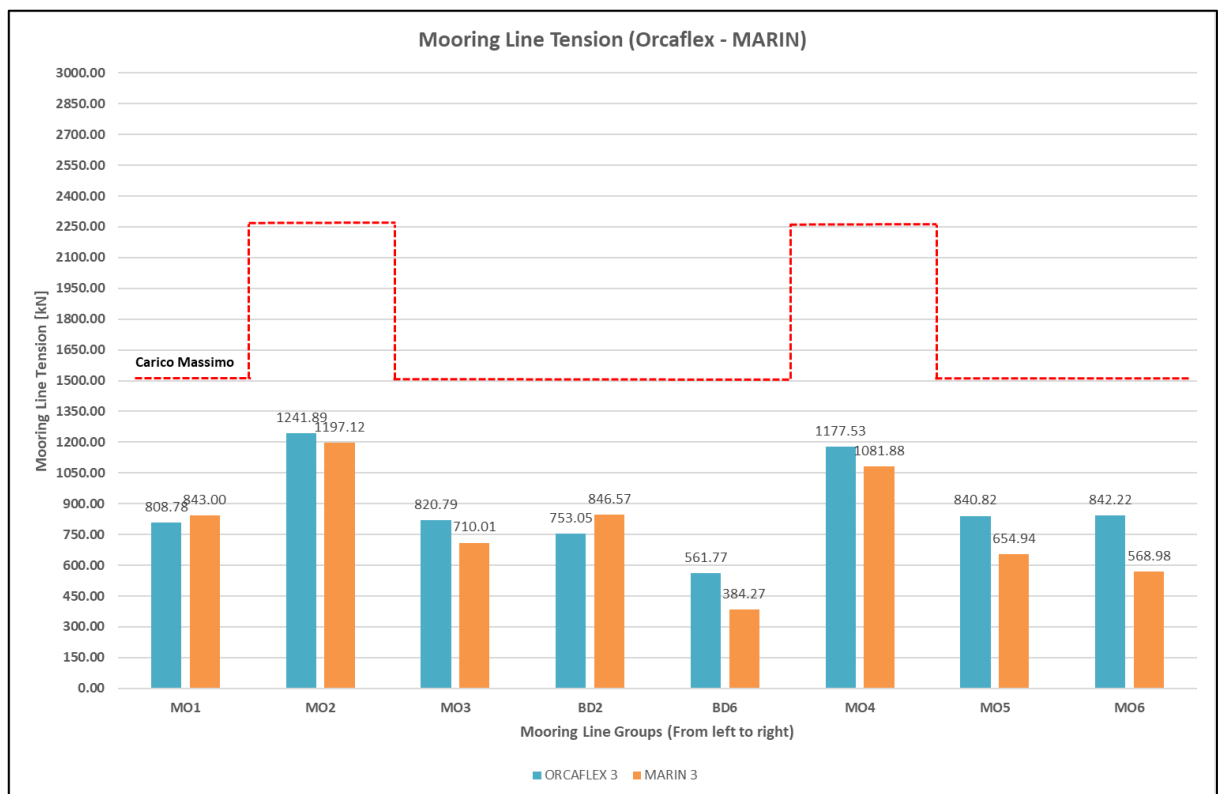


Figura 5.8 – Gruppi Cime – Caso P - 3

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R22199	UNITA' 000
	LOCALITÀ RAVENNA (RA)	000-ZX-E-17190	
	PROGETTO / IMPIANTO FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI	Fg. 35 di 35	Rev. 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064C-055-RT-3302-009

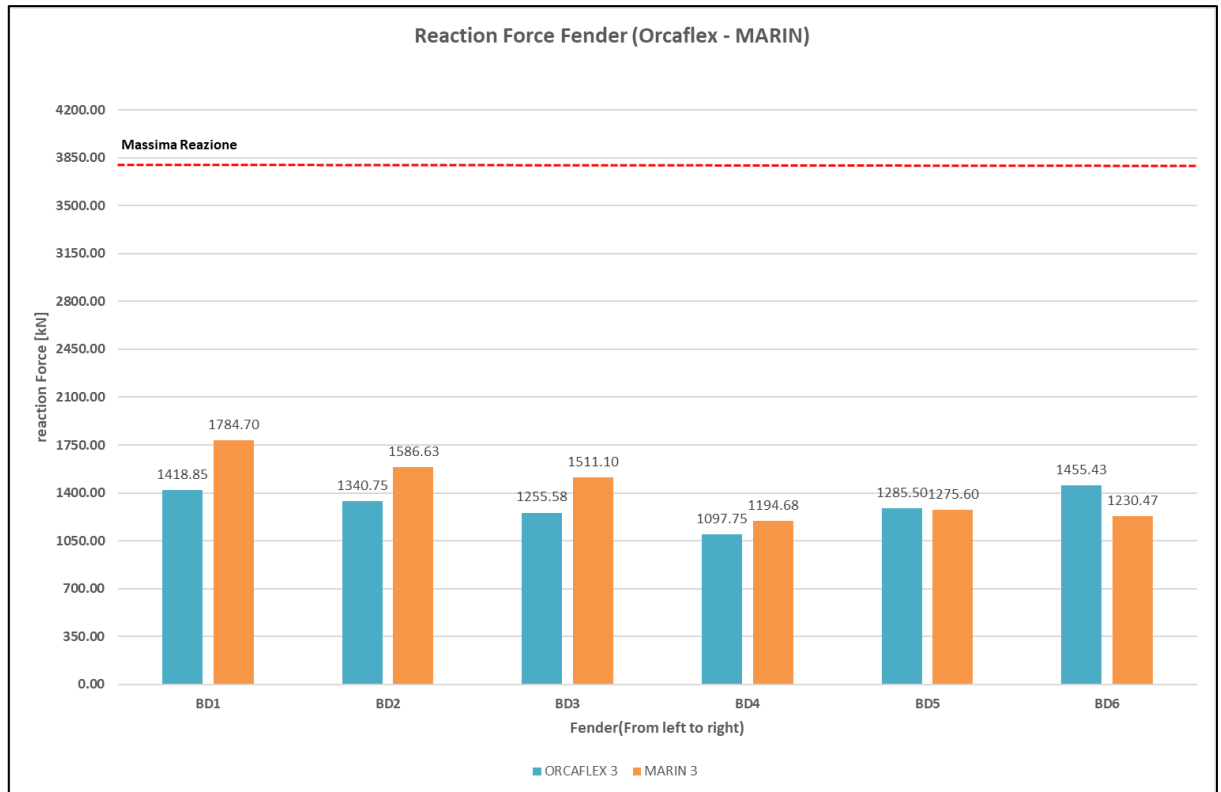


Figura 5.9 – Respingenti (Fender) – Caso P - 3

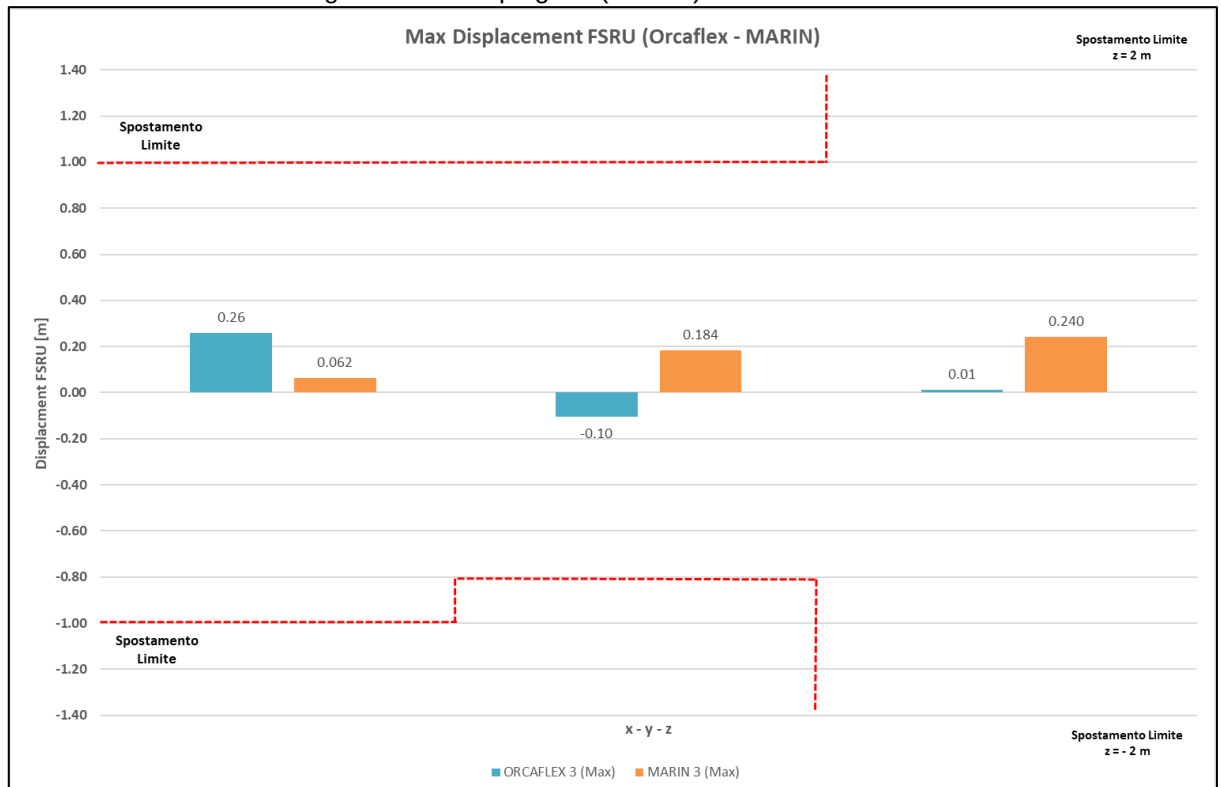


Figura 5.10 – Spostamenti FSRU Massimi – Caso P - 3

Documento di proprietà Snam. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

T.EN ITALY SOLUTIONS S.p.A. - 00148 ROMA - Viale Castello della Magliana, 68