

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22177	<b>UNITA'</b> -
	<b>LOCALITA'</b> PIOMBINO (LI)	<b>REL-AMB-E-00025</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU Piombino e collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 1 di 10	<b>Rev.</b> 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064-053-RT-3220-0087

**EMERGENZA GAS**  
**Incremento di capacità di rigassificazione (DL 17 Maggio**  
**2022, n. 50)**  
**FSRU Piombino e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti**  
**STUDI SPECIALISTICI DI IDRAULICA MARITTIMA**  
**Studio della tracimazione**



0	Emissione per permessi	M. Tartaglini P.De	S. Rossicone P. Russo	S. Scandale V. Forlivesi	23.05.2022
	<b>Descrizione</b>	<b>Elaborato</b>	<b>Verificato</b>	<b>Approvato Autorizzato</b>	<b>Data</b>

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22177	<b>UNITA'</b> -
	<b>LOCALITA'</b> PIOMBINO (LI)	<b>REL-AMB-E-00025</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU Piombino e collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 2 di 10	<b>Rev.</b> 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064-053-RT-3220-0087

## INDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE</b>	<b>3</b>
1.1	Obiettivi e sintesi dello studio	3
<b>2</b>	<b>CALCOLO DELLA TRACIMAZIONE (WAVE OVERTOPPING)</b>	<b>5</b>
2.1	Introduzione	5
2.2	Geometria della sezione trasversale di calcolo	5
2.3	Forzanti meteomarine	7
2.4	Parametri di input per il calcolo della tracimazione	7
2.5	Calcolo della portata di tracimazione	9

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22177	<b>UNITA'</b> -
	<b>LOCALITA'</b> PIOMBINO (LI)	<b>REL-AMB-E-00025</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU Piombino e collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 3 di 10	<b>Rev.</b> 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064-053-RT-3220-0087

## 1 INTRODUZIONE

Il presente rapporto descrive lo studio della tracimazione del moto ondoso a cui potrebbe essere soggetta la diga Est del Porto di Piombino posta a protezione del terrapieno e della banchina dove verrà ormeggiata la FSRU (Floating Storage and Regasification Unit).

Lo studio è stato condotto a supporto del progetto che prevede l'installazione nel porto commerciale di Piombino (provincia di Livorno) di una nave gasiera opportunamente modificata (FSRU) per consentire lo stoccaggio e la vaporizzazione di GN liquido (GNL) importato tramite navi GNL "Shuttle".

Lo studio è stato eseguito dalla Modimar Project s.r.l. con l'integrazione delle prestazioni specialistiche sviluppata dall'Ing Marco Tartaglini. In particolare il presente studio è stato curato dal punto di vista tecnico-scientifico dal Prof. Ing. Paolo De Girolamo che si è avvalso della collaborazione della Dott.ssa Ing. Myrta Castellino e del Dott. Ing. Gioele Ruffini, entrambi PhD e specialisti nel campo dell'idraulica marittima.

### 1.1 Obiettivi e sintesi dello studio

L'obiettivo del presente studio è stato quello di valutare le possibili tracimazioni del moto ondoso che possono interessare la diga foranea del Porto di Piombino posta a protezione della banchina Est dove verrà ormeggiata la nave FSRU.

La valutazione delle possibili portate di tracimazione è stata eseguita prendendo in esame gli stati di mare estremi più pericolosi ai fini del sormonto dell'opera foranea.

In generale l'analisi delle portate di tracimazione delle opere foranee di un porto è molto importante quando le zone protette dalle stesse opere, poste sul loro lato interno, siano destinate ad accogliere terrapieni operativi a servizio di navi ormeggiate, come avviene nel presente caso.

Infatti eventuali onde in grado di sormontare l'opera foranea, generalmente durante le mareggiate estreme, potrebbero dare luogo a getti liquidi in grado di causare:

- danni alle infrastrutture poste sui terrapieni posti a tergo delle opere foranee. Nel presente caso le infrastrutture sono costituite prevalentemente dalle tubazioni destinate a convogliare il gas, portato dalla FSRU allo stato aeriforme, verso la rete di distribuzione;
- condizioni di non sostenibilità per l'ormeggio da parte delle navi ormeggiate alle banchine. Una evenienza di questo tipo, deve essere, per ragioni di sicurezza, totalmente esclusa nel presente caso in quanto risulterebbe molto complesso spostare la FSRU, in caso di eccessivi sormonti, dal suo ormeggio.

Per queste ragioni si è deciso di eseguire lo studio in oggetto che è stato condotto utilizzando una metodologia di calcolo che attualmente rappresenta lo stato dell'arte nel campo della previsione delle portate di tracimazione (wave overtopping).

Documento di proprietà **Snam**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge. File dati: REL-AMB-E-00025 - Studio\_tracimazione .doc

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22177	<b>UNITA'</b> -
	<b>LOCALITA'</b> PIOMBINO (LI)	<b>REL-AMB-E-00025</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU Piombino e collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 4 di 10	<b>Rev.</b> 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064-053-RT-3220-0087

In particolare, per valutare i fenomeni di tracimazione che possono interessare la banchina Est del Porto di Piombino in occasione di eventi estremi di mareggiata si è fatto riferimento alle indicazioni e agli strumenti di calcolo contenuti nel manuale EurOtop II (2018) (vedi [www.overtopping-manual.com](http://www.overtopping-manual.com)).

Per definire le portate di tracimazione si sono presi in esame gli stati di mare estremi calcolati nell'ambito del presente progetto in prossimità del Porto di Piombino (vedi Studio meteomarinario e Studio di propagazione del moto ondoso largo-riva) caratterizzati dai tempi di ritorno di 2, 10, 25, 50 e 100 anni i quali sono stati combinati con i corrispondenti massimi livelli del mare.

Per eseguire lo studio si è presa in esame la direzione di provenienza delle onde incidenti in condizioni estreme che determina, tra quelle possibili, le massime portate di tracimazione (direzione 150°N).

Il calcolo delle portate di tracimazione è stato eseguito applicando la rete neurale artificiale denominata ANN-Overtopping, sviluppata nell'ambito di ricerche finanziate dalla Comunità Europea, che ha permesso di calcolare le massime portate medie di tracimazione attese per il corpo diga, assumendo che la profondità al piede della diga sia variabile, come accade nella realtà, tra -10.0 e -12.0 m sul l.m.m.

I risultati delle elaborazioni numeriche mostrano che l'opera, progettata con moderni criteri di dimensionamento sia idraulica che strutturale, non è soggetta a tracimazioni ondose anche in relazione agli stati di mare estremi caratterizzati dai maggiori tempi di ritorno e quindi dalle minori probabilità di verificarsi durante la durata di vita economica dell'ormeggio della FSRU.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22177	<b>UNITA'</b> -
	<b>LOCALITA'</b> PIOMBINO (LI)	<b>REL-AMB-E-00025</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU Piombino e collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 5 di 10	<b>Rev.</b> 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064-053-RT-3220-0087

## 2 CALCOLO DELLA TRACIMAZIONE (WAVE OVERTOPPING)

### 2.1 Introduzione

Per valutare le possibili condizioni di tracimazione della banchina Est del Porto di Piombino si è fatto riferimento alle indicazioni contenute nel manuale EurOtop “Manual on wave overtopping of sea defences and related structures” second edition (2018; [www.overtopping-manual.com](http://www.overtopping-manual.com)).

Recenti sviluppi nel campo della ricerca inerente la tracimazione dovuta al moto ondoso hanno evidenziato l'importanza della valutazione sia della portata media di tracimazione che del volume massimo associato ad un singolo evento di tracimazione.

Per la previsione della portata di tracimazione è stato applicato il modello di rete neurale **ANN OVERTOPPING** sviluppato nell'ambito del progetto EurOtop. La rete neurale, sviluppata in origine dal laboratorio olandese Deltares è stata in seguito assimilata e ulteriormente sviluppata dall'Università di Bologna sulla base di una estesa base di dati sperimentali (circa 18000 dati) ottenuta da prove di laboratorio eseguite dai principali centri di ricerca europei. Ulteriori informazioni sono disponibili presso il sito: <http://overtopping.ing.unibo.it>.

Lo studio di seguito esposto è finalizzato alla valutazione dei fenomeni di tracimazione associati a stati di mare caratterizzati da tempi di ritorno di 2, 10, 25, 50 e 100 anni.

### 2.2 Geometria della sezione trasversale di calcolo

Per la definizione dei parametri che caratterizzano la diga foranea Est e la banchina dove verrà ormeggiata la FSRU, si è fatto riferimento alla sezione di progetto riportata in Figura 2-1.

La diga Est è costituita da un'opera del tipo a gettata con mantellata costituita da massi naturali disposti in doppio strato (spessore 2,8 m) con peso compreso tra 50 e 70 kN e pendenza 2:1 (orizzontale/verticale). La mantellata è appoggiata su uno strato filtro di spessore di 2,0 m costituito da massi naturali con peso compreso tra 5 e 10 kN.

La mantellata e lo strato filtro si appoggiano sul muro paraonde che ha una quota di coronamento posta a + 8, 5 m dul l.m.m.

Il piede della diga foranea si trova su fondali variabili compresi tra -10 m e - 12.0 m sul l.m.m.



	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22177	<b>UNITA'</b> -
	<b>LOCALITA'</b> PIOMBINO (LI)	<b>REL-AMB-E-00025</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU Piombino e collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 7 di 10	<b>Rev.</b> 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064-053-RT-3220-0087

### 2.3 Forzanti meteomarine

Per la definizione delle forzanti meteomarine da utilizzare per il calcolo della tracimazione si è fatto riferimento ai risultati ottenuti con lo Studio Meteomarino e con Studio di Propagazione largo-riva.

Lo studio di propagazione del moto ondoso, eseguito mediante l'applicazione di un modello di rifrazione inversa spettrale, ha consentito di propagare in prossimità dell'imboccatura portuale gli stati di mare estremi al largo, definiti per tempi di ritorno di 2, 10, 25, 50 e 100 anni.

Nella Tabella 2-1 sono riportate le caratteristiche delle onde estreme a largo e in prossimità del porto (profondità -25,0 m sul l.m.m.) che sono state utilizzate per calcolare le portate di tracimazione della diga Est.

**Tabella 2-1 Parametri di moto ondoso associati a tempi di ritorno di 2, 10, 25, 50 e 100 anni al largo e nel punto di inversa spettrale sotto costa su una profondità di -25 m sul l.m.m.**

Tempo di ritorno	Moto ondoso a largo		Moto ondoso a riva	
Tr	Hs	Tp	Hs	Tp
[anni]	[m]	[s]	[m]	[s]
2	4.35	8.16	3.31	7.16
10	5.32	8.98	4.04	7.87
25	5.87	9.41	4.45	8.25
50	6.29	9.72	4.76	8.52
100	6.70	10.02	5.08	8.78

### 2.4 Parametri di input per il calcolo della tracimazione

Il calcolo della tracimazione è stato effettuato limitatamente al tratto di estremità della banchina Est posto su fondali compresi tra la -12 e la -10 m sul l.m.m.

Per il calcolo della tracimazione è necessario definire due gruppi di parametri:

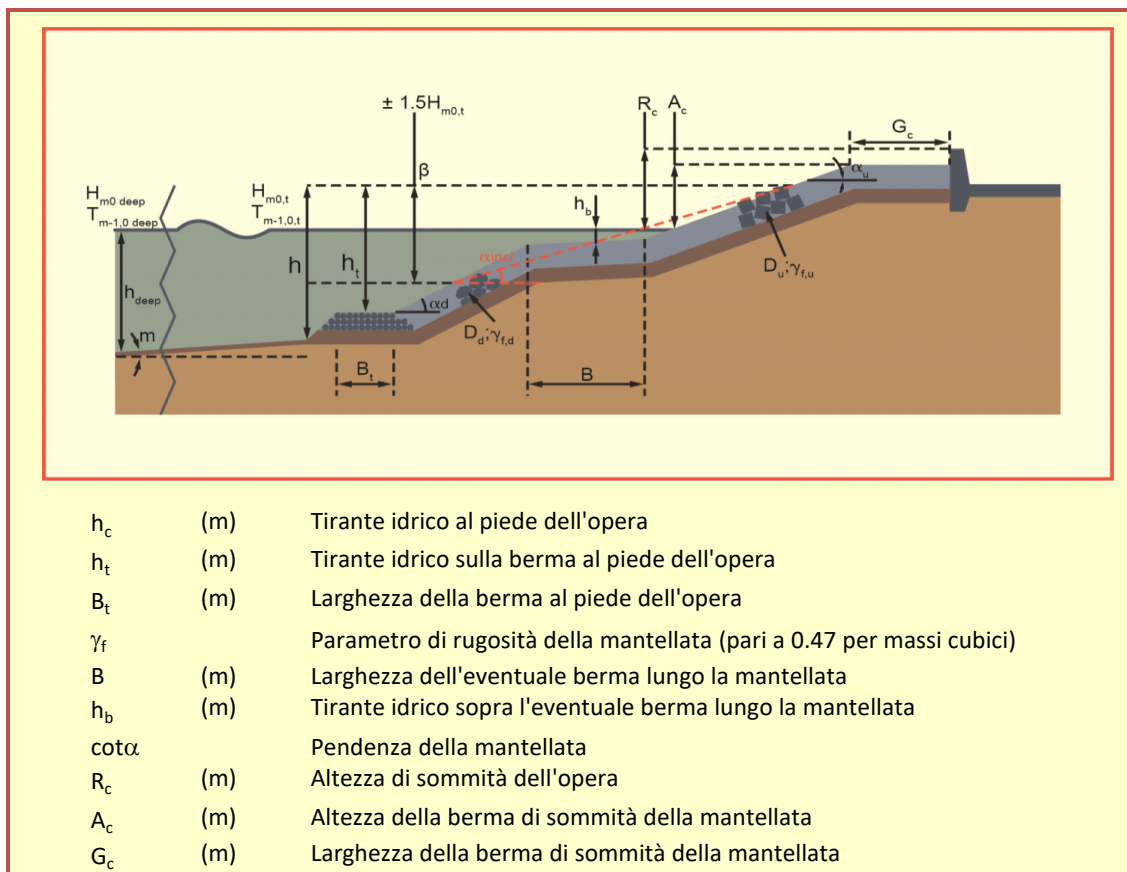
- il primo gruppo riguarda la conformazione geometrica della sezione trasversale dell'opera da impostare sulla base della schematizzazione illustrata in Figura 2-2;
- il secondo riguarda le caratteristiche del moto ondoso incidente al piede dell'opera (altezza, periodo e direzione).

Per la sezione di progetto i parametri riguardanti la conformazione geometrica utilizzati per il calcolo della tracimazione sono indicati in Tabella 2-2.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22177	<b>UNITA'</b> -
	<b>LOCALITA'</b> PIOMBINO (LI)	<b>REL-AMB-E-00025</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU Piombino e collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 8 di 10	<b>Rev.</b> 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064-053-RT-3220-0087

Le quote della profondità al piede  $h$ , della berma al piede  $h_t$ , della cresta della mantellata  $A_c$  e della cresta del muro paraonde  $R_c$  variano al variare del livello del mare di riferimento considerato.



**Figura 2-2 Parametri di input del modello ANN-OVERTOPPING**



	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22177	<b>UNITA'</b> -
	<b>LOCALITA'</b> PIOMBINO (LI)	<b>REL-AMB-E-00025</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU Piombino e collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 9 di 10	<b>Rev.</b> 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064-053-RT-3220-0087

**Tabella 2-2 Parametri geometrici delle sezioni per la verifica della tracimazione**

SEZIONE di PROGETTO											
SWL	h	ht	Bt	hb	B	cot( $\alpha$ )	$\gamma_f$	D	Ac	Rc	Gc
[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	-	-	[m]	[m]	[m]	[m]
0.00	10.0	7.50	6.50	0.0	0.0	2.0	0.47	2.12	7.20	8.50	6.40
+0.40	10.4	7.90	6.50	0.0	0.0	2.0	0.47	2.12	6.80	8.10	6.40
+0.52	10.52	8.02	6.50	0.0	0.0	2.0	0.47	2.12	6.68	7.98	6.40
+0.58	10.58	8.08	6.50	0.0	0.0	2.0	0.47	2.12	6.62	7.92	6.40
+0.63	10.63	8.13	6.50	0.0	0.0	2.0	0.47	2.12	6.57	7.87	6.40
+0.68	10.68	8.18	6.50	0.0	0.0	2.0	0.47	2.12	6.52	7.82	6.40

## 2.5 Calcolo della portata di tracimazione

Combinando i parametri di moto ondoso con i parametri riguardanti la configurazione geometrica della sezione di progetto, sono state definite le diverse condizioni per il calcolo della tracimazione con la rete neurale ANN Overtopping.

L'output fornito dalla rete neurale è rappresentato, per ogni condizione esaminata, dalla portata di tracimazione media  $q_m$  (espressa in l/s/m), rappresentativa del volume d'acqua che nell'unità di tempo, e per unità di lunghezza della diga frangiflutti, supera la sommità del muro paraonde della diga ( $R_c$ ), e dei valori di portata  $q_{5\%}$  e  $q_{95\%}$  associati ai percentili 5% e 95% che definiscono l'intervallo di confidenza al 90% per la stima della portata media  $q_m$ .

Il modello fornisce anche il valore del parametro **E** che indica la "distanza" tra la configurazione esaminata e la configurazione più simile tra quelle contenute nel database della rete neurale. Valori di **E** prossimi allo zero indicano un ottimo accordo tra la configurazione esaminata e il database della rete neurale ANN Overtopping assicurando una stima più affidabile.

Nelle Tabella 2-3 sono riportati i risultati dei calcoli effettuati con il modello di tracimazione ANN Overtopping per la sezione di progetto, ottenuti utilizzando le condizioni di moto ondoso al piede dell'opera rappresentativo delle mareggiate con frequenza di accadimento pari a 2, 10, 25, 50 e 100 anni.

La tabella è divisa in due parti.

Nella parte superiore è stato eseguito il calcolo facendo riferimento al livello medio marino.

Nella parte inferiore della tabella il calcolo delle portate di tracimazione è stato ripetuto associando a ciascuno stato di mare un sovrizzo del livello del mare caratterizzato dallo stesso tempo di ritorno della mareggiata (vedi Studio Meteomarina).

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NQ/R22177	<b>UNITA'</b> -
	<b>LOCALITA'</b> PIOMBINO (LI)	<b>REL-AMB-E-00025</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> FSRU Piombino e collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 10 di 10	<b>Rev.</b> 0

Rif. T.EN Italy Solutions: 201064-053-RT-3220-0087

I risultati ottenuti mostrano che:

- i parametri della diga in esame si adattano molto bene ai dati contenuti nel data base di riferimento, per cui i risultati ottenuti devono essere considerati molto affidabili;
- le portate di tracimazione risultano praticamente nulle sia facendo riferimento al livello medio marino sia tenendo conto dei corrispondenti sovralti indotti dalla marea meteorologica.

**Tabella 2-3 Portate di tracimazione ottenute per diversi tempi di ritorno (2, 10, 25, 50 e 100 anni) con la rete neurale ANN OVERTOPPING per la sezione di progetto al variare del sovralto del livello medio del mare.**

Stati di mare	Tr (anni)	Livello (m)	Moto ondoso al largo		Moto ondoso al piede		Portate di tracimazione			E
			Hs (m)	Tp (s)	Hs (m)	Tp (s)	Q <sub>m</sub>	Q <sub>5%</sub>	Q <sub>95%</sub>	
1	2	0.00	4.35	8.16	3.31	7.16	1.95E-05	1.68E-06	2.60E-04	0.0555
2	10	0.00	5.32	8.98	4.04	7.87	5.52E-05	9.86E-06	2.95E-04	0.0145
3	25	0.00	5.87	9.41	4.45	8.25	1.18E-04	2.45E-05	4.96E-04	0.0058
4	50	0.00	6.29	9.72	4.76	8.52	2.18E-04	5.26E-05	8.55E-04	0.0025
5	100	0.00	6.70	10.02	5.08	8.78	4.09E-04	1.07E-04	1.45E-03	0.0009
1	2	0.40	4.35	8.16	3.31	7.16	2.28E-05	2.26E-06	2.25E-04	0.0433
2	10	0.52	5.32	8.98	4.04	7.87	7.60E-05	1.55E-05	3.33E-04	0.0104
3	25	0.58	5.87	9.41	4.45	8.25	1.77E-04	4.18E-05	7.10E-04	0.0034
4	50	0.63	6.29	9.72	4.76	8.52	3.45E-04	9.84E-05	1.29E-03	0.0010
5	100	0.68	6.70	10.02	5.08	8.78	6.83E-04	1.99E-04	2.34E-03	0.0002