



AUTORITÀ DI SISTEMA PORTUALE
DEL MAR TIRRENO CENTRALE
NAPOLI - SALERNO - CASTELLAMMARE DI STABIA

AUTORITA' DI SISTEMA PORTUALE DEL MAR TIRRENO CENTRALE - PORTO DI NAPOLI

PROLUNGAMENTO DELLA DIGA DUCA D'AOSTA A PROTEZIONE
DEL NUOVO TERMINAL CONTENITORI DI LEVANTE - II STRALCIO

Piano Nazionale
di Ripresa
e Resilienza



PROGETTO DEFINITIVO

Titolo elaborato :

Studio delle azioni

Scala: Var.

1 9 0 0 2 A D R 0 0 5 0 0 M A R

Committente:



AUTORITA' DI SISTEMA PORTUALE
DEL MAR TIRRENO CENTRALE

Responsabile Unico del Procedimento:
Dott. Ing. Rosa PALMISANO

Mandataria



Via Monte Zebio, 40
00195 ROMA

PROGETTISTI

Responsabile integrazione
prestazioni specialistiche
Prof. Ing. Alberto NOLI

Mandanti



Rif. Dis.	Data	Rev.	DESCRIZIONE	Redatto:	Controllato:	Validato:
	Luglio 2022	0	EMISSIONE	P. Contini	P. Contini	P. Contini

Le Società dell' RTI si riservano la proprietà di questo disegno con la proibizione di riprodurlo o trasferirlo a terzi senza autorizzazione scritta.
This document is property of RTI. Reproduction and divulgation forbidden without written permission

Visto del Committente:




AUTORITA' DI SISTEMA PORTUALE DEL MAR TIRRENO CENTRALE
PORTO DI NAPOLI
PROLUNGAMENTO DIGA DUCA D'AOSTA A PROTEZIONE DEL NUOVO
TERMINAL CONTENITORI DI LEVANTE – II STRALCIO
PROGETTO DEFINITIVO
STUDIO DELLE AZIONI

Indice

1. Premessa	3
PARTE 1: STUDIO DELLE AZIONI DEL MOTO ONDOSI SUL CASSONE	4
2. Introduzione	5
3. Obiettivi, sintesi del lavoro svolto e conclusioni.....	6
4. Descrizione dell'opera	6
5. Setup numerico	7
6. Condizioni al contorno di generazione	10
7. Risultati numerici.....	11
7.1 Superficie libera.....	12
7.2 Pressioni e forze.....	13
PARTE 1 bis: STUDIO DELLE AZIONI DEL MOTO ONDOSI SUL CASSONE CONSIDERANDO L'ONDA CON TEMPO DI RITORNO DI 250 ANNI E LA POROSITA' DELLA BERMA	18
8. Premessa	19
9. Risultati numerici.....	20
9.1 Pressioni	21
10. Riferimenti bibliografici	23
PARTE 2: STUDIO DELLA TRACIMAZIONE DEL MOTO ONDOSI	24
11. Introduzione	25

12. Caratteristiche meteomarine del paraggio	26
12.1 Scelta dell'input meteomarino	27
13. Calcolo della tracimazione del moto ondoso	28
13.1 Parametri di input per il calcolo della tracimazione.....	28
13.2 Calcolo della portata di tracimazione.....	32
13.3 Limiti delle portate di tracimazione	33
14. Analisi dei risultati	35
15. Conclusioni.....	36
16. Allegati	37


	Porto di Napoli Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione del nuovo Terminal contenitori di Levante II° Stralcio – Progetto Definitivo	Titolo elaborato: Studio delle azioni Data: luglio 2022					
		19	002	A	DR	005	00

1. Premessa


La presente relazione illustra lo studio delle azioni indotte dal moto ondoso che agiscono sulla tipologia di cassone che compone il prolungamento della diga Duca D'Aosta I e II stralcio oggetto del presente progetto definitivo.

La relazione è stata suddivisa in due parti distinte all'interno delle quali vengono indagati due principali aspetti inerenti alle azioni del moto ondoso sull'opera:

- **Parte 1 – studio delle azioni del moto ondoso sul cassone:** è riportato lo studio delle azioni indotte dall'onda di progetto sul cassone che compone il prolungamento della diga Duca D'Aosta, svolto attraverso l'ausilio del codice numerico OpenFOAM che impiega una modellazione tipo CFD che risolve le equazioni di Navier-Stokes mediate alla Reynolds per flussi bifase (aria e acqua) immiscibili. L'utilizzo di tale strumento numerico ha consentito di lavorare in scala prototipo, evitando dunque qualsiasi tipo di effetto scala che si realizzerebbe con l'impiego di modelli di tipo fisici.
- **Parte 1 bis – studio delle azioni del moto ondoso sul cassone considerando l'onda con tempo di ritorno di 250 anni e la porosità della berma:** lo studio delle azioni del moto ondoso sul cassone descritte nella Parte 1 è stata integrata con la simulazione dell'onda con tempo di ritorno di 250 anni e la modellazione della berma al piede del cassone tenendo conto della permeabilità della scogliera (mezzo poroso) in ottemperanza a quanto indicato dal voto n.11 del 21/05/2020 del C.T.A. del Provveditorato interregionale alle OO.PP. della Campania, Molise, Puglia e Basilicata in sede di verifica della progettazione definitiva dell'intervento.
- **Parte 2 – studio della tracimazione del moto ondoso:** è riportato lo studio della tracimazione del moto ondoso sulla porzione di prolungamento della diga Duca D'Aosta, svolto attraverso l'utilizzo del modello di rete neurale ANN-Overtopping sviluppato nell'ambito del progetto EuroTop.


 <p>AUTORITÀ DI SISTEMA PORTUALE DEL MAR TIRRENO CENTRALE NAPOLI-CAPRI-CASTELLONARRE DI STABIA</p>	<p>Porto di Napoli Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione del nuovo Terminal contenitori di Levante II° Stralcio – Progetto Definitivo</p>	<p>Titolo elaborato: Studio delle azioni Data: luglio 2022</p>					
		19	002	A	DR	005	00

PARTE 1: STUDIO DELLE AZIONI DEL MOTO ONDO SO SUL CASSONE

	Porto di Napoli Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione del nuovo Terminal contenitori di Levante II° Stralcio – Progetto Definitivo	Titolo elaborato: Studio delle azioni Data: luglio 2022					
		19	002	A	DR	005	00

2. Introduzione

Nella presente prima parte di relazione si riportano i risultati relativi alla modellazione numerica volta allo studio delle azioni agenti sulla sezione corrente rappresentativa del prolungamento della diga Duca d'Aosta indotte dal moto ondoso in condizioni estreme. La modellazione CFD del problema è stata effettuata per mezzo del toolbox OpenFOAM (insieme di librerie per la soluzione numerica di equazioni differenziali). Nello specifico i solutori utilizzati sono stati interFOAM, per la soluzione delle equazioni di Navier-Stokes mediate alla Reynolds (RANS) e IHFOAM per la generazione e assorbimento del moto ondoso.

	Porto di Napoli Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione del nuovo Terminal contenitori di Levante II° Stralcio – Progetto Definitivo	Titolo elaborato: Studio delle azioni Data: luglio 2022						
		19	002	A	DR	005	00	MAR

3. Obiettivi, sintesi del lavoro svolto e conclusioni

L'obiettivo del lavoro è stato quello di calcolare in condizioni meteo marine estreme le azioni indotte dal moto ondoso che agiscono sul prolungamento in progetto della diga Duca d'Aosta del Porto di Napoli.

In questa sede le forze sono state calcolate numericamente utilizzando un codice di calcolo che risolve le equazioni di Navier-Stokes mediate alla Reynolds per flussi bifase (aria e acqua) immiscibili.

Il codice utilizzato è in grado di tenere conto di fondali comunque variabili e della effettiva geometria delle opere, inclusa la permeabilità dello scanno di imbasamento dei cassoni. Il codice non presenta alcuna limitazione sulle condizioni di moto ondoso incidente ed è in grado di simulare anche onde frangenti e di riprodurre impatti su superfici di qualsiasi forma. Il codice fornisce in ogni punto della griglia di calcolo le grandezze fluidodinamiche che descrivono il moto dell'acqua (velocità e pressioni) oltre che la superficie libera che può assumere qualsiasi forma potendo conglobare anche l'aria.

Le condizioni di carico simulate, dovute al moto ondoso e ai livelli, dedotte dallo studio meteomarinico (*19_002__A_DR_003_00_MAR_studio meteomarinico*), sono le seguenti:

- Tempo di ritorno 50 anni:
moto ondoso: $H_s = 6.3$ m, $T_p = 11.3$ s
livelli +0.75 m sul Imm

Queste condizioni di carico danno luogo a condizioni al limite del frangimento e per tali ragioni si è voluto verificare mediante l'applicazione di questo codice numerico l'effettiva possibilità che il frangimento si potesse verificare a ridosso della parete verticale.

Data la regolarità dei fondali e la rispondenza della geometria nel suo complesso alle ipotesi di base delle formule di letteratura Goda e di Takahashi i risultati ottenuti valutati in termini di pressioni e forze che agiscono sulla struttura risultano del tutto confrontabili con quelli ottenuti applicando le formule sopra citate ed utilizzate nei calcoli di stabilità della diga.

4. Descrizione dell'opera

La sezione di interesse è riportata in Figura 1.

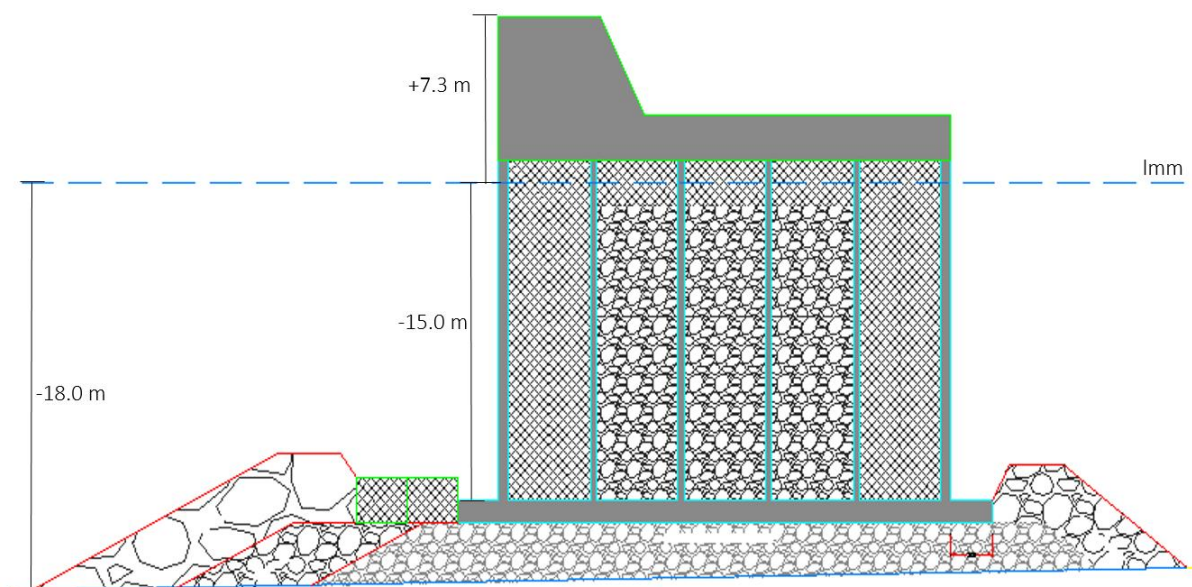


Figura 1 – Schema della sezione analizzata

L'utilizzo di openFOAM ha consentito di lavorare in scala prototipo. Questo aspetto risulta di notevole vantaggio in quanto permette di eliminare eventuali effetti scala che verrebbero ad esempio introdotti riproducendo il problema mediante modellazione fisica. Tale aspetto risulta particolarmente rilevante in condizioni di frangimento, non essendo l'aria un elemento perfettamente riproducibile in scala.

Con riferimento alla Figura 1, il tirante idrico al piede della berma di imbasamento del cassone, risulta pari a -18.0 m sul Imm, mentre al piede del cassone risulta pari a -15.0 m sul Imm. Il muro di coronamento ha un'altezza pari a 7.30 m sul Imm.


5. Setup numerico

Come detto precedentemente, è stato riprodotto il calcolo numerico delle azioni indotte dal moto ondoso in condizioni estreme attraverso l'utilizzo di openFOAM per la risoluzione delle equazioni 3D RANS per flussi bifase (aria e acqua) di seguito riportate:

$$\nabla \cdot \mathbf{U} = 0 \quad (1)$$


$$\frac{\partial \rho \mathbf{U}}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{U} \mathbf{U}) - \nabla \cdot (\mu_{eff} \nabla \mathbf{U}) = -\nabla p^* - \mathbf{g} \cdot \mathbf{X} \nabla \rho + \nabla \mathbf{U} \cdot \nabla \mu_{eff} + \sigma k \nabla \alpha_1 \quad (2)$$

$$\frac{\partial \alpha_1}{\partial t} + \nabla \cdot \mathbf{U} \alpha_1 + \nabla \cdot \mathbf{U}_c \alpha_1 (1 - \alpha_1) = 0 \quad (3)$$

	Porto di Napoli Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione del nuovo Terminal contenitori di Levante II° Stralcio – Progetto Definitivo	Titolo elaborato: Studio delle azioni Data: luglio 2022					
		19	002	A	DR	005	00

L'Eq. 1 rappresenta l'equazione di continuità mentre la 2 l'equazione della conservazione della quantità di moto, dove \mathbf{U} rappresenta il campo delle velocità, p^* la pressione pseudo-dinamica, \mathbf{X} il vettore posizione, μ_{eff} la viscosità dinamica, σ la tensione superficiale, \mathbf{U}_c la velocità di compressione e \mathbf{g} l'accelerazione gravitazionale. L'Eq. 3 rappresenta invece l'equazione VOF (Volume of Fluid), dove il gradiente α è rappresentativo della fase (aria-acqua). Entrambe le fasi sono considerate come fluidi incompressibili. L'efficacia della modellazione numerica per mezzo di tale toolbox è stata ampiamente verificata (Higuera et al., 2013a; Higuera et al., 2013b) anche in presenza di impatti e geometrie complesse, validate inoltre con prove su modello fisico (Castellino et al., 2018; Martinelli et al., 2018; Castellino et al., 2019). In appendice sono riportati gli articoli scientifici inerenti a tale argomento.

Il canale numerico implementato è lungo in totale 286.0 m (schema mostrato in Figura 2). Per i primi 60.0 m (esclusi dalla Fig. 2) la profondità è costante e uguale a 20.0 m. Lungo i successivi 148.0 m la profondità risulta variabile da 20.0 m a 18.0 m. Nelle condizioni iniziali, al di sotto della linea blu tratteggiata è presente la fase acqua mentre al di sopra la fase aria. Al termine della rampa è posizionata la struttura, considerata come oggetto unico formato da berma, massi guardiani e cassone. Lungo il bordo ovest è posta la condizione di generazione e di assorbimento attivo, che consente all'energia delle onde riflesse di irradiarsi all'esterno del dominio di calcolo, simulando un campo infinito. Tale condizione risulta di fondamentale importanza soprattutto in presenza di opere ad alto coefficiente di riflessione, come nel caso di opere a parete verticale. Lungo il bordo superiore si è posta invece una condizione di tipo aperto. In questo modo, avendo riprodotto un "tetto aperto" si consente a eventuali getti di acqua di fuoriuscire dal dominio. Fondale e strutture sono stati considerati impermeabili a scopo cautelativo. Tuttavia è possibile assegnare ad ogni elemento la rispettiva permeabilità. Il solutore utilizzato è infatti in grado di risolvere le equazioni 3D VARANS, ovvero le equazioni di Navier-Stokes mediate sul volume.

	Porto di Napoli Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione del nuovo Terminal contenitori di Levante II° Stralcio – Progetto Definitivo	Titolo elaborato: Studio delle azioni Data: luglio 2022					
		19	002	A	DR	005	00

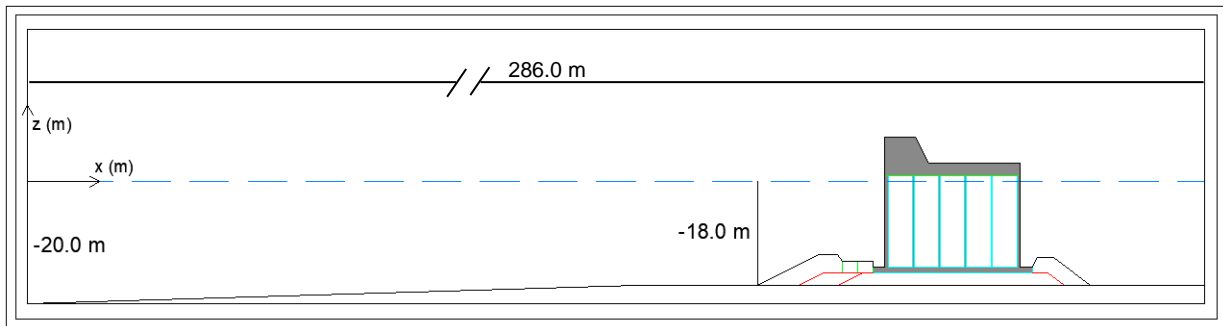


Figura 2 – Schema del canale numerico per il calcolo delle azioni su una sezione del prolungamento della Diga Duca d'Aosta

Lo schema numerico per la soluzione delle equazioni differenziali è ai volumi finiti. Il codice permette la discretizzazione del dominio tramite mesh struttura, non strutturata e ibrida. In una griglia strutturata i nodi di questa vengono generati dall'intersezione di due famiglie di linee appartenenti a determinati sistemi di coordinate cartesiane o curvilinee. Le mesh non strutturate possono essere o meno ibride (composte sempre da esaedri). Queste mesh consentono di riprodurre geometrie complesse e sono molto flessibili. La mesh risulta invece ibrida se composta da elementi finiti di tipo differente (triangolari e quadrangolari ad esempio). L'utilizzo di elementi finiti di diverso tipo è spesso utilizzato nelle zone di passaggio da griglie poco fitte a griglie molto fitte.

La discretizzazione adottata per il dominio in esame è di tipo misto, strutturata nel dominio fluido e di tipo "body-fitted" intorno alla struttura. Ciò ha consentito un notevole risparmio sui tempi di calcolo in quanto la mesh non strutturata intorno all'opera ne modella perfettamente la forma senza influire sulla dimensione delle celle lontane da questa.

La dimensione delle celle lungo l'asse delle x risulta pari a 0.29 m, mentre lungo l'asse delle z risulta pari a 0.15 m. La dimensione delle celle attorno alla struttura risulta variabile per quanto detto in precedenza. In Figura 3 è riportato un particolare della mesh realizzata intorno alla struttura in esame.

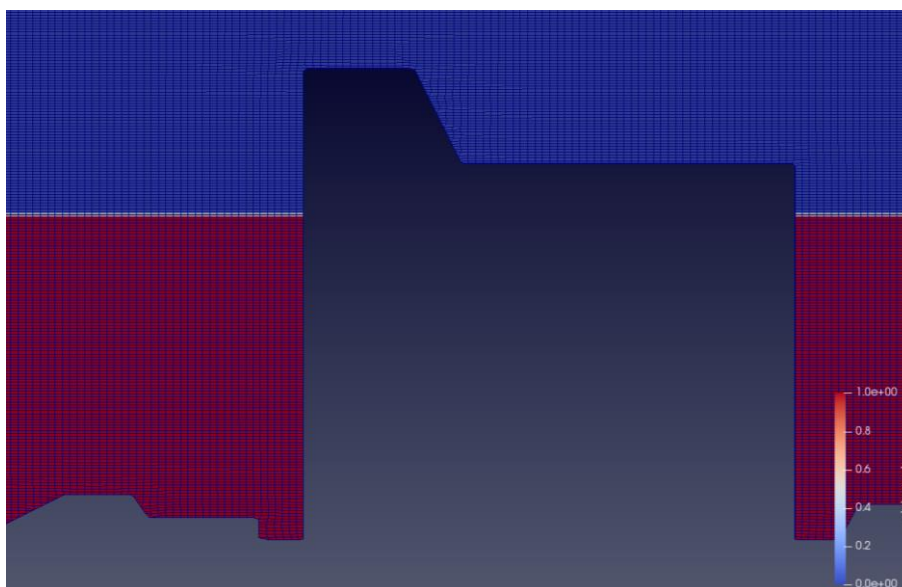


Figura 3 – Particolare della mesh, strutturata e non strutturata, attorno alla struttura

Il modello di turbolenza applicato è quello standard κ - ε .

6. Condizioni al contorno di generazione

Per il calcolo delle azioni indotte sulla struttura sono state considerate onde regolari generate utilizzando la teoria di Stokes al quinto ordine. Come mostrato da Castellino (2019), le azioni indotte da uno stato di mare irregolare possono essere riprodotte utilizzando onde regolari caratterizzate da un'altezza $H = H_{max}$ e un periodo $T = T_p$ dove H_{max} e T_p sono l'altezza d'onda massima e il periodo di picco dello stato di mare di altezza significativa H_s oggetto della prova. In tal modo si ottiene un considerevole risparmio di tempo di calcolo. E' stato infatti dimostrata l'equivalenza delle massime azioni indotte dall'onda massima (H_{max}) di uno stato di mare irregolare (caratterizzato dalla coppia di valori H_s e T_p) e l'equivalente onda regolare caratterizzata da un'altezza $H_{max} = 1.8H_s$.

Come già accennato, i risultati mostrati nei paragrafi successivi fanno riferimento ad un'onda con tempo di ritorno $T_r = 50$ anni e ad un'altezza d'onda significativa $H_s = 6.3$ m. E' stato considerato inoltre il sovrizzo di marea pari a 0.75 m sul lmm.

7. Risultati numerici

Il codice numerico è in grado di fornire, per ogni istante di simulazione, le grandezze fisiche derivanti dalla soluzione delle equazioni di Navier-Stokes. In particolare, impiegando strumenti quali sonde numeriche, è stato possibile misurare pressioni e velocità nei punti di interesse. Si è quindi posto un set di sonde per la misura delle pressioni lungo la parete verticale esterna del cassone ad una distanza l'una dall'altra di 0.50 m. Inoltre si sono considerate una serie di sonde poste a partire dal punto più alto del muro per la misura delle velocità al fine di calcolare le portate di tracimazione.

In Figura 4 sono riportate le posizioni delle sonde numeriche. I marker tondi sono rappresentativi delle sonde numeriche per la misura delle pressioni mentre i marker a croce sono rappresentativi di quelle per la misura delle velocità per il calcolo delle portate di tracimazione.

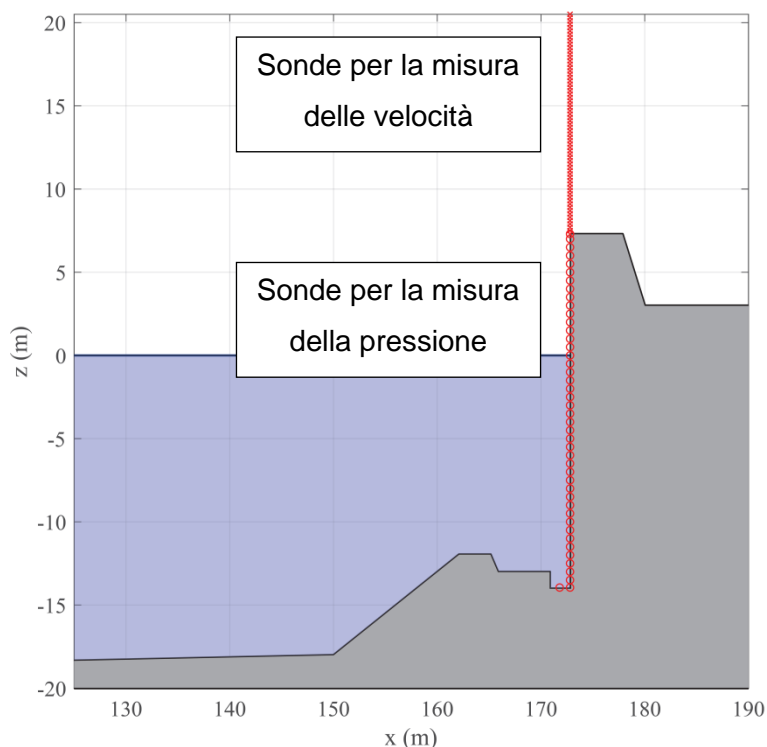


Figura 4 – Posizione delle sonde numeriche per la misura di velocità e pressioni. I marker tondi rossi identificano le sonde numeriche per la misura delle pressioni. I marker a croce rossi identificano le sonde numeriche per la misura delle velocità

7.1 Superficie libera

La soluzione dell'Eq. 3 fornisce la posizione istante per istante della superficie libera. A titolo di esempio in Figura 5 e Figura 6 è riportato l'andamento della superficie libera in una serie di istanti temporali relativi alla propagazione delle prime due onde. Come è possibile vedere nell'istante $T = 15$ s, la prima onda presenta un lieve frangimento incipiente solo nella sua parte sommitale.

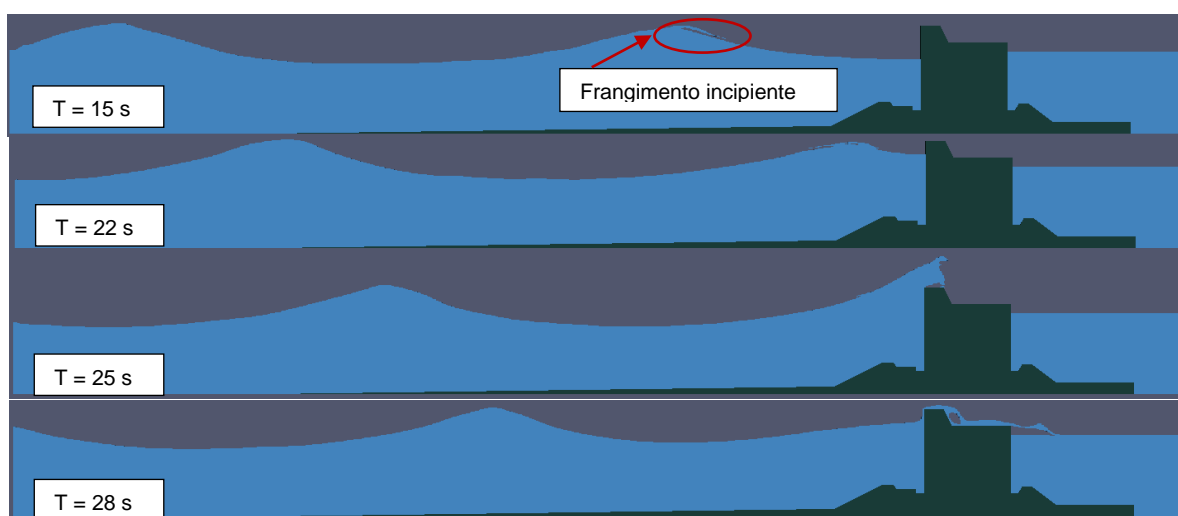


Figura 5 – Evoluzione della prima onda sull'opera a parete verticale.

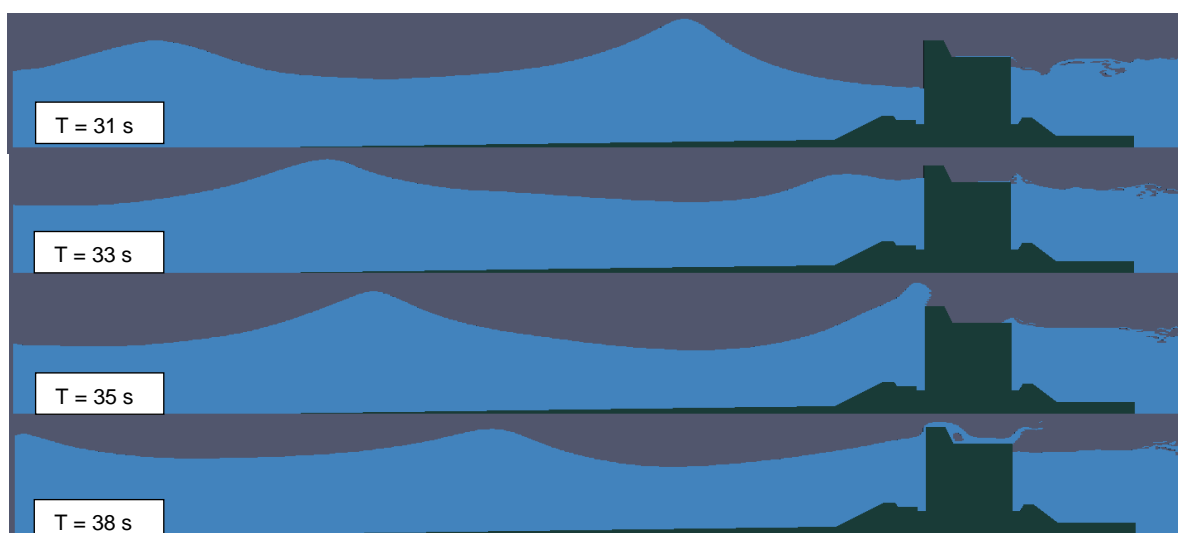



Figura 6 – Evoluzione della seconda onda sull'opera a parete verticale

Risulta inoltre possibile notare come il codice sia perfettamente in grado di riprodurre il distacco di particelle di acqua dalla superficie libera che si verifica nei frangimenti.

	Porto di Napoli Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione del nuovo Terminal contenitori di Levante II° Stralcio – Progetto Definitivo	Titolo elaborato: Studio delle azioni Data: luglio 2022					
		19	002	A	DR	005	00

Questa potenzialità del codice permette studi approfonditi su fenomeni come la tracimazione quando questa genera getti di tipo “spray”.

7.2 Pressioni e forze

Come precedentemente affermato, è possibile estrarre le quantità fisiche calcolate direttamente dalla soluzione delle equazioni RANS. Dunque, per il calcolo della forza agente lungo la sezione verticale dell’opera si è effettuata l’integrazione geometrica delle pressioni (per mezzo della regola dei rettangoli), tenendo conto per ciascuna sonda della sua area di influenza. L’estrazione delle serie temporali delle pressioni è stata effettuata per ogni istante temporale di simulazione. Tale opzione risulta fondamentale per l’eventuale rilevazione di azioni di tipo impulsivo che, tipicamente, si realizzano in intervalli di tempo molto piccoli (nell’ordine di decimi o centesimi di secondo).

Il primo risultato di Figura 7, mostra il confronto tra l’andamento nel tempo della superficie libera (in corrispondenza dell’ascissa $x = 172.9$ m, ovvero lungo la parete lato mare del cassone) e della forza calcolata lungo l’intera parete esterna lato mare della struttura. La formula utilizzata per il calcolo della forza è riportata nell’Eq. 4.

$$F_{int}(t) = P_1(t) \cdot \left[\Delta z_1 + \frac{\Delta z_2}{2} \right] + [P_n(t) \cdot \Delta z_n] + 0.5 \cdot \sum_{i=2}^{i=n-1} P_i(t) \cdot [\Delta z_i + \Delta z_{i+1}] \quad (4)$$

dove $P_i(t)$ è la pressione istantanea misurata nella posizione dell’i-esima sonda numerica, Δz è la distanza tra due sonde consecutive e n è il numero totale di sonde di pressione. I primi due addendi, riferiti alla prima e all’ultima sonda, prendono in considerazione solo metà dell’area di influenza intercorrente con la sonda rispettivamente successiva e precedente. Nel grafico di Figura 7 l’asse delle y indica l’elevazione della superficie libera (espressa in metri) nel pannello superiore, e la forza espressa in kN/m nel pannello inferiore, mentre lungo l’asse delle x è riportato il tempo espresso in secondi. Nel pannello superiore è possibile vedere come la superficie libera sia stata suddivisa in due andamenti distinti. Al di sotto della linea tratteggiata rossa (in riferimento alla quota massima del muro di coronamento R_c) la linea risulta continua. Al di sopra invece la linea tratteggiata indica i volumi di acqua tracimanti.

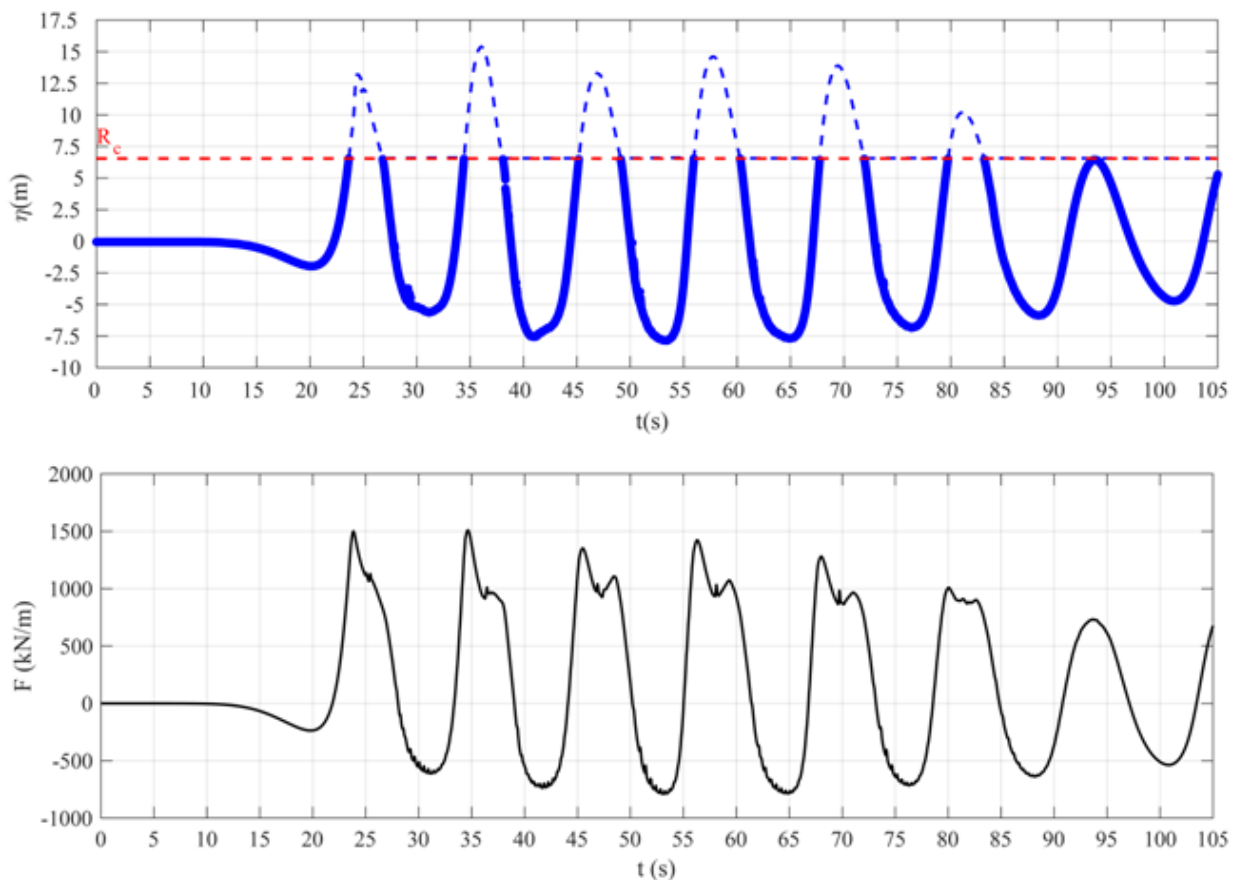


Figura 7 – Confronto tra l'evoluzione della superficie libera in corrispondenza della parete esterna dell'opera (pannello superiore) e della serie temporale della forza calcolate tramite integrazione delle pressioni lungo la medesima parete (pannello inferiore)

Le forze maggiori si sviluppano in corrispondenza delle prime onde. Ciò è dovuto al fatto che le prime onde si propagano in uno stato di calma, dove è poco influente l'interazione con le altre onde riflesse dalla struttura che generalmente riducono la forza agente sulla struttura. La seconda onda, come evidenziato in Figura 8, è stata di conseguenza utilizzata per la definizione delle forze massime che agiscono sulla stessa struttura e successivamente confrontati con i valori forniti dall'applicazione delle formula di Goda.

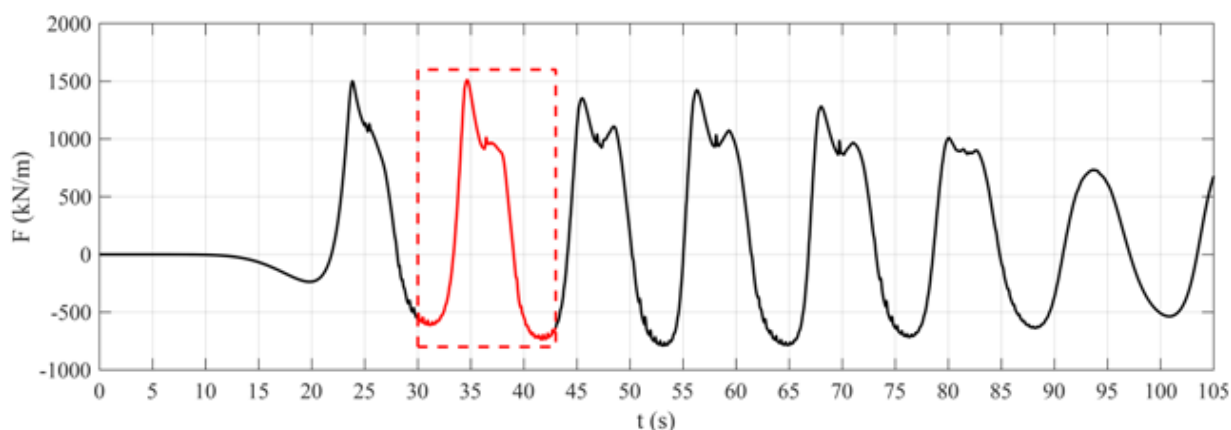


Figura 8 – Evoluzione nel tempo della forza lungo l'intera parete della struttura (lato mare). Evidenziazione dell'onda scelta per l'analisi dei carichi agenti lungo la parete esterna della diga

Considerando l'intervallo temporale dell'evento in cui si verifica la massima forza relativamente alla seconda onda generata, si sono estratte le pressioni massime misurate da ciascuna delle sonde poste lungo la parete della struttura (lato mare). Il diagramma delle pressioni massime è riportato in Figura 9 dove, l'ungo lasse delle ascisse è riportata la progressiva x espressa in metri, lungo l'asse delle ordinate è riportata la z espressa in metri mentre la mappa di colori indica i valori massimi raggiunti dalla pressione, espressa in kN/m^2 .

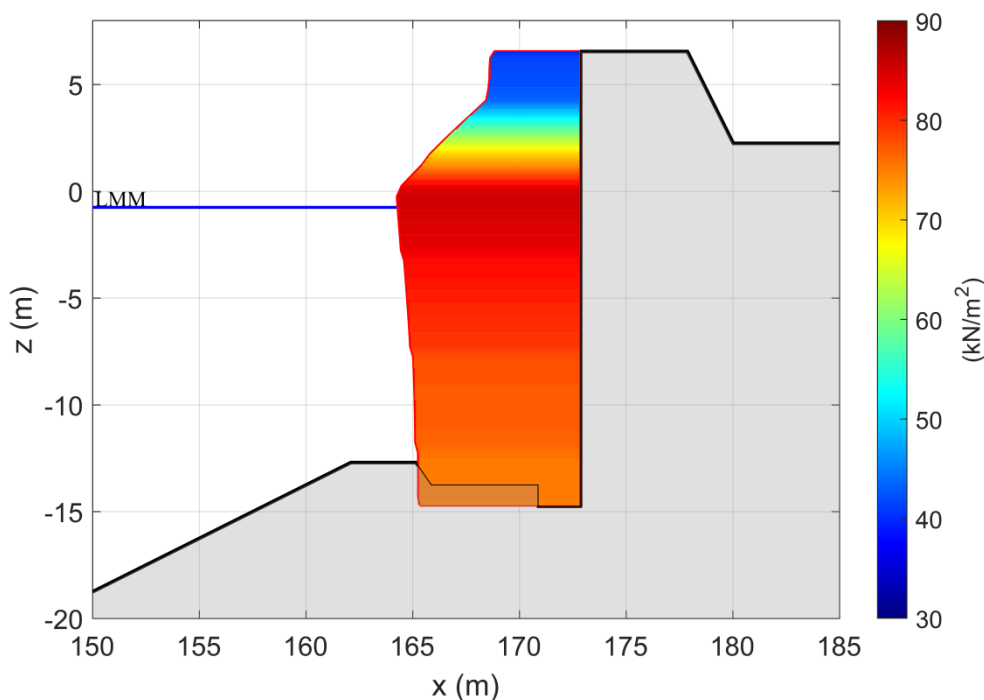


Figura 9 – Distribuzione delle pressioni lungo la parete verticale in riferimento alla seconda onda generata

Si propone in Figura 10, il confronto tra i diagrammi di pressione ottenuti tramite l'applicazione delle formule di Goda e i risultati delle simulazioni numeriche. È possibile vedere come globalmente ci sia un ottimo accordo tra il carico totale fornito dalle due metodologie. Localmente è possibile invece apprezzare delle differenze. Al piede dal cassone si nota la massima differenza tra i valori di pressione. I maggiori valori della pressione calcolati con il modello numerico possono essere riconducibili sia alla reale geometria simulata numericamente che all'aver assunto, a scopo cautelativo, l'impermeabilità della berma di fondazione.

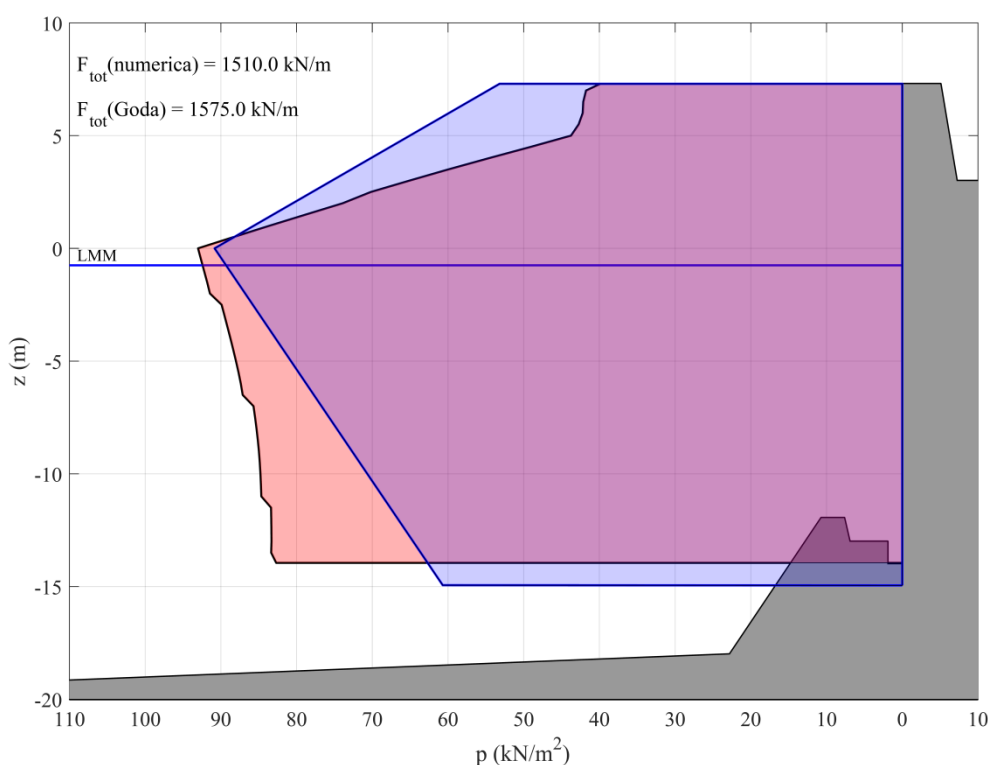


Figura 10 – Confronto tra il diagramma delle pressioni calcolate numericamente (in rosso) e con le formule di Goda (in blu)

Infine, è stato eseguito il paragone tra il carico totale agente sulla struttura durante la fase di cavo dell'onda fornito dal modello numerico e i risultati forniti dall'applicazione della teoria di Sainflou. Il carico totale fornito dal modello numerico è pari a 786.3 kN/m mentre la teoria di Sainflou fornisce un valore di 821.0 kN/m². Dunque un'ottima correlazione tra i risultati numerici e quelli analitici è stata trovata. In Figura 11 è mostrata la distribuzione delle pressioni in fase di cavo fornita dal codice numerico.

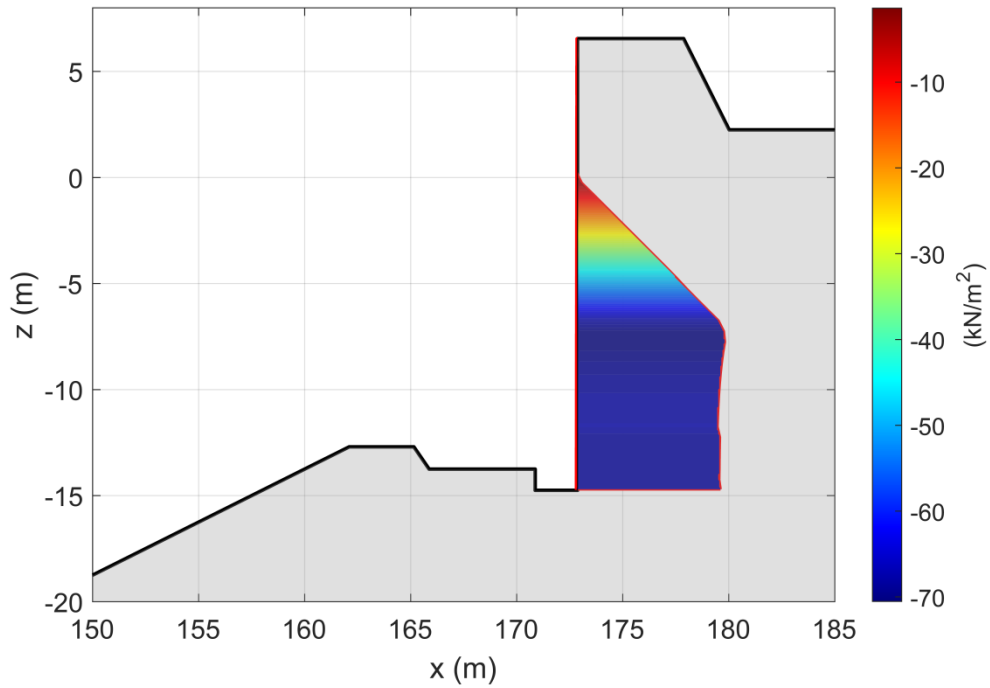




Figura 11 – Diagramma delle pressioni in fase di cavo fornite dal codice numerico

 <p>AUTORITÀ DI SISTEMA PORTUALE DEL MAR TIRRENO CENTRALE NAPOLI-CAPRI/NOCI - CASTELLONARÉ DI STABIA</p>	<p>Porto di Napoli Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione del nuovo Terminal contenitori di Levante II° Stralcio – Progetto Definitivo</p>	<p>Titolo elaborato: Studio delle azioni Data: luglio 2022</p>						
		19	002	A	DR	005	00	MAR

PARTE 1 bis: STUDIO DELLE AZIONI DEL MOTO ONDOSO SUL CASSONE
CONSIDERANDO L'ONDA CON TEMPO DI RITORNO DI 250 ANNI E LA
POROSITA' DELLA BERMA

	Porto di Napoli Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione del nuovo Terminal contenitori di Levante II° Stralcio – Progetto Definitivo		Titolo elaborato: Studio delle azioni Data: luglio 2022				
	19	002	A	DR	005	00	MAR

8. Premessa

Nei seguenti paragrafi sono presentati i nuovi risultati ottenuti considerando l'onda con tempo di ritorno $T_r = 250$ anni, simulando alla base del cassone in esame un mezzo poroso. Il modulo IHFOAM sviluppato in ambiente OpenFOAM risolve infatti le equazioni 3D di Navier-Stokes mediate alla Reynolds nella regione di fluido e le stesse equazioni, mediate sul volume, all'interno delle regioni di mezzo poroso (VARANS equations). Questa tecnica è basata sulla decomposizione dei campi di velocità e pressione istantanei in componente media e turbolenta. Ciò consente la simulazioni di un qualsiasi tipo di struttura costiera (come nel presente caso la berma alla base del cassone). Il movimento della superficie libera risulta sempre essere tracciato attraverso il metodo del volume di fluido (VOF). Al fine di replicare corpi solidi immersi nel grigliato di calcolo, il modello utilizza il metodo "cutting cell", presentato per la prima volta da Clarke et al. (1986), evitando in questo modo il formarsi del dente di sega lungo il profilo del mezzo poroso.

Il flusso all'interno del mezzo poroso è governato dalle seguenti equazioni:

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0$$

$$\frac{1 + c_A}{n} \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \frac{\bar{u}_j}{n^2} \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \rho g_i + \frac{\nu}{n} \frac{\partial^2 \bar{u}_i}{\partial x_j \partial x_j} - \frac{1}{n^2} \frac{\partial \overline{u'_i u'_j}}{\partial x_j} - \frac{\alpha \nu (1-n)^2}{n^3 D_{50}^2} \bar{u}_i - \frac{\beta (1-n)}{n^3 D_{50}^2} \overline{\bar{u}_i |\bar{u}_i|}$$

Gli effetti del mezzo poroso sono controllati dal valore di porosità (n), dalla dimensione minima dell'elemento costituente il mezzo stesso, e dai tre coefficienti di attrito (α , β e c_A). Per quanto riguarda i valori di porosità e diametro medio, questi variano al variare dello strato della struttura di fondazione.

9. Risultati numerici

Come illustrato nei precedenti paragrafi, i risultati vengono forniti in termini di forze e distribuzione di pressioni. Entrambi i campi sono proposti lungo la parete lato mare del cassone.

In Figura 12 è riportata la distribuzione nel tempo della forza totale calcolata lungo la parete esterna del cassone. Come mostrato nella precedente sezione, si è considerata l'integrazione geometrica delle pressioni per ricavare il valore della forza. Viene inoltre evidenziata in rosso l'onda utilizzata per il calcolo della distribuzione delle pressioni (mostrata nel seguente paragrafo).

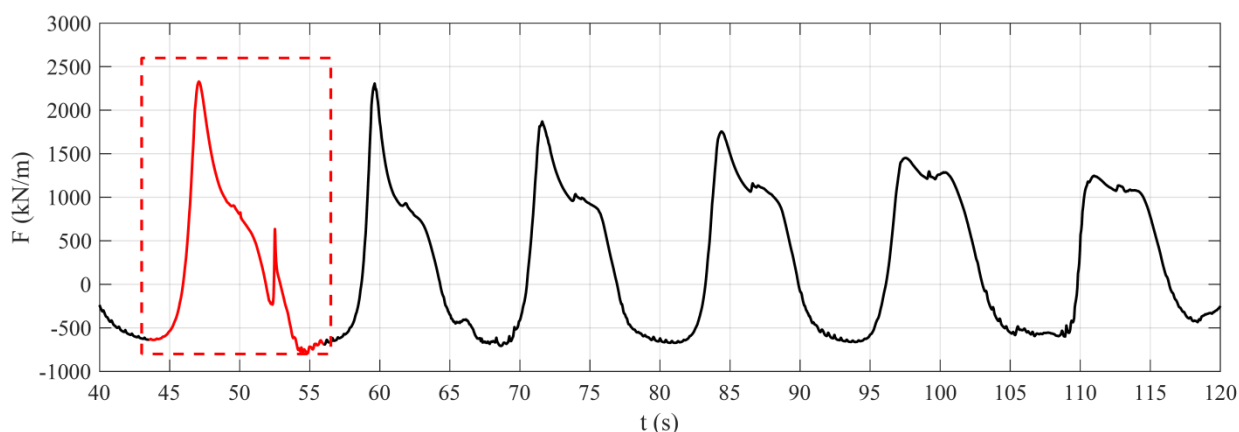


Figura 12 – Evoluzione nel tempo della forza lungo l'intera parete della struttura (lato mare). Evidenziazione dell'onda scelta per l'analisi dei carichi agenti lungo la parete esterna della diga

9.1 Pressioni

Si mostra di seguito in Figura 13 la distribuzione delle pressioni. Si fa notare che le pressioni apprestante nella suddetta figura solo le massime nell'ambito dell'onda scelta.

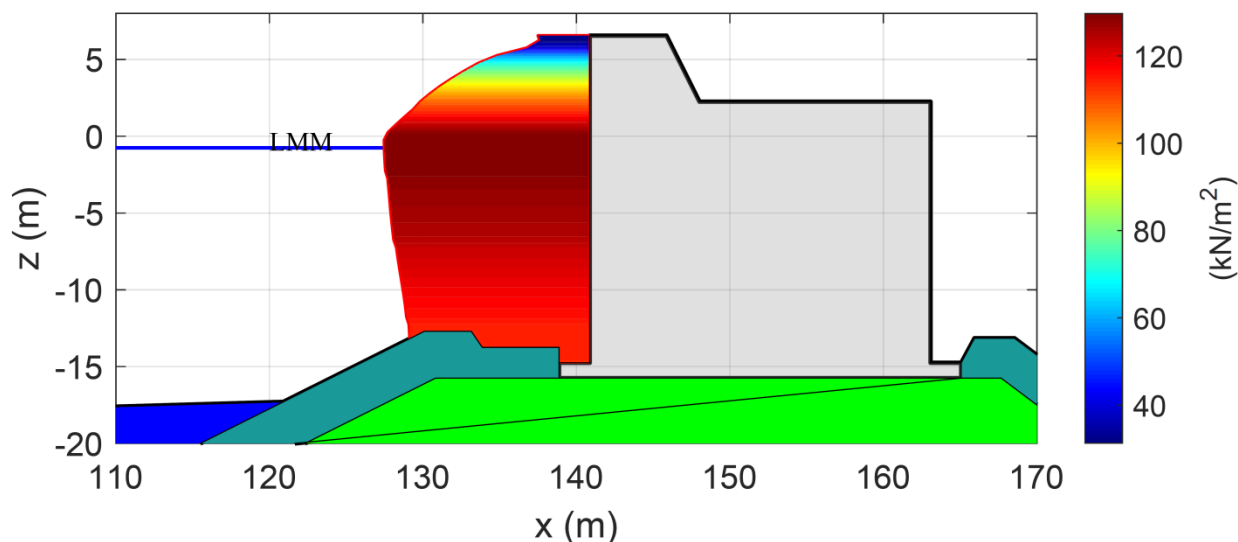


Figura 13 - Distribuzione delle pressioni lungo la parete verticale in riferimento alla seconda onda generata durante la fase di cresta

Come è possibile osservare in Figura 13, la massima pressione che si ottiene risulta essere esattamente posto al livello medio mare (LMM indicato in figura). Inoltre, la pressione che ha luogo sulla parte sommitale del muro, non presenta un andamento lineare rispetto alla pressione massima ottenuta sul LMM. Questo perché, considerando l'onda con tempo di ritorno di 250 anni, si ha il fenomeno del frangimento in prossimità della parete. Tale fenomeno provoca uno sfasamento temporale dei massimi valori di pressione ottenuti lungo la parete dell'opera.

Lo stesso diagramma viene proposto durante la fase di cavo successiva alla cresta considerata in Figura 13. Tale risultato è mostrato in Figura 14.

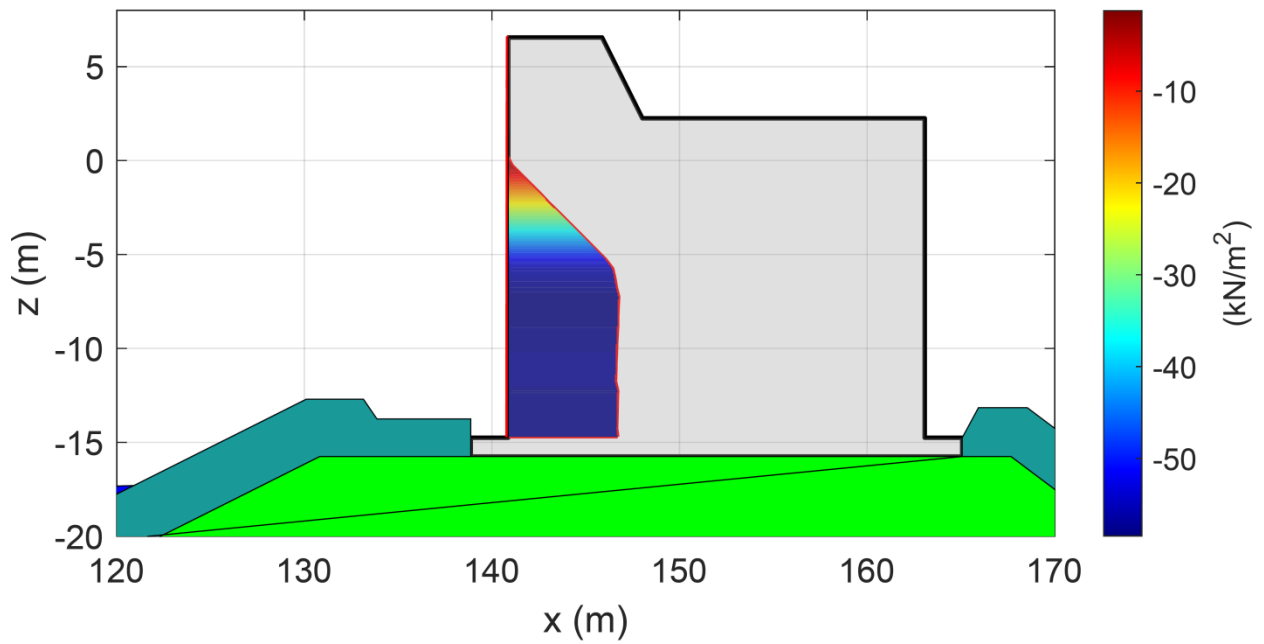



Figura 14 - Distribuzione delle pressioni lungo la parete verticale in riferimento alla seconda onda generata durante la fase di cavo

	Porto di Napoli Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione del nuovo Terminal contenitori di Levante II° Stralcio – Progetto Definitivo	Titolo elaborato: Studio delle azioni Data: luglio 2022					
		19	002	A	DR	005	00

10. Riferimenti bibliografici

Castellino, M., Sammarco P., Romano A., Martinelli L., Ruol P., Franco L., and De Girolamo P., 2018. Large impulsive forces on recurved parapets under non-breaking waves. A numerical study, Coastal Engineering, 136, 1-15.

Castellino, M., Lara J. L., Romano A., Losada I. J. and De Girolamo P., 2018. Wave loading for recurved parapet walls in non-breaking wave conditions: analysis of the induced impulsive forces, Coastal Engineering Proceedings, 2018.


Castellino M., 2019. Impulsive forces induced by non-breaking waves on vertical structures with recurved parapets. PhD Thesis, "Sapienza" University of Rome.

Goda, Y., 2010. Random seas and design of maritime structures, Worl Scientific.


Higuera, P., Lara J. L., and Losada I. J., 2013a. Realistic wave generation and active wave absorption for Navier-Stokes models: Application to OpenFOAM®, Coastal Engineering, 71, 102-118.

Higuera, P., Lara J. L., and Losada I. J., 2013b. Simulating coastal engineering processes with OpenFOAM®, Coastal Engineering, 71, 119-134.

Martinelli, L., Ruol P., Volpato M., Favaretto C., Castellino M., De Girolamo P., Franco L., Romano A., and Sammarco P., 2018. Experimental investigation on non-breaking wave forces and overtopping at the recurved parapets of vertical breakwaters, Coastal Engineering.

 <p>AUTORITÀ DI SISTEMA PORTUALE DEL MAR TIRRENO CENTRALE NAPOLI-CAPRI-CASTELLONARRE DI STABIA</p>	<p>Porto di Napoli Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione del nuovo Terminal contenitori di Levante II° Stralcio – Progetto Definitivo</p>		<p>Titolo elaborato: Studio delle azioni Data: luglio 2022</p>				
			19	002	A	DR	005

PARTE 2: STUDIO DELLA TRACIMAZIONE DEL MOTO ONDOSO


	Porto di Napoli Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione del nuovo Terminal contenitori di Levante II° Stralcio – Progetto Definitivo	Titolo elaborato: Studio delle azioni Data: luglio 2022					
		19	002	A	DR	005	00

11. Introduzione

La presente seconda parte della relazione riporta lo studio della tracimazione del moto ondoso sulla porzione di prolungamento della diga Duca D'Aosta del porto di Napoli oggetto del presente progetto definitivo.

Lo studio non ha lo scopo di ridefinire la quota di sommità dell'opera, che rimane invariata in ottemperanza a quanto indicato nel progetto preliminare posto a base di gara, ma piuttosto di fornire uno strumento di previsione e di analisi di quelli che possono essere i valori delle portate di tracimazione che si possono ottenere sia in occasione di eventi di moto ondoso estremi che non.

I risultati e l'analisi delle portate di tracimazione ottenuti dal presente studio sono risultati essere uno strumento utile dapprima per individuare le problematiche legate alla tracimazione e successivamente per indicare le soluzioni, sia tecniche che non, per aumentare il grado di durabilità e sicurezza dell'opera.

	Porto di Napoli Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione del nuovo Terminal contenitori di Levante II° Stralcio – Progetto Definitivo	Titolo elaborato: Studio delle azioni Data: luglio 2022					
		19	002	A	DR	005	00

12. Caratteristiche meteomarine del paraggio

Lo studio meteomarino del presente progetto definitivo (vedi 19_002_A_DR_003_00_MAR_studio meteomarino) a cui si rimanda per maggiore dettagli, ha individuato i valori di altezza d'onda a ridosso dell'opera degli stati di mare provenienti dal settore di traversia principale in funzione del tempo di ritorno (vedi Tabella 1).

Tabella 1 – altezza d'onda in funzione del tempo di ritorno – settore di traversia principale

SETTORE DI TRAVERSIA PRINCIPALE CONDIZIONI LARGO			SETTORE DI TRAVERSIA PRINCIPALE CONDIZIONI RIVA		
T_r	H_{50}	T_{p0}	T_r	H_{sr}	H_{sr}/H_{50}
2	4.1	9.6	2	3.6	0.8743
5	4.7	10.1	5	4.1	0.8746
10	5.2	10.5	10	4.5	0.8746
20	5.7	10.9	20	5.0	0.8746
50	6.3	11.3	50	5.5	0.8746
100	6.7	11.5	100	5.9	0.8749
250	7.4	11.9	250	6.5	0.8759

Lo studio meteomarino ha inoltre analizzato le variazioni del livello idrico del mare nel porto di Napoli, esaminando sia la componente probabilistica del sovrizzo di tempesta che la componente deterministica della marea astronomica (vedi Tabella 2).

Tabella 2 – valori di sovrizzo di tempesta e marea meteorologica

T_r (anni)	Sovralzo (m)			
1	0.29	Highest Astronomical Tide	HAT	0.20 m
2	0.33	Mean High Water Spring	MHWS	0.12 m
5	0.39	Mean Higher High Water	MHHW	0.06 m
10	0.44	Mean Sea Level	MSL	0.00 m
15	0.46	Mean Lower Low Water	MLLW	-0.16 m
20	0.48	Mean Low Water Spring	MLWS	-0.23 m
25	0.50	Lowest Astronomical Tide	LAT	-0.30 m
30	0.51			
50	0.54			
100	0.59			
250	0.65			

Livelli di marea presso la stazione di Napoli.

Valori relativi al sovrizzo di tempesta in relazione al tempo di ritorno per il porto di Napoli.

12.1 Scelta dell'input meteomarinò


Allo scopo di definire i valori delle portate di tracimazione sia per eventi estremi di moto ondoso che non, sono state scelte le onde relative ai tempi di ritorno di 2, 5, 10, 20 e 50 anni, dove ad esempio con un tempo di ritorno di 2 anni ci si riferisce ad eventi ondosi rappresentativi di condizioni che si possono verificare in media una volta l'anno. È stato inoltre considerato la variazione del livello medio del mare considerando, a scopo cautelativo, tre diverse combinazioni di sovrizzo idrico del livello del mare:

- sovrizzo nullo;
- sovrizzo di tempesta in funzione del tempo di ritorno
- sovrizzo di tempesta e massima marea astronomica

I valori degli input meteomarini assunti (vedi valori riportati in Tabella 1 e Tabella 2) e le loro combinazioni ai fini delle simulazioni sono riportati nella tabella seguente (vedi Tabella 3)

Tabella 3 – valori di input meteomarinò

Tempo di ritorno (anni)	Altezza d'onda a ridosso dell'opera H (m)	Sovrizzo l.m.m. (m)
2	3.6	-
		0.35
		0.55
5	4.1	-
		0.40
		0.60
10	4.5	-
		0.45
		0.65
20	5.0	-
		0.50
		0.70
50	5.5	-
		0.55
		0.75

	Porto di Napoli Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione del nuovo Terminal contenitori di Levante II° Stralcio – Progetto Definitivo	Titolo elaborato: Studio delle azioni Data: luglio 2022						
		19	002	A	DR	005	00	MAR

13. Calcolo della tracimazione del moto ondoso

Per valutare le possibili condizioni di tracimazione in corrispondenza del tratto di prolungamento della diga Duca D'Aosta 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

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.

Il nuovo manuale EuroTop II pone infatti l'attenzione sul volume di tracimazione associato a fenomeni di overtopping generati da onde di altezza significativa superiore a 3 m. Si è verificato che in occasione di stati di mare estremi il volume di tracimazione associato alle onde più elevate può risultare molto elevato (dell'ordine delle migliaia di litri per metro associati ad una sola onda). Tale massa d'acqua può provocare danni sia agli equipaggiamenti ed alle attrezzature posizionate a tergo dell'opera di difesa ma anche all'opera stessa.

Per la previsione della portata di tracimazione è stato applicato il modello di rete neurale ANN-Overtoppingsvilupato nell'ambito del progetto EuroTop. La rete neurale, sviluppata in origine da Deltares è stata generata presso l'università di Bologna sulla base di un esteso database di test su modello fisico (circa 18000 test) effettuati su modelli in scala in diversi istituti di ricerca. Ulteriori informazioni sono disponibili presso il sito: <http://overtopping.inq.unibo.it>.

13.1 Parametri di input per il calcolo della tracimazione

Il calcolo della tracimazione è stato effettuato limitatamente al tratto di prolungamento della diga Duca D'Aosta oggetto del presente progetto.

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 15; il secondo riguarda le caratteristiche del moto ondoso incidente al piede dell'opera (vedi Capitolo 12.1 della presente relazione).

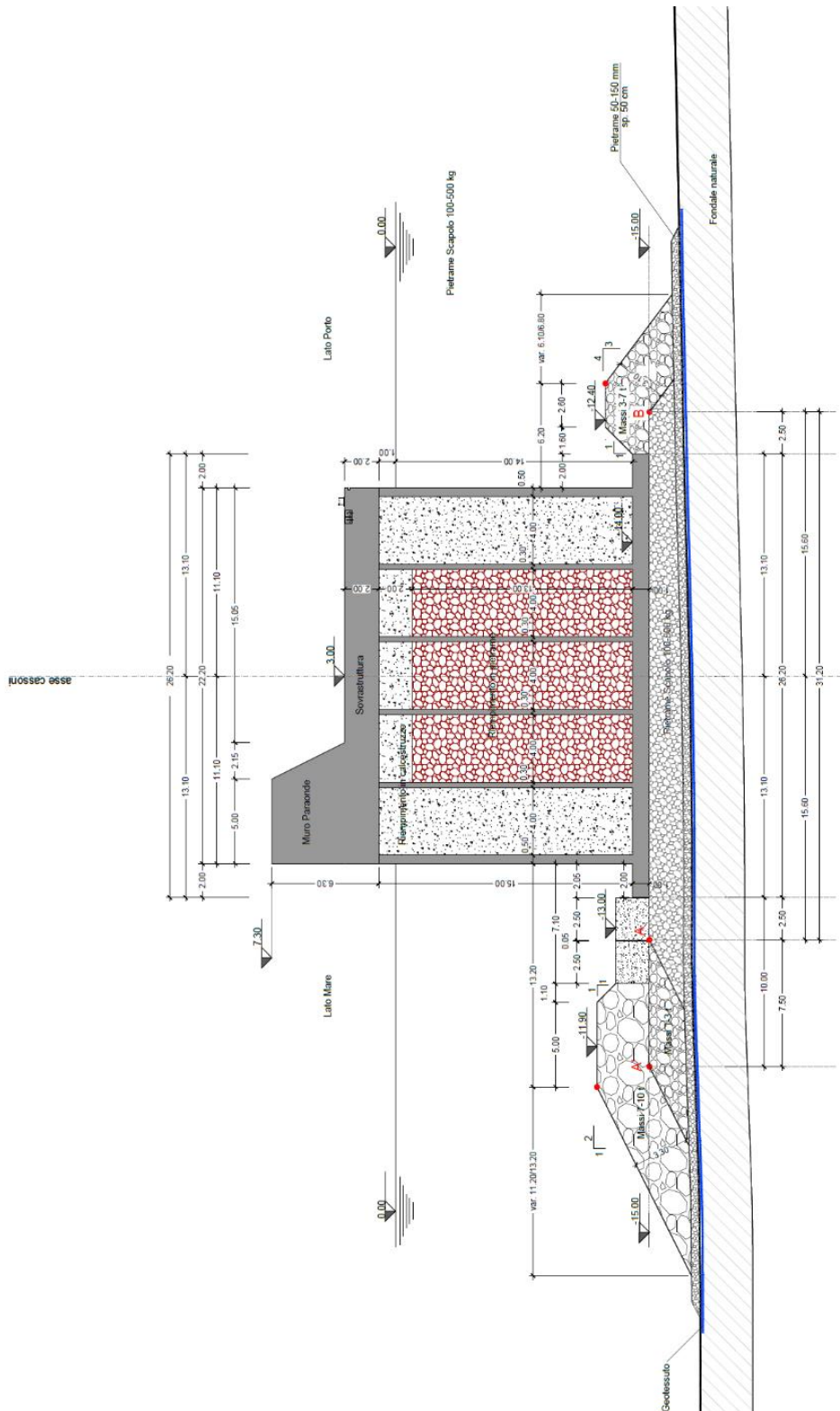



Figura 15 – Sezione tipologica prolungamento diga – sezione corrente

	Porto di Napoli Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione del nuovo Terminal contenitori di Levante II° Stralcio – Progetto Definitivo	Titolo elaborato: Studio delle azioni Data: luglio 2022					
		19	002	A	DR	005	00

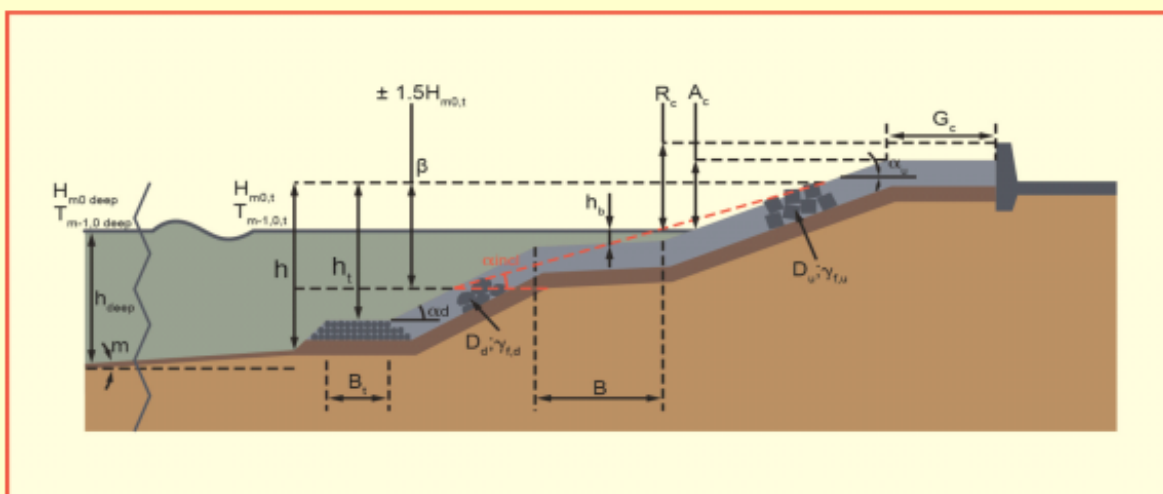
La rete neurale ANN-OVERTOPPING definisce dunque una serie di input che risultano necessari per il calcolo delle portate di tracimazione e che sono relativi sia alle condizioni di moto ondoso incidente che alle caratteristiche geometriche che definiscono l'opera. I parametri necessari alla rete neurale sono riportati nella Figura 16. I parametri riguardanti la conformazione geometrica utilizzati per il calcolo della tracimazione sono riportati in Tabella 4.

Le quote della profondità al piede h , della berma al piede h_t , delle altezze di sommità dell'opera A_c e del muro paraonde R_c (nel caso in esame coincidenti) si riducono/incrementano al crescere del sovrizzo del livello marino.

Il valore del periodo medio spettrale $T_{m-1,0}$ è stato calcolato attraverso la relazione:

$$T_{m-1,0} = \frac{T_p}{1.1}$$

mentre l'angolo di attacco del moto ondoso β al piede dell'opera, misurato rispetto alla normale al corpo diga, è posto pari a 0° .



h_c	(m)	Tirante idrico al piede dell'opera
h_t	(m)	Tirante idrico sulla berma al piede dell'opera
B_t	(m)	Larghezza della berma al piede dell'opera
γ_f		Parametro di rugosità
B	(m)	Larghezza dell'eventuale berma lungo la mantellata
h_b	(m)	Tirante idrico sopra l'eventuale berma lungo la mantellata
$\cot\alpha$		Pendenza della mantellata
R_c	(m)	Altezza di sommità dell'opera
A_c	(m)	Altezza della berma di sommità
G_c	(m)	Larghezza della berma di sommità

Figura 16 – Parametri di input dellarete neurale ANN-OVERTOPPING


	Porto di Napoli Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione del nuovo Terminal contenitori di Levante II° Stralcio – Progetto Definitivo	Titolo elaborato: Studio delle azioni Data: luglio 2022						
		19	002	A	DR	005	00	MAR

Tabella 4 – Parametri di input di progetto per la verifica della tracimazione

Tr	SWL	β	h^1	H_{m0}	$T_{m-1,0}$	h_t^1	B_t	γ_f	$cot\alpha_u$	R_c^1	$\tan\alpha_B$	A_c^1	G_c
2	0.0	0	18.00	3.60	8.8	12.00	11.0	1.0	0	7.30	0	7.30	0
2	+0.35	0	18.35	3.60	8.8	12.35	11.0	1.0	0	6.95	0	6.95	0
2	+0.55	0	18.55	3.60	8.8	12.55	11.0	1.0	0	6.75	0	6.75	0
5	0.0	0	18.00	4.10	9.2	12.00	11.0	1.0	0	7.30	0	7.30	0
5	+0.40	0	18.40	4.10	9.2	12.40	11.0	1.0	0	6.90	0	6.90	0
5	+0.60	0	18.60	4.10	9.2	12.60	11.0	1.0	0	6.70	0	6.70	0
10	0.0	0	18.00	4.50	9.5	12.00	11.0	1.0	0	7.30	0	7.30	0
10	+0.45	0	18.45	4.50	9.5	12.45	11.0	1.0	0	6.85	0	6.85	0
10	+0.65	0	18.65	4.50	9.5	12.65	11.0	1.0	0	6.65	0	6.65	0
20	0.0	0	18.00	5.00	9.9	12.00	11.0	1.0	0	7.30	0	7.30	0
20	+0.50	0	18.50	5.00	9.9	12.50	11.0	1.0	0	6.80	0	6.80	0
20	+0.70	0	18.70	5.00	9.9	12.70	11.0	1.0	0	6.60	0	6.60	0
50	0.0	0	18.00	5.50	10.3	12.00	11.0	1.0	0	7.30	0	7.30	0
50	+0.55	0	18.55	5.50	10.3	12.55	11.0	1.0	0	6.75	0	6.75	0
50	+0.75	0	18.75	5.50	10.3	12.75	11.0	1.0	0	6.55	0	6.55	0

13.2 Calcolo della portata di tracimazione

Combinando i parametri di moto ondoso con i parametri riguardanti la configurazione geometrica della sezione di diga esaminata (vedi Tabella 4) 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 media q_m (espressa in l/s per m), rappresentativa del volume di 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 dai 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 .

¹Le quote di sommità della mantellata A_c e del muro paraonde R_c si riducono al crescere del sovrizzo del l.m.m. (SWL) mentre il tirante idrico al piede della struttura e al piede della berma aumentano all'aumentare del sovrizzo del l.m.m. (SWL)

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.


Nella tabella seguente 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 rappresentative di mareggiate con frequenza di accadimento pari a 2, 5, 10, 20 e 50 anni.

Tabella 5 – Portate di tracimazione

Tempo di ritorno Tr (anni)	Sovralzo SWL (m)	Moto ondoso		Portate di tracimazione (l/s/m)			E
		H_{m0} (m)	T_{m-1,0} (s)	q_m	q_{5%}	q_{95%}	
2	0.0	3.60	8.8	0.41	0.19	0.84	0
2	+0.35	3.60	8.8	0.53	0.25	1.03	0
2	+0.55	3.60	8.8	0.62	0.31	1.18	0
5	0.0	4.10	9.2	1.08	0.55	2.05	0
5	+0.40	4.10	9.2	1.51	0.81	2.74	0
5	+0.60	4.10	9.2	1.81	1.01	3.19	0
10	0.0	4.50	9.5	2.19	1.15	4.02	0
10	+0.45	4.50	9.5	3.24	1.85	5.73	0
10	+0.65	4.50	9.5	3.89	2.27	6.67	0
20	0.0	5.00	9.9	4.83	2.69	8.58	0
20	+0.50	5.00	9.9	7.38	4.45	12.40	0
20	+0.70	5.00	9.9	8.80	5.37	14.60	0
50	0.0	5.50	10.3	9.52	5.53	17.20	0
50	+0.55	5.50	10.3	14.90	9.10	25.20	0
50	+0.75	5.50	10.3	17.50	10.80	29.60	0

13.3 Limiti delle portate di tracimazione

Il nuovo manuale EuroTop II indica differenti valori limite delle portate di tracimazione “tollerabili” associate a fenomeni di overtopping generati da differenti altezze d’onda significative. La motivazione risiede nel fatto che si è constatato come per differenti

	Porto di Napoli Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione del nuovo Terminal contenitori di Levante II° Stralcio – Progetto Definitivo	Titolo elaborato: Studio delle azioni Data: luglio 2022						
		19	002	A	DR	005	00	MAR

eventi associati a differenti altezze d'onda significative, gli eventi caratterizzati da valori di altezza d'onda superiori ai 3 m presentano, a parità di portata media di tracimazione con eventi con altezze d'onda inferiori, volumi di tracimazione molto superiori (dell'ordine anche delle migliaia di litri per metro associati ad una sola onda). Tale massa d'acqua infatti può provocare danni maggiori sia agli equipaggiamenti ed alle attrezzature posizionate a tergo dell'opera di difesa ma anche all'opera stessa. I valori indicati dal manuale sono riportati nella tabella seguente.


Tabella 6 – Limiti di portata di tracimazione per diversi tipi di rischio in funzione dell'altezza d'onda (fonte EuroTop II)

General limits for overtopping for property behind the defence

Hazard type and reason	Mean discharge q (l/s per m)
Significant damage or sinking of larger yachts; $H_{m0} > 5$ m	>10
Significant damage or sinking of larger yachts; $H_{m0} = 3-5$ m	>20
Sinking small boats set 5-10 m from wall; $H_{m0} = 3-5$ m Damage to larger yachts	>5
Safe for larger yachts; $H_{m0} > 5$ m	<5
Safe for smaller boats set 5-10 m from wall; $H_{m0} = 3-5$ m	<1
Building structure elements; $H_{m0} = 1-3$ m	≤ 1
Damage to equipment set back 5-10m	≤ 1


Limits for overtopping for people and vehicles

Hazard type and reason	Mean discharge q (l/s per m)
People at structures with possible violent overtopping, mostly vertical structures	No access for any predicted overtopping
People at seawall / dike crest. Clear view of the sea. $H_{m0} = 3$ m $H_{m0} = 2$ m $H_{m0} = 1$ m $H_{m0} < 0.5$ m	0.3 1 10-20 No limit
Cars on seawall / dike crest, or railway close behind crest $H_{m0} = 3$ m $H_{m0} = 2$ m $H_{m0} = 1$ m	<5 10-20 <75
Highways and roads, fast traffic	Close before debris in spray becomes dangerous

	Porto di Napoli Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione del nuovo Terminal contenitori di Levante II° Stralcio – Progetto Definitivo	Titolo elaborato: Studio delle azioni Data: luglio 2022					
		19	002	A	DR	005	00

14. Analisi dei risultati


I risultati ottenuti dal calcolo delle portate di tracimazione riassunti in Tabella 5 mostrano valori di portate medie di tracimazione che aumentano conseguentemente all'aumento dell'altezza d'onda ed all'aumento del sovrizzo idrico del livello medio mare. Il prolungamento della diga Duca D'Aosta, oggetto del presente progetto, è un'opera foranea il cui scopo è quello di proteggere dall'azione del moto ondoso le banchine collocate lungo la costa sul lato nord del canale di Levante (vedi banchine del nuovo terminal contenitori). Per questo motivo infatti, lungo il filo lato canale del corpo diga, non è prevista nessuna funzione di accosto legata a funzioni di tipo logistico (es. carico/scarico di merci e/o persone) o ricreativa (es. banchina diportistica e/o camminamento pubblico) se non per accosti occasionali di imbarcazioni di servizio del personale addetto alla manutenzione del faro. I limiti di portata di tracimazione suggeriti dal manuale EuroTop II riportati in Tabella 6, scelti in relazione all'opera progettata e ai valori di altezza d'onda di progetto, indicano il valore limite di portata di tracimazione media di 1 l/s/m per la sicurezza di piccole imbarcazioni poste a tergo della diga e per gli equipaggiamenti e le strutture poste a tergo del paraonde. Per la presenza di personale a tergo del paraonde, data l'assenza di visuale libera del mare (quota camminamento del cassone posta a +3.00 m s.m. e quota paraonde +7.30 m s.m.), sconsigliano la presenza di personale in occasione di eventi che conducono a tracimazione. I valori delle portate medie di tracimazione mostrano valori inferiori ad 1 l/s/m solo in occasione di eventi di moto ondoso associati ad un tempo di ritorno di 2 anni (frequenza di accadimento in media circa una volta l'anno) mentre per gli eventi di moto ondoso associati a 5, 10, 20 e 50 anni risultano via via superiori, fino a raggiungere valori superiori al limite di oltre 10 volte per gli eventi estremi associati al tempo di ritorno di 50 anni.

	Porto di Napoli Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione del nuovo Terminal contenitori di Levante II° Stralcio – Progetto Definitivo	Titolo elaborato: Studio delle azioni Data: luglio 2022						
		19	002	A	DR	005	00	MAR

15. Conclusioni

I risultati e l'analisi delle portate di tracimazione ottenuti dal presente studio sono risultati essere uno strumento utile nell'individuare le problematiche legate alla tracimazione. I valori medi delle portate di tracimazione infatti sono risultati essere superiori al limite imposto di 1 l/s/m sia per eventi estremi (tempo di ritorno 10, 20 e 50 anni) che ordinari (tempo di ritorno 5 anni) ad eccezione degli eventi di moto ondoso con tempo di ritorno di 2 anni. Dato che la quota di sommità dell'opera (+7.30 m s.m. del paraonde) non può essere aumentata per ridurre la tracimazione, di seguito si elencano una serie di soluzioni, sia tecniche che non, in grado di aumentare il grado di durabilità e sicurezza dell'opera:

- l'accosto è previsto solo occasionalmente per le imbarcazioni di servizio del personale addetto alla manutenzione del faro e solo in occasione di condizioni meteo mare calme o comunque riconducibili a valori di altezza d'onda inferiori ad un tempo di ritorno di 2 anni e comunque per un periodo di tempo breve;
- il personale di servizio, per motivi di sicurezza, non potrà operare in occasione di eventi che prevedano tracimazione, sia per l'assenza di visuale libera del mare e sia visto il dislivello tra la quota del paraonde e il camminamento (altezza di 4.30 m);
- visto il superamento della portata limite di 1 l/s/m anche in occasione di eventi non estremi, per dare maggiore durabilità all'opera dall'azione di dilavamento della portata di tracimazione sulla struttura, lo strato corticale del muro paraonde e della sovrastruttura sarà trattato con prodotto indurente antiusura.

 <p>AUTORITÀ DI SISTEMA PORTUALE DEL MAR TIRRENO CENTRALE NAPOLI-CAPRI-CASTELLONARRE DI STABIA</p>	<p>Porto di Napoli Prolungamento Diga Duca D'Aosta a protezione del nuovo Terminal contenitori di Levante II° Stralcio – Progetto Definitivo</p>		<p>Titolo elaborato: Studio delle azioni Data: luglio 2022</p>				
			19	002	A	DR	005

16. Allegati