

REGIONE LIGURIA

COMUNE DI VARAZZE

PROPONENTE

MARINA DI VARAZZE

Relazione contenente gli approfondimenti idraulici sullo stato attuale e quello di progetto con analisi comparative relativamente alla tracimazione ondosa e all'eventuale tracimazione residua.

Varazze 17/02/2020

AGGIORNAMENTO 05/06/2022

Indice

1	PREMESSA.....	2
2	ANTEFATTI, MOTIVAZIONI E CARATTERISTICHE DELLA PROPOSTA.....	6
3	RISALITA DELL'ONDA ED OVER-TOPPING; SITUAZIONE IN ESSERE E DI PROGETTO.....	8
3.1	ONDAZIONI INCIDENTI	8
3.2	TRACIMAZIONE RESIDUA	10
3.3	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	12

1 Premessa

La REGIONE LIGURIA – DIPARTIMENTO TERRITORIO AMBIENTE
INFRASTRUTTURE E TRASPORTI VICE DIREZIONE GENERALE AMBIENTE

Con il contributo di:

RL-Settore ecosistema costiero e acque

RL- Settore tutela del paesaggio, demanio marittimo e attività estrattive

Nel documento di “trasmissione delle osservazioni della Regione Liguria” del 17-09-2020 prot. N.99/2020/295980

aveva richiesto

“Per quanto riguarda gli aspetti tecnici evidenziamo che le verifiche di stabilità a ribaltamento e scorrimento sono state condotte per valori di spinta corrispondenti ad un'altezza d'onda pari a 5.11 metri, ottenendo coefficienti di sicurezza al limite. Se viene considerato un leggero sovrizzo dell'onda o l'onda H 1/10 pari a 6.5 metri tale verifica non verrebbe soddisfatta. **La criticità maggiore è costituita dalla parte nuova di innalzamento del muro che rimarrebbe non protetta dalla scogliera.** Riteniamo che tale criticità debba essere opportunamente valutata, definendo sia gli ancoraggi che le caratteristiche dimensionali opportune e sufficienti a garantire un'adeguata sicurezza. Il rischio di scorrimento e ribaltamento della parte del muro paraonde deve essere opportunamente valutata.

Rimanendo un rischio residuo occorre prevedere una modifica dimensionale del muro o prevedere adeguate misure di prevenzione, interdizione della banchina in caso di mareggiate associate ad uno stato di mare di riferimento.

In base a quanto premesso si ritiene opportuno che, sia l'ancoraggio del muro, che le sue caratteristiche dimensionali vengano opportunamente valutate per garantire un'adeguata sicurezza allo scorrimento e ribaltamento, considerando un'onda di progetto che tenga conto di eventuali sovrizzi (soprattutto a seguito delle recenti mareggiate) e che sia la più cautelativa possibile.

Alla luce delle considerazioni e delle richieste di cui sopra,

- **viene confermata la correttezza dei dati di input nel calcolo**, derivanti da “letteratura e prassi consolidata”.

È infatti utile rilevare che i valori assunti in input per quanto attiene alle caratteristiche delle onde potenzialmente incidenti sulla struttura, sono da ritenersi di assoluta cautela.

Le azioni del moto ondoso sulla struttura sono calcolate con il CAUTELATIVO e ampiamente collaudato metodo di IRIBARREN che considera sia le azioni statiche che dinamiche dovute all'onda incidente.

A fronte di una consolidata prassi che prevede per verifiche della fattispecie l'utilizzo di ondate significative tipiche di mareggiate cinquantennali, si è optato per il riferimento ad una altezza d'onda significativa con periodo di ritorno centennale e provenienza più gravosa per le verifiche di stabilità globale del massiccio di coronamento.

Relativamente alle verifiche strutturali della sezione di collegamento tra innalzamento e preesistente struttura si è optato, ad ulteriore cautela, per il riferimento all'onda 1/10 attribuibile alla stessa mareggiata centennale.

- **La parte nuova di innalzamento del muro rimarrebbe non protetta dalla scogliera**

Su suggerimento dei tecnici della Regione Liguria, la committenza ha deciso di aggiungere un'ulteriore "protezione" alla sopraelevazione in progetto posizionando sulla sommità dell'attuale scogliera di protezione due file di massi di 4° categoria. In virtù della geometria degli stessi e del loro peso specifico offriranno una protezione "per gravità" pari a circa 10 ton a metro lineare di muro.

I nuovi massi avranno le medesime caratteristiche di quelli utilizzati nelle opere di protezione dell'impianto originario della diga inclusa la forma e le caratteristiche cromatiche. Entrando nello specifico, avranno un diametro medio di circa 1,5 mt. e un peso specifico non inferiore a 2,6 ton/mc, per un totale di circa 8/9 ton caduno.

In tale condizione la parte di struttura direttamente esposta al moto ondoso sarebbe limitata agli ultimi 75 cm di testata.

- **Con riferimento alle verifiche locali,**

mettiamo in evidenza, come sopra spiegato, che queste (compresa la sezione di ancoraggio della nuova sopraelevazione) sono state già condotte con le azioni dell'onda più gravosa tra quelle ipotizzate.

Inoltre, nel calcolo, per ragionare ulteriormente a favore di sicurezza, non si è tenuto conto dell'apporto, tutt'altro che influente, della resistenza della sopraelevazione già realizzata in passato e che alla prova dei fatti ha resistito senza alcun problema all'azione di tutte le mareggiate degli ultimi anni.

Entrando nel dettaglio, l'azione di calcolo UTILIZZATA sulla sezione a +5.25 (sezione al piede della nuova porzione in progetto – quella maggiormente sollecitata) pari ad un Momento di 4,98 tm/m, è maggiore della SOLLECITAZIONE REALMENTE PRESENTE E NON UTILIZZATA pari a 4,12 tm/m. Questo significa che l'azione di calcolo per tutte le verifiche locali (ancoraggio, resistenza materiali esistenti e nuovi) è stata incrementata di un valore pari al 24% - vedere i fogli di calcolo allegati

Oltre a questo, il tasso di lavoro dei materiali (riportato nelle verifiche) non risulta particolarmente elevato e questo è un ulteriore elemento a favore di sicurezza.

Infine, per scongiurare possibili problemi legati ad una eventuale qualità dei materiali della struttura esistente inferiore a quella di calcolo è stata prevista un'adeguata campagna di "prove a strappo", lungo tutto lo sviluppo della diga, sui ferri di ancoraggio, eseguita dagli operatori specialisti dell'azienda che fornirà le resine di ancoraggio, con le modalità riportate nella specifica tecnica allegata alla relazione di calcolo.

- **In merito alle verifiche di stabilità globale,**

Nel calcolo della verifica a scorrimento e ribaltamento non era stato messo in conto:

- l'apporto del peso delle sovrastrutture dei magazzini (caves) che svolge un'ulteriore funzione stabilizzante contrastando il Momento ribaltante e un aumento dell'attrito fondazione/terreno a favore di impedimento allo scorrimento.
- l'apporto del pavimento industriale, materiale inerte sottostante e strutture di banchina che "contrastano" lo slittamento della fondazione della diga.

I calcoli relativi alla stabilità globale sono ora stati aggiornati mettendo nel calcolo gli elementi di cui sopra.

Questi risultati (aggiornati nella relazione di calcolo allegata - allegati) evidenziano che i coefficienti di sicurezza a ribaltamento migliorano sensibilmente e si confermano del tutto tranquillizzanti.

Inoltre, l'intervento in progetto, anche con l'impiego della configurazione d'onda di progetto maggiormente sfavorevole (come richiesto dai tecnici regionali) **ANDREBBE COMUNQUE A FAVORE DI SICUREZZA RISPETTO ALLA SITUAZIONE ATTUALE.**

Infatti, l'effetto "favorevole" dovuto al maggior peso sulla struttura della diga, sia come incremento di momento stabilizzante (che come maggior attrito che si oppone allo scorrimento della fondazione) è maggiore dell'effetto di incremento di momento dovuto alla sollecitazione sulla struttura in virtù della sopraelevazione ipotizzata in progetto (pari a 1.25 mt).

- **In merito "rischio residuo" dovuto alla porzione d'onda che "scavalla"**

Rispetto al "rischio residuo" dovuto alla porzione d'onda residua che "scavalla" il muro anche a seguito dell'innalzamento in progetto, essendo tecnicamente impraticabile una modifica dimensionale in incremento del muro, verranno adottate adeguate misure di prevenzione e interdizione della banchina in caso di mareggiate associate ad uno stato di mare di riferimento.

Già oggi questa condizione meteorologica avversa è dettagliatamente regolamentata nel

"Regolamento Porto Varazze_Ordinanza 07-2010 e aggiornamenti"

dove il

CAPO VIII – DELLE PRESCRIZIONI DI SICUREZZA RELATIVE ALL'UTILIZZO DELLE OPERE FORANEE CON CONDIZIONI METEOMARINE PARTICOLARMENTE AVVERSE

recita

Art. 31 - Molo di sopraflutto

In presenza di condizioni meteorologiche particolarmente avverse, con mare agitato tale da rendere possibile il superamento della diga di sopraflutto, sulla sottostante banchina è vietato:

- l'accesso, il transito e la sosta ad autoveicoli, motoveicoli, cicli e pedoni;*
- l'attività di rifornimento carburante.*

La Società concessionaria è tenuta:

- all'apposizione di cartelli monitori;*
- all'apposizione di accorgimenti (es. barriere mobili) atti a dissuadere il transito e la sosta di autoveicoli, motoveicoli, cicli e pedoni lungo la banchina di sopraflutto, per la durata dell'evento meteorologico ovvero fino a quando sia disposto dalle Autorità competenti;*
- a comunicare ai cantieri, la possibile chiusura dell'area, per le eventuali misure che i cantieri decideranno di adottare per la salvaguardia delle unità o di materiali depositati nell'area Piazzale dei Fabbri e nelle banchine di rimessaggio/operative e di alaggio e varo.*

Secondo quanto previsto dal primo comma del presente articolo, il locale Ufficio marittimo potrà interdire l'area, al fine di prevenire potenziali situazioni di pericolo per mezzi, cose e persone con l'eventuale richiesta di emissione di apposita ordinanza da parte della Capitaneria di Porto di Savona.

La Società concessionaria è tenuta ad allestire permanentemente, lungo il muro paraonde, apposito "tientibene" ed un numero adeguato di salvagenti anulari, muniti di cima di recupero, posti ad intervalli di 50 metri.

Naturalmente, la Società concessionaria non intende in alcun modo rinunciare a mettere in atto le suddette prescrizioni anche a sopraelevazione realizzata.

Le note che seguono illustrano le motivazioni e le modalità realizzative della richiesta di innalzamento della quota di coronamento del sopraflutto del nuovo porto di Varazze.

L'intervento interesserebbe il tratto di radicamento limitrofo al piazzale artigiani e quello lungo i "caves a bateau" fino alla zona del distributore.

Nel seguito si dà riscontro alle richieste di integrazione della documentazione progettuale di cui alla nota della Regione Liguria (Settore Ecosistema Costiero e Acque) del 11/11/2019 Prot. PG/2019/323840.

Nello specifico si farà riferimento, ai richiesti approfondimenti idraulici in merito alla tracimazione ondosa in essere ed attesa a seguito dell'intervento richiesto e, alle verifiche di stabilità del manufatto illustrando le modalità di collegamento del nuovo sopralzo all'esistente.

2 Antefatti, motivazioni e caratteristiche della proposta

La determinazione della quota di coronamento dell'opera di difesa principale del nuovo porto è stata argomento di particolare interesse e progressivo affinamento nello sviluppo del progetto.

Si è trattato, infatti, di raggiungere un accettabile compromesso tra esigenze ed obiettivi inevitabilmente contrastanti. E' del tutto ovvio, infatti, che quote maggiori riducono i fenomeni di tracimazione e comportano benefici per quanto attiene alla fruibilità anche delle zone immediatamente a ridosso del coronamento, ma comportano una struttura meno leggera in relazione al proprio inserimento ambientale.

Nella fase iniziale del progetto (progetto preliminare presentato ai sensi del DPR 509/97 nel 1999-2000), a riguardo dell'altezza del massiccio di coronamento del sopraflutto, veniva ripresa e confermata la quota già prevista in precedenti versioni del progetto di ampliamento del porto di Varazze (in particolare il P.P. 1993): gli schemi di intervento indicavano una quota minima dell'ordine di 6 metri sul livello medio mare e una berma sommitale di 5 metri.

La possibilità di ulteriori riduzioni era demandata a successive eventuali verifiche da effettuare nello sviluppo del progetto mediante modellistica fisica bidimensionale.

Questa opzione è stata richiesta dai competenti Uffici Regionali in sede di approvazione del progetto preliminare essendo inserita tra gli argomenti e le indicazioni di cui tener conto nella redazione del progetto definitivo.

Coerentemente a tale indirizzo, durante l'iter di sviluppo e valutazione del progetto definitivo, la sezione del sopraflutto è stata oggetto di modellizzazione fisica al fine di verificare, tra l'altro, la possibilità di ridurre la quota a 5,25 metri sul l.m.m., con larghezza della berma sommitale limitata a 3.5 metri.

Le prove sono state effettuate nei mesi di Dicembre 2001 e Gennaio 2002 nel Laboratorio di Idraulica del Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Firenze, in un canale bidimensionale avente lunghezza 50.0 m, larghezza 0.80 m e profondità 0.80 m.

Le prove svolte sul modello di sezione della diga frangiflutti hanno evidenziato la stabilità della mantellata e della berma al piede nelle diverse condizioni di attacco del moto ondoso.

Per quanto riguarda la tracimazione è da sottolineare come la serie di prove eseguita con valori dei parametri d'onda tipici della fenomenologia locale abbia fatto registrare valori sempre inferiori a 2.0 l/(s.m.) nella sezione corrente. Tali valori, secondo la letteratura specializzata, sono tali da non causare danni strutturali significativi, ancorché possano comportare disagio o non totale sicurezza ad utenti eventualmente presenti a tergo della struttura.

Tenendo conto dei risultati del modello, veniva autorizzata la realizzazione del sopraflutto con sezione analoga a quella esaminata.

Successivamente al completamento della struttura (in esercizio ormai dal 2004/05) è stata maturata una significativa esperienza sul campo che, ha consentito di valutare le criticità della situazione in essere.

Si sono avuti, infatti, eventi di moto ondoso di particolare intensità. Ricordiamo la mareggiata tra l'otto ed il nove Dicembre 2006 che aveva avuto effetti devastanti lungo il litorale Savonese e la più recente tempesta del 30 Ottobre 2008.

In tali circostanze a Varazze non si erano evidenziati problemi particolari per quanto attiene alla stabilità degli elementi di mantellata delle opere di difesa. D'altro canto, si erano già avuti fenomeni di tracimazione di entità significativa che avevano confermato la possibilità di situazioni critiche nelle aree e per le strutture a ridosso del massiccio di coronamento.

Al fine di limitare tali criticità, era stato richiesto dal concessionario un innalzamento della quota di coronamento della struttura. Tale intervento era stato autorizzato e realizzato (nel 2010) limitatamente ad un innalzamento di 75 cm, portando il massiccio di coronamento, come nella situazione in essere, ad un'altezza di 6,00 m sul l.m.m.

Più recentemente e successivamente al ricordato primo intervento di potenziamento del massiccio di coronamento del sopraflutto, si sono ancora registrati eventi di moto ondoso di eccezionale intensità. Soprattutto la devastante tempesta del 28/29 Ottobre 2019 ha prodotto significativi danni alle strutture portuali a tergo del sopraflutto.

Tutto ciò premesso, si ritiene del tutto appropriato proporre un nuovo innalzamento della quota di coronamento della struttura. Ciò al fine di limitare ulteriormente la fragilità della struttura portuale rispetto ai fenomeni di over-topping in concomitanza di eventi di tempesta divenuti purtroppo sensibilmente più frequenti.

In particolare, si propone **un innalzamento di ulteriori 125 cm (quota di coronamento 7,25 m sul l.m.m.) dalla radice al tratto sovrastante i "caves a bateau", fino alla zona del distributore, per una lunghezza complessiva di circa 400 metri.**

Si tratterebbe di un intervento limitatamente invasivo in termini di impatti sia visivi sia di cantiere, realizzabile in tempi contenuti e con investimenti sopportabili dal concessionario.

Risulterebbe, inoltre, fattibile con adeguati margini di sicurezza relativamente al collegamento strutturale ed alla stabilità globale della struttura esistente e comunque, in prospettiva futura, in virtù del probabile progressivo aumento della frequenza e dell'intensità degli eventi meteomarinari, sarebbe successivamente integrabile con

interventi più importanti e definitivi di potenziamento dell'opera di difesa (potenziamento e risagomatura della mantellata da definire ed ottimizzare tramite modellistica fisica).

Sarebbe comunque adeguato, se non alla definitiva eliminazione dei problemi e delle criticità in essere, certamente ad un significativo miglioramento del livello fruibilità delle aree a ridosso del massiccio di coronamento ma soprattutto alla preservazione funzionale architettonica ed impiantistica delle aree stesse. I benefici attesi sono discussi del paragrafo seguente.

Occorre inoltre precisare che un innalzamento maggiore del muro non sarebbe strutturalmente compatibile (a costi accettabili) con la struttura esistente oltre al fatto di comportare un impatto visivo maggiore di quello previsto.

3 Risalita dell'onda ed over-topping; situazione in essere e di progetto

Di seguito si sintetizzano analisi e risultati, ovviamente di livello bibliografico e valore qualitativo, relative alla tracimazione residua nello stato attuale e di progetto.

3.1 Ondazioni incidenti

Allo scopo di esaminare il fenomeno della tracimazione residua effettuando analisi comparative tra situazione in essere e di progetto, si è fatto riferimento alle ondazioni incidenti a suo tempo definite dalla analisi idrauliche della DEAM (Elaborato A: "Clima del moto ondoso e stima dei valori estremi") allegata al progetto definitivo del porto.

Il citato studio idraulico-marittimo ha affrontato la determinazione del clima di moto ondoso del paraggio, la valutazione delle modificazioni subite dalle ondazioni nell'avvicinamento dal largo alla costa, la determinazione degli eventi estremi utili per il dimensionamento delle opere di difesa. Tali argomenti sono dettagliatamente descritti nella specifica relazione. Per facilità di lettura del presente documento è di seguito riportata la tabella che sintetizza, per il molo di sopraflutto, i valori di altezza d'onda

significativa, per ogni periodo di ritorno e per ogni direzione considerata, alle profondità di 5, 6, 7, 8 m.

Eventi estremi a costa zona antistante il sopraflutto

		Provenienza 120° N				Provenienza 150° N				
		Hs(m)				Hs(m)				
R(anni)	T(s)	D=8	D=7	D=6	D=5	T(s)	D=8	D=7	D=6	D=5
1	6.7	2.49	2.52	2,56	2,61	7.2	2.82	2.85	2,90	2,96
10	7.8	3.41	3.47	3,54	3,67	8.3	3.92	3.99	4,07	4,19
25	8.1	3.83	3.89	3,98	4,10	8.7	4.25	4.33	4,43	4,56
50	8.4	4.05	4.13	4,23	4,36	9.0	4.58	4.66	4,77	4,92
75	8.6	4.27	4.36	4,47	4,61	9.1	4.78	4.87	4,99	F
100	8.7	4.39	4.48	4,58	4,73	9.2	4.89	4.99	5,11	F

		Provenienza 180° N				Provenienza 200° N				
		Hs(m)				Hs(m)				
R(anni)	T(s)	D=8	D=7	D=6	D=5	T(s)	D=8	D=7	D=6	D=5
1	7.8	2.82	2.84	2,87	2,92	8.1	2,20	2,20	2,22	2,25
10	8.9	3.82	3.87	3,93	4,03	9.2	2,77	2,80	2,83	2,90
25	9.3	4.17	4.23	4,31	4,42	9.5	3,00	3,03	3,08	3,15
50	9.6	4.52	4.59	4,68	4,81	9.8	3,18	3,22	3,28	3,36
75	9.8	4.70	4.77	4,88	5,01	9.9	3,30	3,34	3,40	3,49
100	9.9	4.79	4.87	4,97	F	10.0	3,36	3,41	3,47	3,56

Per la analisi dei fenomeni di tracimazione si è fatto cautelativamente riferimento alle ondatezioni locali da 150° N e profondità media ai piedi della struttura di 6 metri, di seguito riportate.

n.d.r.: si evidenzia, per completezza d'informazione, che il periodo dell'onda utilizzato per le verifiche di stabilità globale è pari a 9.2 secondi e non 8.7 secondi (indicazione errata riportata nelle precedenti note di illustrazione del progetto)

Dati onde locali		
Traversia 150° N		
Profondità di riferimento al piede 6 metri		
Tr(anni)	Hs (m)	Ts (sec)
1	2,90	7,2
10	4,07	8,3
25	4,43	8,7
50	4,77	9,0
75	4,99	9,1
100	5,11	9,2

In termini di assoluta cautela si utilizzerà, inoltre, l'altezza d'onda significativa con periodo di ritorno centennale e provenienza più gravosa per le verifiche di stabilità globale del massiccio di coronamento a seguito degli interventi di innalzamento.

Relativamente alle verifiche strutturali della sezione di collegamento tra innalzamento e preesistente struttura si è optato, ad ulteriore cautela, per il riferimento all'onda 1/10

attribuibile alla stessa mareggiata centennale: $H_{1/10} = 1,27 \times H_s = 5,11 \times 1,27 = 6,49$ (arrotondato nel seguito a 6,50 m).

3.2 Tracimazione residua

L'analisi comparativa inerente alla risalita delle onde e alla tracimazione residua nella stato di fatto e conseguente all'intervento proposta, è stata sviluppata utilizzando la metodologia proposta dal Consiglio Superiore Lavori Pubblici per quanto riguarda la risalita delle onde e la formula di Van der Meer, che tiene conto di .numerosi test condotti nei laboratori di Delft per la quantificazione della tracimazione in funzione della quota di coronamento della struttura in esame (R_c) ed appunto della risalita delle onde incidenti ($R_{u2\%}$):

$$Q_m = 8 \cdot 10^{-2} (g H_s^3)^{0,5} \exp(3,1 (R_{u2\%} - R_c) / H_s) \text{ in (l/sem*m)}$$

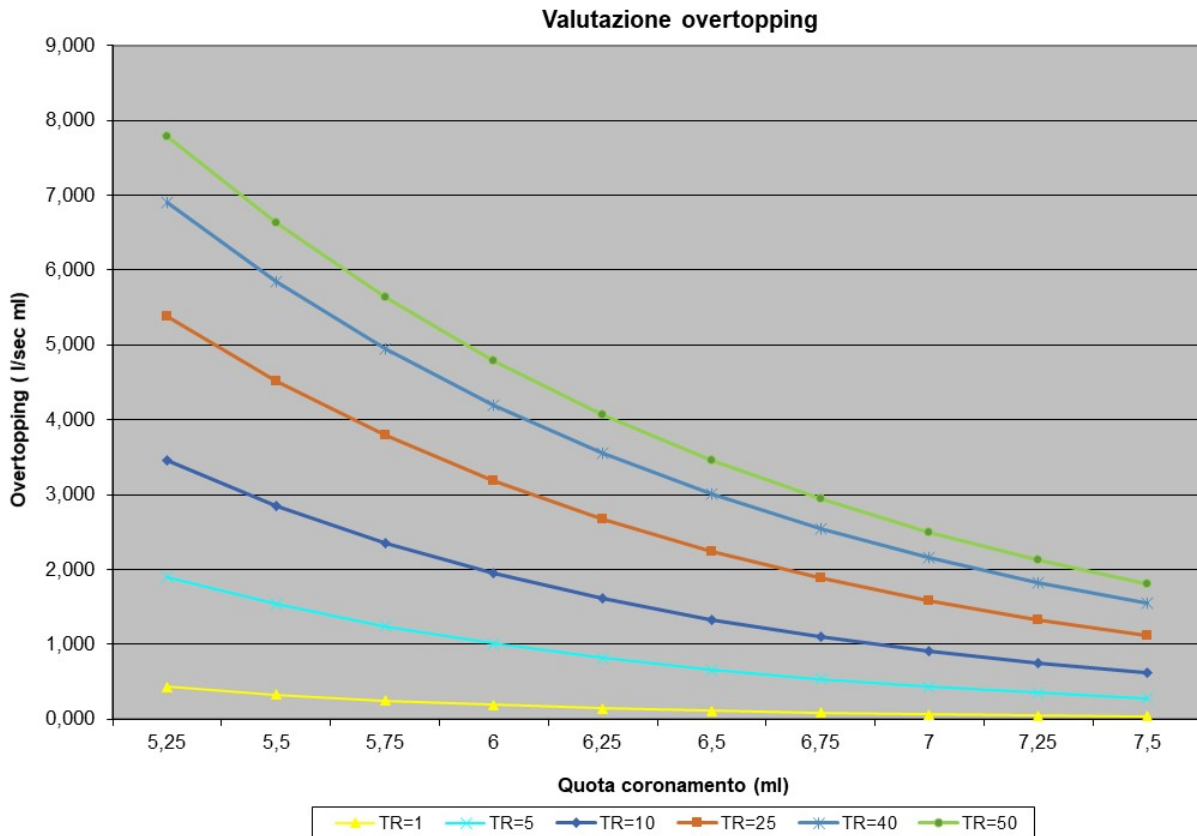
Si tratta ovviamente di approccio semplificato, da intendersi significativo degli ordini di grandezza in gioco, cui attribuire validità sostanzialmente qualitativa in termini relativi tra le diverse situazioni esaminate. La metodologia, tenendo conto dei risultati del modello fisico del sopraflutto di Varazze realizzato presso l'Università di Firenze e ricordato in precedenza, risulta inoltre significativamente cautelativa.

I risultati delle diverse situazioni esaminate, in funzione del periodo di ritorno delle ondate incidenti ed al variare della quota di coronamento della struttura (quote da +5,25 a +7,50 m sul l.m.m. comprende lo stato di fatto a +6,00), sono sintetizzati nella seguente tabella.

Risalita dell'onda e livello di tracimazione

Formula di Van der Meer						
R(anni)=	1	5	10	25	40	50
Hs =	2,90	3,67	4,07	4,43	4,66	4,77
Sm =	0,041	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043
xm =	1,639	1,608	1,611	1,603	1,599	1,602
Altezza di risalita (m)						
R0,1%/Hs =	1,76	1,74	1,74	1,74	1,73	1,74
R2%/Hs =	1,47	1,46	1,46	1,45	1,45	1,45
Rsignificativo/Hs =	1,08	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07
R0,1% (m) =	5,10	6,38	7,09	7,70	8,08	8,28
R2% (m) =	4,26	5,34	5,93	6,44	6,77	6,93
Rsignificativo (m) =	3,13	3,92	4,35	4,73	4,97	5,09
Tracimazione (l/sec*m)						
	Qm	Qm	Qm	Qm	Qm	Qm
Rc = 5,25	0,429	1,898	3,452	5,373	6,910	7,791
Rc = 5,5	0,328	1,536	2,853	4,511	5,851	6,623
Rc = 5,75	0,251	1,244	2,359	3,787	4,955	5,629
Rc = 6	0,192	1,007	1,950	3,179	4,196	4,785
Rc = 6,25	0,147	0,815	1,612	2,669	3,553	4,068
Rc = 6,5	0,113	0,660	1,332	2,241	3,008	3,458
Rc = 6,75	0,086	0,534	1,101	1,881	2,547	2,939
Rc = 7	0,066	0,432	0,910	1,579	2,157	2,498
Rc = 7,25	0,051	0,350	0,752	1,326	1,826	2,124
Rc = 7,5	0,039	0,283	0,622	1,113	1,547	1,805
R(anni)=	1	5	10	25	40	50

Per semplicità e comodità di lettura ed interpretazione, i dati della tabella sono illustrati nei grafici della pagina seguente che evidenziano per i diversi periodi di ritorno, i valori attesi di over-topping in funzione dell'altezza del coronamento (Rc).



3.3 Considerazioni conclusive

Dai dati ottenuti e sopra esposti si possono trarre le osservazioni sintetizzate di seguito:

- risulta confermata anche in termini numerici la criticità della struttura rispetto alle possibili tracimazioni;
- assumendo, come da bibliografia di settore, un livello dell'ordine di 2 l/scc*m come limite per evitare danni significativi a fabbricati e strutture retrostanti, i dati teorici ne evidenzia la possibilità di superamento anche per eventi relativamente frequenti (TR 10) anni per una quota di coronamento pari a quella attuale di 6 metri;
- l'innalzamento del coronamento risulta certamente efficace per ridurre il livello di rischio e ciò anche per aumenti di altezza della struttura sufficientemente contenuti per trarre un basso impatto visivo e garantire un adeguato livello di sicurezza strutturale e globale dell'intervento.
- in particolare, ad un innalzamento limitato a 125 cm che porterebbe il coronamento dell'opera di difesa a quota 7,25 metri (quota maggiore di Ru2% cioè il livello di risalita dell'onda raggiunto e superato dal 2% delle onde della mareggiata), potrebbe conseguire un superamento del precedente limite con frequenza compresa tra 40 e 50 anni;
- ovviamente la criticità connessa alla tracimazione, pur ridotta in termini di portata tracimante e per quanto attiene alla frequenza attesa, non sarebbe totalmente eliminata;

- l'efficacia di innalzamenti ulteriori tende, ovviamente, a ridursi sensibilmente e rapidamente. (si entra nel tratto asintotico delle curve).

Tutto ciò premesso, risulta giustificato proporre un innalzamento della quota di coronamento della struttura. Ciò al fine di limitare ulteriormente la fragilità del complesso portuale rispetto ai fenomeni di over-topping in concomitanza di eventi di tempesta divenuti ormai non infrequenti.

In particolare, si propone **un innalzamento di ulteriori 125 cm (quota di coronamento +7,25 m sul l.m.m.) dalla radice al tratto sovrastante i “caves a bateau”, fino alla zona del distributore.** A “protezione” della sopraelevazione in progetto è previsto il posizionamento sulla sommità dell'attuale scogliera di protezione di due file di massi di 4° categoria. In virtù della geometria degli stessi e del loro peso specifico offriranno una protezione “per gravità” pari a circa 10 ton a metro lineare di muro.

I nuovi massi avranno le medesime caratteristiche di quelli utilizzati nelle opere di protezione dell'impianto originario della diga inclusa la forma e le caratteristiche cromatiche. Entrando nello specifico, avranno un diametro medio di circa 1,5 mt. e un peso specifico non inferiore a 2,6 ton/mc, per un totale di circa 8/9 ton caduno.

L'intervento interesserà una lunghezza complessiva di circa 400 metri.

Si tratterebbe di un intervento efficace per limitare, ancorchè non in grado di eliminare, le criticità in essere.

Sarebbe poco invasivo in termini di impatti sia visivi sia di cantiere, realizzabile in tempi contenuti.

Risulterebbe, inoltre, fattibile con adeguati margini di sicurezza relativamente al collegamento strutturale ed alla stabilità globale della struttura esistente

e comunque, in prospettiva futura, in virtù del probabile progressivo aumento della frequenza e dell'intensità degli eventi meteomarinari, sarebbe successivamente integrabile con interventi più importanti e definitivi di potenziamento dell'opera di difesa (potenziamento e risagomatura della mantellata da definire ed ottimizzare tramite modellistica fisica).

Sarebbe comunque adeguato, se non alla definitiva eliminazione dei problemi e delle criticità in essere, certamente ad un significativo miglioramento del livello fruibilità delle aree a ridosso del massiccio di coronamento ma soprattutto alla preservazione funzionale architettonica ed impiantistica delle aree stesse.

Occorre inoltre precisare che un innalzamento maggiore del muro non sarebbe strutturalmente compatibile con la struttura esistente oltre al fatto di comportare un impatto visivo maggiore di quello previsto.

