



FSC

Fondo per lo Sviluppo e la Coesione

Unione dei Comuni "ALTA GALLURA"



## UNIONE COMUNI ALTA GALLURA

PROVINCIA DI SASSARI

RIPRISTINO E COMPLETAMENTO DELLE OPERE DI DIFESA E DI ACCOSTO DEL PORTO DI ISOLA ROSSA NEL COMUNE DI TRINITA' D'AGULTU

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA - DEFINITIVO

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO:

**Dott.ssa Jeanne Francine Murgia**

R.T.P. tra:

Mandataria



Sede Operativa  
Via Francavilla, 99 - 98039 Taormina (ME)  
tel +39-0942.620071 - fax +39-090.9582054  
www.artecassociati.com

DIRETTORE TECNICO  
**Ing. Francesco Barbitta**



Mandanti:

**PROGETTI E OPERE S.r.l.**

Viale delle Magnolie n.36, 90144 Palermo (PA)  
P.IVA 03955900828

**ARKSA INGEGNERIA Soc. Coop.**

Via Olbia n.7, 07026 Olbia (SS)  
P.IVA 02721750905

**ARCH. MARCO TERZITTA**

Via N.Sauro n.3, 07038 Trinità d'Agultu (SS)  
P.IVA 01618500902

RESPONSABILE PROGETTAZIONE:

**Ing. Francesco BARBITTA** (ARTEC Associati S.r.l.)

TITOLO ELABORATO:

RELAZIONI TECNICHE E SPECIALISTICHE  
Verifica e dimensionamento delle opere

ELABORATO N°:

**REL08**

		ELABORATO		CONTROLLATO	APPROVATO		
SIGLA		-		-	-		
REVISIONE	N	DATA	DESCRIZIONE	RED.	VER.	APP.	
	A	A	15/12/2021	1^ Emissione	-	-	
	B	B		Revisione			
	C	C		Revisione			

NOME FILE:  
PD\_REL08

DATA:  
Dicembre 2021

SCALA:  
-

## Sommario

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>RIASSUNTO DEI RISULTATI OTTENUTI NELLO STUDIO METEOMARINO .....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>DIMENSIONAMENTO DEGLI ELEMENTI DELLA MANTELLATA .....</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>VALUTAZIONE DELLA PORTATA DI TRACIMAZIONE .....</b>	<b>8</b>
4.1	Stato attuale – Scenario zero.....	12
4.2	Stato progetto – Scenario 1: Rimodulazione sezione esistente con aggiunta massi 5-7 tonnellate..	12
4.3	Stato progetto – Scenario 2: Rimodulazione sezione esistente con aggiunta massi 5-7 tonnellate, vasca di dissipazione e muro paraonde concavo.....	13
4.4	Stato progetto – Scenario 3: Rimodulazione sezione esistente con aggiunta massi 5-7 tonnellate, vasca di dissipazione, innalzamento muro paraonde concavo.....	15
4.5	Stato progetto – Scenario 4: Rimodulazione sezione esistente con aggiunta massi 5-7 tonnellate, vasca di dissipazione e muro paraonde concavo.....	15
4.6	Stato progetto – Scenario 5: Rimodulazione sezione esistente con aggiunta massi 5-7 tonnellate, vasca di dissipazione, innalzamento muro paraonde concavo.....	16
4.7	Sintesi e confronto soluzioni .....	16

## 1 INTRODUZIONE

Il presente elaborato descrive le verifiche di sicurezza effettuato nell'ambito del progetto di "Riconfigurazione e potenziamento scogliera molo di sopraflutto nel Porto dell'isola Rossa Comune di Trinità d'Agultu e Vignola".

Nella presente relazione verranno descritti i criteri e i calcoli eseguiti per il dimensionamento strutturale della mantellata e verrà determinata la portata di tracimazione per la soluzione scelta. Verranno inoltre confrontate delle diverse configurazioni progettuali per comprendere quali azioni possono essere intraprese per ridurre la portata di tracimazione.

I calcoli mostrati nella presente relazione sono stati sviluppati a partire dai risultati illustrati nello studio meteomarinario.

Di seguito vengono richiamati i risultati ottenuti nello studio meteomarinario, tramite il quale è stato possibile valutare, per diversi tempi di ritorno, le caratteristiche del moto ondoso in corrispondenza del piede dell'opera sui cui si vuole intervenire.

Successivamente verrà illustrata la metodologia di calcolo per il dimensionamento e la verifica della mantellata.

Infine verranno stimate le portate di tracimazione nella configurazione attuate e nelle diverse soluzioni progettuali proposte. La soluzione scelta permette di migliorare la stabilità della mantellata e ridurre l'attuale tracimazione.

**2 RIASSUNTO DEI RISULTATI OTTENUTI NELLO STUDIO METEOMARINO**

Le simulazioni sono state condotte per i tempi di ritorno di 2, 20 e 100 anni. Il dimensionamento della mantellata è stato effettuato per un tempo di ritorno pari a 100 anni.

In Tabella 1 e Tabella 2 sono riportati i dati di input per il modello.

Tr (anni)	Moto ondoso			Vento		Livello
	Hs (m)	Tp (s)	Dir (°N)	V (m/s)	Dir (°N)	$\eta$ (m slm)
2	7.83	12.64	300	14.73	300	0.61
20	9.38	13.84	300	20.46	300	0.70
100	10.34	14.53	300	24.86	300	0.76

Tabella 1: Dati di input per le simulazioni degli eventi con direzione di provenienza pari a 300°N.

Tr (anni)	Moto ondoso			Vento		Livello
	Hs (m)	Tp (s)	Dir (°N)	V (m/s)	Dir (°N)	$\eta$ (m slm)
2	1.81	8.40	30	9.62	30	0.61
20	2.87	9.60	30	16.32	30	0.70
100	3.23	9.70	30	21.52	30	0.76

Tabella 2: Dati di input per le simulazioni degli eventi con direzione di provenienza pari a 30°N.

I risultati del modello sono stati estrapolati in corrispondenza di svariati punti di osservazione, localizzati in prossimità del piede dell'opera. Tali risultati sono stati utilizzati quali condizioni di ingresso per il dimensionamento della mantellata e la valutazione della portata di tracimazione. In Tabella 3 sono riportate le coordinate dei punti di osservazione; la loro posizione è mostrata in Figura 1.

Punto di osservazione	Xp [m]	Yp [m]	Punto di osservazione	Xp [m]	Yp [m]
1	489075	4540223	8	489112	4540064
2	489075	4540201	9	489132	4540044
3	489074	4540176	10	489150	4540029
4	489074	4540151	11	489173	4540015
5	489075	4540126	12	489193	4540002
6	489084	4540104	13	489214	4539989
7	489094	4540080			

Tabella 3: Coordinate dei punti di osservazione

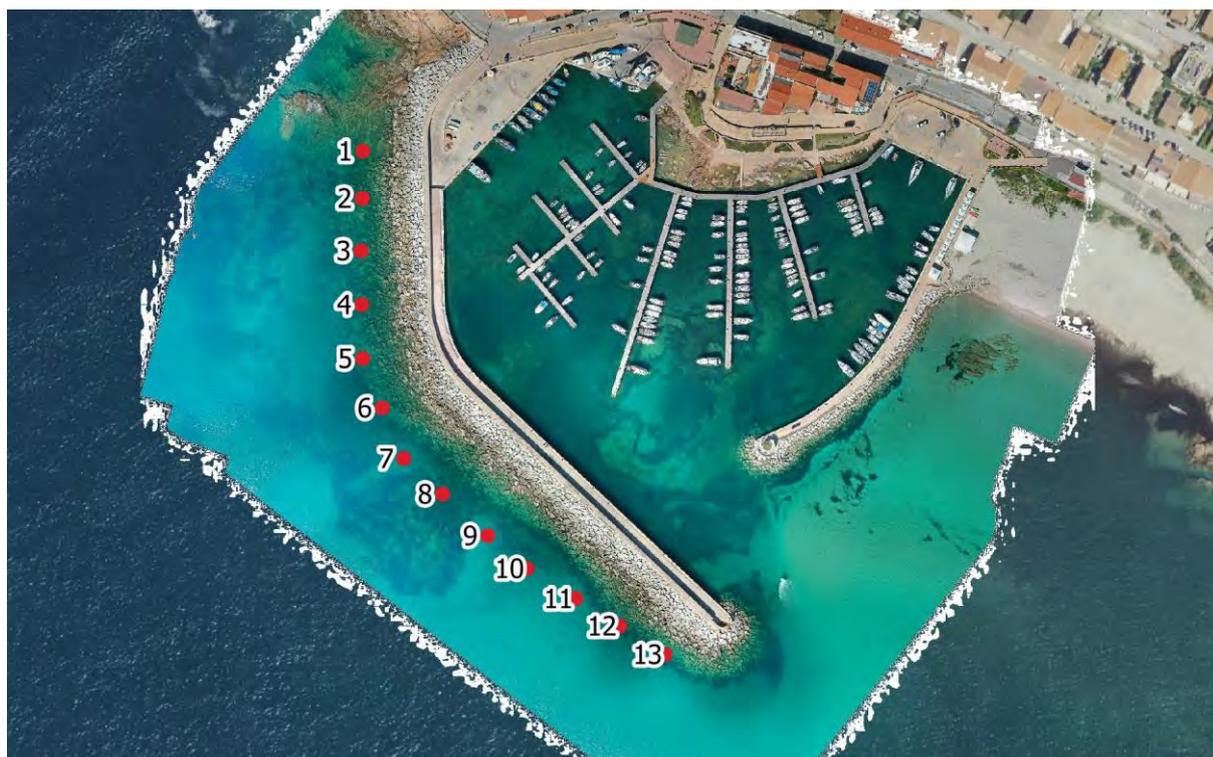


Figura 1: Punti di osservazione

Nella Tabella 4 che segue sono riportati i valori di altezza d'onda significativa ricavati in corrispondenza dei punti di osservazione per i diversi tempi di ritorno. Come si può vedere il paraggio oggetto di intervento è caratterizzato da una intensità maggiore degli eventi di maestrale che raggiungono altezze d'onda in prossimità della struttura superiori ai 4 m. Le verifiche hanno dunque considerato l'evento di maestrale con tempo di ritorno di 100 anni.

N punto	Maestrale Dir=300°N			Grecale Dir=30°N		
	Tr			Tr		
	2	20	100	2	20	100
1	2.72	3.00	3.11	0.33	0.64	0.81
2	3.29	3.66	3.83	0.55	1.07	1.41
3	3.59	4.01	4.20	0.61	1.20	1.58
4	3.86	4.31	4.51	0.60	1.16	1.51
5	3.91	4.41	4.63	0.63	1.19	1.54
6	3.92	4.40	4.61	0.57	1.08	1.39
7	4.05	4.49	4.68	0.51	0.94	1.21
8	4.23	4.58	4.70	0.47	0.87	1.11
9	4.17	4.44	4.52	0.43	0.80	1.02
10	3.71	3.96	4.05	0.41	0.75	0.97
11	3.69	3.90	4.01	0.38	0.71	0.92
12	3.84	4.05	4.14	0.35	0.68	0.88
13	3.88	4.08	4.14	0.34	0.66	0.88

Tabella 4: Altezza d'onda significativa in corrispondenza dei punti di osservazione per i diversi tempi di ritorno.

### 3 DIMENSIONAMENTO DEGLI ELEMENTI DELLA MANTELLATA

Il dimensionamento degli elementi della mantellata è stato effettuato mediante la formula di Van Der Meer (1988)<sup>1</sup>, applicando le raccomandazioni proposte da Van Gent et al. (2003)<sup>2</sup>.

Il dimensionamento è stato effettuato considerando l'evento con **tempo di ritorno di 100 anni**; la direzione di provenienza considerata è quella di Maestrale, in quanto è quella a cui corrispondono le altezze d'onda maggiori in corrispondenza del piede della struttura.

Le verifiche per la stabilità della mantellata sono state eseguite nelle sezioni trasversali in corrispondenza dei punti di osservazione in corrispondenza del piede del molo di sopraflutto mostrati in Figura 1.

La formula di Van Der Meer tiene conto di un ampio numero di parametri incidenti sulla stabilità della struttura, quali il periodo dell'onda, il numero di onde incidenti, la tipologia di frangimento dell'onda, la pendenza della mantellata.

La formula permette di valutare il livello di danno  $S$ , definito come

$$S = \frac{A}{D_{n50}^2}$$

dove  $A$  è l'area erosa della sezione considerata nel profilo danneggiato (vedi **Figura 4**). Pertanto,  $S$  può essere descritto fisicamente come il numero di massi con un lato pari a  $D_{n50}$  che viene eroso con una larghezza di un  $D_{n50}$ .

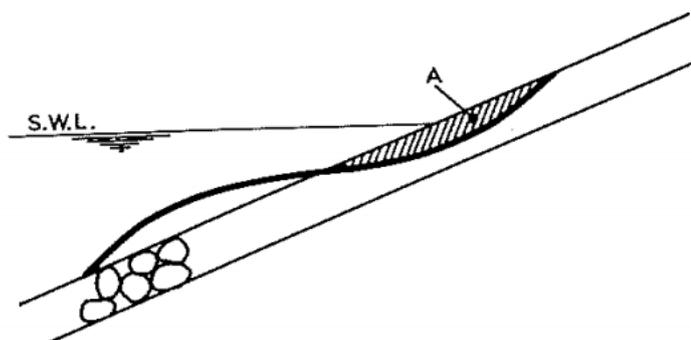
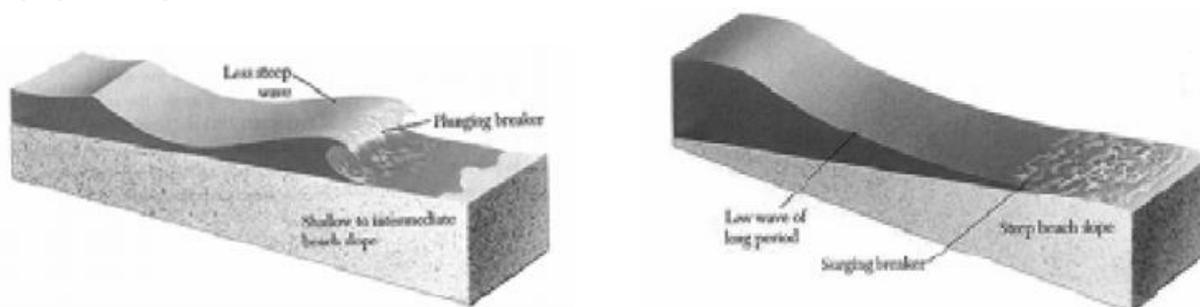


Figura 2: profilo danneggiato della sezione con indicata l'area erosa A

Van Der Meer propone una formula diversa a seconda della tipologia di frangimento delle onde (plunging o surging, vedi Figura 3).



<sup>1</sup> Van der Meer J.W. (1988), *Rock slopes and gravel beaches under wave attack*, Ph.D. Thesis, WL | Delft Hydraulics (report 396) and Delft University of Technology

<sup>2</sup> Van Gent M.R.A. et al. (2003), *Stability of rock slopes with shallow foreshores*, Proc. Coastal structures 2003, Portland, ASCE

Figura 3: Onda con frangimento plunging (a sinistra) e surging (a destra)

In particolare, per frangenti di tipo plunging ( $\xi_{m-1,0} < \xi_{mc}$ ):

$$\frac{S}{\sqrt{N}} = \left( \frac{1}{c_{plunging}} \frac{H_s}{\Delta D_{n50}} \xi_{m-1,0}^{0.5} P^{-0.18} \frac{H_{2\%}}{H_s} \right)^5$$

e per frangenti di tipo surging ( $\xi_{m-1,0} > \xi_{mc}$ ):

$$\frac{S}{\sqrt{N}} = \left( \frac{1}{c_{surging}} \frac{H_s}{\Delta D_{n50}} \xi_{m-1,0}^{-P} P^{0.13} \tan^{0.5} \alpha \frac{H_{2\%}}{H_s} \right)^5$$

dove:

$N$  è il numero di onde incidenti

$D_{n50}$  è il diametro nominale del masso

$\rho_a$  è la densità della roccia (2750 kg/mc)

$\rho_w$  è la densità dell'acqua (1025 kg/mc)

$H_s$  è l'altezza d'onda significativa

$T_m$  è il periodo medio d'onda

$\alpha_s$  è l'inclinazione della mantellata

$P$  è il fattore di permeabilità della struttura

$\xi_{m-1,0}$  è il numero di Iribarren o parametro di *surf-similarity*

$\frac{H_{2\%}}{H_s}$  è il rapporto di altezza d'onda, parametro compreso tra 1,2 e 1.4

Da tali relazioni, si ottiene il parametro  $S$ , che deve poi essere confrontato con i valori ammissibili riportati nella Tabella 5 che segue.

Inclinazione	Danno iniziale	Danno intermedio	Cedimento
1:1.5	2	3-5	8
1:2	2	4-6	8
1:3	2	6-9	12
1:4 – 1:6	3	8-12	17

Tabella 5: Valori di  $S$  per una mantellata composta da una mantellata con spessore pari a due diametri

Il tipo di frangente si determina confrontando il numero di Iribarren

$$\xi_{m-1,0} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{2\pi H_s}{g T_{m-1,0}^2}}}$$

Con il valore critico

$$\xi_{mc} = [6.2 P^{0.31} \sqrt{\tan \alpha}]^{\frac{1}{P+0.5}}$$

Dalla Tabella 5 è possibile vedere che, per mantellate con inclinazione 1:3, il valore massimo ammissibile affinché non vi siano danni alla mantellata stessa è pari a 2. La dimensione del masso è stata calcolata in maniera iterativa, fino a trovare il valore che ha soddisfatto le verifiche di sicurezza.

La verifica è soddisfatta considerando una mantellata con elementi  $M_{50}=6000$  kg. Dai risultati ottenuti, riportati in Tabella 6, si può vedere che in tutti in punti di controllo la verifica risulta soddisfatta ( $S < 2$ ).

Punto di osservazione	Hs [m]	Tm-10 [s]	$\xi_{mc}$	$\xi_{m-1,0}$	Frangente	S
1	3.11	12.50	2.89	2.95	Surging	0.44

2	3.83	12.50	2.89	2.66	Plunging	0.86
3	4.20	12.50	2.89	2.54	Plunging	1.21
4	4.51	12.50	2.89	2.45	Plunging	1.59
5	4.63	12.50	2.89	2.42	Plunging	1.75
6	4.61	12.50	2.89	2.43	Plunging	1.72
7	4.68	12.50	2.89	2.41	Plunging	1.82
8	4.70	12.50	2.89	2.40	Plunging	1.85
9	4.52	12.50	2.89	2.45	Plunging	1.60
10	4.05	12.50	2.89	2.59	Plunging	1.06
11	4.01	12.50	2.89	2.60	Plunging	1.02
12	4.14	12.50	2.89	2.56	Plunging	1.15
13	4.14	12.50	2.89	2.56	Plunging	1.15

Tabella 6: Valori di S per la mantellata con elementi da 6 ton nei punti di controllo della scogliera oggetto di progettazione

La verifica di sicurezza è stata eseguita anche con riferimento allo stato attuale ( $M_{50}=5000$  kg). Come si può vedere in Tabella 7, nella parte più sollecitata della scogliera la verifica non è soddisfatta ( $S > 2$ ).

Punto di osservazione	Hs [m]	Tm-10 [s]	$\xi_{mc}$	$\xi_{m-1,0}$	Frangente	S
1	3.11	12.50	2.89	2.95	Surging	0.59
2	3.83	12.50	2.89	2.66	Plunging	1.17
3	4.20	12.50	2.89	2.54	Plunging	1.64
4	4.51	12.50	2.89	2.45	Plunging	2.15
5	4.63	12.50	2.89	2.42	Plunging	2.37
6	4.61	12.50	2.89	2.43	Plunging	2.33
7	4.68	12.50	2.89	2.41	Plunging	2.46
8	4.70	12.50	2.89	2.40	Plunging	2.51
9	4.52	12.50	2.89	2.45	Plunging	2.17
10	4.05	12.50	2.89	2.59	Plunging	1.44
11	4.01	12.50	2.89	2.60	Plunging	1.39
12	4.14	12.50	2.89	2.56	Plunging	1.55
13	4.14	12.50	2.89	2.56	Plunging	1.56

Tabella 7: Valori di S per la mantellata con elementi da 5 ton nei punti di controllo della scogliera oggetto di progettazione

**4 VALUTAZIONE DELLA PORTATA DI TRACIMAZIONE**

Per la progettazione, la valutazione della sicurezza e il ripristino della funzionalità delle strutture costiere sono necessarie delle previsioni affidabili della portata di tracimazione (detta anche *overtopping*). Esistono diverse formule semplificate utilizzate per la progettazione di dighe, frangiflutti in massi naturali o artificiali e muri verticali. Tuttavia, tali metodi di previsione sono spesso limitati e non permettono di considerare delle strutture complesse non standard.

In questo studio il calcolo della portata di tracimazione è stato effettuato utilizzando un modello basato sulla tecnica delle reti neurali. Questo modello è stato ottenuto considerando 8372 combinazioni di input-output ottenute da misurazioni effettuate su modelli idraulici in scala effettuati in numerosi laboratori ed istituti di idraulica sparsi in tutto il mondo.

Il modello delle reti neurali è uno strumento di progettazione concettuale che permette di stimare l'effetto della sovrapposizione delle onde per una vasta gamma di strutture costiere applicando le tecniche di ricampionamento per la valutazione delle incertezze. Il modello utilizza una sola schematizzazione per tutti i tipi di strutture costiere, sia quelle complesse che quelle più semplici.

Le reti neurali hanno dimostrato di essere molto utili per risolvere problemi di modellazione difficili, ad esempio nel caso in cui si debbano modellare processi in cui la relazione dei singoli parametri di modellazione non è chiara ma sono disponibili un numero di dati sperimentali sufficienti a identificare le relazioni. Attraverso il modello delle reti neurali è possibile schematizzare tutti i tipi di strutture costiere (comprese quelle non standard) considerando come parametri di ingresso al modello le caratteristiche d'onda (altezza, periodo, direzione dell'onda incidente) e numerosi parametri strutturali dell'opera che permettono di rappresentarla al meglio.

Il modello è stato ottenuto da circa 10.000 test di modelli fisici presso diversi istituti (Università di Aalborg, Danimarca, Danese Hydraulic Institute, Danimarca, WL | Delft Hydraulics, Paesi Bassi, Hydraulic Research Wallingford, Regno Unito, Leichtweiss Institute für Wasserbau, WKS + GWK, Germania, Modimar, Italia, Università di Edimburgo, Regno Unito, Universidad Politécnica di Valencia, Spagna e altri in Islanda, Giappone, Norvegia e USA). Per i dettagli di tale metodo e la sua metodologia di sviluppo si rimanda a Van Gent et al. (2007)<sup>3</sup>.

Per la valutazione della portata devono essere immessi nel modello 15 diversi parametri relativi alle caratteristiche geometriche della struttura ed alle condizioni d'onda incidente; questi parametri sono riportati nella Tabella 8 che segue e rappresentati nella Figura 4.

<b>H<sub>m0</sub></b>	Altezza significativa dell'onda (spettrale) al piede della struttura	(m)
<b>T<sub>m-1,0</sub></b>	Periodo medio (spettrale) al piede della struttura $\approx T_p/1,1$	(s)
<b><math>\beta</math></b>	Direzione di incidenza principale rispetto alla normale della struttura	(°)
<b>h</b>	Tirante idrico a largo della struttura	(m)
<b>h<sub>t</sub></b>	Tirante idrico al piede della struttura	(m)
<b>B<sub>t</sub></b>	Larghezza della berma al piede	(m)
<b><math>\gamma_f</math></b>	Rugosità/porosità della struttura	(-)
<b>cot(ad)</b>	Pendenza della mantellata a largo della berma	(-)
<b>cot(au)</b>	Pendenza della mantellata oltre la berma	(-)

<sup>3</sup> Van Gent, M.R.A., H.F.P. van den Boogaard, B. Pozueta and J.R. Medina (2007), *Neural network modelling of wave overtopping at coastal structures*, Elsevier, Coastal Engineering, Vol.54, pp. 586-593.



Lc = lunghezza (equivalente) del coronamento  
 Hc = altezza del coronamento (sul livello marino)  
 Lv = lunghezza vasca  
 Hv = altezza vasca

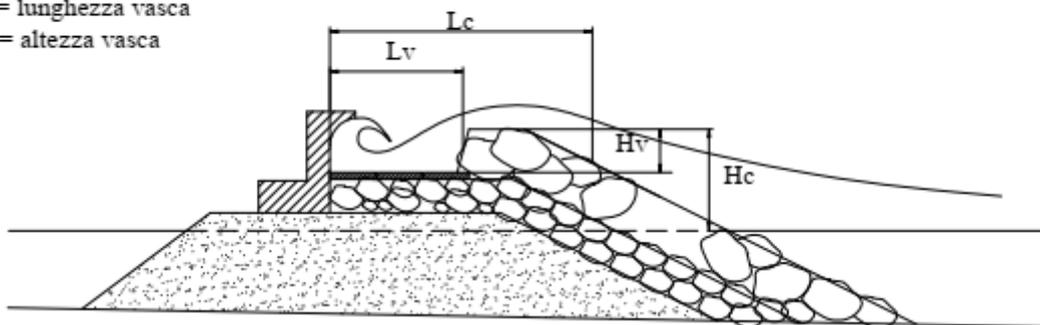


Figura 5: Sezione trasversale tipica di una diga a scogliera con vasca di dissipazione e muro paraonde con risvolto concavo.

Nel caso di presenza del muro paraonde concavo, si può applicare una ulteriore riduzione di portata così calcolata:

$$q^R = 0.535 \cdot q$$

dove  $q$  è la portata valutata in presenza di un muro con paramento verticale e  $q^R$  quella valutata con muro concavo.

Seguendo la metodologia illustrata si è valutata la portata di tracimazione nella condizione stato attuale e in diverse alternative progettuali. Le soluzioni qui mostrate sono quelle che, tra le numerose alternative studiate, hanno mostrato migliori risultati in termini di overtopping, cercando di ridurre per quanto possibile l'avanzamento della struttura a mare e l'aumento della quota del coronamento al fine di limitare i costi e gli impatti.

Le portate ricavate sono state poi confrontate coi valori riportati in Tabella 9 (Eurotop Manual II<sup>5</sup>), ed in Tabella 11 (Franco et al. 1994<sup>6</sup>), tramite le quali è possibile valutare i valori limiti ammissibile per garantire la sicurezza strutturale e funzionale dell'opera a tergo della scogliera

Hazard type and reason	Mean discharge $q$ (l/s per m)	Max volume $V_{max}$ (l per m)
Rubble mound breakwaters; $H_{m0} > 5$ m; no damage	1	2,000-3,000
Rubble mound breakwaters; $H_{m0} > 5$ m; rear side designed for wave overtopping	5-10	10,000-20,000
Grass covered crest and landward slope; maintained and closed grass cover; $H_{m0} = 1 - 3$ m	5	2,000-3,000
Grass covered crest and landward slope; not maintained grass cover, open spots, moss, bare patches; $H_{m0} = 0.5 - 3$ m	0.1	500
Grass covered crest and landward slope; $H_{m0} < 1$ m	5-10	500
Grass covered crest and landward slope; $H_{m0} < 0.3$ m	No limit	No limit

Tabella 9: Limiti della portata di tracimazione per il danno strutturale a tergo della scogliera. In blu la struttura di interesse. Fonte: Eurotop Manual II )

<sup>6</sup> Franco et al. (1994) *Wave overtopping on vertical and composite breakwaters*, 24th International Conference on Coastal Engineering

Hazard type and reason	Mean discharge q (l/s per m)	Max volume V <sub>max</sub> (l per m)
People at structures with possible violent overtopping, mostly vertical structures	No acces for any predicted overtopping	No acces for any predicted overtopping
People at rubble mound breakwater crest and at dike crest. Clear view on the sea. H <sub>m0</sub> = 3 m	0.3	400 – 600
H <sub>m0</sub> = 2 m	1	400 – 600
H <sub>m0</sub> = 1 m	10-20	400 – 600
H <sub>m0</sub> < 0.5 m	No limit	No limit
Cars on crest of a dike for dike inspection. H <sub>m0</sub> = 3 m	<5	1000-2000
H <sub>m0</sub> = 2 m	10-20	1000-2000
H <sub>m0</sub> = 1 m	<75	1000-2000
Highways and roads, fast traffic	Close before debris in spray becomes dangerous	Close before debris in spray becomes dangerous
Railway tracks, slowly moving train	See cars on crest of a dike	See cars on crest of a dike

Tabella 10: Limiti della portata di tracimazione per veicoli e pedoni. In blu la struttura di interesse. (Fonte: Eurotop Manual II)

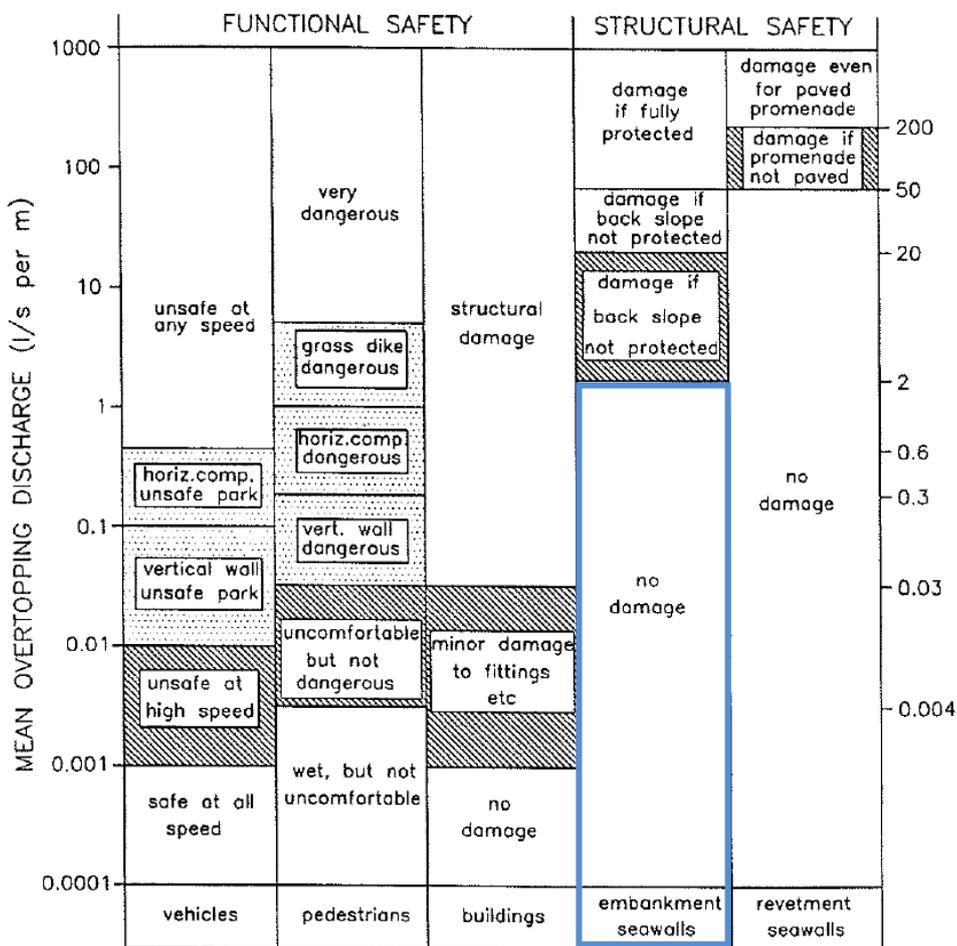


Tabella 11: Limiti della portata di tracimazione per il transito su barriere frangiflutti (fonte: Franco et al, 1994)

#### 4.1 Stato attuale – Scenario zero

A partire dai rilievi eseguiti topografici e batimetrici a disposizione si sono ricavate alcune sezioni trasversali del molo di sopraflutto che sono poi state schematizzate come richiesto dal modello della rete neurale (Figura 4).

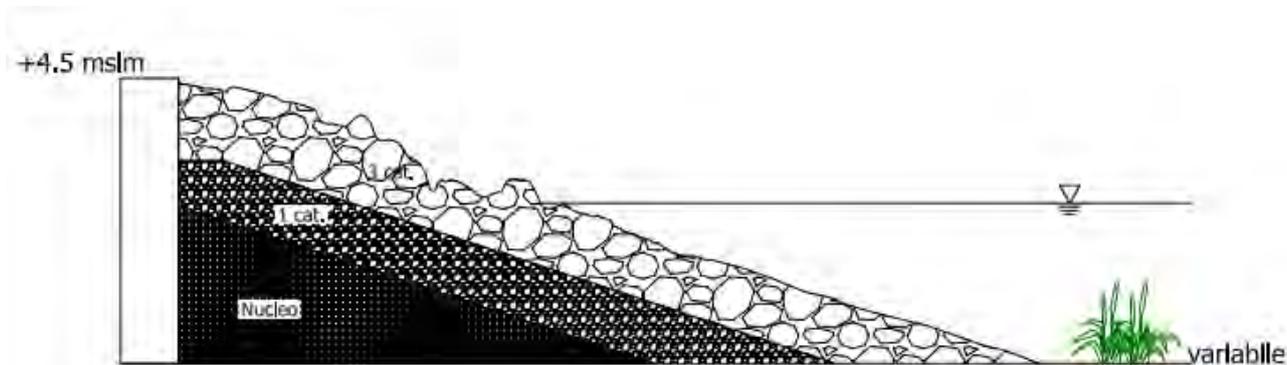


Figura 6: Sezione tipo stato attuale

A partire dai risultati ottenuti dal modello SWAN in corrispondenza del piede della struttura, si sono valutate le portate di tracimazione su ciascuna di queste sezioni per l'evento di progetto con tempo di ritorno di 100 anni; i risultati ottenuti risultano estremamente elevati, come si può vedere in Tabella 12. Confrontando tali valori con quelli riportati in Tabella 9 e Tabella 11 è evidente che tali valori non garantiscono le condizioni di sicurezza, ovvero attualmente in caso di mareggiata è opportuno che l'accesso al porto sia impedito ai mezzi ed alle persone.

Punto di osservazione	$\beta$ [°]	Hm0 [m]	Tm-1,0 [s]	q [l/s/m]
3	1	4.2	12.5	156.7
5	20	4.6	13.5	232.5
8	55	4.7	14.5	73.4
11	52	4.0	15.5	39.8

Tabella 12: Valori della portata di tracimazione – Stato attuale

#### 4.2 Stato progetto – Scenario 1: Rimodulazione sezione esistente con aggiunta massi 5-7 tonnellate

La prima alternativa progettuale prevede la rimodulazione del materiale esistente per la creazione di una berma sommersa, posta alla profondità di 1.74 m slm e larga 5 m, con l'aggiunta di materiale con massi da 5-7 tonnellate nella zona sommitale, come indicato in Figura 7. La profondità a cui si è posizionata la berma è stata scelta dopo aver effettuato numerose simulazioni che hanno considerato diverse profondità e dimensione della berma; la soluzione qui mostrata è quella che, coerentemente con le cifre a disposizione, ha permesso di ridurre in modo più efficace l'overtopping.

La sezione di progetto è costituita da una berma superiore con larghezza pari a 2,10 m, posta ad una quota di 4,50 m slm, quindi allo stesso livello del coronamento, ed una mantellata con scarpata 1:3.

Questa soluzione riduce notevolmente la portata di tracimazione che è ridotta del 60% rispetto a quella dello stato attuale. In tale scenario permangono tuttavia delle condizioni di criticità che, non le condizioni di sicurezza a tergo della scogliera e pertanto in caso di mareggiata estrema è opportuno che l'accesso al porto sia impedito ai mezzi ed alle persone.

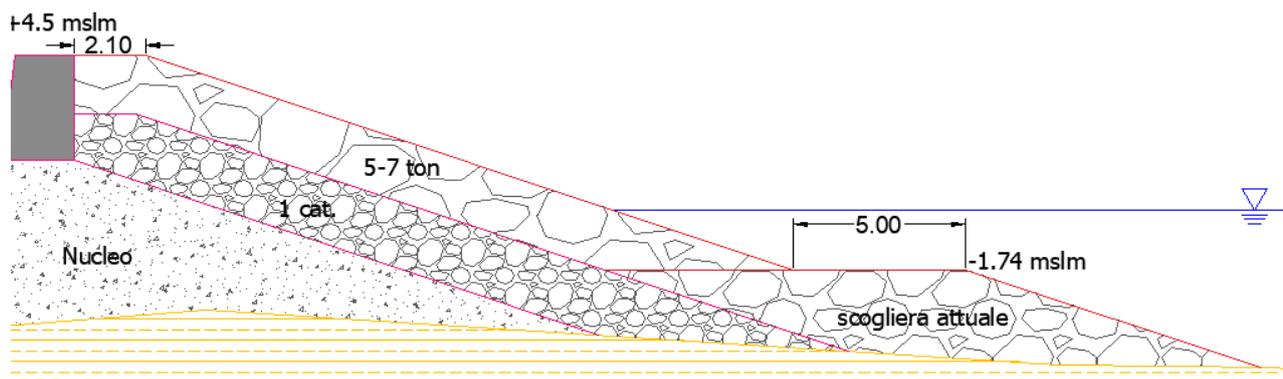


Figura 7: Sezione tipo Scenario 1

Punto di osservazione	$\beta$ [°]	Hm0 [m]	Tm-1,0 [s]	q [l/s/m]
3	1	4.2	12.5	61.7
5	20	4.6	13.5	71.4
8	55	4.7	14.5	27.2
11	52	4.0	15.5	13.6

Tabella 13: Valori della portata di tracimazione – Scenario 1

#### 4.3 Stato progetto – Scenario 2: Rimodulazione sezione esistente con aggiunta massi 5-7 tonnellate, vasca di dissipazione e muro paraonde concavo

La seconda alternativa progettuale ipotizzata è simile a quella descritta nello Scenario 1, ma in aggiunta prevede la realizzazione di una vasca di dissipazione e di un muro paraonde concavo, come mostrato in Figura 8.

In Tabella 14 sono riportate le portate di tracimazione calcolate per questa configurazione, tenendo conto anche della presenza della vasca di dissipazione e del muro paraonde concavo, secondo la metodologia illustrata al §4. Come si può vedere, l'aggiunta della vasca di dissipazione e del muro paraonde concavo permette di ridurre notevolmente la portata di tracimazione, che rimane ancora leggermente superiore a quella accettabile per la sicurezza.

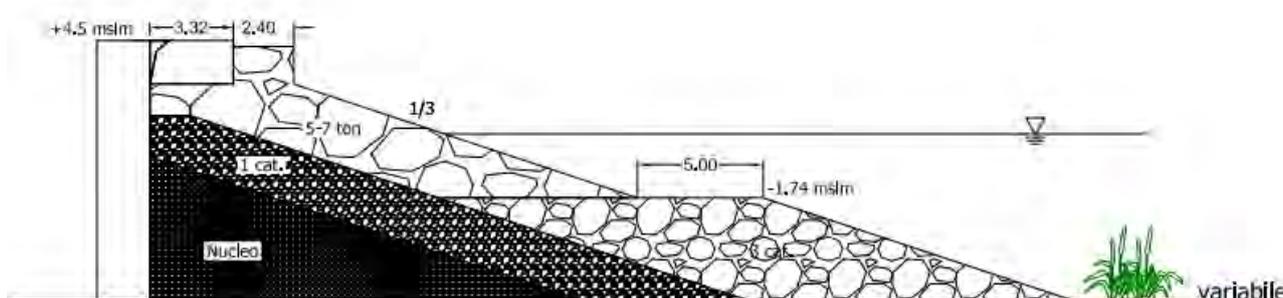


Figura 8: Sezione tipo Scenario 2

Punto di osservazione	$\beta$ [°]	Hm0 [m]	Tm-1,0 [s]	q [l/s/m]
3	1	4.2	12.5	4.2
5	20	4.6	13.5	5.7
8	55	4.7	14.5	2.9

11	52	4.0	15.5	1.3
----	----	-----	------	-----

Tabella 14: Valori della portata di tracimazione – Scenario 2



osservazione	[°]	[m]	[s]	[l/s/m]
3	1	4.2	12.5	1.5
5	20	4.6	13.5	2.0
8	55	4.7	14.5	1.2
11	52	4.0	15.5	0.5

Tabella 16: Valori della portata di tracimazione – Scenario 4

#### 4.6 Stato progetto – Scenario 5: Rimodulazione sezione esistente con aggiunta massi 5-7 tonnellate, vasca di dissipazione, innalzamento muro paraonde concavo

La quinta soluzione progettuale è sviluppata a partire da quella illustrata nello Scenario 3, prevedendo però un allargamento della berma al piede, portandola da 5 a 10 m di larghezza, come mostrato in Figura 11. Come si può vedere dai risultati riportati in Tabella 17, l'allargamento della berma al piede permette di ridurre ulteriormente le portate di tracimazione, portandole a valori che garantiscono la sicurezza delle persone a tergo della scogliera. Resta in ogni caso una limitazione alla sicurezza dei mezzi in caso di mareggiata estrema.

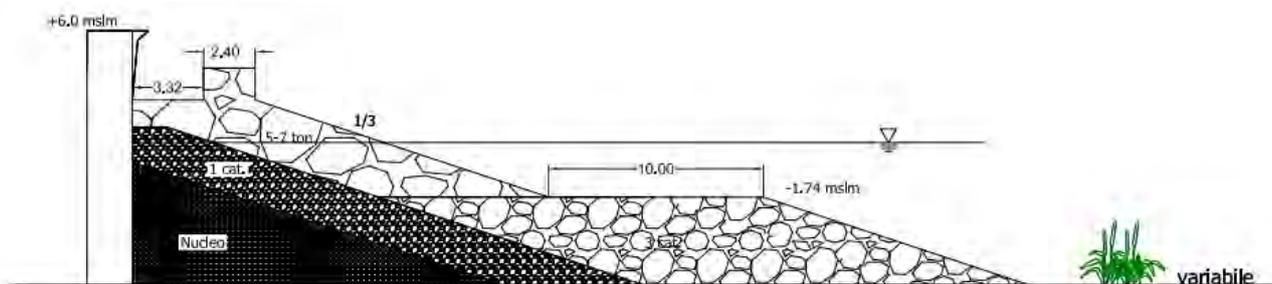


Figura 11: Sezione tipo Scenario 5

Punto di osservazione	$\beta$ [°]	Hm0 [m]	Tm-1,0 [s]	q [l/s/m]
3	1	4.2	12.5	0.7
5	20	4.6	13.5	1.1
8	55	4.7	14.5	0.6
11	52	4.0	15.5	0.2

Tabella 17: Valori della portata di tracimazione – Scenario 5

#### 4.7 Sintesi e confronto soluzioni

La Tabella 18 riporta un confronto riassuntivo tra le portate di tracimazione massime valutate per le diverse alternative considerate. Da questi risultati si vede un notevole miglioramento delle condizioni di tracimazione attraverso la realizzazione di una vasca di dissipazione e di un muro paraonde concavo con una quota di coronamento superiore all'esistente. Tuttavia, tale soluzione non può essere realizzata a causa dell'incapienza del finanziamento. La realizzazione dello scenario 1, scelta quale soluzione di progetto, permette di ridurre del 60% la tracimazione attuale, non risolvendo la problematica in toto ma migliorando notevolmente le condizioni di sicurezza (vedi Tabella 11).

Per lo stato attuale e per lo scenario 1 di progetto sono state calcolate le portate di tracimazione anche per i tempi di ritorno di 2 e 20 anni; in Tabella 19 è riportato il confronto tra le portate di tracimazione calcolate nella configurazione attuale e in quella di progetto scelta. Come si può vedere, per il tempo di ritorno di 2 anni, la soluzione di progetto permette di ridurre la portata sino al 81% in corrispondenza del punto di osservazione n.5, il punto in cui la tracimazione è massima. Ciononostante, anche per mareggiate frequenti

come quella con tempo di ritorno di 2 anni, le portate di tracimazione risultano elevate e la soluzione progettuale non permette di garantire la sicurezza a tergo della struttura.

Soluzione	q-max (l/s/m)				Rialzo Muro (m)
	Vasca	Muro paraonde concavo	vasca e muro paraonde concavo		
Stato Attuale	75.8	--	--	--	
Scenario 1	71.4	--	--	--	0.0
Scenario 2	48.6	10.7	26.0	5.7	0.0
Scenario 3	13.9	3.1	7.4	1.6	1.5
Scenario 4	16.2	3.7	8.7	2.0	0.0
Scenario 5	9.0	2.0	4.8	1.1	1.5

Tabella 18: Valori della portata di tracimazione massima – confronto tra le alternative progettuali

Tempo di ritorno	Punto di osservazione	Portata q (l/s/m)		Riduzione
		Stato Attuale	Scenario 1	
2 anni	3	50	12	-76%
	5	76	14	-81%
	8	23	7	-69%
	11	11	3	-68%
20 anni	3	147	58	-60%
	5	223	68	-69%
	8	72	26	-63%
	11	38	13	-66%
100 anni	3	157	62	-61%
	5	233	71	-69%
	8	73	27	-63%
	11	40	14	-66%

Tabella 19: Confronto tra le portate di tracimazione calcolate nella configurazione attuale e in quella di progetto scelta (Scenario 1).