

COMUNE DI TERTENIA

Provincia di Nuoro



SERVIZIO DI ADEGUAMENTO DEL PROGETTO PRELIMINARE A PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA, PROGETTAZIONE DEFINITIVA-ESECUTIVA DEL I LOTTO FUNZIONALE, DIREZIONE LAVORI, MISURA E CONTABILITÀ E COORDINAMENTO DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE ED ESECUZIONE DEL PORTO TURISTICO DI SARRALA, PRESSO LA MARINA DI TERTENIA. CIG 8188366562 - CUP: H91H1000030002

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA

ELABORATO R5	RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO	SCALA		
		DATA Gennaio 2021		
Doc.: 9425				
Rev. n°	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO DA	APPROVATO
00	Emissione	Gen. 21	ing. L. Spaziani	ing. M. Pittori

Raggruppamento Temporaneo di Progettisti

Capogruppo



INTERPROGETTI S.r.l.
Via Luigi Lilio, 62 00142 ROMA
Tel. 0686200297 fax: 0686200298
E-mail: INFO@INTERPROGETTI.NET

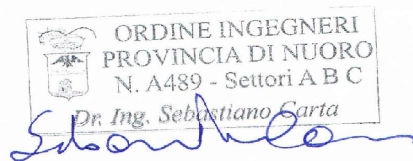
dott. ing. Marco Pittori



Collaboratori:

Ing. Silvia Potena
Arch. Francesca Romana Monass
Ing. Giulia Zanza
Arch. Simone Peticarini
Arch. Raffaele Vaccarello
Ing. Federico Ratini
Ing. Lorenzo Spaziani

Ing. Sebastiano Carta



Dott.ssa Archeol. Giuseppa Lopez

ARCHEOLOGA
LOPEZ GIUSEPPA
Elenco MiBACT
N. 983

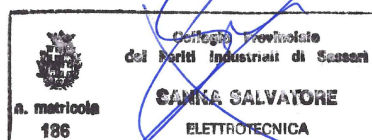
Ing. Riccardo Morelli



Ing. Geol. Marco Valerio Pilia



P.I. Salvatore Sanna



Comune di Tertenia



SERVIZIO DI ADEGUAMENTO DEL PROGETTO PRELIMINARE A PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA, PROGETTAZIONE DEFINITIVA-ESECUTIVA DEL I LOTTO FUNZIONALE, DIREZIONE LAVORI, MISURA E CONTABILITÀ E COORDINAMENTO DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE ED ESECUZIONE DEL PORTO TURISTICO DI SARRALA, PRESSO LA MARINA DI TERTENIA. CIG 8188366562 - CUP: H91H10000030002

RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO

STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA

INDICE

INDICE	2
1. PREMESSA	3
2. Valutazione della portata di tracimazione	4
2..1 Il Software Breakwat	4
2..1.1 Calcolo della Portata di tracimazione.....	4
2..1.2 Portata di tracimazione	6
3. VERIFICHE DI STABILITÀ.....	13
3..1 Valutazione della stabilità della mantellata esterna	13

1. PREMESSA.

La presente relazione illustra lo studio idraulico effettuato nell'ambito del progetto di fattibilità tecnica ed economica relativo alla realizzazione del Porto Turistico in località "Sarrala", nel Comune di Tertenia. Il sito previsto per la realizzazione dell'opera marittima è ubicato nella Marina di Tertenia immediatamente a ridosso di Punta IsEbbas che costituisce, oltre che il limite dell'unità fisiografica, anche un parziale riparo dalla traversia di grecale.

Lo studio è volto al miglioramento ed all'ottimizzazione delle caratteristiche geometriche e costruttive dell'opera. Facendo riferimento allo studio meteomarinario presentato a base di gara e considerate le varie onde di progetto determinate in funzione dei tempi di ritorno T_r considerati, si è proceduto con un'analisi più dettagliata dei parametri costruttivi di entrambi i moli, andando a ridurre i valori della portata di tracimazione q a monte di quest'ultimi, e del parametro di danneggiamento adimensionale S , legato alla geometria dell'opera ed alla dimensione degli scogli naturali che andranno a costituire la stessa.

In particolare i parametri che hanno riguardato lo studio e l'analisi sono stati l'angolo di inclinazione degli strati costituenti l'opera espresso tramite il parametro \cotga e la dimensione degli scogli espresso attraverso il valore $M50$.

2. VALUTAZIONE DELLA PORTATA DI TRACIMAZIONE

Per la valutazione della portata di tracimazione è stato utilizzato il software Breakwat della Delft Hydraulics. Al fine di ridurre tale valore rispetto a quanto precedentemente calcolato nei documenti presentati, si è effettuata un'analisi con una pendenza più dolce degli strati. Il parametro cotgache inizialmente era stato stabilito pari ad 1,5 è stato portato pari a 2.

In particolare si vuole ridurre il valore di portata di tracimazione per gli eventi estremi caratterizzati da un tempo di ritorno pari a 50 anni.

2..1 IL SOFTWARE BREAKWAT

Il software Breakwat è uno strumento utile nella progettazione delle strutture marittime soggette all'azione del moto ondoso, quali opere a gettata con massi naturali o artificiali con o senza berma, frangiflutti sommersi o frangiflutti a parete verticale.

La prima versione di Breakwat fu elaborata negli anni ottanta. Da allora il software è stato utilizzato da numerosi utenti in tutto il mondo compresi istituti di ricerca, università e liberi professionisti.

Il software nella sua versione attuale utilizza moderne formule per il calcolo dei seguenti parametri idraulici:

- Run-up;
- Overtopping;
- Trasmissione;

e dei seguenti parametri strutturali:

- Stabilità delle mantellate in materiale lapideo;
- Stabilità delle mantellate con massi artificiali;
- Stabilità del piede delle scogliere.

2..1.1 CALCOLO DELLA PORTATA DI TRACIMAZIONE

Il calcolo della portata di tracimazione viene 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.

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 (vedi Tabella 1 e Figura 1).

L'altezza significativa dell'onda, il periodo medio spettrale, e la direzione di incidenza β sono stati invece ottenuti dalle simulazioni numeriche per ciascuno dei punti di. La verifica della portata di tracimazione è

stata valutata per le condizioni peggiori ipotizzate, con eventi estremi con tempo di ritorno cinquantennale per il molo di sopraflutto, il quale è interessato dagli eventi di maggiore intensità, sia rispetto alla direzione di provenienza delle onde (settori di traversia principali 50°N e 130°N), sia rispetto alla probabilità di occorrenza di fenomeni estremi (Tempo di ritorno).

Hm0	Altezza significativa dell'onda (spettrale) al piede della struttura	(m)
Tm-1,0	Periodo medio (spettrale) al piede della struttura = $T_p/1,1$	(s)
β	Direzione di incidenza principale rispetto alla normale della struttura	(°)
h	Tirante idrico a largo della struttura	(m)
ht	Tirante idrico al piede della struttura	(m)
Bt	Larghezza della berma al piede	(m)
γ_f	Rugosità/porosità della struttura	(-)
$\cot(\alpha_d)$	Pendenza della mantellata a largo della berma	(-)
$\cot(\alpha_u)$	Pendenza della mantellata oltre la berma	(-)
B	Larghezza della berma	(m)
hb	Tirante idrico in corrispondenza della berma	(m)
$\tan \alpha_B$	Pendenza della berma	(-)
Rc	Sommità del coronamento	(m)
Ac	Quota di coronamento	(m)
Gc	Larghezza del coronamento	(m)

Tabella 1: Parametri di ingresso per la valutazione della portata di tracimazione utilizzando la rete neurale

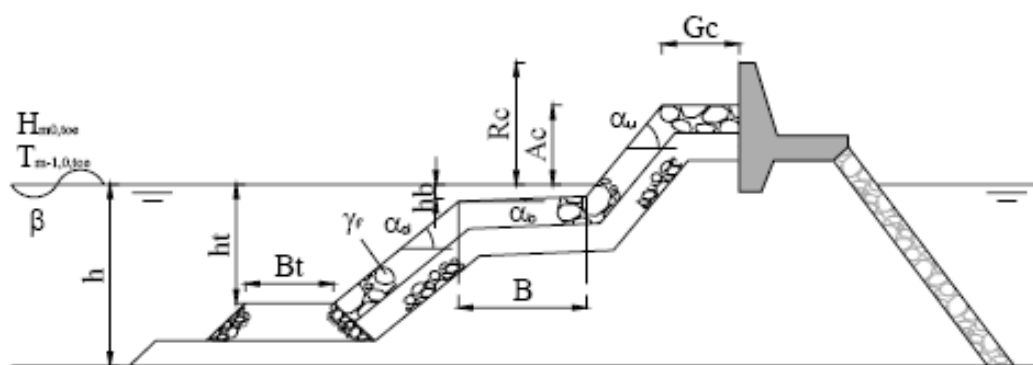


Figura 1: Schema grafico dei parametri di ingresso per la valutazione della portata di tracimazione utilizzando la rete neurale

2..1.2 PORTATA DI TRACIMAZIONE

Nella successiva sono indicati i parametri geometrici relativi alla sezione B-B di progetto del molo sopraflutto, la cui rappresentazione è riportata in Figura 2. Tale sezione è prevista per il molo di sopraflutto per tutta l'estensione della porzione accessibile.

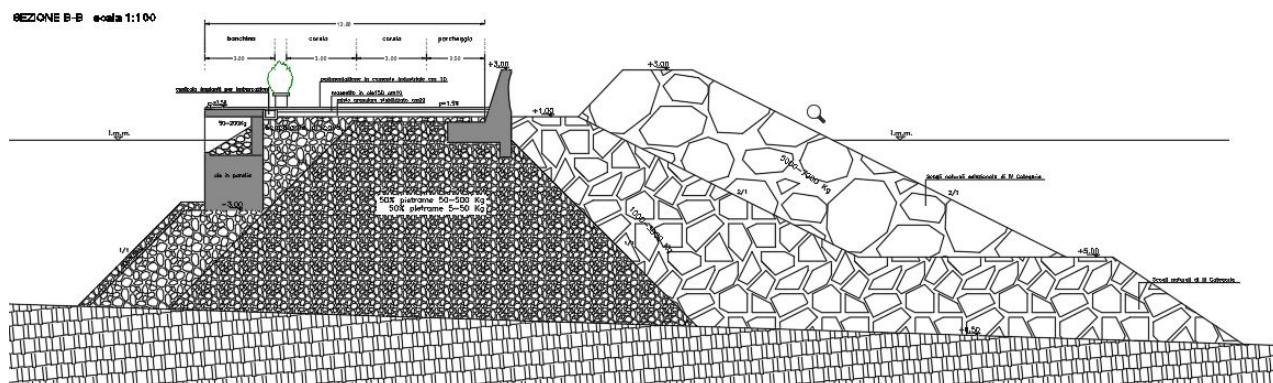


Figura 2: Sezione di progetto del molo sopraflutto (sezione B-B)

Rc	Sommità del coronamento	m	2.50
Ac	Quota di coronamento	m	2.50
Gc	Larghezza del coronamento	m	4.20
B	Larghezza della berma	m	0
tan α_B	Pendenza della berma	-	0
hb	Tirante idrico in corrispondenza della berma	m	0
cot(α_d)	Pendenza della mantellata a largo della berma	-	2
cot(α_u)	Pendenza della mantellata oltre la berma	-	2
Bt	Larghezza della berma al piede	m	0
γ_f	Rugosità/porosità della struttura	-	0.55

Tabella 2: Parametri di ingresso relativi alla sezione B-B di sopraflutto per la valutazione della portata di tracimazione utilizzando il metodo delle rete neurale

Il modello delle reti neurali utilizzato per il calcolo della portata di tracimazione non permette di considerare la presenza di una vasca di dissipazione e di un muro paraonde con risvolto concavo come previsto nel molo sopraflutto in oggetto. Per ovviare a questa mancanza, viene utilizzata la metodologia suggerita dal

Dipartimento di Scienze Ingegneria Civile - Università di Roma Tre¹. Tale metodologia considera, per la valutazione dell'efficacia della vasca di dissipazione, il rapporto tra le portate Q_m (senza vasca, calcolata con il software Breakwat) e Q_n (con vasca), espressa dalla relazione

$$Q_m/Q_n = f(A^*)$$

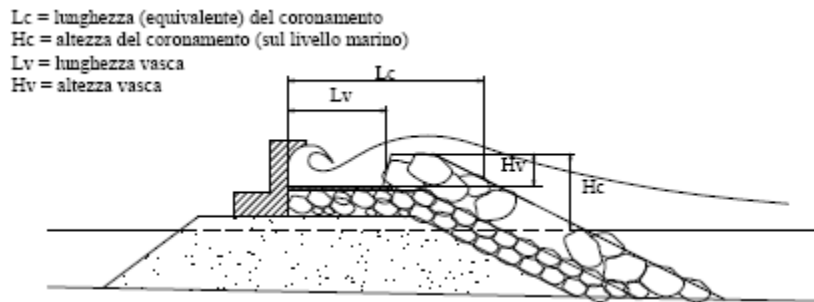


Figura 3: Sezione trasversale tipica di una diga a scogliera con vasca di dissipazione e muro paraonde con risvolto concavo

dove

$$f = 5.374 \cdot A^{*2} - 4.472 \cdot A^* + 1$$

In cui $A^* = A_v/A_{tot}$, è un parametro adimensionale definito dal rapporto tra l'area della sezione trasversale della vasca $A_v = L_v \cdot H_v$ e quella della scogliera emersa $A_{tot} = L_c \cdot H_c$ (vedi Figura 3).

L'ulteriore riduzione della portata, dovuta alla presenza del muro paraonde concavo, è valutata con la seguente formula correttiva:

$$Q_r = 0.535 \cdot Q_n$$

Considerando le formule indicate precedentemente, è stato possibile calcolare la portata di tracimazione. Tale operazione è stata fatta per tutti i punti di monitoraggio. Sono state ipotizzate diverse soluzioni progettuali, modificando svariati parametri geometrici al fine di individuare la sezione che garantisca le condizioni di sicurezza senza sovradimensionare l'opera, in modo da evitare costi aggiuntivi e minimizzare, per quanto possibile, l'impatto sul paesaggio e sull'ambiente.

I risultati del modello sono riportati in Tabella 3 per quanto riguarda gli eventi straordinari ($Tr=50$ anni) e in Tabella 4 per gli eventi ordinari ($Tr=2$ anni).

¹G.Cuomo, M.Minetti, L.Franco, *Uno studio per la previsione della tracimazione ondosa su dighe frangiflutti a scogliera con vasca di dissipazione*, Atti Giornate Italiane di Ingegneria Costiera VIII ediz., AIPCN, pp.356-364, Civitavecchia, nov. 2005.

Dir	Punto	Depth	Hsig	Dir	Tp	Tm1-0	β	A*	Av	Atot	f	Qm	Qn	Qr
50	1	4.44	2.00	123.16	10.71	9.74	49.2	0.19	2.13	11.48	0.36	6.363	2.261	1.209
50	2	7.87	2.97	96.64	10.71	9.74	5.6	0.34	7.63	22.43	0.10	12.630	1.271	0.680
50	3	7.99	3.82	86.83	10.71	9.74	25.2	0.34	7.63	22.43	0.10	37.740	3.797	2.032
50	4	8.71	4.05	85.91	10.71	9.74	40.1	0.34	7.63	22.43	0.10	37.500	3.773	2.019
50	5	7.46	3.90	86.83	10.71	9.74	56.2	0.34	7.63	22.43	0.10	18.640	1.875	1.003
50	6	6.98	3.54	90.27	10.71	9.74	65.7	0.34	7.63	22.43	0.10	7.087	0.713	0.381
130	1	4.44	2.65	138.51	9.46	8.60	64.5	0.19	2.13	11.48	0.36	14.760	5.244	2.805
130	2	7.87	3.40	122.70	9.46	8.60	31.7	0.34	7.63	22.43	0.10	9.053	0.911	0.487
130	3	7.99	3.63	119.69	9.46	8.60	7.7	0.34	7.63	22.43	0.10	22.590	2.273	1.216
130	4	8.71	3.58	120.02	9.46	8.60	6.0	0.34	7.63	22.43	0.10	22.480	2.262	1.210
130	5	7.46	3.52	120.57	9.46	8.60	22.4	0.34	7.63	22.43	0.10	14.800	1.489	0.797
130	6	6.98	3.39	122.08	9.46	8.60	33.9	0.38	7.63	20.27	0.08	7.710	0.602	0.322

Tabella 3: Risultati del calcolo della portata di tracimazione sulla scogliera di sopraflutto considerando il tempo di ritorno $T_r=50$ anni. Qm: portate ottenute con il programma Breakwat; Qn: portate in presenza di vasca di dissipazione; Qr: portate in presenza di muro paraonde concavo In rosso la portata di tracimazione nelle condizioni più critiche per la sezione A-A (Punto 3) e per la sezione B-B (Punto 1)

Dir	Punto	Depth	Hsig	Dir	Tp	Tm1-0	β	A*	Av	Atot	f	Qm	Qn	Qr
50	1	4.44	1.38	120.77	9.46	8.60	46.77	0.19	2.13	11.48	0.36	0.233	0.083	0.044
50	2	7.87	2.16	95.52	9.46	8.60	4.52	0.34	7.63	22.43	0.10	1.200	0.121	0.065
50	3	7.99	2.86	85.69	9.46	8.60	26.31	0.34	7.63	22.43	0.10	5.416	0.545	0.292
50	4	8.71	3.17	83.96	9.46	8.60	42.04	0.34	7.63	22.43	0.10	4.034	0.406	0.217
50	5	7.46	3.21	84.54	9.46	8.60	58.46	0.34	7.63	22.43	0.10	2.394	0.241	0.129
50	6	6.98	3.02	87.92	9.46	8.60	68.08	0.34	7.63	22.43	0.10	1.084	0.109	0.058
130	1	4.44	2.13	139.40	8.35	7.59	65.40	0.19	2.13	11.48	0.36	0.863	0.306	0.164
130	2	7.87	2.56	124.35	8.35	7.59	33.35	0.34	7.63	22.43	0.10	0.683	0.069	0.037
130	3	7.99	2.75	121.49	8.35	7.59	9.49	0.34	7.63	22.43	0.10	3.070	0.309	0.165
130	4	8.71	2.71	121.49	8.35	7.59	4.51	0.34	7.63	22.43	0.10	3.183	0.320	0.171
130	5	7.46	2.74	121.67	8.35	7.59	21.33	0.34	7.63	22.43	0.10	2.008	0.202	0.108
130	6	6.98	2.70	122.73	8.35	7.59	33.27	0.34	7.63	22.43	0.10	1.493	0.150	0.080

Tabella 4: Risultati del calcolo della portata di tracimazione sulla scogliera di sopraflutto considerando il tempo di ritorno $T_r=2$ anni. Q_m : portate ottenute con il programma Breakwat; Q_n : portate in presenza di vasca di dissipazione; Q_r : portate in presenza di muro paraonde concavo In rosso la portata di tracimazione nelle condizioni più critiche per la sezione A-A (Punto 3) e per la sezione B-B (Punto 1)

P3 - 50_50		P1-130_50	
Structure type	1. Rubble mound structure, 1.1 Conventional breakwater	1. Rubble mound structure, 1.1 Conventional breakwater	1. Rubble mound structure, 1.1 Conventional breakwater
Response factor	1. Hydraulic response, 1.3 Overtopping	1. Hydraulic response, 1.3 Overtopping	1. Hydraulic response, 1.3 Overtopping
Formula	Neural network	Neural network	Neural network
Output parameter	(q) Mean overtopping rate	(q) Mean overtopping rate	(q) Mean overtopping rate
	INPUT	INPUT	INPUT
(Hm0) Spectral significant wave height	3.820 (m)	2.650 (m)	2.650 (m)
(Tm-1;0) Spectral wave period	9.740 (s)	8.600 (s)	8.600 (s)
(h) Water depth	8.00 (m)	4.44 (m)	4.44 (m)
(Rc) Crest freeboard	3.00 (m)	2.50 (m)	2.50 (m)
(Ac) Armour crest freeboard of the structure	3.00 (m)	2.50 (m)	2.50 (m)
(Gc) Crest width of the structure	7.75 (m)	4.20 (m)	4.20 (m)
(N) Number of incident waves	(-)	(-)	(-)
(β) Wave angle	25.2 (deg)	64.5 (deg)	64.5 (deg)
(cot(as1)) Cotangent of lower structure slope angle	(-)	(-)	(-)
(cot(as2)) Cotangent of upper structure slope angle	(-)	(-)	(-)
(cot(ad)) Slope of the structure downward of the berm	1.50 (-)	1.00 (-)	1.00 (-)
(cot(au)) Slope of the structure upward of the berm	1.50 (-)	1.00 (-)	1.00 (-)
(B) Berm width	0 (m)	0 (m)	0 (m)
(dh) Distance from SWL to berm	(m)	(m)	(m)
(hb) Water depth on the berm	0 (m)	0 (m)	0 (m)
(tan(αB)) Slope of the berm	0 (-)	0 (-)	0 (-)
(Bt) Width of the toe of the structure	2.00 (m)	0 (m)	0 (m)
(ht) depth of toe below swl	5.00 (m)	4.44 (m)	4.44 (m)
(yf) Roughness reduction factor (seaward)	0.550 (-)	0.550 (-)	0.550 (-)
(yvw) Crown wall reduction factor	(-)	(-)	(-)
(P) Exceedance probability	(%)	(%)	(%)
(Conf) Confidence bands	(-)	(-)	(-)
	OUTPUT (-)	OUTPUT (-)	OUTPUT (-)
(q) Mean overtopping rate	37.74 (l/s/m)	4.76 (l/s/m)	4.76 (l/s/m)
Quantiles for mean overtopping rates	TABLE	TABLE	TABLE
(Vmax) Max. overtopping volume per wave, per m	(m3/m)	(m3/m)	(m3/m)
(Pov) Percentage overtopping waves	(%)	(%)	(%)
(Vol) Overtopping volume per wave, per m	(m3/m)	(m3/m)	(m3/m)
(yb) Berm reduction factor	(-)	(-)	(-)
(yb*ξs;-1) Breaker parameter	(-)	(-)	(-)
(yβ) Oblique reduction	(-)	(-)	(-)
(yTot) Total reduction	(-)	(-)	(-)
(cot(orep)) representative slope	(-)	(-)	(-)
(ξs;-1) (Spectral) breaker parameter	(-)	(-)	(-)
(yf) Calculated Roughness reduction factor (seaward)	(-)	(-)	(-)
(Q) Dimensionless overtopping rate	(-)	(-)	(-)
(Rc/Hm0) Relative freeboard	(-)	(-)	(-)
(dh/Hm0) Relative berm depth	(-)	(-)	(-)
(Rb) Relative crest freeboard	(-)	(-)	(-)
(Rn) Relative crest freeboard	(-)	(-)	(-)

Figura 4: Sopraflutto – Calcolo della portata di tracimazione nel caso più critico per la sezione A-A (Punto 3, a sinistra) e per la sezione B-B (Punto 1, a destra) con tempo di ritorno di 50 anni.

P3 - 50_2		P1-130_2	
Structure type	1. Rubble mound structure, 1.1 Conventional breakwater	1. Rubble mound structure, 1.1 Conventional breakwater	1. Rubble mound structure, 1.1 Conventional breakwater
Response factor	1. Hydraulic response, 1.3 Overtopping	1. Hydraulic response, 1.3 Overtopping	1. Hydraulic response, 1.3 Overtopping
Formula	Neural network	Neural network	Neural network
Output parameter	(q) Mean overtopping rate	(q) Mean overtopping rate	(q) Mean overtopping rate
	INPUT	INPUT	INPUT
(Hm0) Spectral significant wave height	2.860 (m)	2.130 (m)	2.130 (m)
(Tm-1;0) Spectral wave period	9.460 (s)	7.590 (s)	7.590 (s)
(h) Water depth	7.99 (m)	4.44 (m)	4.44 (m)
(Rc) Crest freeboard	3.00 (m)	2.50 (m)	2.50 (m)
(Ac) Armour crest freeboard of the structure	3.00 (m)	2.50 (m)	2.50 (m)
(Gc) Crest width of the structure	7.75 (m)	4.20 (m)	4.20 (m)
(N) Number of incident waves	(-)	(-)	(-)
(B) Wave angle	26.3 (deg)	65.4 (deg)	65.4 (deg)
(cot(as1)) Cotangent of lower structure slope angle	(-)	(-)	(-)
(cot(as2)) Cotangent of upper structure slope angle	(-)	(-)	(-)
(cot(ad)) Slope of the structure downward of the berm	1.50 (-)	1.50 (-)	1.50 (-)
(cot(au)) Slope of the structure upward of the berm	1.50 (-)	1.50 (-)	1.50 (-)
(B) Berm width	0 (m)	0 (m)	0 (m)
(dh) Distance from SWL to berm	(m)	(m)	(m)
(hb) Water depth on the berm	0 (m)	0 (m)	0 (m)
(tan(αB)) Slope of the berm	0 (-)	0 (-)	0 (-)
(Bt) Width of the toe of the structure	2.00 (m)	0 (m)	0 (m)
(ht) depth of toe below swl	5.00 (m)	4.44 (m)	4.44 (m)
(yf) Roughness reduction factor (seaward)	0.550 (-)	0.550 (-)	0.550 (-)
(yvw) Crown wall reduction factor	(-)	(-)	(-)
(P) Exceedance probability	(%)	(%)	(%)
(Conf) Confidence bands	(-)	(-)	(-)
	OUTPUT (-)	OUTPUT (-)	OUTPUT (-)
(q) Mean overtopping rate	5.416 (l/s/m)	0.8625 (l/s/m)	0.8625 (l/s/m)
Quantiles for mean overtopping rates	TABLE	TABLE	TABLE
(Vmax) Max. overtopping volume per wave, per m	(m ³ /m)	(m ³ /m)	(m ³ /m)
(Pov) Percentage overtopping waves	(%)	(%)	(%)
(Vol) Overtopping volume per wave, per m	(m ³ /m)	(m ³ /m)	(m ³ /m)
(yb) Berm reduction factor	(-)	(-)	(-)
(yb*ξs-1) Breaker parameter	(-)	(-)	(-)
(yβ) Oblique reduction	(-)	(-)	(-)
(yTot) Total reduction	(-)	(-)	(-)
(cot(arep)) representative slope	(-)	(-)	(-)
(ξs-1) (Spectral) breaker parameter	(-)	(-)	(-)
(yf) Calculated Roughness reduction factor (seaward)	(-)	(-)	(-)
(Q) Dimensionless overtopping rate	(-)	(-)	(-)
(Rc/Hm0) Relative freeboard	(-)	(-)	(-)
(dh/Hm0) Relative berm depth	(-)	(-)	(-)
(Rb) Relative crest freeboard	(-)	(-)	(-)
(Rn) Relative crest freeboard	(-)	(-)	(-)

Figura 5: Sopraflutto – Calcolo della portata di tracimazione nel caso più critico per la sezione A-A (Punto 3, a sinistra) e per la sezione B-B (Punto 1, a destra) con tempo di ritorno di 2 anni.

Da un confronto con i dati sopra riportati e quelli indicati da vari autori² e riportati in Figura 25 e Figura 26 si evince che in nessun caso, sia con tempo di ritorno biennale che cinquantennale, si potranno verificare danni alla strutture portuali dovuti alla tracimazione.

Con riferimento alla sicurezza degli utenti risulta chiaramente che i valori di tracimazione con eventi ordinari (tempo di ritorno biennale), presentano valori inferiori ai limiti suggeriti.

Per quanto concerne gli eventi straordinari (tempo di ritorno cinquantennale) il valori di tracimazione del molo di sopraflutto massimo ottenuto è pari a 2.805 l/s/m (nel caso di evento da grecale). Tale valore è da considerare ammissibile in quanto facente parte delle performance strutturali che sono state assegnate all'opera e in considerazione dell'eccezionalità dell'evento. E' comunque auspicabile che, in caso di eventi di eccezionale intensità, si preveda l'interdizione ai veicoli ed ai pedoni, limitando l'accesso alla aree a

² Franco L., de Gerloni M., van der Meer J.W. (1994), Wave overtopping on vertical and composite breakwaters, Proc. 24th ICCE, Kobe, ASCE, New York;
Reeve D., Chadwick A., Fleming C., Coastal Engineering – Processes, theory and design practice, Spon Press, 2004;

personale idoneamente formato. Tale possibilità risulta contemplata anche nelle “Nuove Linee Guida per la verifica delle dighe marittime nei riguardi della tracimazione ondosa” del Prof. Leopoldo Franco del Dip. Scienze Ingegneria Civile Università di Roma La Sapienza, dove viene indicato un intervallo di valore di tracimazione compreso tra 1 e 10 l/s/m per consentire l’accesso a personale formato. (Si veda tabella 10).

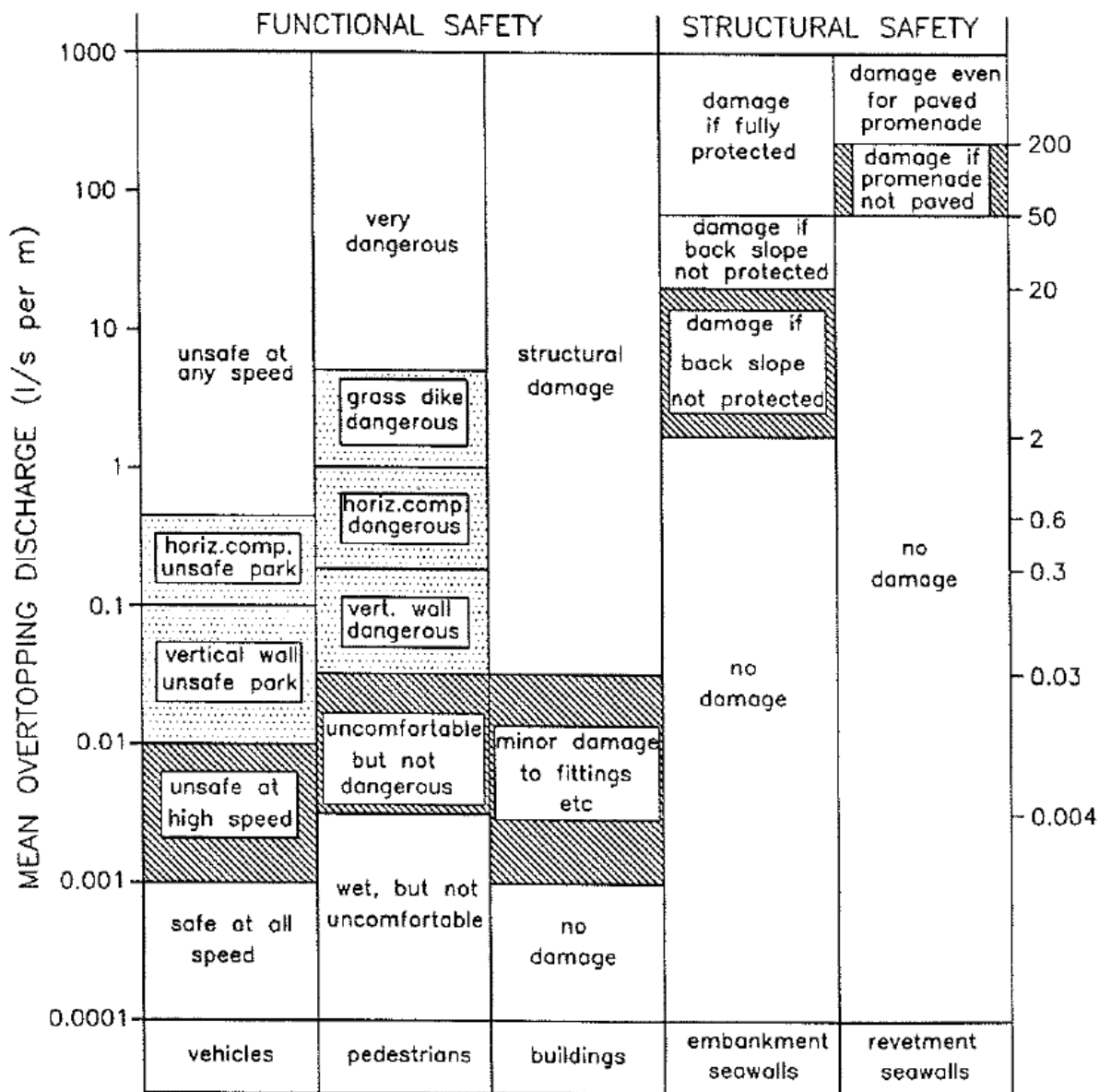


Figura 6: Linee guida sulla portata di tracimazione – Fonte: Franco et al. (1994)

Table 1: Suggested limits for overtopping mean discharges or peak volumes⁺			
Hazard type / reason	Mean discharge, q	Peak volume, V_{max}	Comments or other limits
Pedestrians			
Unaware pedestrian, no clear view of the sea, relatively easily upset or frightened, narrow walkway or close proximity to edge	0.03 l/s.m	2-5 l/m at high level or velocity	
Aware pedestrian, clear view of the sea, not easily upset or frightened, able to tolerate getting wet, wider walkway.	0.1 l/s.m	20-50 l/m at high level or velocity	
Trained staff, well shod and protected, expecting to get wet, overtopping flows at lower levels only, no falling jet, low danger of fall from walkway	1-10 l/s.m	500 l/m at low level,	$d.u^2 < 1-5 \text{ m}^3/\text{s}^2.\text{m}$
Vehicles			
Driving at moderate or high speed, impulsive overtopping giving falling or high velocity jets	0.01-0.05 l/s.m	5 l/m at high level or velocity	
Driving at low speed, overtopping by pulsating flows at low levels only, no falling jets	10-50 l/s.m	1 m ³ /m	
Property			
Sinking small boats set 5-10m from wall. Damage to larger yachts	q = 10 l/s.m	1 - 10 m ³ /m	Volumes depend on vessel position etc., form of overtopping flow and wave transmission
Significant damage or sinking of larger yachts	q = 50 l/s.m	5 - 50 m ³ /m	

Figura 7: Limiti ammissibili di portata media e volumi massimi V_{max} di tracimazione

3. VERIFICHE DI STABILITÀ

3.1 VALUTAZIONE DELLA STABILITÀ DELLA MANTELLATA ESTERNA

La valutazione della stabilità del masso nel caso della soluzione con scogliera è stata effettuata utilizzando il software Breakwat sia per il molo sopraflutto che per quello sottoflutto.

A tale fine, è stata utilizzata la formula di Van der Meer (1988), che permette di valutare statisticamente le condizioni di stabilità della mantellata in condizioni di onde random.

Le condizioni di applicazione di tale formula sono:

- Scogliera con strato di copertura superficiale composto da roccia;
- Portata di tracimazione ridotta o assente (10-15% dell'onda);
- Pendenza della mantellata uniforme

Il danno che può essere causato alla struttura viene valutato in termini di livello di danneggiamento adimensionale S , considerando l'area di erosione in prossimità del livello di mare calmo. S è indipendente da altezza e angolo di inclinazione della struttura, e può essere considerato come il numero di rocce cubiche con lato pari a $Dn50$ che vengono erose in una striscia della struttura larga $Dn50$. Il numero di pietre erose all'interno di tale striscia può essere maggiore o minore di S , in funzione della porosità, della dimensione e dalla forma dei massi. In genere, il numero di rocce erose nella striscia delle dimensioni considerate è compresa pari a $0.7 \div 1 \cdot S$. I valori di S , che dipendono principalmente dall'inclinazione della mantellata, sono indicati in Tabella 5. In tale tabella, con il termine "Danno iniziale" si intende un danneggiamento della mantellata compreso tra 0 e 5%, mentre "Cedimento" indica l'esposizione dello strato filtrante.

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 uno strato di roccia con spessore pari a due diametri – Fonte: Breakwat Technical Manual

Rispetto a quanto esposto nei documenti precedenti, si è proceduto con un'analisi di sensitività sui parametri di inclinazione degli strati di scogli e sulla loro dimensione al fine di ottimizzare il comportamento e la risposta strutturale alle forzanti di progetto.

In particolare si è andato a valutare il valore del parametro di danneggiamento S al variare della pendenza e della dimensione degli scogli costituenti la mantellata. Di seguito vengono riportati i dati di input ed output del modello per il molo di sopraflutto e per il molo di sottoflutto.

P 1-Breakwat # 1

? ⓘ I O

Structure type	1. Rubble mound structure, 1.1 Conven	
Response factor	2. Structural response, 2.1 Rock armour	
Formula	Van der Meer (1988)	
Output parameter	(S) Damage level	
INPUT		
(cot(α)) Slope angle	TABLE	<input checked="" type="checkbox"/>
(P) Notional Permeability factor	0.500 (-)	<input type="checkbox"/>
(Dn50-core/Dn50) Ratio rock sizes	(-)	<input type="checkbox"/>
(ρa) Armour density	2650 (kg/m3)	<input type="checkbox"/>
(ρw) Water density	1025 (kg/m3)	<input type="checkbox"/>
(KD) Stability coefficient	(-)	<input type="checkbox"/>
(N) Number of incident waves	3000 (-)	<input type="checkbox"/>
(Tm) Mean wave period	8.64 (s)	<input type="checkbox"/>
(Tm-1;0) Spectral wave period	(s)	<input type="checkbox"/>
(H2%/Hs) Wave height ratio	1.40 (-)	<input type="checkbox"/>
(αHs) Wave height factor	(-)	<input type="checkbox"/>
(Conf) Confidence bands	check to use (-)	<input type="checkbox"/>
(Prob.) Input table	(-)	<input type="checkbox"/>
(y) Number of years	(year)	<input type="checkbox"/>
(SEQ_STORMS) Cumulative damage input table	(-)	<input type="checkbox"/>
(Hs) Significant wave height	4.05 (m)	<input checked="" type="checkbox"/>
(M50) Armour mass	TABLE	<input checked="" type="checkbox"/>
OUTPUT (-)		
(S) Damage level	TABLE	<input type="checkbox"/>
(δ) Relative buoyant density	TABLE	<input type="checkbox"/>
(Dn50) Nominal rock size	TABLE	<input type="checkbox"/>
(ξm) Breaker parameter	TABLE	<input type="checkbox"/>
(ξs;-1) (Spectral) breaker parameter	(-)	<input type="checkbox"/>
(sm) Wave steepness	TABLE	<input type="checkbox"/>
(sm-1;0) (Spectral) wave steepness	(-)	<input type="checkbox"/>
(Hs/δDn50) Stability number	TABLE	<input type="checkbox"/>
(Plunging) Output table for Plunging waves	(-)	<input type="checkbox"/>
(Surging) Output table for Surging waves	(-)	<input type="checkbox"/>
(Breaker) Output table for Breaker parameter	(-)	<input type="checkbox"/>
(β) Reliability Table	(-)	<input type="checkbox"/>

Figura 8 Input molo di sopraflutto

	cot(α) (-)	S(M50 = 1000) (-)	S(M50 = 2000) (-)	S(M50 = 3000) (-)	S(M50 = 4000) (-)	S(M50 = 5000) (-)	S(M50 = 6000) (-)	S(M50 = 7000) (-)	S(M50 = 8000) (-)	S(M50 = 9000) (-)
cot(α) =	1.500	149.0	46.93	23.88	14.78	10.19	7.520	5.817	4.656	3.826
cot(α) =	2.000	72.58	22.86	11.63	7.201	4.964	3.664	2.833	2.268	1.864
cot(α) =	2.500	41.55	13.09	6.658	4.122	2.842	2.097	1.622	1.298	1.067
cot(α) =	3.000	26.34	8.296	4.221	2.613	1.802	1.329	1.028	0.8231	0.6764

Figura 9 Valori del parametro S in funzione della pendenza e della dimensione degli scogli

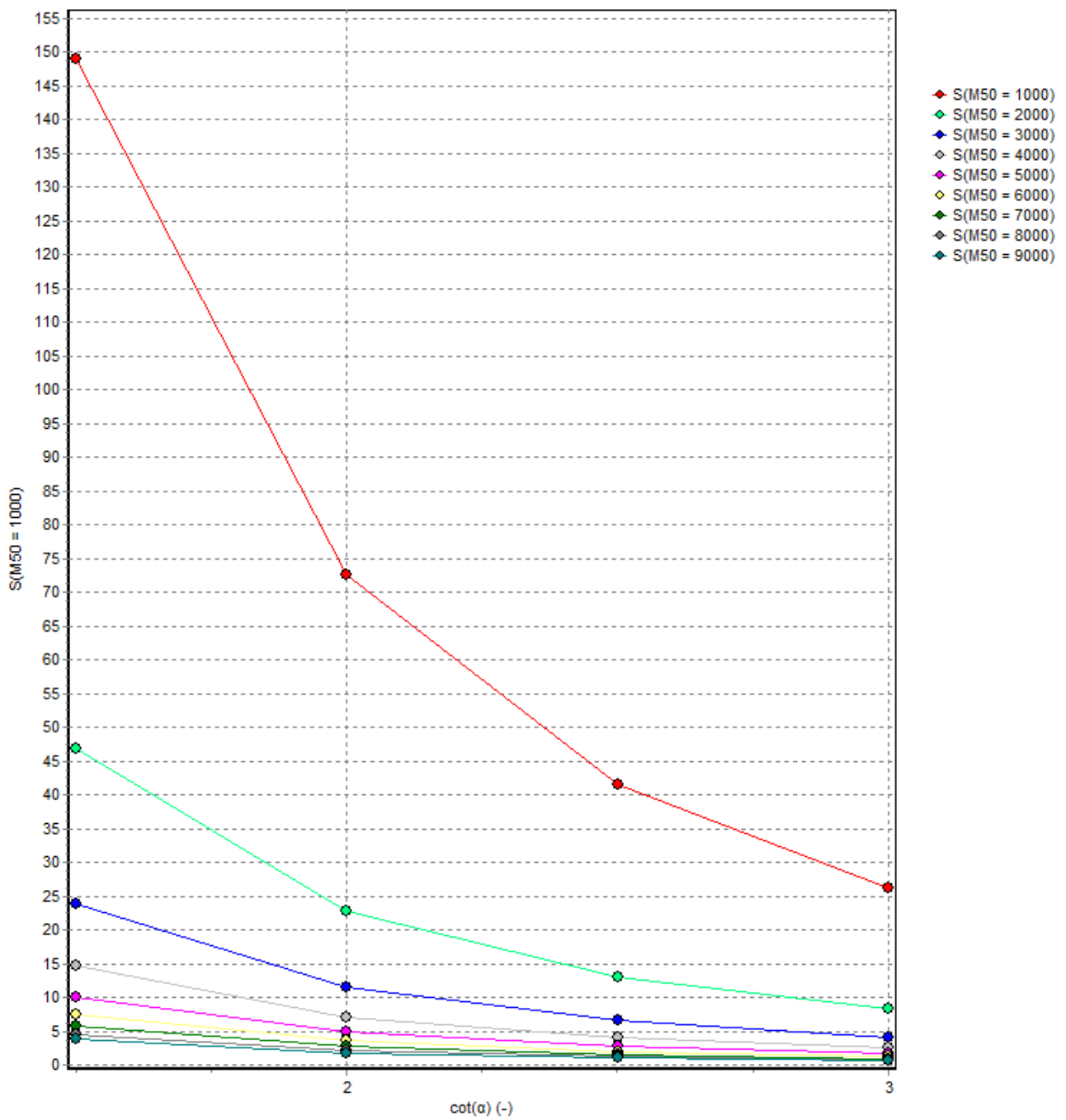


Figura 10 Grafico dei valori del parametro S per il molo di sopraflutto

Output parameter	(S) Damage level	
INPUT		
(cot(α)) Slope angle	TABLE	<input checked="" type="checkbox"/>
(P) Notional Permeability factor	0.500 (-)	<input type="checkbox"/>
(Dn50-core/Dn50) Ratio rock sizes	(-)	<input type="checkbox"/>
(ρ_a) Armour density	2650 (kg/m3)	<input type="checkbox"/>
(ρ_w) Water density	1025 (kg/m3)	<input type="checkbox"/>
(KD) Stability coefficient	(-)	<input type="checkbox"/>
(N) Number of incident waves	3000 (-)	<input type="checkbox"/>
(Tm) Mean wave period	7.63 (s)	<input type="checkbox"/>
(Tm-1;0) Spectral wave period	(s)	<input type="checkbox"/>
(H2%/Hs) Wave height ratio	1.40 (-)	<input type="checkbox"/>
(α Hs) Wave height factor	(-)	<input type="checkbox"/>
(Conf) Confidence bands	check to use (-)	<input type="checkbox"/>
(Prob.) Input table	(-)	<input type="checkbox"/>
(y) Number of years	(year)	<input type="checkbox"/>
(SEQ_STORMS) Cumulative damage input table	(-)	<input type="checkbox"/>
(Hs) Significant wave height	2.12 (m)	<input type="checkbox"/>
(M50) Armour mass	TABLE	<input checked="" type="checkbox"/>
OUTPUT (-)		
(S) Damage level	TABLE	<input type="checkbox"/>
(δ) Relative buoyant density	TABLE	<input type="checkbox"/>
(Dn50) Nominal rock size	TABLE	<input type="checkbox"/>
(ξ m) Breaker parameter	TABLE	<input type="checkbox"/>
(ξ s;-1) (Spectral) breaker parameter	(-)	<input type="checkbox"/>
(sm) Wave steepness	TABLE	<input type="checkbox"/>
(sm-1;0) (Spectral) wave steepness	(-)	<input type="checkbox"/>
(Hs/ δ Dn50) Stability number	TABLE	<input type="checkbox"/>
(Plunging) Output table for Plunging waves	(-)	<input type="checkbox"/>
(Surging) Output table for Surging waves	(-)	<input type="checkbox"/>
(Breaker) Output table for Breaker parameter	(-)	<input type="checkbox"/>
(β) Reliability Table	(-)	<input type="checkbox"/>

Figura 11 Dati di input per molo sottoflutto

	cot(α) (-)	S(M50 = 1000) (-)	S(M50 = 2000) (-)	S(M50 = 3000) (-)	S(M50 = 4000) (-)	S(M50 = 5000) (-)	S(M50 = 6000) (-)	S(M50 = 7000) (-)
cot(α) = 1.000	1.000	6.904	2.175	1.106	0.6849	0.4722	0.3485	0.2695
cot(α) = 1.500	1.500	6.904	2.175	1.106	0.6849	0.4722	0.3485	0.2695
cot(α) = 2.000	2.000	4.695	1.479	0.7524	0.4658	0.3211	0.2370	0.1833
cot(α) = 2.500	2.500	2.688	0.8466	0.4307	0.2666	0.1838	0.1357	0.1049
cot(α) = 3.000	3.000	1.704	0.5367	0.2730	0.1690	0.1165	0.08600	0.06652

Figura 12 Valori parametro S per molo di sottoflutto

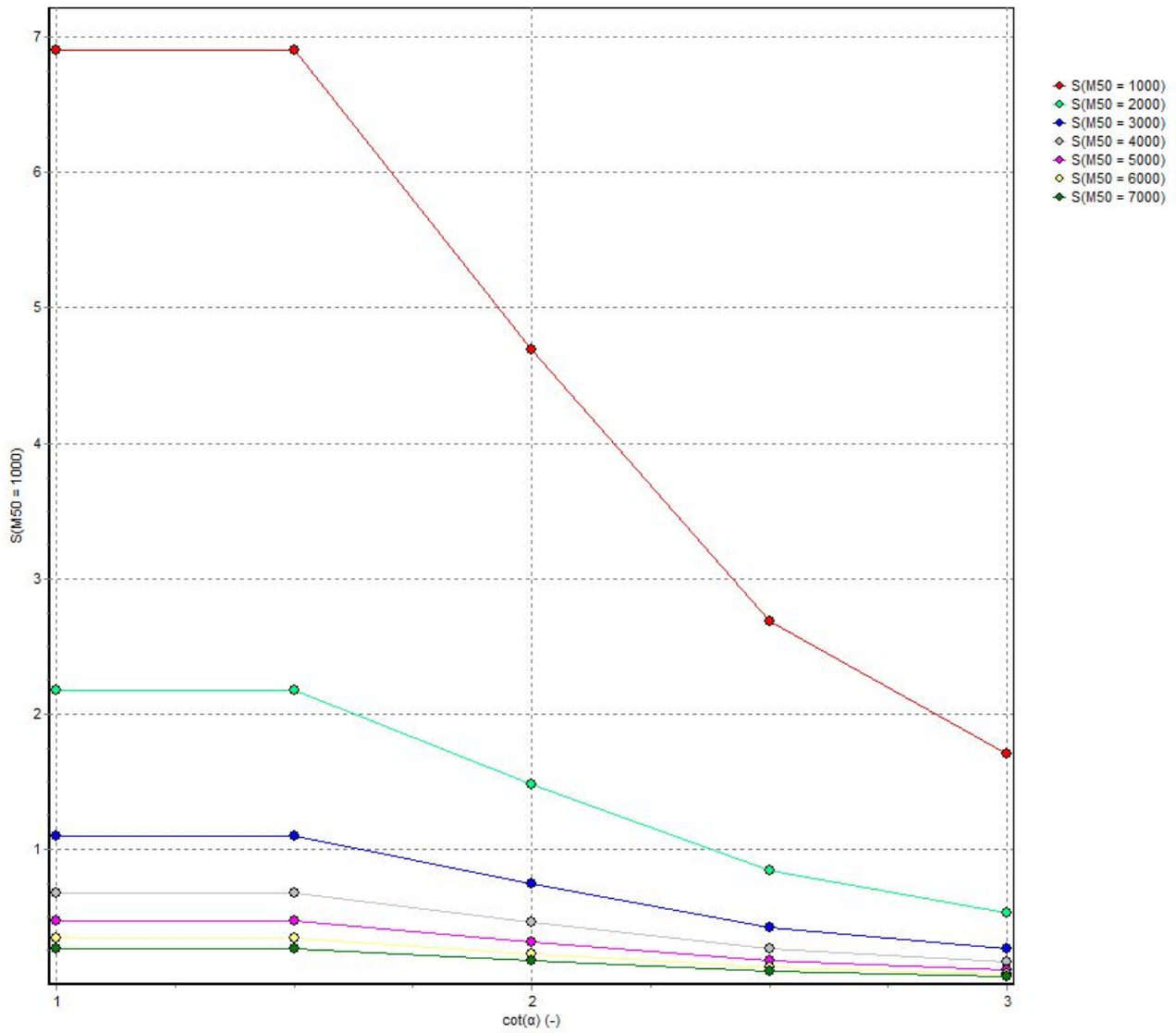


Figura 13 Grafico dei valori