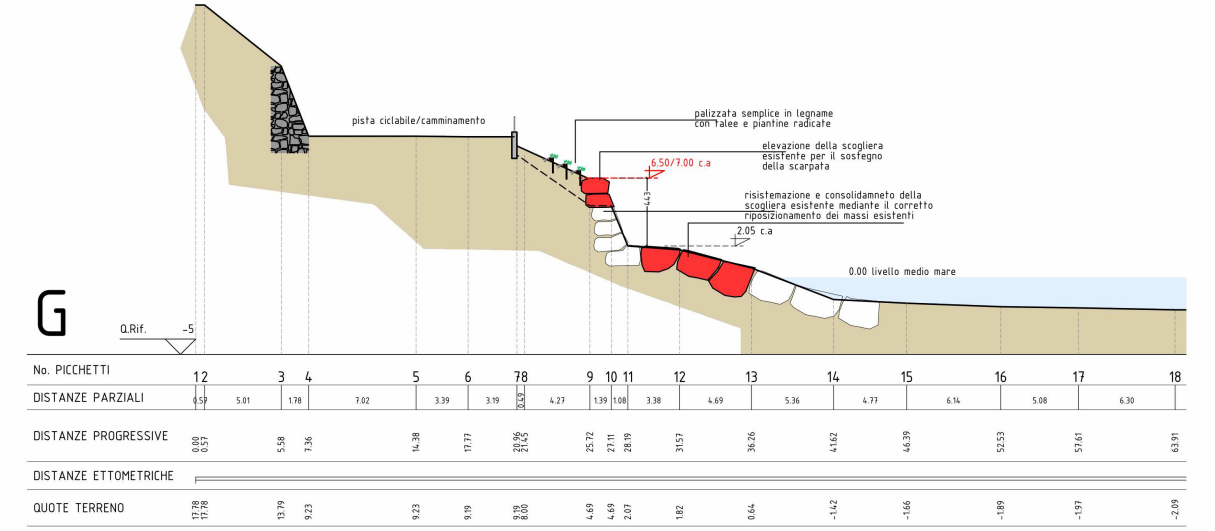
ALLEGATO 1

DIMENSIONAMENTO DEI MASSI DELLE OPERE IN PROGETTO

❖ OPERE ADERENTI

In relazione alle opere aderenti di cui alla tavola grafica n°9 di progetto, si assume a riferimento per il calcolo l'indicazione di cui alla sezione G, nel seguito riportata.



Il dimensionamento è condotto, a favore di sicurezza, ammettendo le opere posizionate direttamente sulla battigia, in assenza di materiale posto avanti le opere stesse (moto ondoso direttamente incidente sulle opere di difesa). Si tiene conto d'un set-up (innalzamento livello medio mare) dovuto ad uno stato di mare in tempesta, relativo alla traversia dominante (Libeccio), per un tempo di ritorno pari a T=50 anni.

Per il set-up vale in particolare la seguente relazione:

$$s_w = 0.19 H_b (1 - 2.82 \sqrt{\frac{H_b}{gT^2}})$$

con '*Hb*' altezza d'onda al frangimento di un'onda al largo avente il prestabilito tempo di ritorno. Ricavando dal Boccotti (vedi oltre) l'altezza d'onda su profondità infinita relativa alla direzione considerata ed al tempo di ritorno indicato, e desumendone le condizioni al frangimento (tabella qui di seguito)

Libeccio				
0	T0	Tr	Hb	hb
m]	[s]	[anni]	[m]	[m]
8,25	12,25	50	8,18	10,17

si ricava un valore di set-up pari a circa 60 cm, che qui approssimiamo per difetto a metri 1.

Considerata, a favore di sicurezza, un'imposta d'approfondimento dei massi pari a circa -2.00 m ed un valore di sopraelevazione pari al set up 1.00m, si verifica la scogliera di protezione aderente come se fosse approfondita su un fondale di circa 3 m.

Per la determinazione delle onde significative di progetto si fa riferimento alla teoria degli spettri di frequenza, in particolare allo spettro JONSWAP, ed alla teoria previsionale in tempi lunghi elaborata sulla base del predetto spettro da Boccotti (1986), con particolare riferimento al Mar Ligure. Lo studio di Boccotti fa riferimento a circa 5800 stime visuali di altezza d'onda significativa, al fine di determinare l'onda di progetto, con particolare riferimento al suo tempo di ritorno. Inoltre l'analisi è proseguita nella cosiddetta "previsione direzionale", la quale mira ad identificare l'onda di progetto in relazione ai diversi settori di traversia di provenienza. Seguendo le considerazioni di Boccotti, reperibili nell'articolo "PREVISIONE DELLE ONDE PER I MARI ITALIANI. Parte I: Un'impostazione del problema con particolare riferimento al mar Ligure" si evince come il tempo di ritorno di una particolare altezza d'onda possa essere stimato attraverso la semplice relazione:

$$R(H_s > h) = B\left[-h\frac{dP}{dh}(H_s > h) + P(H_s > h)\right]^{-1}$$

in cui 'B' rappresenta la durata media della mareggiata triangolare equivalente di riferimento;
La probabilità di superamento dell'onda di progetto, secondo le analisi dell'Autore, per il mar Ligure, risulta avere una distribuzione del tipo:

$$P(H_s > h) = (1 - e^{-h/v})e^{(-h/w)^{0.975}}$$

dove 'v' e 'w' sono parametri che caratterizzano i settori di traversia in esame; assumendo un valore di B costante e pari a 48 ore, stima accettabile per i dati reperiti nel mar Ligure, risulta possibile calcolare i valori di progetto dell'altezza d'onda ed il suo tempo di ritorno, per tutti i settori di provenienza.

Per la direzione di massima traversia (Libeccio 195°-225°) i valori vengono ricavati come differenza dalla probabilità dei dati globali, omnidirezionali. Ciò affinché la somma delle probabilità relative ad una determinata altezza d'onda, considerate tutte le direzioni, sia unitaria. La suddetta distribuzione omnidirezionale ha una forma del tipo:

$$P(H_s > h) = e^{-\left(\frac{h}{0.725}\right)^{0.975}}$$

Nota l'altezza d'onda spettrale su profondità infinita si può risalire al suo periodo attraverso la seguente relazione:

$$T = 8.5\pi\sqrt{\frac{H}{4g}}$$

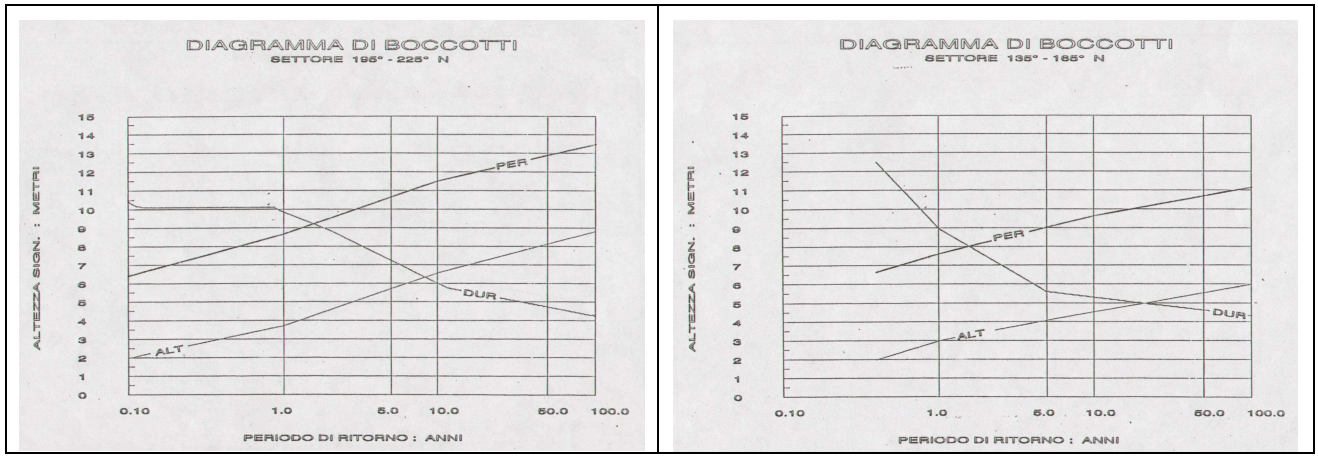
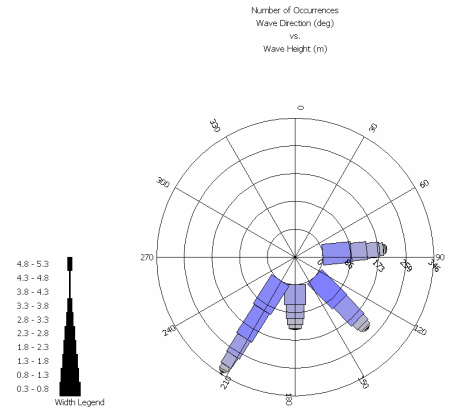


Tabella 1: Elaborazione Traversia 215°N Tabella 2: Elaborazione traversia 145°N

Le informazioni necessarie per caratterizzare l'onda di progetto sono derivate dallo studio generale di Difesa della Costa nei Comuni di San Lorenzo al Mare e Costarainera. In particolare per il paraggio in esame è stata utilizzata la seguente caratterizzazione:



Settore di Ondazione			
Levante	65 - 105	8.38%	**23.34%**
Scirocco	105 - 165	9.21%	**25.64%**
Mezzogiorno	165 - 195	5.44%	**15.15%**
Libeccio	195 - 230	12.88%	**35.87%**
			100.00%

Le indicazioni derivate con modello di calcolo sono in buon accordo con un modello semplificato di propagazione, qui utilizzato, d'immediato utilizzo, per il quale, sulla vista profondità di 3 metri, per eventi direzione libeccio (210°N), trova corrispondenza un'agitazione al largo così caratterizzata:

Attacco d'onda	H0 [m]	Hf [m]	Tr [anni]	T [s]
210°N	3.25	2.395	0.50	7.70

Valutato il tipo di frangimento per mezzo del numero di Iribarren ξ (surf similarity parameter), calcolato riferendosi al periodo medio:

$$\xi_m = \frac{tg\alpha}{\sqrt{\frac{H_s}{L_{0m}}}}$$

dove:

- α è la pendenza delle scogliere radenti, dato a 30° (dato a media tra la parte in elevazione e la fondazione anteriore in scogliera);
- L_{om} è la lunghezza d'onda al largo riferita al periodo medio Tm=0.92Tp = 7.85s (L_{om}~93m);
- H_s è l'altezza d'onda significativa propagata sulla profondità di progetto, 2.40m;

la valutazione della dimensione dei massi è condotta attraverso le due relazioni riportate sotto, valide per massi naturali e relative alle due situazioni di frangimento 'plunging' (ξ<2.5) e 'spilling'(ξ>=2.5).

Nel caso in cui ξ sia compreso tra i due intervalli 2.5-3.5 si ricorre alla relazione che fornisce il parametro di stabilità minore.

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = 6.2P^{0.18}\left(\frac{S}{\sqrt{N}}\right)^{0.2}\xi^{-0.5} \quad (plunging)$$

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = 1.0P^{-0.13}\left(\frac{S}{\sqrt{N}}\right)^{0.2}\sqrt{ctg\alpha}\,\xi^{p} \quad (surging)$$

dove:

Δ è il rapporto ρroccia/ ρacqua pari a 1.65;

N è il numero medio di onde nella mareggiata di progetto pari a D/Tm;

D è la durata all'interno della mareggiata in cui l'altezza si mantiene superiore ad Hs, pari a 10.8 ore (caratterizzazione probabilistica di Boccotti per il Mar Ligure)

P è la permeabilità equivalente assunta pari a 0.4 (in conformità allo schema progettuale adottato per la barriera);

S è il grado di danneggiamento assunto pari a 2 (inizio danno);

Si è ottenuto ξ=6.02 (frangimento spilling), D50= 1.35m (lato cubo equivalente minimo).

Considerata per il calcolo dei volumi una forma cubica dei massi si ottiene W50~6.50 t
Seguendo Hudson, il peso dell'elemento di mantellata è esprimibile come:

$$M = \frac{\delta_c H^3}{K_D \Delta^3 \cot g\alpha}$$

con:

δc:densità massi (2.60 t/mc)

Δ= (δc/ δw-1)

δw:densità acqua di mare (1.03t/mc)

K_D:1.2 (valido per Massi Naturali, Onde Frangenti, Sezione corrente - Istruzione Tecniche per la Progettazione delle Dighe Marittime)

Con H=2,4m si ottiene, conformemente a quanto in precedenza, M~4,0t (pezzatura di 3a categoria, da 3t a 7t)

Per l'esecuzione delle opere si utilizzeranno massi di 3A categoria.

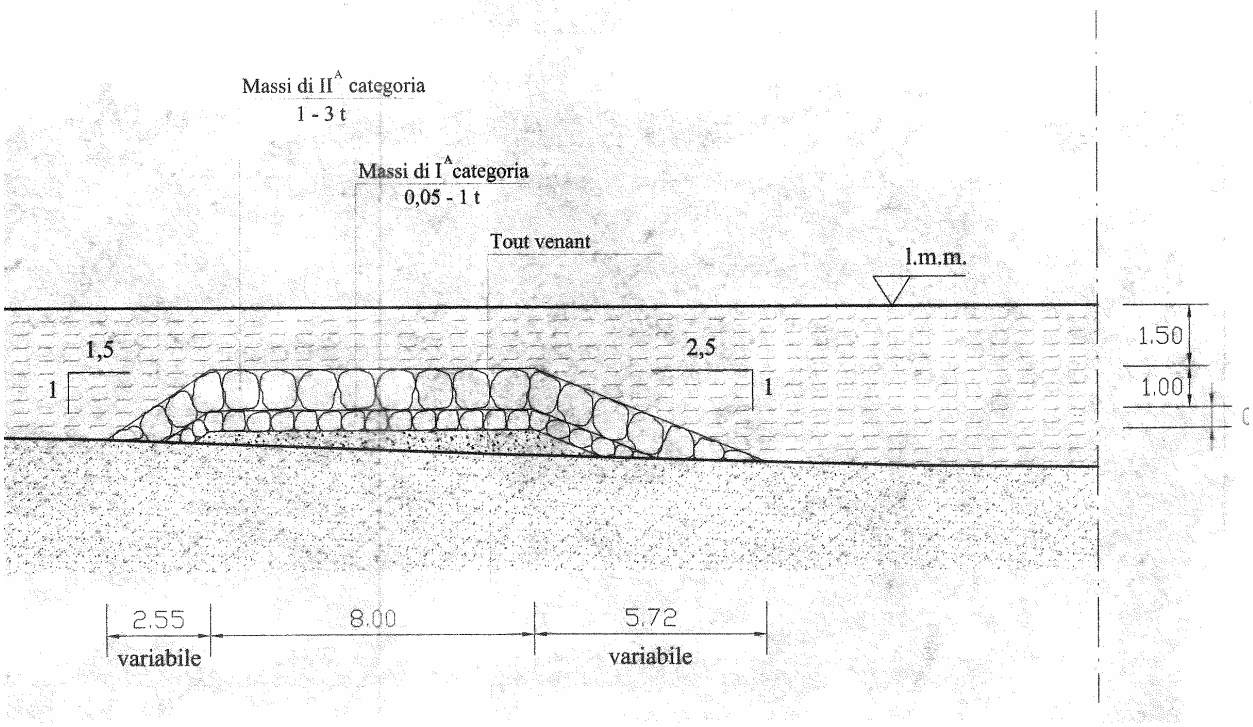
Il nucleo e lo strato filtro saranno realizzati con massi e massotti di I categoria e scapolame.

La disposizione dei massi in opera deve privilegiare il posizionamento delle maggiori pezzature in prossimità del piano di berma e dello strato esterno.

❖ **OPERE SOMMERSE**

Sul litorale antistante il centro abitato di ponente è stata realizzata, in passato, una barriera soffolta finalizzata a contenere gli effetti negativi, su detto litorale di ponente, del livello energetico del moto ondoso che, oltre a non consentire il deposito della sabbia sulla riva, comportava vistosi problemi d'erosione.

La soglia subacquea di contenimento tra le testate dei due pennelli, già precedentemente esistenti, è stata realizzata cosi come evidenziato nell'immagine seguente, estratta direttamente dagli elaborati di progetto relativi,



ed ha permesso di mantenere libero un tirante d'acqua di metri 1,50, sufficiente a permettere in maniera naturale il ricambio delle acque ed a mitigare gli effetti devastanti, sulla costa, del moto ondoso. Le opere a progetto, attinenti il ripristino del piano di berma dell'opera, mantengono la previsione di tale sommergenza.

La verifica dell'opera venne operata :

❖ come consigliato dallo "Shore Protection Manual", adottando la formula empirica di Hudson per la mantellata

$$P = \frac{\gamma s H^3}{Kd\left(\frac{\gamma s}{\gamma d}\right)^3} \frac{1}{\cot \alpha}$$

in cui:

P = Peso del masso

H = Altezza d'onda di progetto

γs = Peso specifico dei massi utilizzati

γd = Peso specifico dell'acqua

α = Scarpa del paramento lato mare

kd = Coefficiente numerico tabellato

ed assumendo quale altezza d'onda di progetto la massima altezza d'onda al frangimento al piede della struttura, usando la relazione di Me Cowen Hf = hf x 0,78 si ottiene H « 3 metri. Specificata la formula di Hudson con cotα =2,5 e Kd = 3,5, si ottennero P = 2,7 ton **(massi di II categoria)**: lo spessore di mantellata venne calcolato con la seguente formula empirica:

$$s = nK\left(\frac{P}{\gamma s}\right)^{1/3}$$

dove:

n = Numero degli strati , K = Coefficiente di forma. Per n = 1 e K =1,02 si ottenne **s ~ 1 metro**

- con la posa d'uno strato filtro, con funzione di costituire uno strato idoneo all'appoggio della mantellata e di evitare che, nella fase di riflusso, si potessero avere un trasporto del materiale più fine dall'interno verso l'esterno (massi di prima categoria) ed un nucleo in scapolo tout venant.

Per la verifica ed il dimensionamento dell'opera si fa qui riferimento alle linee guida del progetto DELOS per le strutture a massicciata.

Il progetto ha raccolto un'ampia banca dati sulle formule per calcolare la trasmissione dell'onda per ottenere la migliore formula che descriva la trasmissione dell'onda; l'intera analisi fu portata avanti da Briganti et al. (2003) e le formule furono verificate tramite una serie di test all'Università di Cantabria e all'Università Politecnica di Catatonia.

La prima è relativa a strutture con cresta relativamente stretta sia emerse che sommerse; la seconda per strutture sommerse con cresta molto ampia.

$$K_t = -0{,}4\frac{R_c}{H_i} + 0{,}64\left(\frac{B}{H_i}\right)^{-0{,}31}\left(1 - e^{-0{,}5\xi}\right) \quad , \; B/H_i < 10$$

$$K_t = -0{,}35\frac{R_c}{H_i} + 0{,}51\left(\frac{B}{H_i}\right)^{-0{,}65}\left(1 - e^{-0{,}41\xi}\right) \quad , \; B/H_i > 10$$

Parallelamente è stato condotto il dimensionamento dei massi di ripristino, la relativa trattazione è riportata di seguito.

VERIFICA DEL COEFFICIENTE DI TRASMISSIONE — calcolato / inserito

Dimensionamento ad evento estremo

Caratteristiche geometriche della barriera soffolta:

Rc MSL	-1,50	[m]	Altezza della cresta
Rc*	-2,12	[m]	Altezza della cresta in condizione di sopraelevazione barica e marea med
Hc	3,10	[m]	Altezza della struttura
B	8,00	[m]	Larghezza della Berma
h	4,60	[m]	Profondità al piede
α	21,80140949	[deg]	Pendenza mantellata esterna
α	0,380506377	[rad]	Pendenza mantellata esterna
scarpa	0,400	[m]	Scarpa della mantellata
Z	0,32	[m]	Sopraelevazione barica
S	0,30	[m]	Sopraelevazione di marea
h*	5,22	[m]	Profondità di progetto per la barriera
H0	3,79	[m]	Altezza d'onda di progetto al largo
Hi	3,7	[m]	Altezza d'onda di progetto al piede della struttura
Tp	8,29	[s]	Periodo d'onda
Li	54,63639398	[m]	Lunghezza d'onda al piede dell'opera
Sop	0,067720428	0,06772	Wave steepness - Ripidità d'onda
χop	1,537092995	[-]	Numero di Iribarren (parametro di frangimento)
B/Hi	2,162162162	[-]	
χ	1,537092995	[-]	***PLUNGING*** Tipo di Frangimento

Verifica del coefficiente di trasmissione

Kt	0,499450141	[-]	Coefficiente di trasmissione della barriera considerando l'aumento di Rc dovuto a marea e pressione
Kt	0,432423114	[-]	Coefficiente di trasmissione della barriera non considerando l'aumento di Rc dovuto a marea e pressione
B/Hi	2,162162162	[-]	
Kt max	0,917027027		

$$K_{ti} = -0.006\frac{B}{H_i} + 0.93$$

H_i = incident significant wave height, preferably H_{m0i}, at the toe of the structure
H_t = transmitted significant wave height, preferably H_{m0t}
T_p = peak period
s_{op} = wave steepness, $s_{op} = 2\pi H_i/(gT_p^2)$
R_c = crest freeboard
H_c = structure height
K_t = transmission coefficient H_t/H_i
ξ_{op} = breaker parameter $\xi_{op} = \tan\alpha/(s_{op})^{0.5}$

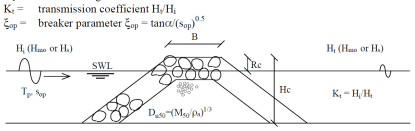


Figure A.7. Governing parameters for wave transmission.

Parametri caratteristici (in riferimento ad evento estremo)

Rc/Hi	*B/Hi*	*B/Lop*	*χ op*	*Sop*	*Hi/h*
-0,40541	*2,162162*	*0,146423*	*1,537093*	*0,06772*	*0,804348*

Database	Armour type	R_c/H_i	B/H_i	B/L_{op}	ξ_{op}	H_i/D_{n50}	H_i/h	s_{op}	Test #
Old database	various	-8.7 4.0	0.37 43.48	0.009 0.51	0.7 8.26	0.3 6.62	0.03 0.62	$2\cdot10^{-4}$ 0.06	398
UCA	rubble mound	-1.5 1.53	2.67 30.66	0.04 0.4	3.97 12.98	0.84 2.42	0.1 0.37	0.002 0.02	53
UPC	rubble mound	-0.37 0.88	2.66 8.38	0.07 0.24	2.69 3.56	2.65 4.36	0.17 0.33	0.02 0.034	24
GWK	rubble mound	-0.76 0.66	1.05 8.13	0.02 0.21	3 5.21	1.82 3.84	0.31 0.61	0.01 0.03	45
M & M	core locks	-8.2 8.9	1.02 7.21	0.02 0.13	2.87 6.29	0.68 4.84	0.05 0.5	0.01 0.054	122
Seabrook	rubble mound	-3.9 0	1.38 74.47	0.04 1.66	0.8 8.32	0.78 3.2	0.11 0.58	0.01 0.06	632
Aquareef	aquareef	-4.77 -0.09	1.24 102.12	0.02 2.1	1.78 5.8	0.59 4.09	0.1 0.87	0.01 0.08	1063

$$K_t = -0.4\frac{R_c}{H_{si}} + 0.64\left(\frac{B}{H_{si}}\right)^{-0.31}\left(1 - e^{-0.5\xi}\right) \quad , \; B/H_i < 10 \qquad \text{Eq (A.45)}$$

$$K_t = -0.35\frac{R_c}{H_{si}} + 0.51\left(\frac{B}{H_{si}}\right)^{-0.65}\left(1 - e^{-0.41\xi}\right) \quad , \; B/H_i > 10 \qquad \text{Eq (A.46)}$$

DIMENSIONAMENTO DEI MASSI DI SCOGLIERA

Progetto DELOS

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = 0{,}06\left(\frac{R_c}{D_{n50}}\right)^2 - 0{,}23\frac{R_c}{D_{n50}} + 1{,}36 \qquad per \quad -3 \le Rc/D_{n50} < 2$$

Rc	-1,50			
Hi	3,7			
ρr	2600	[Kg/mc]		
ρw	1000	[Kg/mc]		
Δ	1,6	[-]		
Rc/D50	-1,09			
Dn50	1,37		c. obiettivo 0,00	PREMI
Hc/D50	2,26			
	CAMPO DI VALIDITA' VERIFICATO			
Dn50	*0,93*	[m]	Rule of Thumb	*Regola empirica DELOS*
W50	6,74	[t]	Tonnellaggio dei massi	

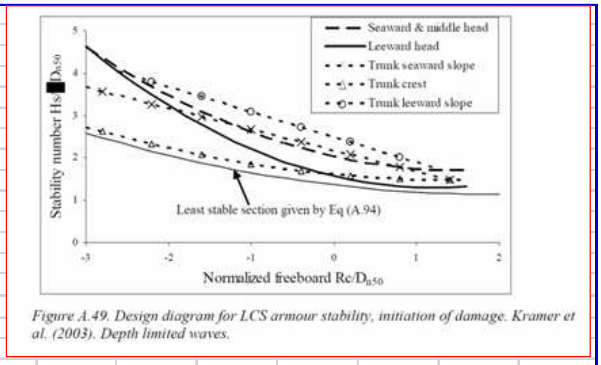


Figure A.49. Design diagram for LCS armour stability, initiation of damage. Kramer et al. (2003). Depth limited waves.

I massi di rifiorimento dell'opera sommersa saranno di 3A CATEGORIA

❖ **PENNELLO SEZIONE 'I'**

Per il dimensionamento dei pennelli in massi naturali si fa riferimento al pennello di levante, che presenta le condizioni più gravose di posizionamento (testata tra le batimetriche -3.00m/-4.00m).

Il pennello è verificato secondo la classica caratterizzazione delle scogliere a mare in massi naturali, specificando per il caso in esame:

- Profondità di calcolo (massimo al piede della testata):

  Fondale esistente: 3.50m+

  Sovralzo mareale: 0.30m+

  Sovralzo da vento: 0.50m=

  Sommano a totali: 4.30m, che si approssimano per il calcolo a 4.50 m di fondale.

Pertanto, non tenuto conto (a favore di sicurezza) del fenomeno di set down in prossimità del frangimento, viene ricercata la massima onda frangente sulla sopra determinata profondità, ricavandone:

α_0 [°] – direzione d'attacco	H0 [m]	Hf [m]	Tr[anni]	T [s]
210°N	4.884	3.60	2	9.30

Ponendo:

- α (pendenza media del paramento): 18.5° (scarpa di 1:3)
- L_{om} (la *lunghezza d'onda al largo riferita al periodo medio* Tm=0.92Tp = 9.97s (L_{om}~155m);
- H_s è l'*altezza d'onda significativa propagata sulla profondità di progetto*, 3.60m;
- D (*durata all'interno della mareggiata in cui l'altezza si mantiene superiore ad Hs*) = 8.20ore ~24 ore;

si ottiene ξ=1.98, D_{50}~1.30m.

Considerata per il calcolo dei volumi una forma cubica dei massi si ottiene: W50~5.88t, da cui **MASSI DI 3A CATEGORIA** (con maggiorazione Kd=1.2 limite di 3A Cat.)