

# **MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI**

**UFFICIO G.C. PER LE OPERE MARITTIME DI NAPOLI**

## **RADA DI PALINURO – COMUNE DI CENTOLA**

**STUDIO IDRAULICO-MARITTIMO PER IL PROGETTO DEL PROLUNGAMENTO  
DELLA TESTATA DEL MOLO DI SOPRAFLUTTO E DI AMPLIAMENTO E  
CONSOLIDAMENTO DELLA PARTE INTERNA PER RENDERE RIPARATO E  
SICURO L'ANCORAGGIO ALL'INTERNO DELLA RADA**

### ***CALCOLI DI STABILITA' IDRAULICA***

***Allegato 4***

  
**MODIMAR S.r.l.**

Prof. Ing. Alberto NOLI

Dott. Ing. Cristiano FALASCONI

Dott. Ing. Davide SALTARI

**Roma, Marzo 2005**

## **INDICE**

<b>1</b>	<b>GENERALITA' .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>VERIFICHE DI STABILITA' DELLE OPERE DI DIFESA A GETTATA .....</b>	<b>4</b>
2.1	NUCLEO.....	4
2.2	FILTRI .....	5
2.3	MANTELLATE.....	5
2.4	PIEDE DELLA MANTELLATA.....	8
2.5	PENDENZE PARAMENTI.....	9
2.6	DEFINIZIONE QUOTA DI CRESTA.....	9
2.7	VERIFICA DI STABILITÀ DEL MURO PARAONDE.....	13



## 1 GENERALITA'

Il porto di Palinuro ha una conformazione assimilabile a quella detta a bacino per la presenza di una diga di sopraflutto che crea un'area protetta dagli eventi del moto ondoso più significativi i quali per il paraggio costiero risultano essere caratterizzati da altezze d'onda decisamente elevate.

La diga foranea esistente è realizzata con la tradizionale tipologia a gettata costituita da una mantellata in massi artificiali (tetrapodi), da uno strato filtro costituito da cubi in calcestruzzo e da un nucleo in tout venant e pietrame.

La presente relazione di calcolo riguarda il dimensionamento della sezione corrente e della testata del prolungamento dell'opera di difesa della rada di Palinuro per le due seguenti configurazioni di progetto che prevedono il prolungamento del molo foraneo:

- lungo l'attuale orientamento (ruotato di circa  $60^\circ$  in senso orario rispetto al nord) per una lunghezza di 45 m, come riportato in figura 1, secondo quanto proposto dal Genio Civile OO. MM. di Napoli;
- lungo una direzione inclinata di circa  $40^\circ$  in senso orario rispetto all'attuale orientamento dell'opera di difesa ed avente una lunghezza di circa 50 m (vedi figura 2).

Considerate le sollecitazioni prodotte dalle onde di tipo non frangente dovute alla presenza di alti fondali di posa e volendo limitare nel tempo gli eventuali oneri di interventi futuri di manutenzione della mantellata, si è ritenuto opportuno dimensionare il prolungamento in esame per resistere alle onde che possono presentarsi a ridosso dell'opera per condizioni estreme di sovrizzo del livello marino (+0,5 m sul medio mare), associate a stati di mare estremi.



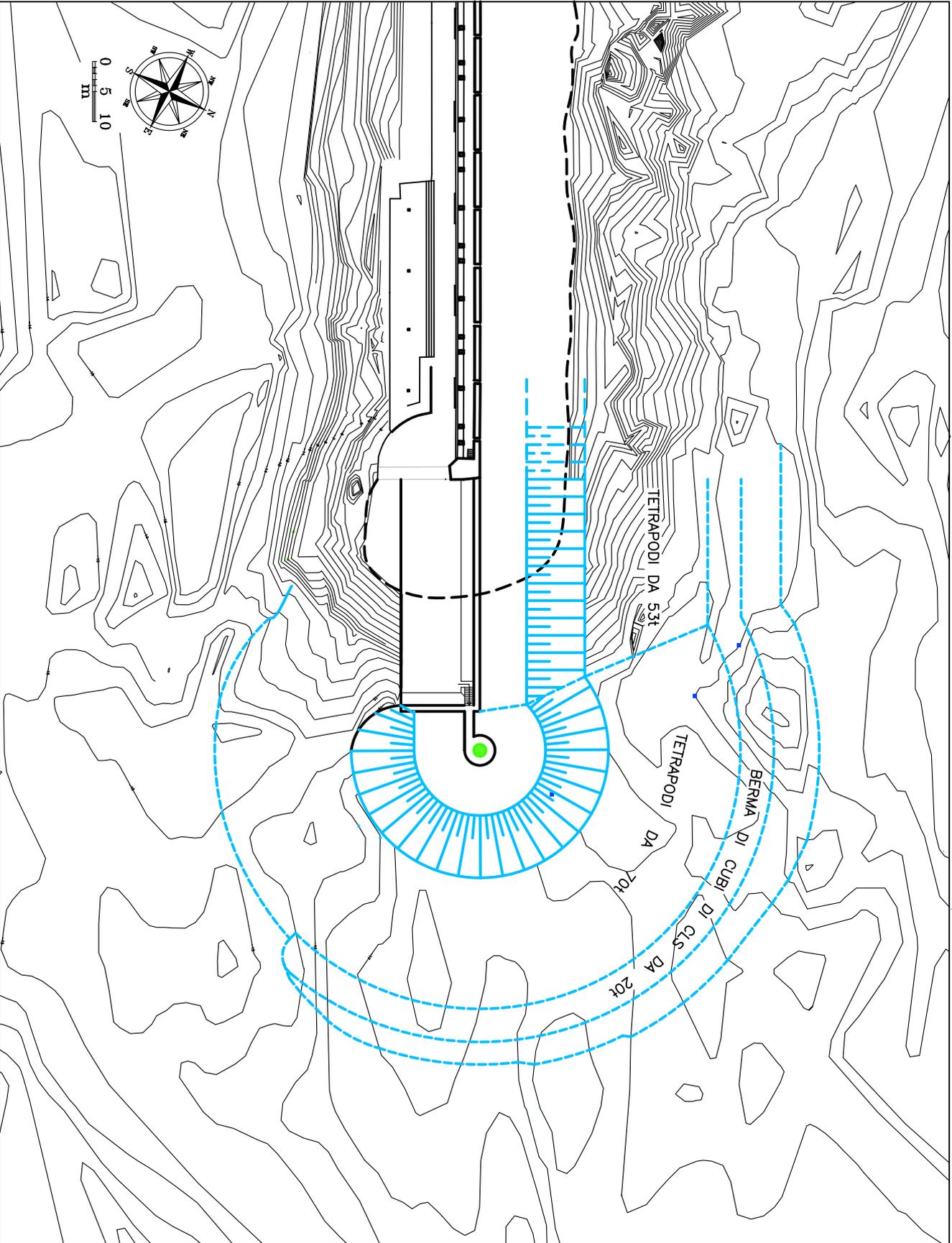


Fig.: 1 - PLANIMETRIA CON PROLUNGAMENTO RETTILINEO

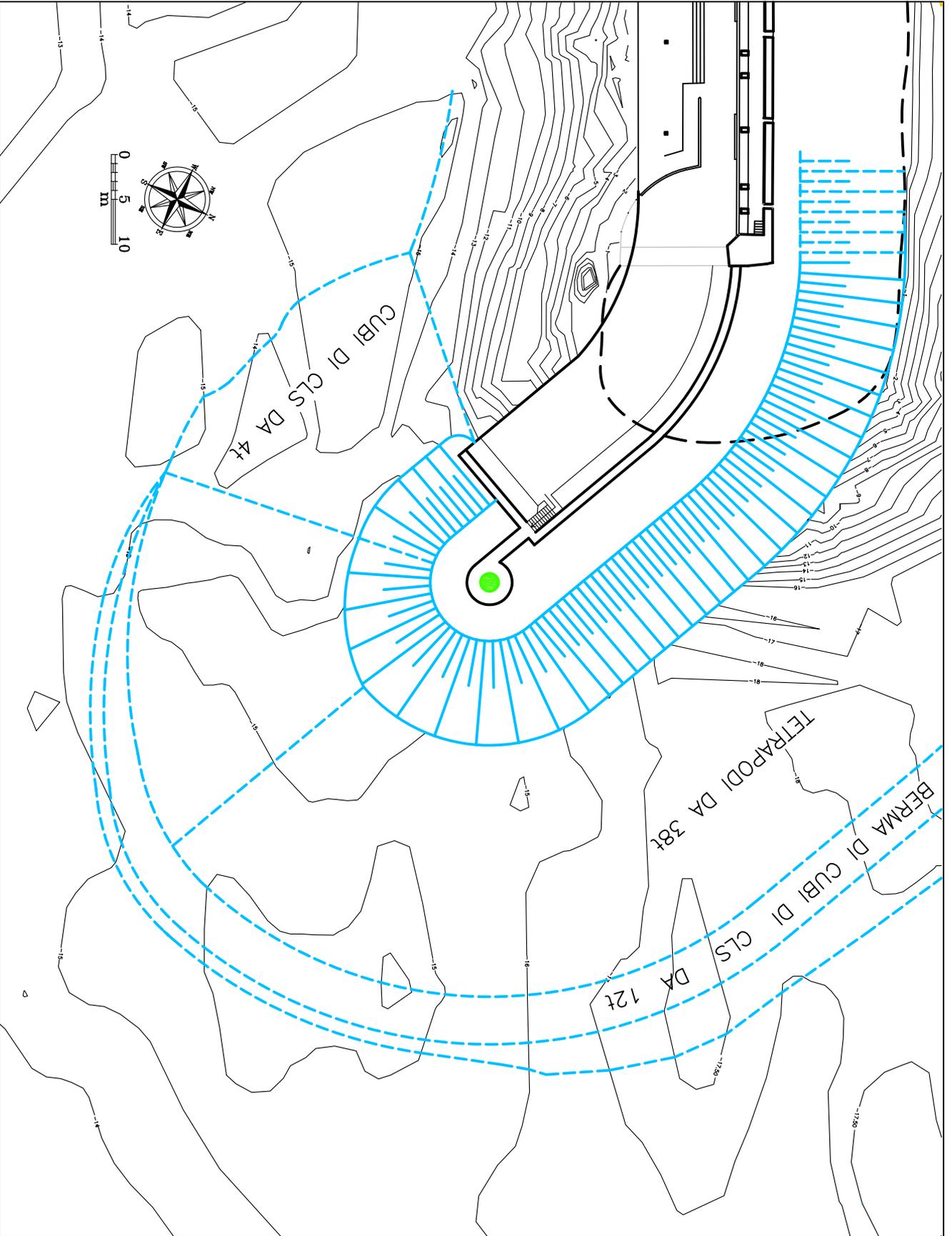


Fig.: 2 - PLANIMETRIA CON PROLUNGAMENTO CURVILINEO

## 2 VERIFICHE DI STABILITA' DELLE OPERE DI DIFESA A GETTATA

Il presente capitolo riguarda il dimensionamento della sezione corrente e della testata delle due soluzioni precedentemente citate relative al prolungamento della diga foranea esistente da realizzare secondo la tradizionale tipologia a gettata.

Per la realizzazione della mantellata è stato previsto l'utilizzo di massi artificiali "tetrapodi" in quanto gli elevati valori delle altezze d'onda che possono presentarsi nel paraggio costiero in esame e le elevate profondità di posa (variabili fra i 15 ed i 20 m), non consentono l'impiego dei massi naturali di grandi dimensioni. Infatti, anche qualora essi fossero reperibili (il che sembra da escludere) il trasporto e la posa in opera di tali elementi presenterebbe enormi difficoltà operative ed elevati oneri economici.

Per il dimensionamento delle principali componenti geometrico-strutturali del presente intervento si è fatto riferimento alle condizioni meteo-marine di progetto (onde, maree) determinate nello studio meteomarinario, tenendo anche in debito conto le reali esigenze costruttive.

### 2.1 *Nucleo*

Il corpo centrale dell'esistente opera a gettata esistente è costituito da materiale lapideo di pezzatura assortita con peso variabile tra 5 e 1000 Kg (50% 5-50 kg e 50% 50-1000 kg). Tale tipo di materiale verrà utilizzato anche per la realizzazione del prolungamento considerando che la gradazione adottata conferisce al nucleo un buono grado di impermeabilità e di compattezza.

La sommità del nucleo, durante la fase di avanzamento, si trova ad una quota costante nelle diverse sezioni ed è stata posizionata ad una quota opportuna (circa +0.50 m s.l.m.) per permettere l'esecuzione con mezzi terrestri anche in presenza di moto ondosso non eccessivo.

In realtà nella sezione corrente proposta, per limitare le quote di coronamento, si è deciso di posizionare la sommità del nucleo ad una quota di -1.90 m s.l.m., che solo in corrispondenza della base di appoggio del masso di coronamento viene innalzato fino alla quota di +0.50 m s.l.m.

Tale scelta è dettata da esigenze costruttive in quanto gli strati filtro sono costituiti da massi artificiali di tipo cubico disposti alla rinfusa aventi dimensioni non trascurabili, che non possono essere utilizzati per realizzare lo scanno di imbasamento del massiccio di coronamento occorrente al contenimento della mantellata in tetrapodi.



Peraltro, la larghezza del nucleo in sommità è dettata da esigenze funzionali oltre che idrauliche (riduzione delle permeazioni) ed è sufficiente a permettere il passaggio alternato della gru di posa in opera dei massi artificiali e degli automezzi di scarico del materiale costituente il tout-venant del nucleo.

## 2.2 Filtri

Al di sopra il nucleo e al di sotto dei massi costituenti la mantellata, per evitare il sifonamento del nucleo, è necessario interporre almeno uno strato filtro costituito da massi naturali di peso medio variabile tra 1/5 e 1/15 del peso dei massi sovrastanti.

Per il prolungamento non in asse sono previsti massi artificiali di forma cubica da 4.0 t sia nella sezione corrente che per la testata (fig. 3), mentre nel caso di prolungamento rettilineo il peso dei massi artificiali di forma cubica risulta maggiore del caso precedente e pari a 6.0 t nel caso della sezione corrente (fig. 4) ed a 8.0 t per la testata (fig. 5).

Lo spessore dello strato filtro ha un valore minimo ricavato con la seguente formula :

$$S = n K ( P / \gamma_m )^{1/3} \quad (1)$$

dove:             $n = 2$  - numero degli strati  
                      $K = 1.02$  - coefficiente di strato  
                      $\gamma_m = 2400 \text{ kg/m}^3$  - peso specifico del calcestruzzo  
                      $P$  - peso medio dei massi

Applicando la formula precedente si ottiene che lo spessore medio dovrà essere pari a 2.40 m per massi artificiali di forma cubica da 4 t, mentre per quelli da 6 e 8 t lo spessore del filtro deve essere rispettivamente pari a 3.70 e 4.10 m.

## 2.3 Mantellate

La mantellata esterna del prolungamento del molo di sopraflutto è costituita da massi artificiali tipo “tetrapodi” di peso differente a seconda che si adotti la soluzione con percorso rettilineo o quella con prolungamento curvilineo. Come accennato precedentemente l’adozione dei





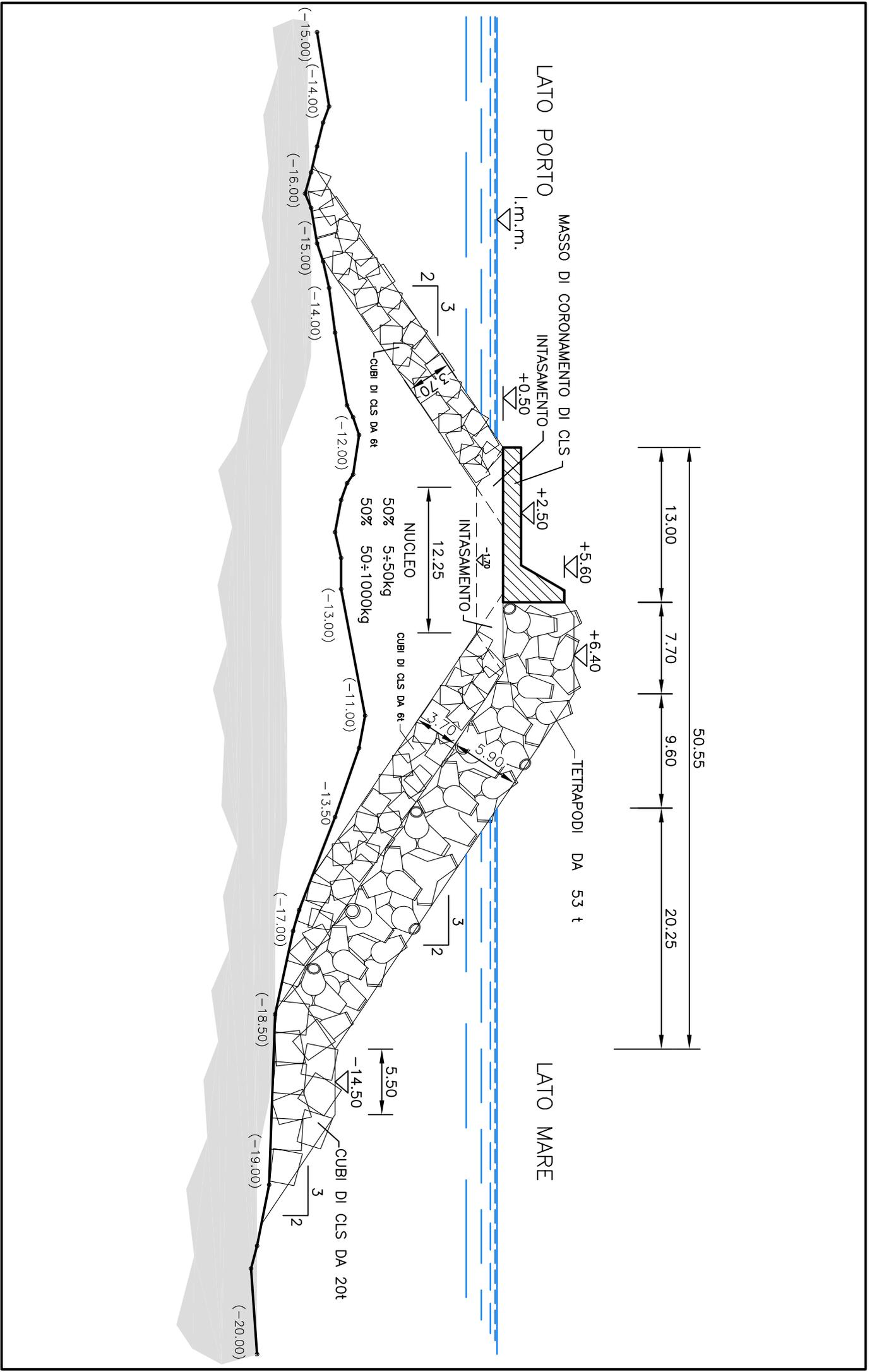


Fig.: 4 - SEZIONE CORRENTE PROLUNGAMENTO RETTILINEO (Tetrapodi da 53t)

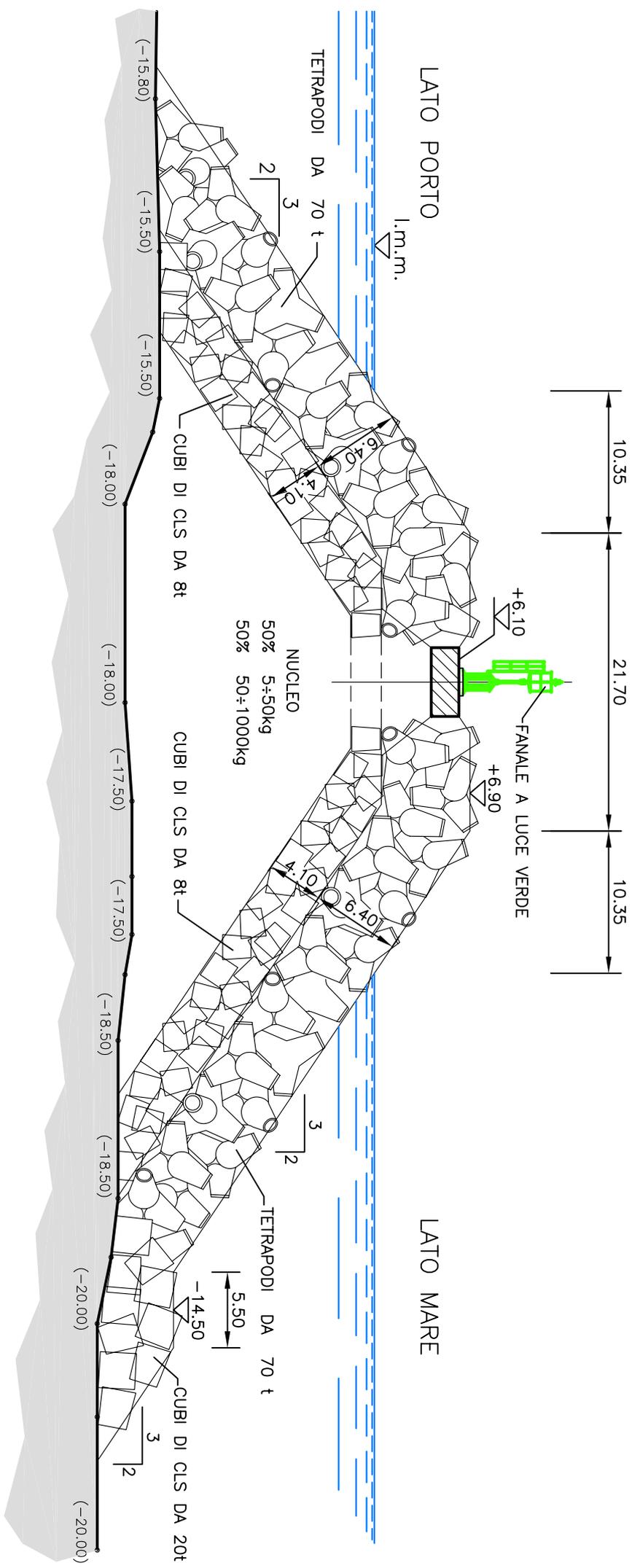


Fig.: 5 - SEZIONE TESTATA PROLUNGAMENTO RETTILINEO (Tetrapodi da 70t)

massi artificiali è dovuta alla presenza di alti fondali associata ad elevate altezze d'onda che possono presentarsi al piede dell'opera.

La messa in opera dei massi artificiali dovrà essere effettuata in maniera tale da garantire una porosità di circa il 50% per assicurare un'accettabile dissipazione dell'energia del moto ondoso ed allo stesso tempo una buona resistenza alla struttura.

I tetrapodi (brevettati nel 1950 dalla società francese Neyrpic Inc.) sono i primi elementi in calcestruzzo con una forma opportunamente studiata sia per aumentare rispetto ai massi tradizionali la capacità di assorbimento delle sollecitazioni d'urto dei getti liquidi, (la porosità raggiunge generalmente il 50%) e sia per limitare i movimenti relativi dovuti al moto ondoso, grazie ad un migliore incastro tra gli elementi. Inoltre la grande rugosità delle mantellate di tetrapodi riduce i fenomeni di riflessione e gli effetti di sormonto.

Recentemente sono state introdotte numerose altre tipologie di massi artificiali (accropodi, core-loc, ecc.) la cui validità è del tutto paragonabile a quella dei tetrapodi nel caso di fondali non troppo elevati, mentre è senz'altro migliore nel caso di fondali molto elevati e quindi di altezze d'onda considerevoli come nel caso in esame. Occorre però ricordare che questi nuovi tipi di massi artificiali incontrano notevoli resistenze da parte degli ambientalisti per l'inconsueto aspetto estetico.

Pertanto nella realizzazione del prolungamento in oggetto si è preferito adottare i tetrapodi che hanno come vantaggio il fatto di ben inserirsi nell'ambiente naturale e di costituire ormai agli occhi di tutti un elemento "tradizionale" e ben accettato.

Per il dimensionamento dei massi artificiali (tetrapodi) si è utilizzata la collaudata formula di Hudson che è una relazione semiempirica espressa dalla seguente relazione:

$$W_{50} = \gamma_m \times H_s^3 / [(\gamma_m / \gamma_a - 1)^3 \times K_d \times \text{ctg}\alpha]$$

dove :

$H_s$  = altezza d'onda significativa (m) funzione dell'altezza dei fondali.

$W_{50}$  = peso medio teorico dei singoli massi (t).

$\gamma_m$  = il peso specifico di volume dei massi, assunto pari a 2,40 t/m<sup>3</sup> per il calcestruzzo.

$\gamma_a$  = peso specifico dell'acqua marina, pari a 1,03 t/m<sup>3</sup>



$K_d$  = coefficiente di stabilità dipendente da numerosi parametri quali il tipo di masso, la pendenza, il tipo di onda, la percentuale di danneggiamento assunta  $< 5\%$  (= 8 e 5.5 per tetrapodi in condizioni di onda non frangente rispettivamente in sezione corrente ed in testata con pendenze pari a 1/2, mentre tale valori vengono assunti pari a 8 e 6 per pendenze pari a 2/3).

$\alpha$  = pendenza della scarpata sull'orizzontale.

La valutazione dell'altezza d'onda  $H_{sb}$  al piede dell'opera, di tipo non frangente per le elevate profondità al piede dell'opera, è stata effettuata facendo riferimento alle note relazioni di Goda e di Kamphuis, considerando cautelativamente una sopraelevazione eccezionale del livello marino di 0.5 m (vedasi studio meteo-marino).

Dai risultati delle verifiche di stabilità emerge che, nel caso si adotti il prolungamento curvilineo con pendenze dei paramenti della sezione corrente di 1/2, il peso dei tetrapodi è pari a 38 t, mentre per la testata si sono ottenuti valori pari a 47 t. La scelta di utilizzare un prolungamento curvilineo offre inoltre il vantaggio di poter utilizzare gli stessi tetrapodi da 38 t anche per la testata del prolungamento in quanto essa risulta maggiormente protetta dall'attacco del moto ondoso rispetto alla sezione corrente; in effetti muovendosi lungo la testata l'obliquità dell'incidenza del moto ondoso incrementa gradualmente per cui si verifica una diminuzione delle altezze d'onda ed un aumento della stabilità dei tetrapodi nella zona più delicata dell'opera di difesa (\*). Invece, assumendo il prolungamento rettilineo e pendenze della scarpata lato mare di 2/3, per la sezione corrente si ottengono pesi dei massi artificiali maggiori di quasi un terzo (cioè pari a 53 t), mentre per la testata l'aumento di peso assume un ordine di grandezza quasi doppio (ovvero pari a 70 t).

Dall'analisi dei risultati ottenuti si evince come la scelta del prolungamento inclinato di circa  $40^\circ$  rispetto all'asse dell'opera di difesa esistente comporta la realizzazione di massi artificiali di dimensioni più contenute rispetto a quelle dei tetrapodi che si dovrebbero adottare per realizzare il prolungamento rettilineo, con conseguente risparmio di materiale e minori difficoltà di esecuzione, trasporto e posa in opera.

---

(\*) Per la determinazione delle altezze d'onda e la risposta dei massi artificiali (tetrapodi) agli attacchi di moto ondoso obliquo, si è fatto riferimento agli esperimenti su modello fisico eseguiti da J. C. Galland nel Maggio 1993 e riportati nell'articolo "Rubble mound breakwater stability under oblique waves".



Infine si è provveduto al dimensionamento della sezione corrente e della testata con un altro tipo di masso artificiale, l'accropodo, che presenta elevate caratteristiche di stabilità ed il grande vantaggio di una posa secondo un solo strato con riduzione degli spessori delle mantellate e risparmio di calcestruzzo. Dalle verifiche effettuate si evince che il peso degli elementi nel caso si adottasse un prolungamento rettilineo è pari a 35 t per la sezione corrente (vedi figura 6) e di 46 t per la testata, mentre nel caso in cui fosse adottato il prolungamento curvilineo si potrebbero utilizzare pesi degli elementi pari a 28 t sia per la sezione corrente che per la testata.

#### 2.4 Piede della mantellata

L'unghia al piede della mantellata ha la funzione di sostenere e di proteggere il filtro, la mantellata ed il terreno sottostante dall'azione diretta del moto ondoso. Il dimensionamento dei massi al piede è determinato principalmente dalla profondità dell'acqua sopra la cresta in rapporto all'altezza d'onda incidente. All'aumentare della profondità si riduce l'azione idrodinamica e di conseguenza il peso dei massi necessario.

Secondo quanto previsto dal criterio di dimensionamento generale il peso dei massi è dell'ordine di  $P/10$  rispetto al peso  $P$  dei massi di mantellata e la profondità della sommità del doppio strato dovrebbe essere maggiore di  $1 H_s$  sotto il livello marino per non subire gli effetti della ridiscesa dell'onda in corrispondenza del cavo ed evitare il frangimento diretto.

La verifica di stabilità del piede può essere effettuata con la moderna formula di Gerding (1993):

$$\frac{H_s}{D_{n50}} = \left( 0.24 \frac{h_t}{D_{n50}} + 1.6 \right) N_{od}^{0.15}$$

dove:

$h_t$  = profondità cresta

$N_{od}$  = è il numero di danneggiamento ( $\leq 0.5$  nessun danno,  $0.5 \leq N_{od} \leq 2$  leggero spianamento,  $\geq 4$  completo spianamento).

Dai calcoli effettuati per la sezione corrente risulta necessario l'impiego di massi di peso pari a 12 t nel caso della soluzione con prolungamento curvilineo, mentre per la configurazione che prevede il prolungamento rettilineo sono necessari massi da 20 t. Considerando l'elevato peso dei massi ottenuti si è ritenuto opportuno continuare ad utilizzare massi artificiali di tipo cubico che andranno disposti alla rinfusa sul fondo per la formazione della berma al piede su cui poggeranno i tetrapodi ed i massi dello strato filtro.



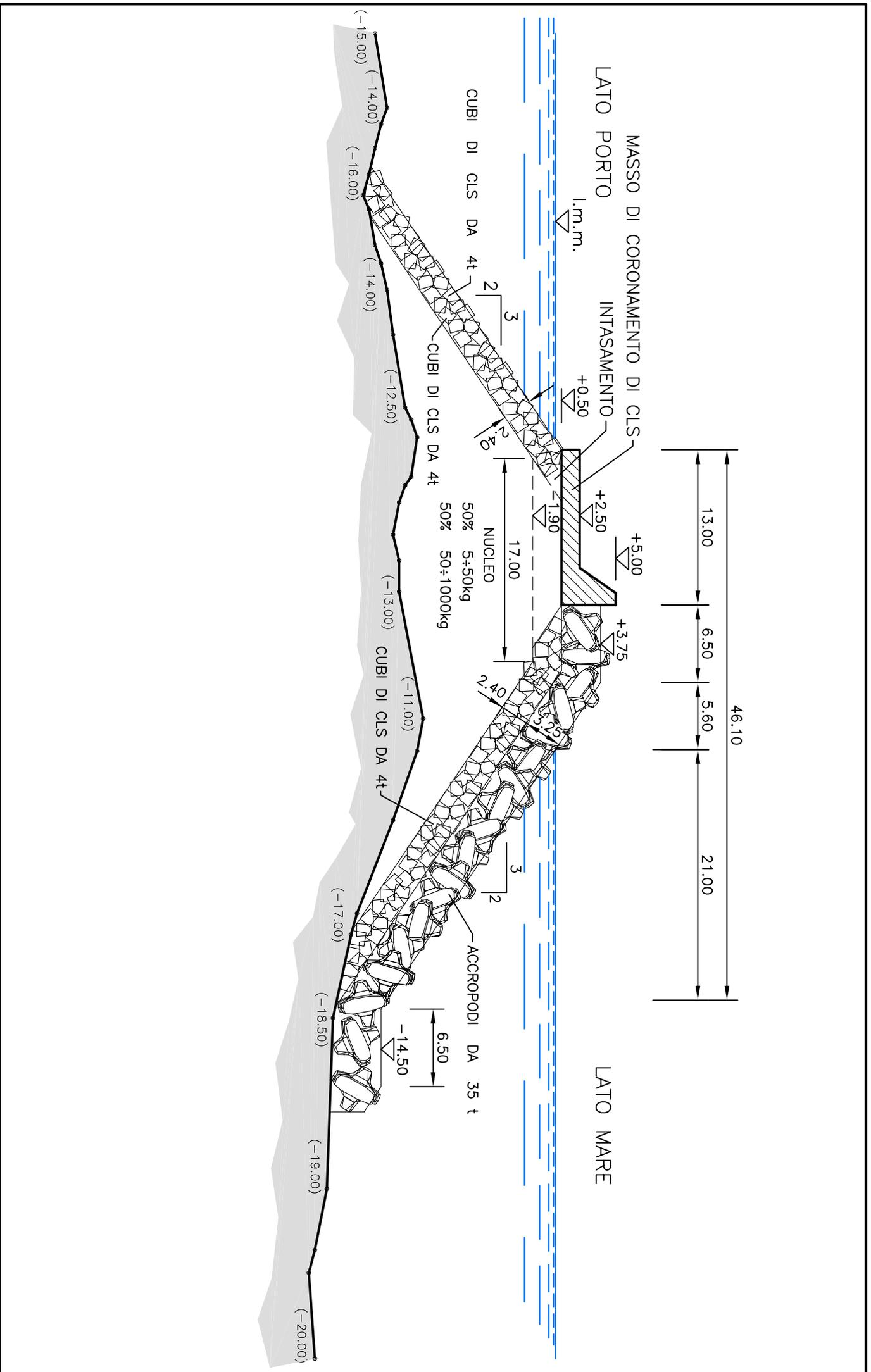
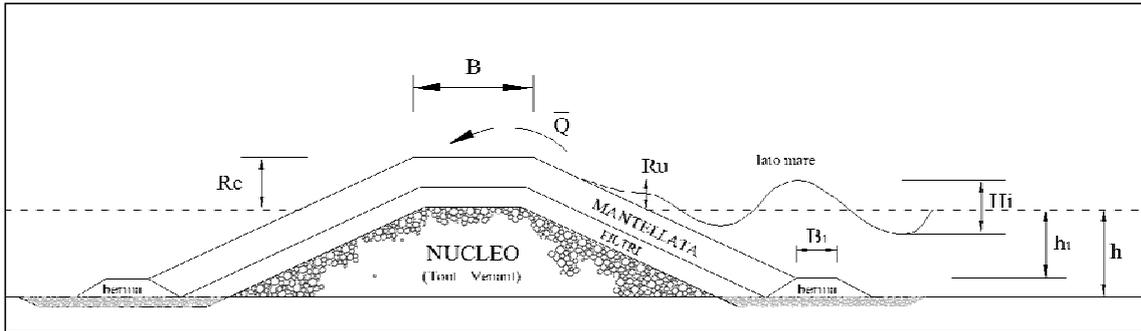


Fig.: 6 - SEZIONE CORRENTE PROLUNGAMENTO RETTILINEO (Accropodi da 35t)

**DIGA FRANGIFLUTTO A GETTATA**  
**DIMENSIONAMENTO IDRAULICO-STRUTTURALE: MANTELLATA IN TETRAPODI**  
**SEZIONE CORRENTE CON PROLUNGAMENTO RETTILINEO**



**Caratteristiche dell'onda di progetto al largo**

Altezza d'onda significativa al largo (m)	$H_{so}$	10.93	
Periodo di picco (s)	$T_p$	16.53	
Periodo medio (s)	$T_m$	13.72	
Lunghezza d'onda al largo relativa a $T_p$ (m)	$L_{op}$	426.5	
Lunghezza d'onda al largo relativa a $T_m$ (m)	$L_{om}$	293.8	
Ripidità dell'onda al largo relativa a $T_p$	$s_o$	0.026	
Sovralzo massimo del livello medio marino (m s.l.m.)	$S_m$	0.50	
Altezza d'onda significativa al piede dell'opera (m)	$H_{so}$	9.29	
Altezza d'onda significativa al piede dell'opera con riduzione per attacco obliquo (m)	$H_{so}$	8.50	40°

**Caratteristiche del fondale di imbasamento della barriera**

Profondità del fondale al piede dell'opera (m s.l.m.)	$h$	18.00
Pendenza del fondale al piede dell'opera	$m$	1/25

**Onda di progetto a ridosso della barriera**

**ONDA FRANGENTE**

Altezza d'onda max frangente al piede dell'opera (m)	$H_b$	11.92	Kamphuis	Goda
Altezza d'onda di progetto (m)	$H_s$	8.50		
Lunghezza d'onda al piede dell'opera (m)	$L'_p$	212.51		
Ripidità dell'onda a ridosso dell'opera	$s'_c$	0.056		0.05
Ripidità dell'onda ( $T_p$ )	$s_{op}$	0.020		
Ripidità dell'onda ( $T_m$ )	$s_{om}$	0.029		

**Caratteristiche geometriche della diga frangiflutti**

Quota della berma di sommità (m s.l.m.)	$R_c$	6.60	<b>barriera</b>
Larghezza berma (m)	$B$	20.70	
Pendenza paramento lato mare	$\cot\alpha$	1.50	
Porosità d'insieme della mantellata	$P$	0.50	

**Caratteristiche dei massi di mantellata**

Coefficiente di stabilità	tipo:	tetrapodi
Peso specifico apparente dei massi ( $kg/m^3$ )	$K_d$	8.00
Peso specifico dell'acqua marina ( $kg/m^3$ )	$\rho_r$	2400
Densità relativa dei massi di mantellata	$\rho_w$	1030
	$\Delta = (\rho_r/\rho_w - 1)$	1.33

## VERIFICHE STRUTTURALI

### Dimensionamento massi di mantellata

VALORI CARATTERISTICI MINIMI (formula di Hudson)

Peso (t)	<b>M</b>	47.75
Volume (m <sup>3</sup> )	<b>V</b>	19.90
Altezza elemento (m)	<b>h</b>	4.14
Spessore mantellata (m)	<b>s</b>	5.63

VALORI CARATTERISTICI DI PROGETTO

Peso (t)	<b>M*</b>	47.00
Altezza elemento (m)	<b>h*</b>	4.12
Volume (m <sup>3</sup> )	<b>V*</b>	19.58
Spessore mantellata (m)	<b>s*</b>	5.60
Coefficiente di stabilità	<b>Kd*</b>	5.59
Numero di stabilità	<b>Ns</b>	2.24

### Dimensionamento strati filtro

Peso medio (t)	<b>M<sub>n50</sub></b>	5.00
Peso specifico apparente dei massi (kg/m <sup>3</sup> )	<b>ρ<sub>r</sub></b>	2400
Diametro medio (m)	<b>D<sub>n50</sub></b>	1.28
Spessore strato filtro (m)	<b>s*</b>	1.74

### Stabilità berma al piede

Profondità berma al piede (m)	<b>h<sub>t</sub></b>	14.00
Peso specifico apparente dei massi (kg/m <sup>3</sup> )	<b>ρ<sub>r</sub></b>	2400
Densità relativa dei massi della berma al piede	<b>Δ = (ρ<sub>r</sub>/ρ<sub>w</sub> - 1)</b>	1.33
Livello di danneggiamento	<b>N<sub>od</sub></b>	0.50

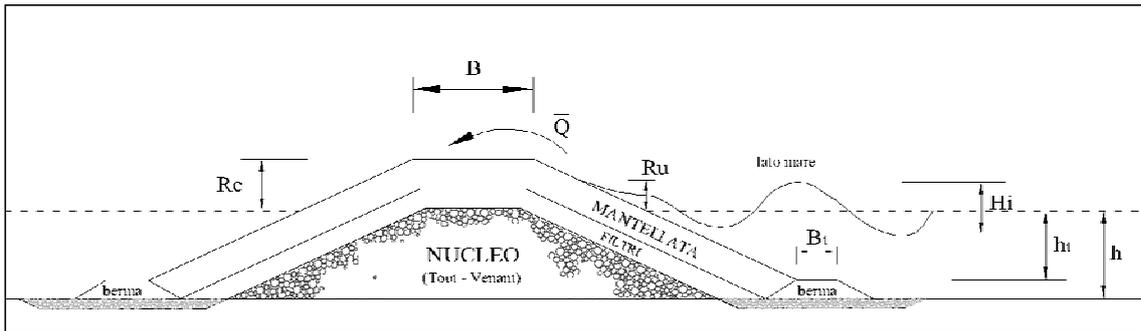
### Formula di Gerding

Diametro medio minimo	<b>D<sub>n50min</sub></b>	1.80
Peso minimo medio dei massi (t)	<b>M<sub>50min</sub></b>	13.98

VALORI CARATTERISTICI DI PROGETTO

Peso medio dei massi (t)	<b>M<sub>50</sub>*</b>	12.00
Diametro medio (m)	<b>D<sub>n50</sub>*</b>	1.71
Profondità berma al piede (m)	<b>h<sub>t</sub>*</b>	14.00
Livello di danneggiamento	<b>N<sub>od</sub>*</b>	0.57

**DIGA FRANGIFLUTTO A GETTATA**  
**DIMENSIONAMENTO IDRAULICO-STRUTTURALE: MANTELLATA IN TETRAPODI**  
**TESTATA CON PROLUNGAMENTO RETTILINEO**



**Caratteristiche dell'onda di progetto al largo**

Altezza d'onda significativa al largo (m)	<b>H<sub>so</sub></b>	10.93	
Periodo di picco (s)	<b>T<sub>p</sub></b>	16.53	
Periodo medio (s)	<b>T<sub>m</sub></b>	13.72	
Lunghezza d'onda al largo relativa a T <sub>p</sub> (m)	<b>L<sub>op</sub></b>	426.5	
Lunghezza d'onda al largo relativa a T <sub>m</sub> (m)	<b>L<sub>om</sub></b>	293.8	
Ripidità dell'onda al largo relativa a T <sub>p</sub>	<b>s<sub>o</sub></b>	0.026	
Sovralzo massimo del livello medio marino (m s.l.m.)	<b>S<sub>m</sub></b>	0.50	
Altezza d'onda significativa al piede dell'opera (m)	<b>H<sub>so</sub></b>	9.29	
Altezza d'onda significativa al piede dell'opera con riduzione per attacco obliquo (m)	<b>H<sub>so</sub></b>	8.50	40°

**Caratteristiche del fondale di imbasamento della barriera**

Profondità del fondale al piede dell'opera (m s.l.m.)	<b>h</b>	18.00
Pendenza del fondale al piede dell'opera	<b>m</b>	1/25

**Onda di progetto a ridosso della barriera**

**ONDA FRANGENTE**

Altezza d'onda max frangente al piede dell'opera (m)	<b>H<sub>b</sub></b>	11.92	Kamphuis	Goda
Altezza d'onda di progetto (m)	<b>H<sub>s</sub></b>	8.50		
Lunghezza d'onda al piede dell'opera (m)	<b>L'<sub>p</sub></b>	212.51		
Ripidità dell'onda a ridosso dell'opera	<b>s'<sub>c</sub></b>	0.056		0.05
Ripidità dell'onda (T <sub>p</sub> )	<b>s<sub>op</sub></b>	0.020		
Ripidità dell'onda (T <sub>m</sub> )	<b>s<sub>om</sub></b>	0.029		

**Caratteristiche geometriche della diga frangiflutti**

Quota della berma di sommità (m s.l.m.)	<b>R<sub>c</sub></b>	6.60	<b>barriera</b>
Larghezza berma (m)	<b>B</b>	20.70	
Pendenza paramento lato mare	<b>cotgα</b>	1.50	
Porosità d'insieme della mantellata	<b>P</b>	0.50	

**Caratteristiche dei massi di mantellata**

Coefficiente di stabilità	<b>K<sub>d</sub></b>	6.00	tipo: tetrapodi
Peso specifico apparente dei massi (kg/m <sup>3</sup> )	<b>ρ<sub>r</sub></b>	2400	
Peso specifico dell'acqua marina (kg/m <sup>3</sup> )	<b>ρ<sub>w</sub></b>	1030	
Densità relativa dei massi di mantellata	<b>Δ = (ρ<sub>r</sub>/ρ<sub>w</sub> - 1)</b>	1.33	

## VERIFICHE STRUTTURALI

### Dimensionamento massi di mantellata

VALORI CARATTERISTICI MINIMI (formula di Hudson)

Peso (t)	<b>M</b>	69.55
Volume (m <sup>3</sup> )	<b>V</b>	28.98
Altezza elemento (m)	<b>h</b>	4.70
Spessore mantellata (m)	<b>s</b>	6.39

VALORI CARATTERISTICI DI PROGETTO

Peso (t)	<b>M*</b>	70.00
Altezza elemento (m)	<b>h*</b>	4.71
Volume (m <sup>3</sup> )	<b>V*</b>	29.17
Spessore mantellata (m)	<b>s*</b>	6.40
Coefficiente di stabilità	<b>Kd*</b>	5.96
Numero di stabilità	<b>Ns</b>	2.08

### Dimensionamento strati filtro

Peso medio (t)	<b>M<sub>n50</sub></b>	8.00
Peso specifico apparente dei massi (kg/m <sup>3</sup> )	<b>ρ<sub>r</sub></b>	2400
Diametro medio (m)	<b>D<sub>n50</sub></b>	1.49
Spessore strato filtro (m)	<b>s*</b>	2.03

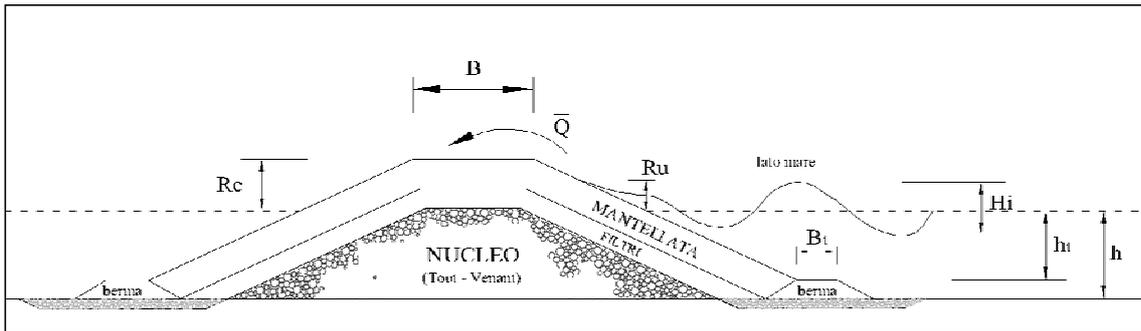
### Stabilità berma al piede

Profondità berma al piede (m)	<b>h<sub>t</sub></b>	13.00
Peso specifico apparente dei massi (kg/m <sup>3</sup> )	<b>ρ<sub>r</sub></b>	2400
Densità relativa dei massi della berma al piede	<b>Δ = (ρ<sub>r</sub>/ρ<sub>w</sub> - 1)</b>	1.33
Livello di danneggiamento	<b>N<sub>od</sub></b>	0.50

### Formula di Gerding

Diametro medio minimo	<b>D<sub>n50min</sub></b>	1.99
Peso minimo medio dei massi (t)	<b>M<sub>50min</sub></b>	18.84
VALORI CARATTERISTICI DI PROGETTO		
Peso medio dei massi (t)	<b>M<sub>50</sub>*</b>	20.00
Diametro medio (m)	<b>D<sub>n50</sub>*</b>	2.03
Profondità berma al piede (m)	<b>h<sub>t</sub>*</b>	13.00
Livello di danneggiamento	<b>N<sub>od</sub>*</b>	0.47

**DIGA FRANGIFLUTTO A GETTATA**  
**DIMENSIONAMENTO IDRAULICO-STRUTTURALE: MANTELLATA IN TETRAPODI**  
**SEZIONE CORRENTE CON PROLUNGAMENTO NON IN ASSE**



**Caratteristiche dell'onda di progetto al largo**

Altezza d'onda significativa al largo (m)	<b>H<sub>so</sub></b>	10.93	
Periodo di picco (s)	<b>T<sub>p</sub></b>	16.53	
Periodo medio (s)	<b>T<sub>m</sub></b>	13.72	
Lunghezza d'onda al largo relativa a T <sub>p</sub> (m)	<b>L<sub>op</sub></b>	426.5	
Lunghezza d'onda al largo relativa a T <sub>m</sub> (m)	<b>L<sub>om</sub></b>	293.8	
Ripidità dell'onda al largo relativa a T <sub>p</sub>	<b>s<sub>o</sub></b>	0.026	
Sovralzo massimo del livello medio marino (m s.l.m.)	<b>S<sub>m</sub></b>	0.50	
Altezza d'onda significativa al piede dell'opera (m)	<b>H<sub>so</sub></b>	9.29	
Altezza d'onda significativa al piede dell'opera con riduzione per attacco obliquo (m)	<b>H<sub>so</sub></b>	8.50	40°

**Caratteristiche del fondale di imbasamento della barriera**

Profondità del fondale al piede dell'opera (m s.l.m.)	<b>h</b>	18.00
Pendenza del fondale al piede dell'opera	<b>m</b>	1/25

**Onda di progetto a ridosso della barriera**

**ONDA FRANGENTE**

Altezza d'onda max frangente al piede dell'opera (m)	<b>H<sub>b</sub></b>	11.92	Kamphuis	Goda
Altezza d'onda di progetto (m)	<b>H<sub>s</sub></b>	8.50		
Lunghezza d'onda al piede dell'opera (m)	<b>L'<sub>p</sub></b>	212.51		
Ripidità dell'onda a ridosso dell'opera	<b>s'<sub>c</sub></b>	0.056		0.05
Ripidità dell'onda (T <sub>p</sub> )	<b>s<sub>op</sub></b>	0.020		
Ripidità dell'onda (T <sub>m</sub> )	<b>s<sub>om</sub></b>	0.029		

**Caratteristiche geometriche della diga frangiflutti**

Quota della berma di sommità (m s.l.m.)	<b>R<sub>c</sub></b>	5.80	<b>barriera</b>
Larghezza berma (m)	<b>B</b>	19.00	
Pendenza paramento lato mare	<b>cotgα</b>	2.00	
Porosità d'insieme della mantellata	<b>P</b>	0.50	

**Caratteristiche dei massi di mantellata**

Coefficiente di stabilità	<b>K<sub>d</sub></b>	8.00	tipo: tetrapodi
Peso specifico apparente dei massi (kg/m <sup>3</sup> )	<b>ρ<sub>r</sub></b>	2400	
Peso specifico dell'acqua marina (kg/m <sup>3</sup> )	<b>ρ<sub>w</sub></b>	1030	
Densità relativa dei massi di mantellata	<b>Δ = (ρ<sub>r</sub>/ρ<sub>w</sub> - 1)</b>	1.33	

## VERIFICHE STRUTTURALI

### Dimensionamento massi di mantellata

VALORI CARATTERISTICI MINIMI (formula di Hudson)

Peso (t)	<b>M</b>	39.12
Volume (m <sup>3</sup> )	<b>V</b>	16.30
Altezza elemento (m)	<b>h</b>	3.88
Spessore mantellata (m)	<b>s</b>	5.27

VALORI CARATTERISTICI DI PROGETTO

Peso (t)	<b>M*</b>	38.00
Altezza elemento (m)	<b>h*</b>	3.84
Volume (m <sup>3</sup> )	<b>V*</b>	15.83
Spessore mantellata (m)	<b>s*</b>	5.22
Coefficiente di stabilità	<b>Kd*</b>	8.24
Numero di stabilità	<b>Ns</b>	2.54

### Dimensionamento strati filtro

Peso medio (t)	<b>M<sub>n50</sub></b>	4.00
Peso specifico apparente dei massi (kg/m <sup>3</sup> )	<b>ρ<sub>r</sub></b>	2400
Diametro medio (m)	<b>D<sub>n50</sub></b>	1.19
Spessore strato filtro (m)	<b>s*</b>	1.61

### Stabilità berma al piede

Profondità berma al piede (m)	<b>h<sub>t</sub></b>	14.00
Peso specifico apparente dei massi (kg/m <sup>3</sup> )	<b>ρ<sub>r</sub></b>	2400
Densità relativa dei massi della berma al piede	<b>Δ = (ρ<sub>r</sub>/ρ<sub>w</sub> - 1)</b>	1.33
Livello di danneggiamento	<b>N<sub>od</sub></b>	0.50

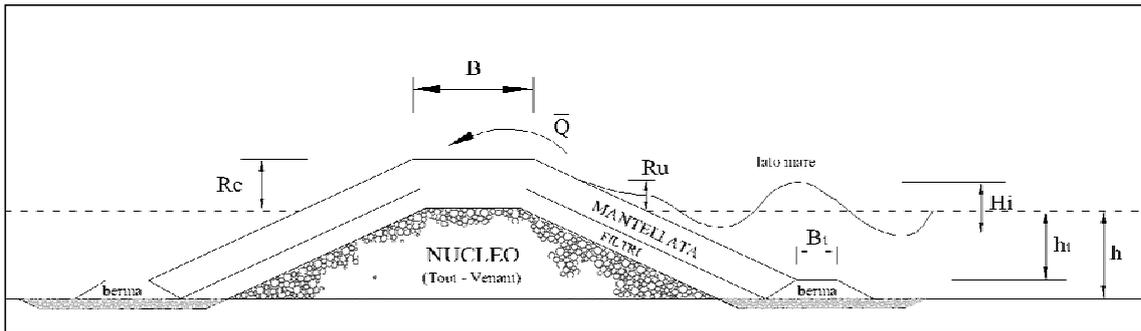
### Formula di Gerding

Diametro medio minimo	<b>D<sub>n50min</sub></b>	1.80
Peso minimo medio dei massi (t)	<b>M<sub>50min</sub></b>	13.98

VALORI CARATTERISTICI DI PROGETTO

Peso medio dei massi (t)	<b>M<sub>50</sub>*</b>	12.00
Diametro medio (m)	<b>D<sub>n50</sub>*</b>	1.71
Profondità berma al piede (m)	<b>h<sub>t</sub>*</b>	14.00
Livello di danneggiamento	<b>N<sub>od</sub>*</b>	0.57

**DIGA FRANGIFLUTTO A GETTATA**  
**DIMENSIONAMENTO IDRAULICO-STRUTTURALE: MANTELLATA IN TETRAPODI**  
**TESTATA CON PROLUNGAMENTO NON IN ASSE**



**Caratteristiche dell'onda di progetto al largo**

Altezza d'onda significativa al largo (m)	<b>H<sub>so</sub></b>	10.93	
Periodo di picco (s)	<b>T<sub>p</sub></b>	16.53	
Periodo medio (s)	<b>T<sub>m</sub></b>	13.72	
Lunghezza d'onda al largo relativa a T <sub>p</sub> (m)	<b>L<sub>op</sub></b>	426.5	
Lunghezza d'onda al largo relativa a T <sub>m</sub> (m)	<b>L<sub>om</sub></b>	293.8	
Ripidità dell'onda al largo relativa a T <sub>p</sub>	<b>s<sub>o</sub></b>	0.026	
Sovralzo massimo del livello medio marino (m s.l.m.)	<b>S<sub>m</sub></b>	0.50	
Altezza d'onda significativa al piede dell'opera (m)	<b>H<sub>so</sub></b>	9.29	
Altezza d'onda significativa al piede dell'opera con riduzione per attacco obliquo (m)	<b>H<sub>so</sub></b>	8.02	50°

**Caratteristiche del fondale di imbasamento della barriera**

Profondità del fondale al piede dell'opera (m s.l.m.)	<b>h</b>	18.00
Pendenza del fondale al piede dell'opera	<b>m</b>	1/25

**Onda di progetto a ridosso della barriera**

**ONDA FRANGENTE**

Altezza d'onda max frangente al piede dell'opera (m)	<b>H<sub>b</sub></b>	11.92	Kamphuis	Goda
Altezza d'onda di progetto (m)	<b>H<sub>s</sub></b>	8.50		
Lunghezza d'onda al piede dell'opera (m)	<b>L'<sub>p</sub></b>	212.51		
Ripidità dell'onda a ridosso dell'opera	<b>s'<sub>c</sub></b>	0.056		0.05
Ripidità dell'onda (T <sub>p</sub> )	<b>s<sub>op</sub></b>	0.020		
Ripidità dell'onda (T <sub>m</sub> )	<b>s<sub>om</sub></b>	0.029		

**Caratteristiche geometriche della diga frangiflutti**

Quota della berma di sommità (m s.l.m.)	<b>R<sub>c</sub></b>	5.80	<b>barriera</b>
Larghezza berma (m)	<b>B</b>	19.00	
Pendenza paramento lato mare	<b>cotgα</b>	2.00	
Porosità d'insieme della mantellata	<b>P</b>	0.50	

**Caratteristiche dei massi di mantellata**

Coefficiente di stabilità	<b>K<sub>d</sub></b>	5.50	tipo: tetrapodi
Peso specifico apparente dei massi (kg/m <sup>3</sup> )	<b>ρ<sub>r</sub></b>	2400	
Peso specifico dell'acqua marina (kg/m <sup>3</sup> )	<b>ρ<sub>w</sub></b>	1030	
Densità relativa dei massi di mantellata	<b>Δ = (ρ<sub>r</sub>/ρ<sub>w</sub> - 1)</b>	1.33	

## VERIFICHE STRUTTURALI

### Dimensionamento massi di mantellata

VALORI CARATTERISTICI MINIMI (formula di Hudson)

Peso (t)	<b>M</b>	47.75
Volume (m <sup>3</sup> )	<b>V</b>	19.90
Altezza elemento (m)	<b>h</b>	4.14
Spessore mantellata (m)	<b>s</b>	5.63

VALORI CARATTERISTICI DI PROGETTO

Peso (t)	<b>M*</b>	47.00
Altezza elemento (m)	<b>h*</b>	4.12
Volume (m <sup>3</sup> )	<b>V*</b>	19.58
Spessore mantellata (m)	<b>s*</b>	5.60
Coefficiente di stabilità	<b>Kd*</b>	5.59
Numero di stabilità	<b>Ns</b>	2.24

### Dimensionamento strati filtro

Peso medio (t)	<b>M<sub>n50</sub></b>	5.00
Peso specifico apparente dei massi (kg/m <sup>3</sup> )	<b>ρ<sub>r</sub></b>	2400
Diametro medio (m)	<b>D<sub>n50</sub></b>	1.28
Spessore strato filtro (m)	<b>s*</b>	1.74

### Stabilità berma al piede

Profondità berma al piede (m)	<b>h<sub>t</sub></b>	14.00
Peso specifico apparente dei massi (kg/m <sup>3</sup> )	<b>ρ<sub>r</sub></b>	2400
Densità relativa dei massi della berma al piede	<b>Δ = (ρ<sub>r</sub>/ρ<sub>w</sub> - 1)</b>	1.33
Livello di danneggiamento	<b>N<sub>od</sub></b>	0.50

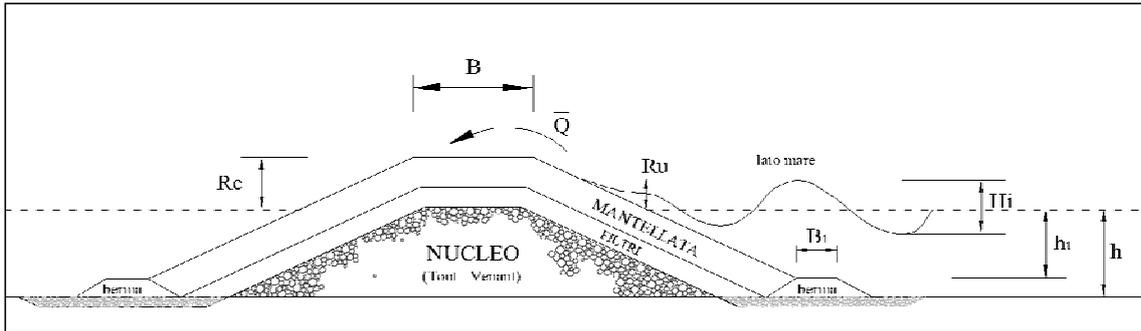
### Formula di Gerding

Diametro medio minimo	<b>D<sub>n50min</sub></b>	1.80
Peso minimo medio dei massi (t)	<b>M<sub>50min</sub></b>	13.98

VALORI CARATTERISTICI DI PROGETTO

Peso medio dei massi (t)	<b>M<sub>50</sub>*</b>	12.00
Diametro medio (m)	<b>D<sub>n50</sub>*</b>	1.71
Profondità berma al piede (m)	<b>h<sub>t</sub>*</b>	14.00
Livello di danneggiamento	<b>N<sub>od</sub>*</b>	0.57

**DIGA FRANGIFLUTTO A GETTATA**  
**DIMENSIONAMENTO IDRAULICO-STRUTTURALE: MANTELLATA IN ACCROPODI**  
**SEZIONE CORRENTE CON PROLUNGAMENTO RETTILINEO**



**Caratteristiche dell'onda di progetto al largo**

Altezza d'onda significativa al largo (m)	$H_{so}$	10.93
Periodo di picco (s)	$T_p$	16.53
Periodo medio (s)	$T_m$	13.72
Lunghezza d'onda al largo relativa a $T_p$ (m)	$L_{op}$	426.5
Lunghezza d'onda al largo relativa a $T_m$ (m)	$L_{om}$	293.8
Ripidità dell'onda al largo relativa a $T_p$	$s_o$	0.026
Sovralzo massimo del livello medio marino (m s.l.m.)	$S_m$	0.50
Altezza d'onda significativa al piede dell'opera (m)	$H_{so}$	9.29

**Caratteristiche del fondale di imbasamento della barriera**

Profondità del fondale al piede dell'opera (m s.l.m.)	$h$	18.00
Pendenza del fondale al piede dell'opera	$m$	1/25

**Onda di progetto a ridosso della barriera**

**ONDA FRANGENTE**

Altezza d'onda max frangente al piede dell'opera (m)	$H_b$	11.92	Kamphuis	Goda
Altezza d'onda di progetto (m)	$H_s$	8.50		
Lunghezza d'onda al piede dell'opera (m)	$L'_p$	212.51		
Ripidità dell'onda a ridosso dell'opera	$s'_c$	0.056		0.05
Ripidità dell'onda ( $T_p$ )	$s_{op}$	0.020		
Ripidità dell'onda ( $T_m$ )	$s_{om}$	0.029		

**Caratteristiche geometriche della diga frangiflutti**

Quota della berma di sommità (m s.l.m.)	$R_c$	6.60	<b>barriera</b>
Larghezza berma (m)	$B$	20.70	
Pendenza paramento lato mare	$\cot\alpha$	1.50	
Porosità d'insieme della mantellata	$P$	0.50	

**Caratteristiche dei massi di mantellata**

tipo:	ACCROPODI
Coefficiente di stabilità	$K_d$ 15.00
Peso specifico apparente dei massi ( $kg/m^3$ )	$\rho_r$ 2400
Peso specifico dell'acqua marina ( $kg/m^3$ )	$\rho_w$ 1030
Densità relativa dei massi di mantellata	$\Delta = (\rho_r/\rho_w - 1)$ 1.33

## VERIFICHE STRUTTURALI

### Dimensionamento massi di mantellata

*VALORI CARATTERISTICI MINIMI (formula di Hudson)*

Peso (t)	<b>M</b>	36.32
Volume (m <sup>3</sup> )	<b>V</b>	15.13

*VALORI CARATTERISTICI DI PROGETTO*

Peso (t)	<b>M*</b>	35.00
Altezza elemento (m)	<b>h*</b>	3.73
Volume (m <sup>3</sup> )	<b>V*</b>	14.58
Spessore mantellata (m)	<b>s*</b>	5.08
Coefficiente di stabilità	<b>Kd*</b>	<u>11.92</u>
Numero di stabilità	<b>Ns</b>	2.62
Densità mantellata	<b>b*</b>	

### Dimensionamento strati filtro

Peso medio (t)	<b>M<sub>n50</sub></b>	5.00
Peso specifico apparente dei massi (kg/m <sup>3</sup> )	<b>ρ<sub>r</sub></b>	2400
Diametro medio (m)	<b>D<sub>n50</sub></b>	1.28
Spessore strato filtro (m)	<b>s*</b>	1.74

### Stabilità berma al piede

Profondità berma al piede (m)	<b>h<sub>t</sub></b>	14.00
Peso specifico apparente dei massi (kg/m <sup>3</sup> )	<b>ρ<sub>r</sub></b>	2400
Densità relativa dei massi della berma al piede	<b>Δ = (ρ<sub>r</sub>/ρ<sub>w</sub> - 1)</b>	1.33
Livello di danneggiamento	<b>N<sub>od</sub></b>	0.50

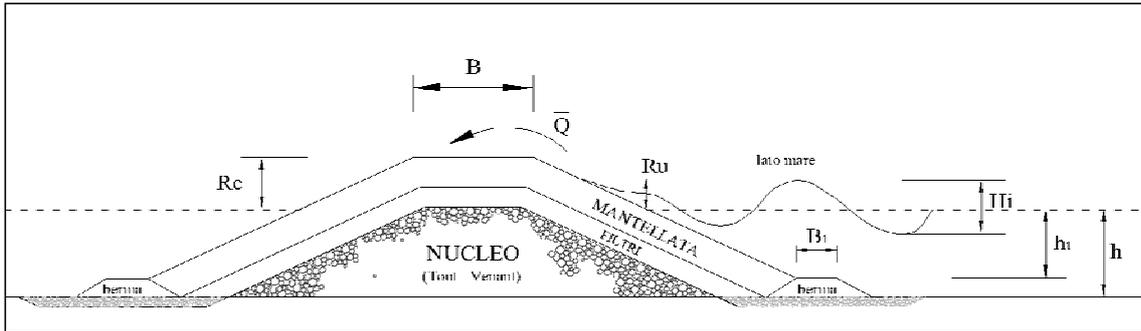
### Formula di Gerding

Diametro medio minimo	<b>D<sub>n50min</sub></b>	1.80
Peso minimo medio dei massi (t)	<b>M<sub>50min</sub></b>	13.98

*VALORI CARATTERISTICI DI PROGETTO*

Peso medio dei massi (t)	<b>M<sub>50</sub>*</b>	12.00
Diametro medio (m)	<b>D<sub>n50</sub>*</b>	1.71
Profondità berma al piede (m)	<b>h<sub>t</sub>*</b>	14.00
Livello di danneggiamento	<b>N<sub>od</sub>*</b>	0.57

**DIGA FRANGIFLUTTO A GETTATA : TESTATA  
DIMENSIONAMENTO IDRAULICO-STRUTTURALE: MANTELLATA IN ACCROPODI  
TESTATA CON PROLUNGAMENTO RETTILINEO**



**Caratteristiche dell'onda di progetto al largo**

Altezza d'onda significativa al largo (m)	$H_{so}$	10.93
Periodo di picco (s)	$T_p$	16.53
Periodo medio (s)	$T_m$	13.72
Lunghezza d'onda al largo relativa a $T_p$ (m)	$L_{op}$	426.5
Lunghezza d'onda al largo relativa a $T_m$ (m)	$L_{om}$	293.8
Ripidità dell'onda al largo relativa a $T_p$	$s_o$	0.026
Sovralzo massimo del livello medio marino (m s.l.m.)	$S_m$	0.50
Altezza d'onda significativa al piede dell'opera (m)	$H_{so}$	9.29

**Caratteristiche del fondale di imbasamento della barriera**

Profondità del fondale al piede dell'opera (m s.l.m.)	$h$	18.00
Pendenza del fondale al piede dell'opera	$m$	1/25

**Onda di progetto a ridosso della barriera**

**ONDA FRANGENTE**

Altezza d'onda max frangente al piede dell'opera (m)	$H_b$	11.92	Kamphuis	Goda
Altezza d'onda di progetto (m)	$H_s$	8.50		
Lunghezza d'onda al piede dell'opera (m)	$L'_p$	212.51		
Ripidità dell'onda a ridosso dell'opera	$s'_c$	0.056		0.05
Ripidità dell'onda ( $T_p$ )	$s_{op}$	0.020		
Ripidità dell'onda ( $T_m$ )	$s_{om}$	0.029		

**Caratteristiche geometriche della diga frangiflutti**

Quota della berma di sommità (m s.l.m.)	$R_c$	6.60	<b>barriera</b>
Larghezza berma (m)	$B$	20.70	
Pendenza paramento lato mare	$\cot\alpha$	1.50	
Porosità d'insieme della mantellata	$P$	0.50	

**Caratteristiche dei massi di mantellata**

Coefficiente di stabilità	tipo:	ACCROPODI
	$K_d$	11.50
Peso specifico apparente dei massi ( $kg/m^3$ )	$\rho_r$	2400
Peso specifico dell'acqua marina ( $kg/m^3$ )	$\rho_w$	1030
Densità relativa dei massi di mantellata	$\Delta = (\rho_r/\rho_w - 1)$	1.33

## VERIFICHE STRUTTURALI

### Dimensionamento massi di mantellata

VALORI CARATTERISTICI MINIMI (formula di Hudson)

Peso (t)	<b>M</b>	47.37
Volume (m <sup>3</sup> )	<b>V</b>	19.74

VALORI CARATTERISTICI DI PROGETTO

Peso (t)	<b>M*</b>	46.00
Altezza elemento (m)	<b>h*</b>	4.09
Volume (m <sup>3</sup> )	<b>V*</b>	19.17
Spessore mantellata (m)	<b>s*</b>	5.56
Coefficiente di stabilità	<b>Kd*</b>	<u>11.84</u>
Numero di stabilità	<b>Ns</b>	2.61

### Dimensionamento strati filtro

Peso medio (t)	<b>M<sub>n50</sub></b>	4.00
Peso specifico apparente dei massi (kg/m <sup>3</sup> )	<b>ρ<sub>r</sub></b>	2400
Diametro medio (m)	<b>D<sub>n50</sub></b>	1.19
Spessore strato filtro (m)	<b>s*</b>	1.61

### Stabilità berma al piede

Profondità berma al piede (m)	<b>h<sub>t</sub></b>	14.00
Peso specifico apparente dei massi (kg/m <sup>3</sup> )	<b>ρ<sub>r</sub></b>	2400
Densità relativa dei massi della berma al piede	<b>Δ = (ρ<sub>r</sub>/ρ<sub>w</sub> - 1)</b>	1.33
Livello di danneggiamento	<b>N<sub>od</sub></b>	0.50

### Formula di Gerding

Diametro medio minimo	<b>D<sub>n50min</sub></b>	1.80
Peso minimo medio dei massi (t)	<b>M<sub>50min</sub></b>	13.98
VALORI CARATTERISTICI DI PROGETTO		
Peso medio dei massi (t)	<b>M<sub>50</sub>*</b>	12.00
Diametro medio (m)	<b>D<sub>n50</sub>*</b>	1.71
Profondità berma al piede (m)	<b>h<sub>t</sub>*</b>	14.00
Livello di danneggiamento	<b>N<sub>od</sub>*</b>	0.57

## 2.5 Pendenze paramenti

Per quanto riguarda la pendenza dei paramenti delle gettate si nota che pendenze più dolci (es. 1:2) risultano più stabili, meno riflettenti e meno tracimabili, ma richiedono volumi maggiori di materiale con maggior costo, difficoltà di posa, occupazione di aree più estese.

Viste le elevate altezze d'onda significative attese, nel progetto del prolungamento della diga foranea sono state scelte pendenze delle scogliere lato mare pari a 1/2, mentre si è deciso di aumentare la pendenza a 2/3 per la parte lato porto al fine di ridurre gli ingombri nella zona ridossata.

Di seguito vengono riportati i quattro schemi di calcolo, relativi alla sezione corrente ed alla testata per le due soluzioni considerate, in cui vengono determinati i pesi ed individuati gli spessori delle mantellate, degli strati filtro e delle berme al piede, completi di tutti i parametri idraulici e geometrici necessari al dimensionamento dell'opera di difesa.

## 2.6 Definizione quota di cresta

La determinazione della quota sommitale della diga è dettata da considerazioni idrauliche, esecutive, economiche, estetiche e funzionali.

Quote basse di cresta conducono a risparmi di materiale (il volume aumenta quadraticamente con l'altezza) ed a miglioramenti estetico-paesaggistici (visione del mare). Peraltro si presentano alcune complicazioni costruttive e soprattutto si riduce l'efficienza funzionale dell'opera nel contenimento dei sormonti con riduzione dell'agibilità della stessa opera e persino dello specchio protetto reso più agitato dalla ricaduta dei getti.

La definizione della quota di progetto nelle varie sezioni è legata soprattutto alla finalità di uso e quindi alla sicurezza funzionale nei confronti della tracimazione ondosa.

La portata media di sormonto tollerabile può essere considerata pari a circa 5 l/s/m per le tempeste estreme e di 0.1 l/s/m per le tempeste aventi ricorrenza annuale.

Si è considerato anche un sovrizzo fisso del livello marino di 0.5 m. Il calcolo del sormonto può effettuarsi in via preliminare con la formula deterministica di Van Der Meer e Jansen (1995) in funzione delle caratteristiche di porosità e pendenza della mantellata:



$$q = 0.06 \cdot \sqrt{gH_s^3} \sqrt{\frac{\tan \alpha}{H_s/L_0}} \exp\left(-4.7 \frac{R_c \sqrt{H_s/L_0}}{H_s \tan \alpha} \frac{1}{g_b g_h g_f g_\gamma}\right) \quad \text{per } \frac{\tan \alpha}{\sqrt{H_s/L_0}} < 2$$

$$q = 0.2 \cdot \sqrt{gH_s^3} \cdot \exp\left(-2.25 \cdot \frac{R_c}{H_s} \frac{1}{g_b g_h g_f g_\gamma}\right) \quad \text{per } \frac{\tan \alpha}{\sqrt{H_s/L_0}} \geq 2$$

dove:

$L_0$  (m) = lunghezza d'onda al largo relativa al periodo di picco

$R_c$  (m) = bordo libero, altezza opera sul livello del mare

$\alpha$  = angolo scarpata

$\gamma$  = fattori di riduzione per l'influenza della berma, profondità, scabrezza, dell'angolo d'attacco e della tridimensionalità del moto ondoso.

$q$  (l/s/m) = portata media di sormonto

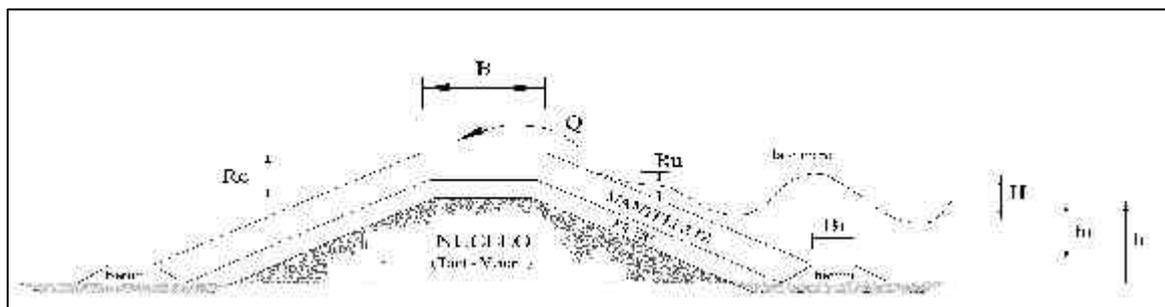
Per esigenze esecutive (doppio strato di tetrapodi), idrauliche (contenimento sormonti), di visuale paesaggistica e di sicurezza della navigazione, la massima quota assegnata alla sommità della berma è di +5.80 m e +6.60 m sul medio mare (rispettivamente per il prolungamento non in asse e per quello rettilineo), che assicurano una discreta protezione per gli eventi con frequenza annuale ed un sormonto ancora tollerabile in condizioni di tempesta.

Infatti, dall'esame dei risultati ottenuti per le due tipologie di prolungamento (riportati sinteticamente negli schemi di calcolo riportati di seguito si può osservare come le quote di sommità del coronamento del prolungamento rettilineo sono leggermente più alte (+6.60 m s.l.m) di quelle relative al prolungamento non in asse dell'opera di difesa (+5.80 m s.l.m.), per cui le portate di sormonto risultano pari a circa la metà nel caso di prolungamento rettilineo rispetto all'altra configurazione, come era ovvio attendersi per la maggiore altezza al di sopra del l.m.m. della berma in tetrapodi.

Comunque, in tutti i casi esaminati, le portate di sormonto determinate sono tali da non produrre danni al coronamento, ma costituiscono pericolo per il passaggio dei pedoni soprattutto quando le altezze d'onda al piede dell'opera sono abbastanza elevate. Il passaggio di uomini deve pertanto essere consentito solo per le operazioni di manutenzione del faro di segnalazione.



**DIGA FRANGIFLUTTO A GETTATA**  
**DIMENSIONAMENTO IDRAULICO-STRUTTURALE: MANTELLATA IN TETRAPODI**  
**SEZIONE CORRENTE CON PROLUNGAMENTO RETTILINEO**



**Caratteristiche dell'onda di progetto al largo**

Altezza d'onda significativa al largo (m)	<b>H<sub>so</sub></b>	10.93	
Periodo di picco (s)	<b>T<sub>p</sub></b>	16.53	
Periodo medio (s)	<b>T<sub>m</sub></b>	13.72	
Lunghezza d'onda al largo relativa a T <sub>p</sub> (m)	<b>L<sub>op</sub></b>	426.5	
Lunghezza d'onda al largo relativa a T <sub>m</sub> (m)	<b>L<sub>om</sub></b>	293.8	
Ripidità dell'onda al largo relativa a T <sub>p</sub>	<b>s<sub>o</sub></b>	0.026	
Sovralzo massimo del livello medio marino (m s.l.m.)	<b>S<sub>m</sub></b>	0.50	
Altezza d'onda significativa al piede dell'opera (m)	<b>H<sub>so</sub></b>	9.29	
Altezza d'onda significativa al piede dell'opera con riduzione per attacco obliquo (m)	<b>H<sub>so</sub></b>	8.50	40°

**Caratteristiche del fondale di imbasamento della barriera**

Profondità del fondale al piede dell'opera (m s.l.m.)	<b>h</b>	18.00
Pendenza del fondale al piede dell'opera	<b>m</b>	1/25

**Onda di progetto a ridosso della barriera**

**ONDA FRANGENTE**

		Kamphuis	Goda
Altezza d'onda max frangente al piede dell'opera (m)	<b>H<sub>b</sub></b>	11.92	11.14
Altezza d'onda di progetto (m)	<b>H<sub>s</sub></b>	8.50	
Lunghezza d'onda al piede dell'opera (m)	<b>L'<sub>p</sub></b>	212.51	
Ripidità dell'onda a ridosso dell'opera	<b>s'<sub>c</sub></b>	0.056	0.05
Ripidità dell'onda (T <sub>p</sub> )	<b>s<sub>op</sub></b>	0.020	
Ripidità dell'onda (T <sub>m</sub> )	<b>s<sub>om</sub></b>	0.029	

**Caratteristiche geometriche della diga frangiflutti**

**barriera**

Quota della berma di sommità (m s.l.m.)	<b>R<sub>c</sub></b>	6.60
Larghezza berma (m)	<b>B</b>	20.70
Pendenza paramento lato mare	<b>cotga</b>	1.50
Porosità d'insieme della mantellata	<b>P</b>	0.50

**Caratteristiche dei massi di mantellata**

**tipo:** tetrapodi

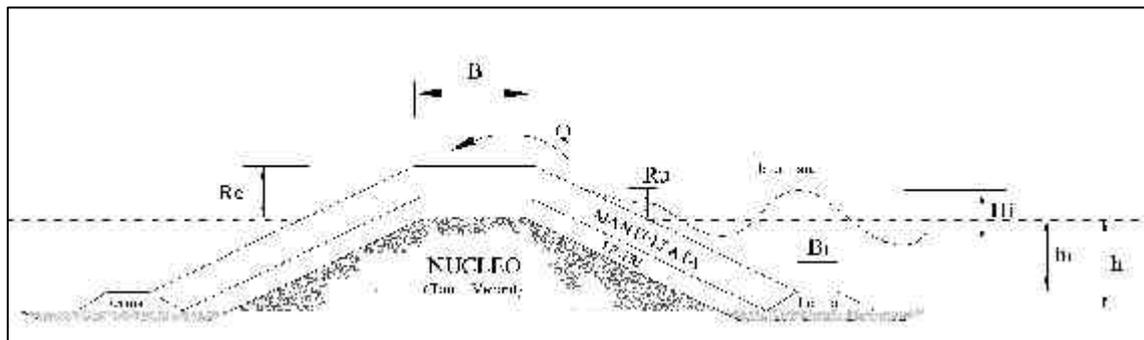
Coefficiente di stabilità	<b>K<sub>d</sub></b>	8.00
Peso specifico apparente dei massi (kg/m <sup>3</sup> )	<b>r<sub>r</sub></b>	2400
Peso specifico dell'acqua marina (kg/m <sup>3</sup> )	<b>r<sub>w</sub></b>	1030
Densità relativa dei massi di mantellata	<b>D = (r<sub>r</sub>/r<sub>w</sub> - 1)</b>	1.33

**DETERMINAZIONE PORTATE DI SORMONTO**

Altezza max di risalita s.l.m. (m)	<b>R<sub>u2%</sub></b>	18.64	
Portata media di tracimazione per metro di larghezza (l/s)	<b>Q</b>	0.67	Hs annuale
Portata media di tracimazione per metro di larghezza (l/s)	<b>Q</b>	40.27	Hs estrema
Parametro di Iribarren	<b>x<sub>m</sub></b>	3.92	surging
Altezza di sommità relativa (compreso il sovrizzo)	<b>R/H<sub>s</sub></b>	0.72	



**DIGA FRANGIFLUTTO A GETTATA**  
**DIMENSIONAMENTO IDRAULICO-STRUTTURALE: MANTELLATA IN TETRAPODI**  
**SEZIONE CORRENTE CON PROLUNGAMENTO NON IN ASSE**



**Caratteristiche dell'onda di progetto al largo**

Altezza d'onda significativa al largo (m)	<b>H<sub>so</sub></b>	10.93	
Periodo di picco (s)	<b>T<sub>p</sub></b>	16.53	
Periodo medio (s)	<b>T<sub>m</sub></b>	13.72	
Lunghezza d'onda al largo relativa a T <sub>p</sub> (m)	<b>L<sub>op</sub></b>	426.5	
Lunghezza d'onda al largo relativa a T <sub>m</sub> (m)	<b>L<sub>om</sub></b>	293.8	
Ripidità dell'onda al largo relativa a T <sub>p</sub>	<b>s<sub>o</sub></b>	0.026	
Sovralzo massimo del livello medio marino (m s.l.m.)	<b>S<sub>m</sub></b>	0.50	
Altezza d'onda significativa al piede dell'opera (m)	<b>H<sub>so</sub></b>	9.29	
Altezza d'onda significativa al piede dell'opera con riduzione per attacco obliquo (m)	<b>H<sub>so</sub></b>	8.50	40°

**Caratteristiche del fondale di imbasamento della barriera**

Profondità del fondale al piede dell'opera (m s.l.m.)	<b>h</b>	18.00
Pendenza del fondale al piede dell'opera	<b>m</b>	1/25

**Onda di progetto a ridosso della barriera**

**ONDA FRANGENTE**

		Kamphuis	Goda
Altezza d'onda max frangente al piede dell'opera (m)	<b>H<sub>b</sub></b>	11.92	11.14
Altezza d'onda di progetto (m)	<b>H<sub>s</sub></b>	8.50	
Lunghezza d'onda al piede dell'opera (m)	<b>L'<sub>p</sub></b>	212.51	
Ripidità dell'onda a ridosso dell'opera	<b>s'<sub>c</sub></b>	0.056	0.05
Ripidità dell'onda (T <sub>p</sub> )	<b>S<sub>op</sub></b>	0.020	
Ripidità dell'onda (T <sub>m</sub> )	<b>S<sub>om</sub></b>	0.029	

**Caratteristiche geometriche della diga frangiflutti**

**barriera**

Quota della berma di sommità (m s.l.m.)	<b>R<sub>c</sub></b>	5.80
Larghezza berma (m)	<b>B</b>	19.00
Pendenza paramento lato mare	<b>cotg a</b>	2.00
Porosità d'insieme della mantellata	<b>P</b>	0.50

**Caratteristiche dei massi di mantellata**

**tipo: tetrapodi**

Coefficiente di stabilità	<b>K<sub>d</sub></b>	8.00
Peso specifico apparente dei massi (kg/m <sup>3</sup> )	<b>r<sub>r</sub></b>	2400
Peso specifico dell'acqua marina (kg/m <sup>3</sup> )	<b>r<sub>w</sub></b>	1030
Densità relativa dei massi di mantellata	<b>D = (r<sub>r</sub>/r<sub>w</sub> -1)</b>	1.33

**DETERMINAZIONE PORTATE DI SORMONTO**

Altezza max di risalita s.l.m. (m)	<b>R<sub>u2%</sub></b>	16.33	
Portata media di tracimazione per metro di larghezza (l/s)	<b>Q</b>	2.09	Hs annuale
Portata media di tracimazione per metro di larghezza (l/s)	<b>Q</b>	82.88	Hs estrema
Parametro di Iribarren	<b>x<sub>m</sub></b>	2.94	plunging
Altezza di sommità relativa (compreso il sovrizzo)	<b>R<sub>d</sub>/H<sub>s</sub></b>	0.62	



## 2.7 Verifica di stabilità del muro paraonde

Sull'opera di difesa di sopraflutto, all'interno del bacino portuale, è prevista la realizzazione di un muro paraonde con la funzione di contenere la mantellata in tetrapodi e di rendere utilizzabile la banchina posta nel lato porto per le operazioni di ordinaria manutenzione delle apparecchiature (faro) presenti sulla testata in condizioni di mare calmo.

La procedura per il progetto del muro paraonde è la seguente:

1. determinazione della quota di sommità in funzione della portata di sormonto massima tollerabile;
2. le modalità di costruzione ed il relativo costo che regolano la quota d'imbasamento del massiccio di coronamento;
3. determinazione degli spessori attraverso le analisi di stabilità (ribaltamento, traslazione e schiacciamento della fondazione).

Il massiccio di coronamento, realizzato in calcestruzzo, ha la caratteristica forma ad L con la quota di sommità del muro fissata a + 5.00 m s.l.m, la quota d'imbasamento a + 0.50 m s.l.m. e la quota della soletta retrostante a + 2.50 m.

Per la verifica di stabilità, si è utilizzata la metodologia proposta da F. L. Martin ("Wave loads on rubble mound breakwater crown walls" – F.L.Martin, M.A.Losada, R.Medina – Coastal Engineering 1999), che definisce, per onde frangenti di tipo surging e collapsing o già frante, la distribuzione delle pressioni indotte sul muro paraonde.

Tale criterio quindi non può essere applicato nel caso di impatto di eventi di "shock".

La metodologia si basa sulla considerazione sperimentale che una singola onda può generare sulla struttura verticale due distinte sollecitazioni massime dette: forza da impatto ("impact force") e forza di pulsazione ("pulsating force").

Per determinare la distribuzione delle pressioni da impatto, Martin suggerisce di utilizzare le seguenti espressioni:

- per la parte del muro non protetta dalla scogliera:

$$P_{so} = C_{w1} \times \rho_w \times g \times S_o$$

- per la parte del muro protetta dalla scogliera:

$$P_{s1} = C_{w2} \times C_{w1} \times \rho_w \times g \times S_o$$



dove:

$C_{w1}$  è funzione del massimo run-up, dell'altezza d'onda di progetto e della pendenza della scarpata;

$C_{w2}$  è funzione della larghezza della berma e della lunghezza d'onda relativa al periodo di picco;

$\rho_w = 10.3 \text{ kN/m}^3$  - la densità dell'acqua

$g = 9.81 \text{ m/s}^2$  - accelerazione di gravità

$S_o$  è il massimo run-up previsto sulla berma della scogliera

La distribuzione delle pressioni da pulsazione (idrostatiche) è data da:

$$P_p(z) = C_{w3} \times \rho_w \times g \times (S_o + A_c - z)$$

dove:

$z$  è la quota di calcolo rispetto al l.m.m.;

$C_{w3}$  è un parametro adimensionale, funzione delle caratteristiche della scogliera

$A_c$  è l'altezza della berma rispetto al l.m.m.

La stabilità del massiccio di coronamento è stato verificato nelle condizioni più sfavorevoli e cioè con fondali di 18 m, con  $H_s = 8.50 \text{ m}$  e mantellata con tetrapodi ( $P = 0.5$ )

Per la resistenza alla traslazione orizzontale si assume un coefficiente di attrito tra calcestruzzo e pietrame sottostante pari a 0.6

La stabilità del massiccio risulta assicurata come illustrato nella elaborazione allegata.

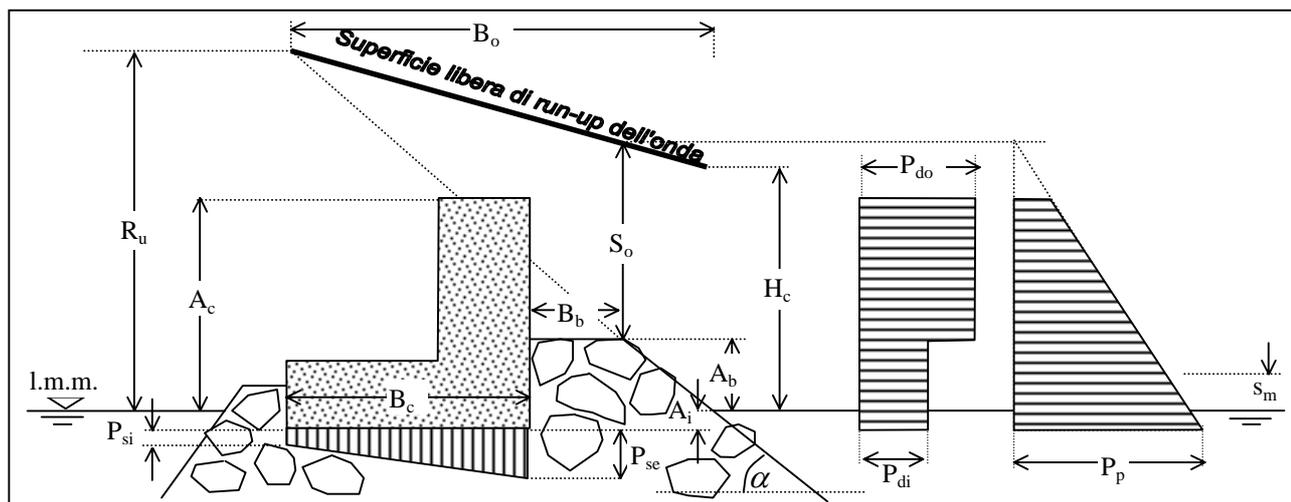


### Onda di progetto

Altezza d'onda significativa (m)	$H_s$	8.50
Altezza d'onda di progetto (m)	$H_c$	14.06
Periodo di picco (s)	$T_p$	13.7
Lunghezza d'onda al largo (m)	$L_{Op}$	293.9
Ripidità dell'onda al largo	$S_c$	0.048
Lunghezza d'onda al piede dell'opera (m)	$L'_p$	170.6
Ripidità dell'onda a ridosso dell'opera	$S'_c$	0.082
Sovralzo massimo del livello medio marino (m)	$s_m$	0.5

### Dimensioni struttura

Profondità fondale al piede dell'opera (m s.l.m.)	$h$	18.0
Quota berma mantellata (m s.l.m.)	$A_b$	5.80
Larghezza berma (m)	$B_b$	6.6
Pendenza mantellata $\cotg \alpha$	$\cotg \alpha$	2.0
Larghezza di base del massiccio di coronamento (m)	$B_c$	13.0
Quota sommitale del muro paraonde (m s.l.m.)	$A_c$	5.00
Quota di imbasamento del muro paraonde (m s.l.m.)	$A_i$	0.50
Porosità mantellata	$p$	0.50
Porosità alla base del massiccio di coronamento	$p_c$	0.40
Diametro medio massi della mantellata (m)	$D_{n50}$	2.50



**Condizioni di impatto diretto dell'onda contro il muro paraonde SI**

Altezza relativa	$A_b/H_c$	0.38		
Larghezza relativa	$B_b/H_c$	0.47	<	0.67
run-up al margine della mantellata (m)	$S_o$	6.65		$A_b + S_o = 12.45 > A_c$

**Calcolo dell'altezza di Run-up  $R_u = H_c \cdot (A_u \cdot (1 - \exp(-B_u \times \xi_m)))$**

Numero di Iribarren	$\xi_m$	2.29		
Run-up associato all'altezza d'onda $H_c$	$R_u$	10.06 (m)	$A_u$	$0.8619 B_u$ $0.78$

**Pressioni di impatto  $P_d$  (valido per  $0.03 < S'_c < 0.075$ )**

	$C_{w1}$	1.19	$C_{w2}$	0.5264	
Tratto NON riparato dalla mantellata	$P_{do}$	79.86 kN/m <sup>2</sup>			$P_{do} = C_{w1} \cdot \rho_w \cdot g \cdot S_o$
Tratto inferiore (riparato dalla mantellata)	$P_{di}$	42.04 kN/m <sup>2</sup>			$P_{di} = C_{w2} \cdot C_{w1} \cdot \rho_w \cdot g \cdot S_o$
Sottopressione lato mare	$P_{se}$	42.0 kN/m <sup>2</sup>			
Sottopressione lato terra	$P_{si}$	0.0 kN/m <sup>2</sup>			

**Pressioni di pulsazione  $P_p$  (valido per  $0.03 < S'_c < 0.075$ )**

	$C_o$	0.05	$C_{w3}$	0.33	
Pressione massima all'imbasamento	$P_p$	40.44 kN/m <sup>2</sup>			$P_p = C_{w3} \cdot \rho_w \cdot g \cdot (S_o + A_c - z)$
Pressione alla sommità del coronamento	$P'_p$	23.27 kN/m <sup>2</sup>			
Sottopressione lato mare	$P_{se}$	40.4 kN/m <sup>2</sup>			
Sottopressione lato terra	$P_{si}$	15.9 kN/m <sup>2</sup>			

**Sollecitazioni risultanti alla base dell'elemento di coronamento**

Spinta risultante dovuta alla pressione di impatto	$Sp_d$	189.2 kN/m
Sottospinta dovuta alla pressione d'impatto	$Sp_{du}$	273.2 kN/m
Momento indotto dalla pressione di impatto	$Mp_d$	2793.8 kN-m/m
Braccio relativo allo spigolo esterno del coronamento	$Bp_d$	14.8 m
Spinta risultante dovuta alla pressione di pulsazione	$Sp_p$	143.3 kN/m
Sottospinta dovuta alla pressione pulsazione	$Sp_{pu}$	366.0 kN/m
Momento indotto dalla pressione di pulsazione	$Mp_p$	3018.6 kN-m/m
Braccio relativo allo spigolo esterno del coronamento	$Bp_p$	21.1 m

## Verifiche per le condizioni d'impatto dell'onda

### Verifica al ribaltamento:

Momento ribaltante ( $M_r$ ): 2793.788 kN·m/m  
Momento stabilizzante ( $M_s$ ): 5257.4167 kN·m/m (peso della struttura)  
 $\eta$  ( $M_s / M_r$ ): 1.88 Verificato

### Verifica alla traslazione:

Spinta orizzontale risultante ( $Sp_d$ ): 189.2 kN/m  
Risultante verticale (Peso- $Sp_{du}$ ): 439.75177 kN/m  
Coefficiente di attrito (f) 0.6  
 $\eta$  ( $f \times$  (Peso- $Sp_{du}$ )) /  $Sp_d$  1.39 Verificato

### Verifica allo schiacciamento:

Risultante verticale (Peso- $Sp_{du}$ ): 439.75177 kN/m  
Momento risultante ( $M_s - M_r$ ): 2463.6286 kN·m/m  
eccentricità (e): 0.90 m  
 $\sigma_{max} = 47.84$  kN/m<sup>2</sup> sezione interamente reagente  
 $\sigma_{min} = 19.81$  kN/m<sup>3</sup>

## Verifiche per le condizioni di pulsazione dell'onda

### Verifica al ribaltamento:

Momento ribaltante ( $M_r$ ): 3018.6495 kN·m/m  
Momento stabilizzante ( $M_s$ ): 5257.4167 kN·m/m (peso della struttura)  
 $\eta$  ( $M_s / M_r$ ): 1.74 Verificato

### Verifica alla traslazione:

Spinta orizzontale risultante ( $Sp_d$ ): 143.3 kN/m  
Risultante verticale (Peso- $Sp_{du}$ ): 346.97894 kN/m  
Coefficiente di attrito (f) 0.6  
 $\eta$  ( $f \times$  (Peso- $Sp_{du}$ )) /  $Sp_d$  1.45 Verificato

### Verifica allo schiacciamento:

Risultante verticale (Peso- $Sp_{du}$ ): 346.97894 kN/m  
Momento risultante ( $M_s - M_r$ ): 2238.7672 kN·m/m  
eccentricità (e): 0.05 m  
 $\sigma_{max} = 27.28$  kN/m<sup>2</sup> sezione interamente reagente  
 $\sigma_{min} = 26.10$  kN/m<sup>3</sup>