ITEC engineering

COMUNE DI BOGLIASCO

Committente:
Comune di Bogliasco
Via G. Mazzini 122
16032 Bogliasco

Livello di Progetto:
Definitivo

Titolo:

ANALISI DELLA COSTA DEL COMUNE DI BOGLIASCO CON INDIVIDUAZIONE DELLE CRITICITA' E PROPOSTE DI INTERVENTO PER LA SUA RIQUALIFICAZIONE/PROTEZIONE

Oggetto:

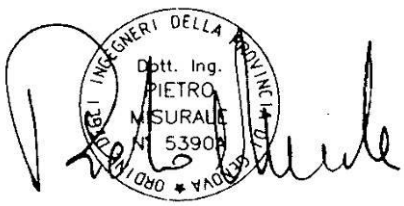
INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL LITORALE COMPRESO TRA LA SPIAGGIA SOTTO LA CHIESA ED IL MOLO SBOLGI

RELAZIONE IDRAULICA MARITTIMA

Codice Progetto:
P094-21

Nome File:
P094-21-D-RE-IDR-101-A

Firme:





Rev.	Modifiche/Revisioni	Redatto	Data	Contr./Appr.	Data
A	PRIMA EMISSIONE	DR/PN	15/10/21	PM	15/10/21

ASSOCIATO oice CONFINDUSTRIA
efca
apave certification
ISO 9001 N° SC 10-2588/IAF 34
ISO 14001 N° SCA 19-3491/IAF 34
ISO 45001 N° SCS 20-336/IAF 34

ITEC engineering S.r.l.
19038 SARZANA (SP)
Via Variante Aurelia, 98
TEL. +39 0187 610532
info@itec-engineering.it

16129 GENOVA
Via Antonio Cecchi 7/9-10
TEL. +39 010 5959690
www.itec-engineering.it

E' vietata a norma di legge la riproduzione, anche parziale, non autorizzata di questo documento

INDICE

1 PREMESSA 2

2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE 4

2.1 IL LITORALE DI BOGLIASCO. 4
2.2 IL LITORALE COMPRESO TRA LA SPIAGGIA SOTTO LA CHIESA E IL MOLO SBOLGI 4

3 CARATTERISTICHE METEOMARINE DEL PARAGGIO 7

3.2 CARATTERISTICHE DELLE ONDE AL LARGO 7
3.3 PROPAGAZIONE DAL LARGO VERSO RIVA 8
3.4 CARATTERISTICHE DELLE ONDE AL PIEDE DELL'OPERA 11
3.5 LIVELLO DEL MARE 11

4 DIMENSIONAMENTO DEI MASSI DELLE OPERE DI DIFESA 14

4.1 ONDA DI PROGETTO 14
4.2 CALCOLO DEI MASSI 14
4.3 EFFETTI DELLE OPERE. 16

1 PREMESSA

La presente relazione è redatta dagli scriventi su incarico del Comune di Bogliasco, a corredo del progetto definitivo delle opere di difesa del litorale Bogliasco nell'ambito di un più ampio progetto di riqualificazione e protezione dell'ambito costiero, promosso dal Comune, che ha ricevuto un finanziamento dalla Regione Liguria finalizzato a tale scopo.

Ci si occupa in particolare del tratto di costa alta compreso tra la Chiesa di Bogliasco e il molo Sbolgi, alla radice del quale sorge il "Castello": tale tratto di litorale necessita di particolare attenzione, in quanto interessato da fenomeni di erosione al piede della falesia sulla sommità della quale sorge la Chiesa, la passeggiata (via Bettolo) e diverse costruzioni.

Alla base di tale tratto di litorale, sino agli anni '70, era presente una spiaggia, creata e alimentata, a partire dalla seconda metà del 1800, da sversamenti di materiale lapideo derivante da smarino delle gallerie ferroviarie (1860-65) e detriti postbellici (1945-50); successivamente furono eseguiti ripascimenti strutturali di modesta entità, che tentarono di mantenere porzioni di spiaggia, contrastando l'erosione progressiva della stessa.

L'arenile, pur avendo profondità limitata, contribuiva a proteggere la falesia retrostante. Oggi esistono solo due piccole spiagge: una sotto la Chiesa e l'altra al piede del Castello, ma nessuna di esse è in grado di garantire un'adeguata protezione e il mare aggredisce il piede della scogliera e delle opere murarie a tergo che, tra l'altro, rappresentano barriere riflettenti al moto ondoso incidente e contribuiscono alla sottrazione di sedimenti.

Scopo dell'intervento in progetto nel presente lotto funzionale è quello di realizzare opere di difesa e salvaguardia di tale porzione di litorale, ripristinando lo stato di naturale protezione della costa alta con opere non invasive e a basso impatto ambientale, nel rispetto della pregevolezza paesaggistica del sito: per tale ragione si è scelto di progettare interventi di difesa della costa per la maggior parte sommersi, utilizzando comunque materiali naturali, con caratteristiche litografiche del tutto simili alle formazioni rocciose in sito, costituite dal Flysch calcareo marnoso di Monte Antola.

La presente relazione idraulica marittima ha lo scopo di indagare il clima ondoso locale e verificare la stabilità delle opere in massi naturali previste nel progetto.

Nel progetto definitivo, sviluppato in un team di professionisti con varie competenze, sono stati eseguiti attenti studi geologici ([1]) e sedimentologici ([2]), che, sulla base di sopralluoghi in sito, osservazioni puntali, prelievo di campioni di sedimento sulle porzioni di spiaggia emersa e sui fondali, analisi granulometriche degli stessi e studio delle correnti, hanno permesso di definire la tipologia di interventi, la loro estensione e le dimensioni dei materiali.

[1] Dott. Geol. Giacomo Canepa – Relazione geologica.

[2] Geoscape coop – Relazione sedimentologica.

Il progetto è inoltre stato sviluppato anche con il supporto di indagini biologico-marine ([3]) che hanno analizzato i fondali oggetto di intervento, di verifiche preventive di interesse archeologico del sito ([4]) e di modelli di calcolo ([5]) che hanno dato indicazioni per la pezzatura dei materiali di ripascimento e la loro volumetria, verificando i profili di equilibrio per diverse condizioni di agitazione ondosa.

Tutti i suddetti elaborati sono allegati al progetto definitivo e ad essi si rimanda per ogni approfondimento sui diversi aspetti.

3 Dott.ssa Biol. Marzia Riminucci – Analisi biologico-marine del litorale sotto la Chiesa.
4 Dott.ssa Archeol. Valentina Brodasca – Verifica preventive di Interesse Archeologico.
5 Geoscape coop – Relazione modellistica e Piano di Monitoraggio.

2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

2.1 IL LITORALE DI BOGLIASCO.

Il litorale di Bogliasco si sviluppa per circa 2 km e si presenta in gran parte su costa alta con falesie rocciose di natura calcarea che si innalzano per circa 15-20 metri dal livello del mare.

Un'unica spiaggia di dimensioni significative è presente al centro del paraggio, in corrispondenza della foce del rio Poggio mentre altre piccole spiagge di limitata estensione e profondità ridotta sono presenti sotto la Chiesa parrocchiale (a ponente) con sedime ghiaioso, di natura artificiale.



Figura 2.1 – Panoramica generale del litorale di Bogliasco.

2.2 IL LITORALE COMPRESO TRA LA SPIAGGIA SOTTO LA CHIESA E IL MOLO SBOLGI

Tale tratto di litorale è caratterizzato da costa alta e rocciosa, alla base della quale sorge una piattaforma di abrasione che si estende per circa 30-40 metri sino alla profondità di -4/5 m.

All'estremità di ponente è presente una piccola spiaggia in ghiaia, che ha problematiche di erosione e arretramento, dovute alla sua limitata profondità e alla risacca del moto ondoso che si riflette sulla falesia retrostante.

Il tratto successivo, sottostante il Belvedere di via Bettolo, è completamente sguarnito ed esposto al moto ondoso; il piede della parete rocciosa è stato recentemente difeso con una mantellata di massi naturali disposti a corona.

Poco oltre esiste un'altra piccola spiaggia, che sorge sotto il Castello, parzialmente protetta da due costoloni di roccia che si protendono in mare in direzione sud-ovest; su tale spiaggia è appoggiata una condotta di scarico a mare di emergenza della rete fognaria di Bogliasco.

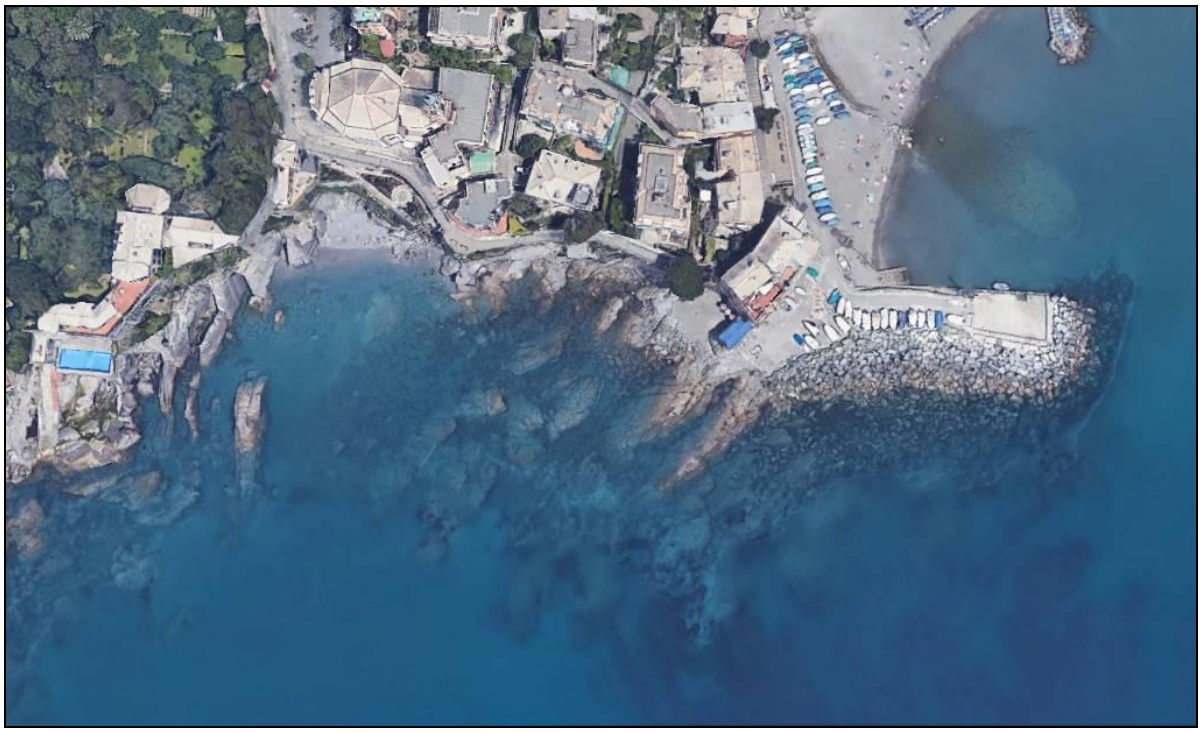


Figura 2.2 - Tratto di litorale oggetto di intervento, tra la spiaggia sotto la Chiesa ed il molo Sbolgi.

L'intero tratto di litorale è molto esposto all'azione dei marosi, come testimoniano le foto seguenti, riprese a inizio ottobre 2021 nel corso di una mareggiata di intensità non particolarmente elevata.



Figura 2.3 – La mareggiata del 5 ottobre 2021 ripresa dal Belvedere.



Figura 2.4 – Il tratto di litorale verso ovest: la spiaggia sotto la Chiesa è totalmente sommersa.



Figura 2.5 – Il tratto di litorale ripreso verso est: il mare raggiunge facilmente il piede della falesia.

3 CARATTERISTICHE METEOMARINE DEL PARAGGIO

3.1 SETTORI DI TRAVERSIA

Il paraggio di Bogliasco ha due settori di traversia: quello di libeccio e di meridione.

Il settore di traversia principale (che conduce a valori di altezza d'onda maggiori) è quello di libeccio (195°-225° N), compreso indicativamente tra le isole Baleari e la costa occidentale della Sardegna.

Nella mappa rappresentata nella figura seguente sono tracciati i settori di traversia del paraggio.

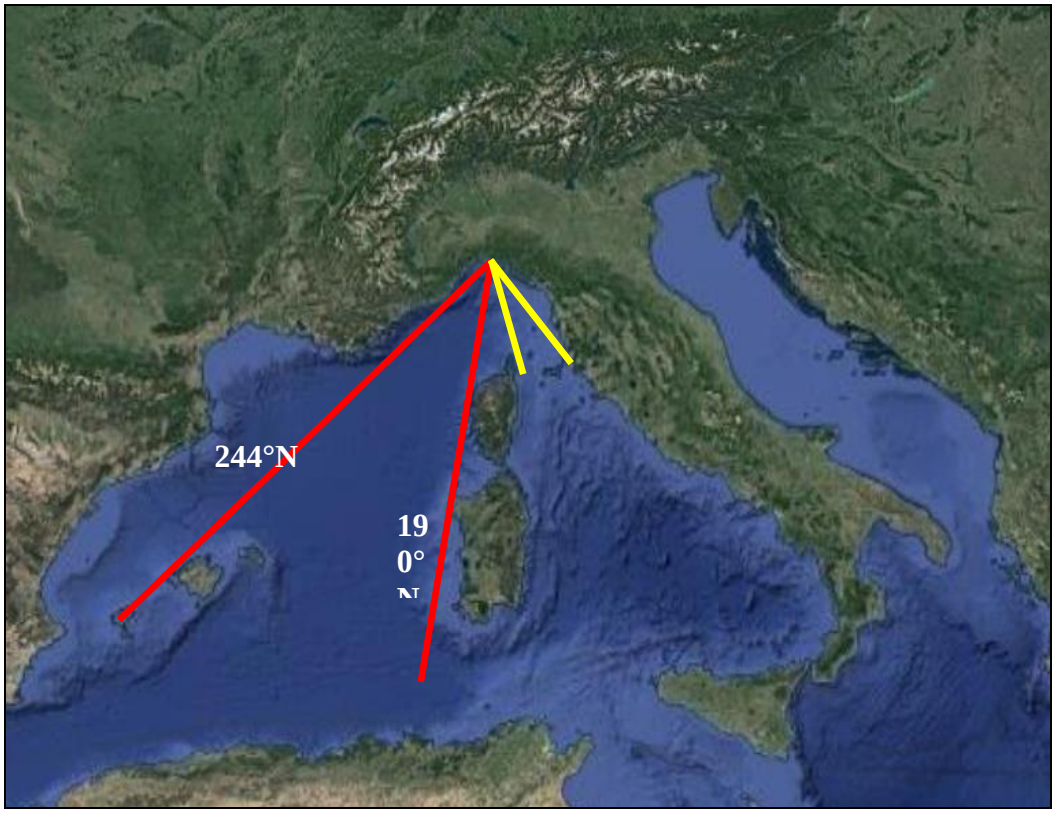


Figura 5.1 : Settori di traversia del paraggio di Bogliasco.

3.2 CARATTERISTICHE DELLE ONDE AL LARGO

La stima delle caratteristiche del moto ondoso che può incidere sull'opera in progetto deriva dal calcolo della propagazione dello stato del mare dalle alte profondità verso riva.

Per la valutazione delle grandezze caratteristiche (altezza d'onda, periodo, lunghezza d'onda) si è fatto riferimento ai dati forniti dal K.N.M.I. (Istituto della Marina Reale

Olandese), elaborati dal Prof. Boccotti (1986) i cui risultati sono riportati nella tabella seguente.

ZONA 2 DA PUNTA DI PORTOFINO A CAPO DI VADO **Settori di provenienza: scirocco, mezzogiorno, libeccio**						
dir °N	TR (anni)					
	1		50		100	
	H (m)	Tp (s)	H (m)	Tp (s)	H (m)	Tp (s)
150	2.5	7.1	5.4	10.5	5.8	10.9
180	3.1	7.9	6.0	11.0	6.5	11.5
210	3.4	8.3	7.8	12.6	8.5	13.2

Tabella I: altezza e periodo di picco dell'onda al largo di Genova per diversi settori di provenienza e diversi tempi di ritorno (Boccotti).

Per il settore di traversia che interessa il sito di intervento si fa riferimento ad un angolo di 210°, che costituisce la direzione più prossima alla media del settore di traversia principale individuato.

Mediante interpolazione logaritmica dei dati per lo stesso settore di provenienza sono stati ricavati i valori anche per i tempi di ritorno di 5,10, 20 e 75 anni.

Di seguito sono riassunti i valori risultanti per la direzione di 210°N e tempi di ritorno variabili tra 1 e 100 anni:

T [anni]	**H [m]**	**Tp [s]**
1	3.4	8.3
5	5.2	10.3
10	6.0	11.0
20	6.7	11.7
50	7.8	12.6
75	8.2	12.9
100	8.5	13.2

Tabella II – Caratteristiche delle onde al largo per la direzione di 210° N.

3.3 PROPAGAZIONE DAL LARGO VERSO RIVA

Trattandosi di opera sotto costa l'onda di progetto che si assume a base dei calcoli è quella di altezza massima compatibile con la profondità dell'opera da realizzare.

La lunghezza d'onda al largo è calcolata con la relazione valida su profondità infinita:

$$L_{p0} = gT^2/2\pi$$

Lo studio del moto ondoso in corrispondenza dell'area costiera tiene conto dei fenomeni di interazione dell'onda con i fondali sui quali si propaga, in particolare degli effetti di *shoaling* e *saturazione*.

A favore di sicurezza non vengono considerati nel calcolo gli effetti di *rifrazion*e, considerando un moto ondoso con attacco frontale.

La profondità del fondale antistante il paraggio in esame è limitata, per cui si utilizza un modello spettrale in cui compaiono i processi di *shoaling* e *saturazione* fino alla profondità limite.

Dalla profondità limite fino alla profondità di frangimento, si utilizza un modello ad onde regolari in cui interviene soltanto il processo di *shoaling*.

Processo di shoaling

Secondo il modello di propagazione dal largo fino alla profondità limite l'altezza d'onda spettrale di *shoaling* (H_{sh}), che rappresenta la conservazione dell'energia da profondità infinita a profondità finita, si ricava da:

$$H_{sh}=K_s \cdot H_{m0}$$

dove H_{m0} è l'altezza d'onda su profondità infinita e K_s è il coefficiente di *shoaling* pari a:

$$K_s = \sqrt{\frac{2 \cdot \cosh^2(kh)}{2kh + senh(2kh)}}$$

con $k = 2\pi/L_p$ numero d'onda e L_p lunghezza d'onda che, per profondità finita h, è uguale a:

$$L_p = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi h}{L_p}\right)$$

Processo di saturazione

Il processo di *saturazione* interpreta le dissipazioni superficiali di energia conseguenti ai frangimenti parziali tipo *spilling* che si hanno nella propagazione dal largo verso riva, di conseguenza l'onda spettrale di saturazione rappresenta un valore limite, cioè l'onda di massima altezza che può esistere nello stato di mare considerato.

Assumendo la profondità limite adimensionalizzata σ_{hp} pari a 0.6 e definita come:

$$\sigma_{hp} = \left(\frac{2\pi}{T_H}\right)\sqrt{\frac{h^*}{g}}$$

si ricava la profondità limite h^*.

L 'altezza spettrale di saturazione H_{sat} alla profondità limite h^* si ottiene dalla relazione di Resio[6]:

[6] Resio D.T. - *Shallow water waves* - Journ. of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering - vol. 113 - N° 3 - 1987.

$$\frac{H_{sat}}{L_p^{0.75}} = \frac{H_{m0}}{L_{p0}^{0.75}}$$

dove L_p è la lunghezza d'onda alla profondità limite, L_{p0} è la lunghezza d'onda alla profondità infinita e H_{m0} è l'altezza d'onda alla profondità infinita.

Determinazione dell'onda di progetto

L'altezza d'onda spettrale effettiva H_{mE} alla profondità limite è quindi data dalla seguente espressione:

$$H_{mE} = min \{ H_{sh}, H_{sat} \}$$

Dall'altezza effettiva d'onda H_{mE} si ricava l'altezza d'onda spettrale fittizia al largo H_{m0}' che rappresenta l'altezza d'onda, la cui propagazione restituisce l'altezza H_{sat} alla profondità limite h^*.

L'altezza d'onda spettrale fittizia alla profondità limite h^* può essere espressa come:

$$H_{m0}' = H_{m0E} / K_s^*$$

dove K_s^* è il coefficiente di *shoaling* alla profondità limite pari a 1.

Il modello di propagazione dalla profondità limite fino alla profondità di frangimento tiene conto solo del processo di *shoaling* e permette di calcolare l'altezza d'onda H_h alle varie profondità h_i fino al frangimento.

Il valore di H_h è pari al prodotto fra l'altezza d'onda spettrale fittizia H_{m0}' e il coefficiente di *shoaling* $K_s(h_i)$ calcolato alla profondità h_i.

Il calcolo dell'altezza d'onda è effettuato distinguendo tra acque basse e acque intermedie secondo le seguenti formulazioni:

acque basse d/L<0.04 $\qquad L = T \cdot \sqrt{g \cdot h}$

acque intermedie 0.04< d/L<0.5 $\qquad L = \frac{g \cdot T^2}{2 \cdot \pi} \cdot Th\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot h}{L}\right)$

$K_s = \sqrt{\frac{2Ch^2(kh)}{2kh + Sh(2kh)}}$ $\qquad$ con k (numero d'onda)$= \frac{2 \cdot \pi}{L}$

L'altezza dell'onda frangente per fissate profondità h è calcolata utilizzando la formula di Mac-Cowan-Munk

$$\frac{H_f}{h} = 0.78$$

Confrontando l'altezza dell'onda frangente H_f con l'altezza ricavata dal modello di propagazione per i soli effetti di *shoaling* H_h, si ottiene l'altezza d'onda frangente e la relativa profondità all'uguaglianza dei due valori $H_f = H_h$.

3.4 CARATTERISTICHE DELLE ONDE AL PIEDE DELL'OPERA

Sulla base della teoria esposta ai paragrafi precedenti, a partire dai valori di onda al largo ricavati da Boccotti per la direzione di 210 °N, sono state calcolate le caratteristiche dell'onda al piede dell'opera di protezione a mare.

Il calcolo è stato effettuato per gli eventi con tempi di ritorno di 5, 10, 20, 50, 75 e 100 anni ricavando le caratteristiche dell'onda sul fondale di -4,50 m assunto come riferimento come piede delle opere di difesa in progetto.

A favore di sicurezza non si è tenuto conto dell'effetto di rifrazione, che tenderebbe a diminuire l'energia e abbassare ulteriormente l'altezza d'onda.

I risultati sono riassunti nella tabella seguente

Periodo di ritorno **T** **[anni]**	**Profondità al frangimento** **h_f** **[m]**	**Altezza d'onda al frangimento** **H_f** **[m]**	**Lunghezza d'onda al frangimento** **L_f** **[m]**	**Altezza d'onda su fondale -4,5 m** **$H_{4,5}$** **[m]**
1	3.20	2.50	45.18	2.34
5	4.80	3.74	68.46	3.50(*)
10	5.50	4.29	78.58	3.50(*)
20	6.25	4.88	88.91	3.50(*)
50	7.20	5.62	102.73	3.50(*)
75	8.00	6.24	112.96	3.50(*)

(*) onda frangente

Tabella III – Onde al piede dell'opera in funzione del tempo di ritorno.

Sul fondale di -4,5 m l'altezza dell'onda frangente è pari a 3,50 m circa ([7]) , per cui le onde con tempi di ritorno maggiori di 5 anni arrivano già fratte al piede della scogliera.

Solo l'onda annuale non frange sul fondale di -4.5 m, ma arriva ancora "intera" al piede delle opere, con un'altezza di 2.34 m.

3.5 LIVELLO DEL MARE

Al fine di valutare correttamente l'effetto della barriera dissipatrice sul moto ondoso incidente, si è valutato il valore dell'innalzamento medio probabile (storm-surge) del

[7] L'onda frangente ha una altezza legata alla profondità locale d, secondo il rapporto Hf = 0,78 d (Miche, 1951).

livello del medio mare in occasione di eventi di mareggiata, somma di più fattori quali marea, pressione barometrica, moto ondoso.

La valutazione è stata effettuata a partire dai valori dell'innalzamento registrati al mareografo del porto di Genova, la cui statistica è riportata di seguito:

Il mareografo è posto all'interno del bacino portuale, pertanto è in grado di tenere in considerazione i seguenti contributi alla composizione del livello superficiale totale:

- contributo della marea astronomica;
- contributo della pressione atmosferica (effetto di "barometro inverso");
- contributo del vento (effetto "wind setup", ovvero schiacciamento della massa d'acqua verso terra in concomitanza con intensi venti provenienti dal mare).

La statistica dei livelli per assegnato tempo di ritorno è stata impostata sui 40 valori più elevati registrati dal mareografo ed ha fornito i valori riportati nella tabella seguente.

T [anni]	**storm-surge [m]**
1	0.481
5	0.579
10	0.620
20	0.662
50	0.720
75	0.740
100	0.760

Tabella V – Effetto di innalzamento del livello di medio mare nel corso di una mareggiata.

In base a tali valori, tenendo conto dell'indipendenza stocastica dei due fenomeni (onda e innalzamento livello medio mare), si è ricercato il valore medio probabile dell'innalzamento che conduca alla corretta correlazione statistica tra i due fenomeni.

Tale analisi ha condotto ad assumere un valore medio dell'innalzamento pari a 0.52 m, che è stato associato a tutti gli eventi di mareggiata per diversi tempi di ritorno.

In base a tali considerazioni sono stati quindi ricalcolati i valori dell'onda al piede dell'opera, tenendo conto del valore calcolato dell'innalzamento del medio mare.

In questo caso il fondale su cui calcolare la relativa altezza d'onda diventa pari a -5.02 m (somma di 4.50 del fondale in condizioni normali e 0.52 m di sovralzo del medio mare).

Nella tabella seguente sono riportati i valori dell'altezza d'onda riscalati sulla profondità di -5.02 m.

Periodo di ritorno T anni]	Altezza d'onda su fondale di -5.02m $H_{5.02}$ [m]
1	2.86
5	4.03(*)
10	4.03(*)
20	4.03(*)
50	4.03(*)
75	4.03(*)

(*) onda frangente

Tabella V – Altezze d'onda al piè d'opera per vari tempi di ritorno.

4 DIMENSIONAMENTO DEI MASSI DELLE OPERE DI DIFESA

4.1 ONDA DI PROGETTO

Il calcolo dell'onda di progetto utilizzata per il dimensionamento delle scogliere emerse della berma sotto il Belvedere e di quelle sommerse del pennello all'estremo levante del paraggio è stato eseguito secondo i criteri indicati nelle "Istruzioni tecniche per la progettazione delle dighe marittime", approvate dall'Assemblea Generale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici con voto del 23 settembre 1994 n. 156.

In particolare si è assunta come durata minima di vita *Tv* per l'opera a progetto, quella corrispondente ad un'opera strategica quale una struttura a difesa di un impianto di depurazione con livello di sicurezza pari a 1, ossia 50 anni.

Come massima probabilità di danneggiamento dell'opera *Pf* è stata assunta quella corrispondente al danneggiamento incipiente come consigliato per le strutture flessibili (le opere in esame non sono soggette a collasso strutturale immediato) con limitato rischio per la vita umana e ripercussione economica bassa (il rapporto tra i costi diretti del danneggiamento, sommati a quelli indiretti per la perdita di funzionalità delle opere protette e il costo totale per la realizzazione dell'opera è minore di 5), ossia *Pf* = 0.50.

Danneggiamento incipiente		
Ripercussione economica	Limitato	Elevato
Bassa	0.50	0.30
Media	0.30	0.20
Alta	0.25	0.15

Tabella VI - Danneggiamento della mantellata.

La combinazione del tempo di vita dell'opera *Tv* e della probabilità di danneggiamento *Pf* determina il tempo di ritorno dell'evento di T_{rp}:

$$T_{rp} = \frac{T_v}{-\ln(1-P_f)} = 72 \text{ anni}$$

Ai fini dei calcoli è stato quindi assunto, cautelativamente, un tempo di ritorno dell'onda di progetto pari a **75 anni**.

4.2 CALCOLO DEI MASSI

Si riporta di seguito il calcolo di dimensionamento preliminare dei massi della scogliera.

L'espressione più largamente utilizzata per determinare il peso degli elementi della mantellata è quella di **Hudson**, ricavata in base ad un grande numero di risultati sperimentali.

$$P = \frac{\gamma_m * H^3}{K_D * \left(\frac{\gamma_m}{\gamma_a} - 1\right)^3 * \cot \alpha}$$

dove:

- H = onda di progetto (assunta nel caso in esame pari a quella 75-ennale)
- α = angolo che la scarpata forma con l'orizzontale (cotg α = scarpa della mantellata)
- γ_m = peso specifico dei massi costituenti la mantellata (2,60 t/m^3)
- γ_a = peso specifico dell'acqua di mare (1,03 t/m^3)
- K_D = coefficiente che sintetizza le caratteristiche relative a forma, angolo di attrito interno e indice dei vuoti degli elementi che costituiscono la mantellata

Il coefficiente K_d è tabellato nello Shore Protection Manual e in numerose pubblicazioni in letteratura in funzione della tipologia di elemento e della percentuale di danneggiamento:

Tipo di elemento		**Percentuale di danneggiamento (D)**						
		0÷5	5÷10	10÷15	15÷20	20÷30	30÷40	40÷50
Massi naturali (a spigoli arrotondati)	$H/H_{D=0}$	1.00	1.08	1.14	1.2	1.29	1.41	1.54
	K_D	2.4	3.0	3.6	4.1	5.1	6.7	8.7
Massi naturali (a spigoli vivi)	$H/H_{D=0}$	1.00	1.08	1.19	1.27	1.37	1.47	1.57
	K_D	**4.0**	4.9	6.6	8.0	10.0	12.4	15.0
Tetrapodi e quadripodi	$H/H_{D=0}$	1.00	1.09	1.17	1.24	1.32	1.41	1.50
	K_D	8.3	10.8	13.4	15.9	19.2	23.4	27.8
Tribar	$H/H_{D=0}$	1.00	1.11	1.25	1.36	1.5	1.59	1.64
	K_D	10.4	14.2	19.4	26.2	35.2	41.8	45.9

Tabella VII – Percentuale di danneggiamento della mantellata di scogli naturali

Considerando un "danneggiamento nullo", corrispondente ad una situazione di perdita molto limitata e facilmente riparabile degli elementi (1÷2 %), ed una scogliera realizzata in massi naturali (**K_D=4**), si ottiene il peso dei massi naturali da utilizzare per la mantellata.

Per il dimensionamento della **mantellata prevista a protezione del Belvedere** (pendenza del paramento pari a 2/3 e per il **piede del nuovo pennello** che si estende alla radice del molo Sbolgi si ottengono massi di dimensioni ciclopiche, classificati nella IV categoria.

γ_m [t/m^3]	γ_a [t/m^3]	H_S [m]	α [°]	K_D [-]	P [t]	D [m]
2.60	1.03	4.03	33.70	4.00	8.01	1.81

Tabella VIII – Dimensioni e peso dei massi della berma sotto il Belvedere

Il **nuovo pennello** che verrà realizzato a protezione del paraggio sul suo limite orientale, in continuità a due dorsi di roccia calcarea che si estendono alla base del Castello, in direzione pressoché ortogonale al molo Sbolgi, verrà realizzato con una sezione trapezoidale appena emergente con scarpate laterali con pendenza 1/2; anche la testata dell'opera marittima avrà la medesima pendenza e si appoggerà alla base di massi ciclopici sul fondale di -3.00 m.

Tutti i massi verranno comunque disposti in doppio strato, con elementi a spigoli vivi in modo da assicurare un mutuo incastro.
Per questa parte del pennello si potranno utilizzare massi di III categoria, al limite della IV cat., aventi peso unitario mediamente pari a:

γ_m [t/m^3]	γ_a [t/m^3]	$H_{1/10}$ [m]	α [°]	K_D [-]	P [t]	D [m]
2.60	1.03	3.53	26.60	4.00	6.00	1.64

Tabella IX – Dimensioni e peso dei massi del pennello

Detto P il peso medio risultante dai calcoli sopra riportati, il peso minimo e quello massimo devono essere pari a 0.75 P e 1.25 P. Risulta pertanto:

Berma emersa sotto il Belvedere :	massi di IV cat.	Pmin = 6.0 t	Pmax = 10.0 t.
Base sommersa del nuovo pennello:	massi di IV cat.	Pmin = 6.0 t	Pmax = 10.0 t.
Corpo emerso del nuovo pennello :	massi di III cat.	Pmin = 4.5 t	Pmax = 7.5 t.

4.3 EFFETTI DELLE OPERE.

La berma in massi di IV categoria presente alla base della falesia sotto il Belvedere verrà ampliata e potenziata con un ulteriore strato di massi. Ciò consentirà una migliore azione di difesa contro le onde che oggi raggiungono il piede della parete rocciosa. La sopraelevazione e l'avanzamento dell'opera inoltre contribuirà a garantire una difesa laterale alla spiaggia sotto la Chiesa.

La scogliera radente in massi di III categoria prevista sotto la scogliera a levante del Belvedere avrà funzione di frangiflutti e difesa di un tratto di falesia particolarmente vulnerabile in quanto – ad oggi – privo di qualsiasi struttura difensiva.

Il pennello che verrà realizzato al limite orientale del paraggio si inserirà tra due dorsi rocciosi semi sommersi che si estendono per circa 35-40 metri dalla radice del molo Sbolgi; la altezza dell'opera sul livello del mare è stata contenuta (+1.00 m) per limitare l'impatto paesaggistico ma la sua posizione, unita alla presenza dei due costoni rocciosi, fornirà un positiva azione dissipativa delle onde incidenti dalla direzione di scirocco e un valido schermo di contrasto alla perdita di sedimenti causata dalle ondazioni di libeccio.