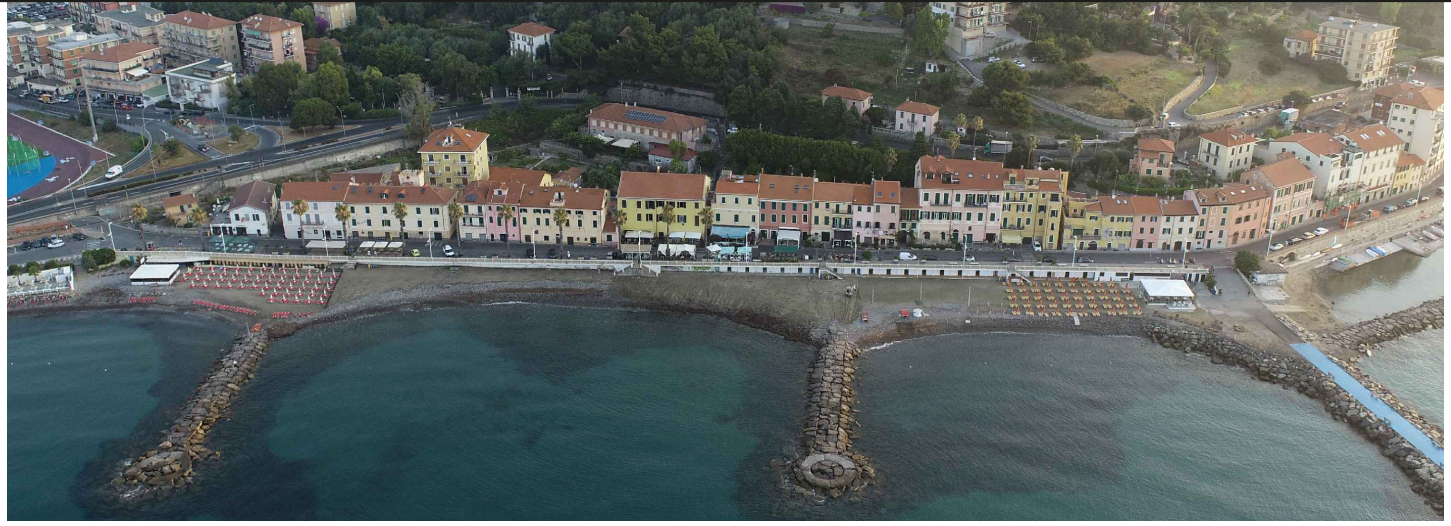


ECCEZIONALI EVENTI METEO OTTOBRE 2018 OCDPC 558 DEL 15 NOVEMBRE 2018
ANNUALITA' 2021 - DCD 7/2021
RESILIENZA ED OPERE DI MIGLIORAMENTO E RESILIENZA LUNGOMARE DEL PRINO E PIAZZALE LAMBOGLIA

Commitente:

CITTÀ DI IMPERIA

R.U.P. Ing. Marco Marvaldi
Viale Matteotti, 157
18100 - Imperia (IM)

Progettisti:

SERTEC ENGINEERING CONSULTING S.R.L
Strada Provinciale 222 n. 31 - Loranzè (TO)
tel +39 01251970499
info.sertec@ilquadrifoglio.to.it
www.sertec-engineering.com

Ing. Domenico GABRIELE
Ordine Ingegneri della Prov. di Torino n. 7261T
domenico.gabriele@ilquadrifoglio.to.it

LD+SR architetti
vico delle vele 7/2 - 16128 Genova
tel 010 2462478 - fax 010 42031123
www.LDpiuSR.it

Arch. Silvia Rizzo
Ordine Architetti P.P.C. della Prov. di Genova n°4712
rizzo@LDpiuSR.it

ORDINE DEGLI ARCHITETTI-PIANIFICATORI-PAESAGGISTI E CONSERVATORI DI GENOVA
ARCHITETTO SILVIA RIZZO n. isc. 4712

Collaboratori esterni:

STUDIO TECNICO ASSOCIATO FERRI E GAZZANO
Via Dante 15/a
18017 Civezza (IM)
tel/fax 018392673
guido@ferrigazzano.it

Fase Progettuale	Archivio	Scala	Data
PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO	5385	__:___	07/12/2021

Revisione	Data	Descrizione	Redatto	Verificato	Riesaminato
2					
1					
0	07/12/2021	PROGETTO DEFINITIVO - ESECUTIVO	G.F.	F.T.	D.G.

TITOLO

RELAZIONE IDRAULICA

TAV N°

F

COMUNE DI IMPERIA

PROVINCIA DI IMPERIA

ECCEZIONALI EVENTI METEO OTTOBRE 2018 OCDPC 558 DEL 15 NOVEMBRE 2018 ANNUALITA' 2021 - DCD 7/2021

RESILIENZA ED OPERE DI MIGLIORAMENTO E RESILIENZA LUNGOMARE DEL PRINO E PIAZZALE LAMBOGLIA

RELAZIONE IDRAULICA

SOMMARIO

1. INTRODUZIONE 2

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO 2

3. SETTORE DI TRAVERSIA GEOGRAFICO. 2

4. CLIMA METEOMARINO 4

4.1 VENTI 4

4.2 MOTO ONDOSO 6

4.2.1 Schematizzazione del moto ondoso al largo 8

4.2.2 9

4.2.3 Altezza d'onda significativa con tempo di ritorno di 50 anni 20

5. BATIMETRIA E SEDIMENTOLOGIA 22

6. FANEROGAME 22

7. LIVELLO DEL MARE. 22

8. CORRENTI. 23

9. EVOLUZIONE STORICA. 24

10. IMPOSTAZIONE DEL PROGETTO 27

10.1 DIMENSIONAMENTO DELLE MANTELLATE ESTERNE 27

10.2 MASSI UTILIZZATI 28

11. CONCLUSIONI 29

1. Introduzione

In seguito agli eventi estremi del 2018 e 2019 verificatesi sulla costa ligure, la costa di Imperia in particolare nella zona di Borgo Prino ha subito consistenti danni sia alle scogliere realizzate a protezione dell'abitato, sia al muro di contenimento della passeggiata. Con finanziamento finalizzato all'aumento del livello di resilienza si è deciso di intervenire per aumentare la difesa della passeggiata nel tratto compreso tra il piazzale di Santa Lucia, ed il molo a Levante di Lungomare Cristoforo Colombo. Si è scelta la realizzazione di una difesa di tipo morbido mediante la razionalizzazione delle opere fisse esistenti e la realizzazione di un ripascimento artificiale con ghiaino . Con il ripascimento artificiale si cerca di governare l'energia del moto ondoso spostando verso il largo la linea dei frangenti evitando al contempo la costruzione di quelle opere che, oltre ad essere paesaggisticamente dannose, provocano alte concentrazioni locali di dissipazione di energia, interferendo con la dinamica litoranea.

2. Inquadramento geografico

Il tratto costa interessato dai lavori, si presenta pressoché rettilineo, ed è compreso tra i 43°52', - 43°52'30'' di latitudine Nord egli 7°59'30'' e 8°00'30'' di longitudine Est con orientamento di 164 °N.

3. Settore di traversia geografico.

Il settore di traversia del paraggio in esame è compreso tra 65°N (Capo Berta) e 235°N (Cap Camarat) con una apertura di circa 170° ed è interessato dai mari provenienti dal I°, II° e III° quadrante.

Il settore è stato suddiviso in sei settori parziali a seconda della direzione di provenienza del moto ondoso, Settore di Libeccio e settore di Levante di ampiezza 40° e i settori di Scirocco e Mezzogiorno di ampiezza 30°:

Moto ondoso da:	**Compreso tra:**	**Fetch[1] (Km)**
Libeccio	235°N – 195°N	863
Mezzogiorno	195°N – 165°N	557
Scirocco settore Corso	165°N – 135°N	162
Scirocco settore Toscano	135°N – 105°N	234
Levante	105°N – 65°N	181

[1] Si definisce Fetch la distanza di mare libero nella direzione di provenienza del moto ondoso.

Il settore di Libeccio è quello da cui provengono le ondazioni di maggiore entità, traversia principale .

Vedasi cartina allegata alla pagina successiva.

65° N CAPO BERTA

235° N CAP CAMARAT

105°N

135°N

165°N

195°N

LEVANTE

SETTORE TOSCANO

SCIROCCO

SETTORE "CORSO"

SCIROCCO

LIBECCIO

MEZZOGIORNO

BACINO CORSO LIGURE

MAR LIGURE
LIGURIAN SEA

MARE ADRIATICO

CORSE

ROMA

GOLFO DI GENOVA

GOLFO DI VENEZIA

SCALA 1:2.250.000

4. Clima meteomarino

Per caratterizzare il clima meteomarino, ovvero la definizione in termini di frequenza annuali delle altezze d'onda associate ad ogni direzione del settore di traversia si devono elaborare statisticamente, se disponibili, le registrazioni degli stati di mare effettuate mediante boa ondametrica, se presente nella zona oppure determinare le onde a partire dal regime di vento che caratterizza la zona in esame.

4.1 Venti

Per il sito in esame si hanno a disposizione i dati delle "stazioni" di misura poste sul faro di "Capo Mele" (22 anni di osservazioni) e di Bordighera (16 anni di osservazioni).

- Capo Mele

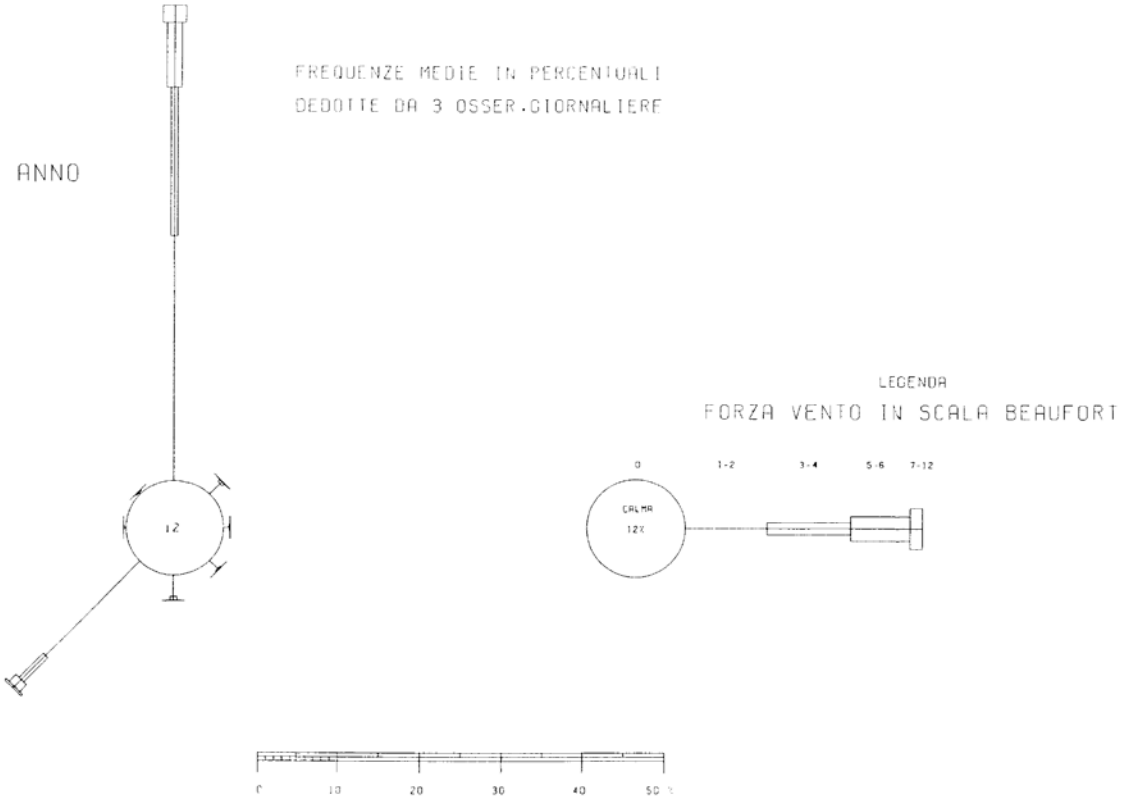
Osservando il grafico polare rappresentativo delle frequenze medio annue ci rendiamo subito conto che tali dati non sono attendibili per una ricostruzione indiretta del moto ondoso mediante modelli matematici; pare molto strana infatti, la bassissima frequenza associata ai venti di Grecale e di Levante.

Probabilmente nella zona di installazione della "stazione" di misura i venti risentono della conformazione della costa, in quel tratto molto frastagliata, oltre al fatto di trovarci ad una quota superiore rispetto al livello del mare.

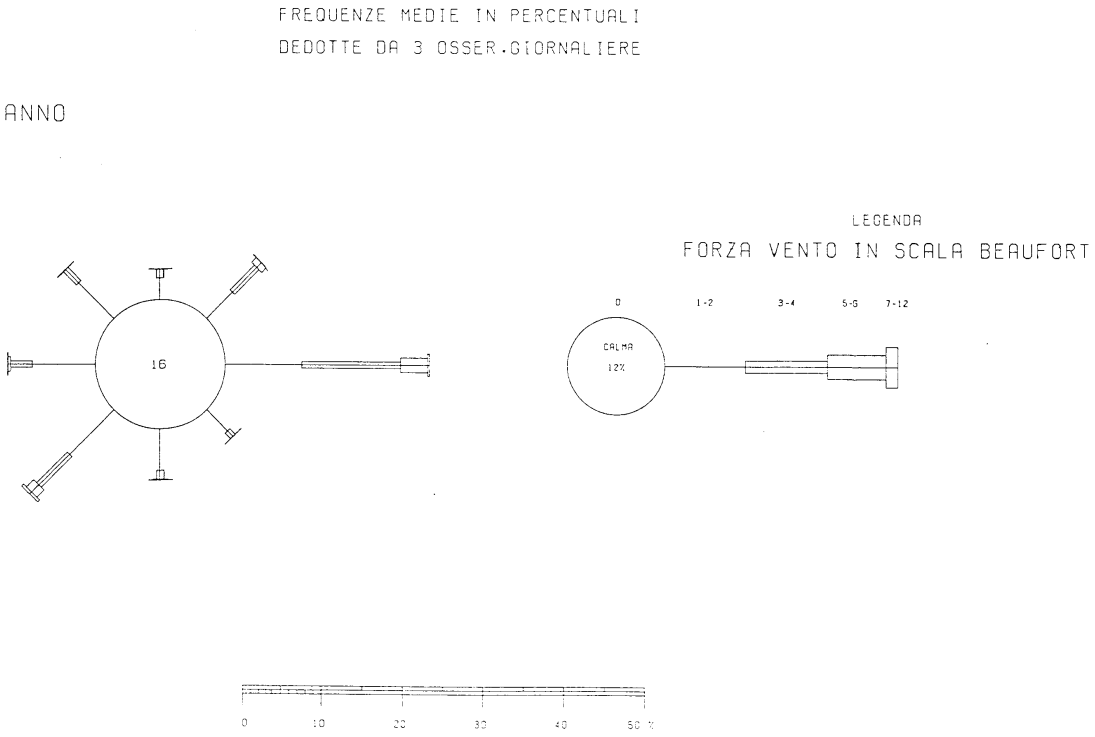
-Bordighera

I dati forniti dalla "stazione di misura di Bordighera sembrano a prima vista più veritieri, ma il campione è limitato a soli 16 anni di osservazioni e dunque non è abbastanza rappresentativo del fenomeno.

I dati di vento a disposizione, quindi, non sono sufficienti come dati di ingresso in un modello di Hindcasting per determinare le caratteristiche del moto ondoso generato dal vento ma danno esclusivamente una indicazione qualitativa del fenomeno. .



Faro di Capo Mele (22 anni di osservazioni) Diagramma Polare



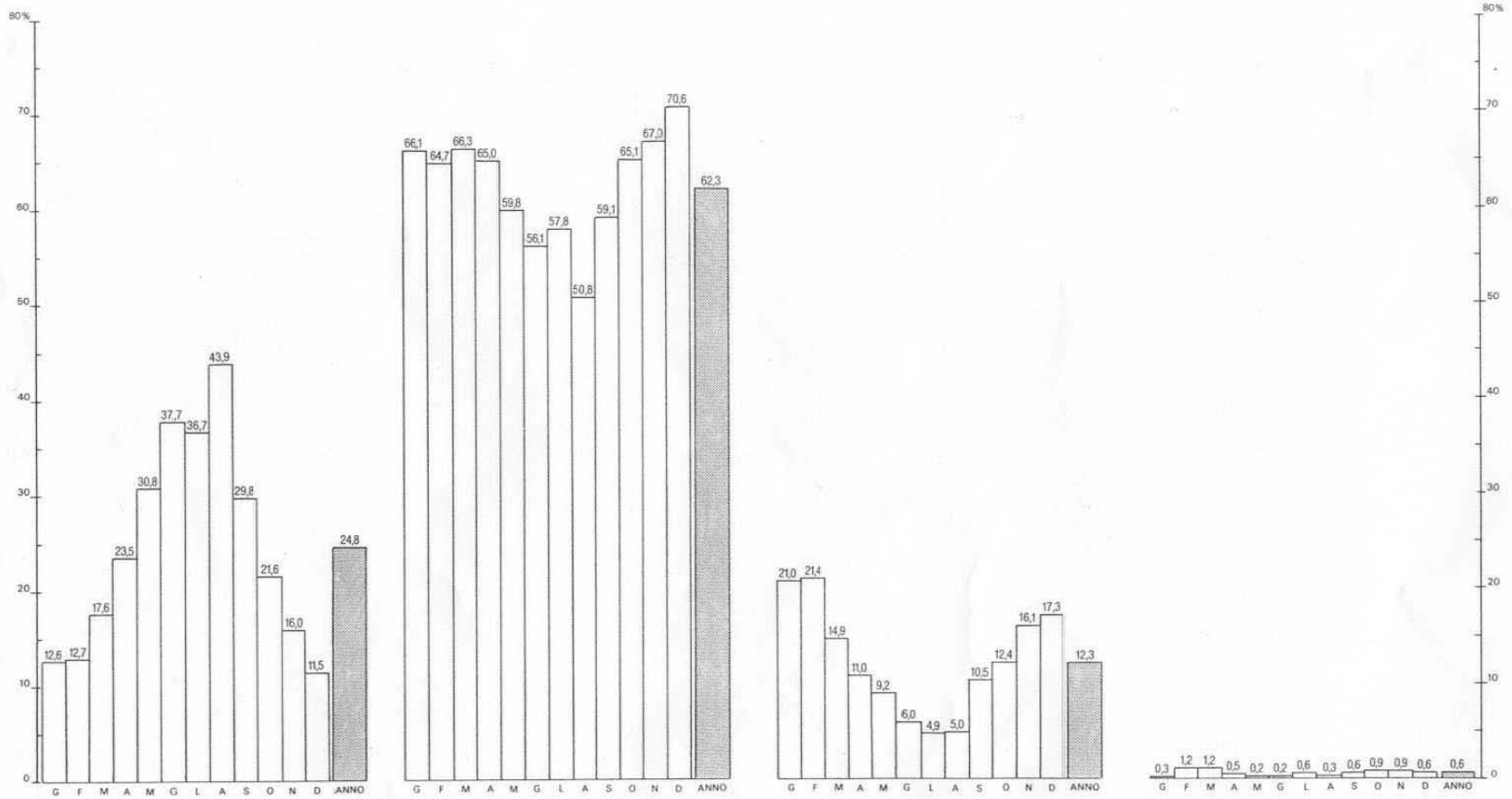
Faro di Bordighera (16 anni di osservazioni) Diagramma Polare

4.2 Moto ondoso

Le prime indicazioni di carattere generale sono state ricavate da osservazione eseguite presso la "stazione" di Capo Mele, da cui risulta una maggiore frequenza, pari al 62,3% per stati di mare con forza 2-3 (H_s = 0,1 – 1,25 m). Gli eventi estremi classificati come mare forza 6-8 (H_s > 4m) sono molto rari, concentrati nel periodo invernale e provenienti dal settore di traversia compreso tra Libeccio e Mezzogiorno (vedasi grafico successivo).

STATO DEL MARE

Frequenze medie in percento dedotte da tre osservazioni giornaliere relative a 22 anni



Una registrazione più dettagliata degli stati di mare al largo del sito in esame è stata effettuata dal KNMI (Reale Istituto Meteorologico Olandese) sulla base delle osservazioni trasmesse dalle navi in transito.
La zona nella quale sono stati rilevati i dati si trova tra i 43° - 45° di latitudine Nord e tra gli 8° - 10° di longitudine Est.
I dati utilizzati si riferiscono al periodo 1961 – 1980 e sono suddivisi in settori di provenienza di 30° e per classi di altezza d'onda di ampiezza 0,5 metri.
Nella tabella 1 sono sintetizzate le informazioni disponibili assegnando, per ogni classe e per ogni settore di provenienza, la relativa frequenza in percentuale del tempo.
Evidentemente tali dati sono soggetti agli errori dovuti alle stime visuali e dunque soggettive, oltre al pericolo che lo stesso evento può essere conteggiato più volte da navi diverse e che, durante le mareggiate più gravose, solitamente, le navi non escono in mare aperto.

Nella zona in esame non sono presenti boe ondametriche, la più vicina si trova a La Spezia, per cui non sono disponibili dati di misura più precisi oltre a quelli già citati; la serie di misurazioni effettuate può essere solamente utilizzata per determinare l'altezza d'onda significativa associata alla traversia a cui competono le ondazioni maggiori, nel nostro caso Libeccio.

4.2.1 Schematizzazione del moto ondoso al largo

In mancanza di dati più precisi, come precisato nei paragrafi precedenti, si è scelto di utilizzare i dati del KNMI ben consci dei limiti di tali misurazioni.
Per prima cosa occorre calcolare per ogni classe di altezza d'onda il periodo e la lunghezza d'onda associata
E' stato verificato che per le zone di mare delimitate, come il Mediterraneo, è valida la relazione teorica secondo lo spettro Jonswap :

$$T = \frac{8{,}5 \cdot \pi \cdot \sqrt{H}}{\sqrt{4g}}$$

dove: T = Periodo
H = altezza d'onda
g = accelerazione di gravità

mediante la quale è possibile ricavare il periodo associato ad una altezza d'onda. Utilizzando poi la relazione di dispersione per le condizioni di largo (h/L > 0,5):

$$L = L_o = \frac{g \cdot T^2}{2\pi}$$

dove: $L = L_o$ = lunghezza d'onda al largo

T = periodo

g = accelerazione di gravità

si ricava il valore della lunghezza d'onda.

Nella tabella 2 sono evidenziati i risultati dei calcoli descritti che rappresentano la base per lo studio in esame.

Si osservi che la direzione di Libeccio non è solo quella da cui provengono le mareggiate di maggiore intensità, ma anche la direzione alla quale è associata la maggiore frequenza.

4.2.2

Clima di moto ondoso al largo (Dati K.N.M.I. 1961 - 1980)

Frequenza (%) per classe d'altezza d'onda e per direzione di provenienza

Hs (m)	**Non definito**	**15° 45°**	**45° 75°**	**75° 105°**	**105° 135°**	**135° 165°**	**165° 195°**	**195° 225°**	**225° 255°**	**255° 285°**	**285° 315°**	**315° 345°**	**345° 15°**	**Tutte le direzioni**
0,00 - 0,25	13.90	1.10	1.10	1.20	0.61	0.70	0.72	1.10	1.30	1.20	0.57	0.83	0.92	25.25
0,25 - 0,75	1.30	2.50	2.30	2.30	1.70	2.10	2.10	2.90	4.40	2.70	1.10	1.40	2.20	29.00
0,75 - 1,25	0.27	1.50	1.50	1.20	0.97	1.70	1.50	2.90	3.80	1.90	0.60	0.93	1.50	20.27
1,25 - 1,75	0.15	0.91	1.10	0.95	0.31	0.43	0.59	1.70	3.10	1.40	0.33	0.37	0.68	12.02
1,75 - 2,25	0.05	0.63	0.52	0.24	0.19	0.21	0.39	0.96	2.00	1.10	0.19	0.27	0.38	7.13
2,25 - 2,75	0.02	0.26	0.28	0.08	0.06	0.11	0.05	0.27	1.00	0.48	0.11	0.11	0.14	2.97
2,75 - 3,25	0.01	0.25	0.14	0.06	0.03	0.05	0.04	0.15	0.53	0.37	0.08	0.03	0.10	1.84
3,25 - 3,75	0.01	0.08	0.05	0.01	0.02	0.01	0.03	0.05	0.17	0.14	0.01	0.01	0.03	0.62
3,75 - 4,25	0.00	0.04	0.02	0.00	0.00	0.01	0.01	0.08	0.23	0.18	0.02	0,'03	0.03	0.62
4,25 - 4,75	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.06	0.06	0.01	0.00	0.01	0.19
4,75 - 5,25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.03	0.00	0.00	0.00	0.07
5,25 - 5,75	0.00	0.00	0.01	0.00	0.03	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.06
5,75 - 6,25	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.03	0.04	0.00	0.01	0.01	0.13
6,25 - 6,75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Totale	15.71	7.30	7.05	6.04	3.92	5.32	5.44	10.15	16.66	9.60	3.03	3.96	6.00	100.18

Valori in percentuale del tempo

TAB. 1

Schematizzazione del moto ondoso al largo secondo dati K.N.M.I.

classi (m)	*Caratteristiche medie* H (m)	T (s)	L (m)	*Frequenza in percentuale del tempo dei settori interessati* 65-105	105-135	135-165	165-195	195-235
0,00 - 0,25	0.13	1.5	3.55	1.38	0.61	0.70	0.72	1.53
0,25 - 0,75	0.50	3.0	14.19	2.68	1.70	2.10	2.10	4.37
0,75 - 1,25	1.00	4.3	28.37	1.45	0.97	1.70	1.50	4.17
1,25 - 1,75	1.50	5.2	42.56	1.13	0.31	0.43	0.59	2.73
1,75 - 2,25	2.00	6.0	56.75	0.33	0.19	0.21	0.39	1.63
2,25 - 2,75	2.50	6.7	70.93	0.13	0.06	0.11	0.05	0.60
2,75 - 3,25	3.00	7.4	85.12	0.08	0.03	0.05	0.04	0.33
3,25 - 3,75	3.50	8.0	99.30	0.02	0.02	0.01	0.03	0.11
3,75 - 4,25	4.00	8.5	113.49	0.003	-	0.01	0.01	0.16
4,25 - 4,75	4.50	9.0	127.68	0.003	-	-	0.01	0.02
4,75 - 5,25	5.00	9.5	141.86	-	-	-	-	0.01
5,25 - 5,75	5.50	10.0	156.05	0.002	0.03	-	-	0.01
5,75 - 6,25	6.00	10.4	170.24	0.002	-	-	-	0.03
6,25 - 6,75	6.50	10.9	184.42	-	-	-	-	0.01
			Totale	7.22	3.92	5.32	5.44	15.70

TAB.2

Per studiare l'andamento della deriva litoranea non occorre conoscere, assegnato un determinato tempo di ritorno[2], la massima altezza d'onda prevedibile e la sua direzione di provenienza, bensì è necessario determinare il settore per cui le ondazioni forniscono flusso di energia massimo.
Si definisce flusso di energia per unità di lunghezza di cresta d'onda il prodotto:

$$P = E \cdot C_g$$

Dove:

$$E = \frac{1}{8}\gamma H^2 = energia\ specifica\ dell'onda$$

$$C_g = \frac{gT^2}{4\pi} = celerità\ di\ gruppo = velocità\ con\ cui\ si\ propaga\ l'energia$$

γ = peso specifico acqua di mare

Noto il flusso di energia associata ad ogni settore di traversia, moltiplicandolo per la relativa frequenza, otteniamo il flusso medio annuo per quella determinata provenienza.

Per ultimare la schematizzazione del moto ondoso al largo si ricerca, per ciascuna provenienza, l'onda energeticamente equivalente cioè l'altezza d'onda che abbinata alla frequenza complessiva della specifica traversia dà origine ad un flusso energetico e, quindi, ad una potenzialità di trasporto equivalente a quello che si otterrebbe considerando le diverse classi di altezza. Occorre imporre, per ogni direzione di provenienza la seguente uguaglianza:

$$\sum_i P_i f_i = \sum_i P_i \sum f_i$$

dove:

P_i = flusso di energia della classe i-esima

[2] Si definisce tempo di ritorno del massimo valore x il numero di anni in cui, mediamente, l'evento x è superato una sola volta

f_i = frequenza temporale della classe i-esima

Risolvibile per successive approssimazioni usando le relazione viste prima, nelle tabelle *3,4,5,6* ,7,8, sono evidenziati i risultati dei calcoli sopra descritti.

Facendo l'ipotesi di assumere come direzione media di provenienza di ogni settore , quella centrale e sommando vettorialmente il flusso medio annuo risulta che la direzione netta del flusso al largo è da 196°N (vedi tabella), direzione ortogonale alla linea di riva.

Da tutto ciò si evince che il trasporto solido netto potenziale si ha da Ponente verso Levante, come generalmente accade in tutta la Liguria di Ponente.

Calcolo flusso medio e dell'onda energeticamente equivalente

Ondazione da 65-105

H (m)	L (m)	T (s)	Frequenza % del tempo	Flusso (Kg/s)
0.13	3.5	1.51	1.383	0.01
0.50	14.2	3.01	2.683	0.09
1.00	28.4	4.26	1.450	0.14
1.50	42.6	5.22	1.133	0.20
2.00	56.7	6.03	0.327	0.09
2.50	70.9	6.74	0.127	0.05
3.00	85.1	7.38	0.083	0.04
3.50	99.3	7.98	0.018	0.01
4.00	113.5	8.53	0.003	0.00
4.50	127.7	9.04	0.003	0.00
5.00	141.9	9.53	-	-
5.50	156.0	10.00	0.002	0.00
6.00	170.2	10.44	0.002	0.00
6.50	184.4	10.87	-	-
		Totale	7.22	0.63

Caratteristiche onda media energeticamente equivalente

Heq (m)	0.21
L (m)	6.02
T (s)	1.96

TAB. 3

Calcolo flusso medio e dell'onda energeticamente equivalente

Ondazione da 105-135

H (m)	L (m)	T (s)	Frequenza % del tempo	Flusso (Kg/s)
0.13	3.5	1.51	0.610	0.01
0.50	14.2	3.01	1.700	1.27
1.00	28.4	4.26	0.970	4.10
1.50	42.6	5.22	0.310	3.61
2.00	56.7	6.03	0.190	4.54
2.50	70.9	6.74	0.060	2.50
3.00	85.1	7.38	0.030	1.97
3.50	99.3	7.98	0.020	1.94
4.00	113.5	8.53	-	-
4.50	127.7	9.04	-	-
5.00	141.9	9.53	-	-
5.50	156.0	10.00	0.030	8.99
6.00	170.2	10.44	-	-
6.50	184.4	10.87	-	-
		Totale	3.92	19.94

Caratteristiche onda media energeticamente equivalente

Heq (m)	1.08
L (m)	30.57
T (s)	4.42

TAB. 4

Calcolo flusso medio e dell'onda energeticamente equivalente

Ondazione da 135-165

H (m)	L (m)	T (s)	Frequenza % del tempo	Flusso (Kg/s)
0.13	3.59	1.5	0.700	0.02
0.50	14.35	3.0	2.100	1.58
1.00	28.71	4.3	1.700	7.22
1.50	43.06	5.3	0.430	5.03
2.00	57.41	6.1	0.210	5.05
2.50	71.77	6.8	0.110	4.62
3.00	86.12	7.4	0.050	3.31
3.50	100.48	8.0	0.010	0.97
4.00	114.83	8.6	0.010	1.36
4.50	129.18	9.1	-	-
5.00	143.54	9.6	-	-
5.50	157.89	10.1	-	-
6.00	172.24	10.5	-	-
6.50	186.60	10.9	-	-
		Totale	5.32	29.15

Caratteristiche onda media energeticamente equivalente

Heq (m)	1.11
L (m)	31.49
T (s)	4.49

TAB. 5

Calcolo flusso medio e dell'onda energeticamente equivalente

Ondazione da 165-195

H (m)	L (m)	T (s)	Frequenza % del tempo	Flusso (Kg/s)
0.13	3.5	1.51	0.72	0.02
0.50	14.2	3.01	2.10	1.57
1.00	28.4	4.26	1.50	6.33
1.50	42.6	5.22	0.59	6.86
2.00	56.7	6.03	0.39	9.31
2.50	70.9	6.74	0.05	2.09
3.00	85.1	7.38	0.04	2.63
3.50	99.3	7.98	0.03	2.90
4.00	113.5	8.53	0.01	1.35
4.50	127.7	9.04	0.01	1.81
5.00	141.9	9.53	-	-
5.50	156.0	10.00	-	-
6.00	170.2	10.44	-	-
6.50	184.4	10.87	-	-
		Totale	5.44	34.88

Caratteristiche onda media energeticamente equivalente

Heq (m)	1.18
L (m)	33.53
T (s)	4.63

TAB. 6

Calcolo flusso medio e dell'onda energeticamente equivalente

Ondazione da 195-235

H (m)	L (m)	T (s)	Frequenza % del tempo	Flusso (Kg/s)
0.13	3.5	1.51	1.53	0.04
0.50	14.2	3.01	4.37	3.26
1.00	28.4	4.26	4.17	17.59
1.50	42.6	5.22	2.73	31.80
2.00	56.7	6.03	1.63	38.85
2.50	70.9	6.74	0.60	25.17
3.00	85.1	7.38	0.33	21.50
3.50	99.3	7.98	0.11	10.32
4.00	113.5	8.53	0.16	21.17
4.50	127.7	9.04	0.02	3.63
5.00	141.9	9.53	0.01	3.15
5.50	156.0	10.00	0.01	3.00
6.00	170.2	10.44	0.03	11.17
6.50	184.4	10.87	0.01	4.55
		Totale	15.70	173.33

Caratteristiche onda media energeticamente equivalente

Heq (m)	1.47
L (m)	41.67
T (s)	5.17

TAB. 7

Calcolo flusso medio e dell'onda energeticamente equivalente

tutte le direzioni

H (m)	L (m)	T (s)	Frequenza % del tempo	Flusso (Kg/s)
0.13	3.5	1.51	4.95	0.12
0.50	14.2	3.01	12.95	9.67
1.00	28.4	4.26	9.79	41.32
1.50	42.6	5.22	5.20	60.46
2.00	56.7	6.03	2.74	65.52
2.50	70.9	6.74	0.95	39.64
3.00	85.1	7.38	0.53	34.88
3.50	99.3	7.98	0.19	17.90
4.00	113.5	8.53	0.18	24.32
4.50	127.7	9.04	0.03	6.05
5.00	141.9	9.53	0.01	3.15
5.50	156.0	10.00	0.04	12.48
6.00	170.2	10.44	0.03	11.79
6.50	184.4	10.87	0.01	4.55
		Totale	37.60	331.84

Caratteristiche onda media energeticamente equivalente

Heq (m)	1.34
L (m)	38.11
T (s)	4.94

TAB. 8

Direzione di provenienza onda energeticamente equivalente

direzione media in gradi	P (Kg/s)	Px (Kg/s)	Py (Kg/s)
215	173.33	-99.42	-141.99
185	34.88	-3.04	-34.75
155	29.15	12.32	-26.42
125	19.94	16.33	-11.44
85	0.63	0.63	0.06
	257.93	-73.18	-214.54

Direzione onda equivalente al largo = 199

4.2.3 Altezza d'onda significativa con tempo di ritorno di 50 anni

Per dimensionare le opere di difesa della costa ci occorre conoscere i valori dell'altezza d'onda significativa con assegnato tempo di ritorno, in mancanza di dati più precisi si usano i parametri di probabilità $P(H_s>h)$[3] omniderezionale, ottenuti elaborando i dati della boa ondametrica posta al largo di La Spezia. Si può affermare che per il settore di traversia principale i dati di La Spezia garantiscono una sufficiente approssimazione, seppur per eccesso.

Occorre risolvere l'uguaglianza :

$$\frac{\overline{b}(h)}{R}\cdot\exp\left(\frac{h}{w}\right)^{u}=1+u\cdot\left(\frac{h}{w}\right)^{u}$$

dove:

R	=	Tempo di ritorno
u,w	=	Parametri di probabilità omnidirezionale
$\overline{b}(h)$	=	Valore medio della durata delle mareggiate di assegnata altezza h

Fissato un valore di tentativo di $\overline{b}(h)$ che chiameremo B e definendo $x=\frac{B}{R}\exp\left(\frac{h}{w}\right)^{u}$, e $A=1+u\ln\left(\frac{R}{B}\right)$ l'espressione precedente si può scrivere:

$$x=A+u\ln x$$

si può verificare che il valore di x che la soddisfa è il limite della successione:

$$x_i=A+u\ln x_{i-1}\quad con\quad x_o=A$$

noto x si ricava $h(r)=w\cdot\left[\frac{R}{B}\cdot x\right]^{\frac{1}{u}}$

Definendo a_{10} = il valore medio delle altezze delle 10 mareggiate più forti in N anni e b_{10} = il valore medio della durata delle 10 mareggiate più forti in N anni si pone

---

[3] Si ricorda che $P(H_s>h)=\exp\left[-\left(\frac{h}{w}\right)^{u}\right]$ = asintoto della funzione $P(H_s>h\ \ \theta_1<\theta<\theta_2)$ probabilità direzionale , per il settore di massima traversia

inizialmente B = b_{10}, si ricava h(R) si calcola $\bar{b}(h) = b_{10}\left(1{,}11 - 0{,}11\frac{h}{a_{10}}\right)$ si ripete l'operazione fino alla convergenza.

Si riportano i valori relative alla boa di La Spezia ed i risultati dei calcoli.

DETERMINAZIONE ALTEZZA SIGNIFICATIVA

R anni		b10 ore		w metri		u		a10 metri
50		74		0,731		1,023		3,6

1 iterazione	2 iterazione	3 iterazione
	B= 64,59 ore	B= 64,37 ore
A= 9,89	A= 10,02	A= 10,03
X0= 9,89	X0= 10,02	X0= 10,03
X1= 12,23	X1= 12,38	X1= 12,39
X2= 12,45	X2= 12,60	X2= 12,60
X3= 12,47	X3= 12,62	X3= 12,62
X4= 12,47	X4= 12,62	X4= 12,62
X5= 12,47	X5= 12,62	X5= 12,62
X6= 12,47	X6= 12,62	X6= 12,62
X7= 12,47	X7= 12,62	X7= 12,62
X8= 12,47	X8= 12,62	X8= 12,62
h(R)= 7,76 m	h(R)= 7,86 m	h(R)= 7,86 m

Nota l'altezza significativa di uno stato di mare occorre calcolarne il periodo T e la lunghezza d'onda L associati.

Noto il valore dell'altezza significativa è immediato calcolare T=11,9 sec (periodo) ed L = 223 m (lunghezza d'onda) vedi A7.

Per completezza si ricava la durata di tempo medio D(h) in cui la H_s si mantiene al di sopra della soglia h nelle mareggiate dove tale soglia viene superata.

$$D(h) = \text{p}ersistenza \text{ al di sopra la soglia } = \frac{\overline{b}(h)}{1+u\left(\frac{h}{w}\right)^u} = 5{,}10\, ore$$

Gli stati di mare appena calcolati sono tali da raggiungere le opere progettate dopo aver effettuato almeno un frangimento, da questo ne consegue che si adotterà come onda di progetto, quella che frange al piede della struttura, ciò a favore della stabilità dell'opera in progetto.

5. Batimetria e sedimentologia

Prima della progettazione è stato realizzato un rilievo batimetrico single beam della zona oggetto di intervento spinto sino alla batimetrica -12 m, inoltre sono stati prelevati dei campioni di sedimento, si rimanda agli elaborati in allegato per maggiori dettagli.
Il fondale su cui sono state fatte le misure è risultato pressoché sabbioso

6. Fanerogame

Dalla tavola delle fanerogame marine, dalla tavola n° 13 del nuovo atlante degli Habitat marini della Liguria che la prateria di posidonia oceanica , nel tratto interessato dai lavori, si trova ad una distanza superiore a 200 metri dalla riva, e quindi è lecito affermare che gli interventi previsti non andranno ad influire sulla vitalità della flora marina esistente.

7. Livello del mare.

In tutta Liguria occidentale l'escursione di marea astronomica è modesta, dell'ordine di 0.3 metri; forti depressioni atmosferiche accompagnate da venti

provenienti dal II e III quadrante, possono provocare fenomeni di acqua alta, con sopraelevazione complessiva del livello medio del mare (l.m.m.) anche dell'ordine di 0.5 metri.

8. Correnti.

In Liguria, per quanto attiene l'equilibrio della spiaggia, le correnti litoranee non hanno alcuna influenza, possono tuttavia avere un certo interesse in ordine allo spostamento di eventuali materiali inquinanti in sospensione che possono costituire una situazione di rischio per la balneazione.

Non sono disponibili dati riguardanti le correnti sulla fascia costiera, che sono comunque nel paraggio di modesta entità.

Solo le correnti indotte dal moto ondoso sono in grado di movimentare le sabbie.

Una certa parte dell'energia dell'onda, quando si frange, genera una corrente lungo la costa (Longshore current) avente direzione e intensità conforme alle caratteristiche delle onde.

La velocità della corrente così generata è definita con la seguente

$$V_b = \frac{5\pi}{32 C_f} \quad (g \bullet D_b)^{0,5} \tan\beta \operatorname{sen} 2\alpha b$$

equazione da Longuet Highins:

dove:

- V_b = velocità della corrente
- C_f = coefficiente di attrito = 0,01
- g = accelerazione di gravità
- D_b = profondità al frangimento
- β = angolo di pendenza del fondo
- αb = angolo di incidenza delle onde al frangimento

9. Evoluzione storica.

Dalla foce del Torrente Prino fino al Borgo, tra il 1850 ed il 1866 la spiaggia aumentava in media di circa 10-15 metri. Nel 1869 sotto il muro della via del Prino v'era ancora una ventina di metri di Arenile, ma poi la retrocessione incominciò minacciosa procedendo sempre più. (da Le Spiagge della Riviera Ligure CNR 1937) La realizzazione della linea ferroviaria e le relative opere accessorie di protezione unitamente ai lavori di consolidamento della via Aurelia determinarono l'inizio dei fenomeni erosivi.

Negli anni 1920 gli squilibri sedimentari si acuirono e per evitare il danneggiamento dell'abitato, nel 1921 venne effettuata una gettata di scogli e gabbioni zincati posti a protezione del Borgo. L'intervento non ebbe successo ed infatti nell'ottobre dello stesso anno una mareggiata danneggiò il muro di protezione della strada. Si intervenne allora con la costruzione di un pennello, circa parallelo alla riva, a levante delle abitazioni, ma la struttura non riusciva a trattenere i sedimenti.

Nel periodo successivo alla sec onda guerra mondiale perdurava una condizione di equilibrio precario, situazione che verso la fine degli anni 1960 peggiorò ulteriormente . Il mare ormai minacciava la strada litoranea ed il retrostante abitato che , pur essendo difesi da una scogliera aderente erano spesso investiti dalle onde.

L'Amministrazione comunale di Imperia finanziò quindi un progetto di ricostruzione della spiaggia. I lavori interessarono un fronte di circa 700 m etri. Inizialmente venne realizzata sulla sponda sinistra del torrente Prino una discarica cn i detriti provenienti dai lavori di scavo per la realizzazione della Autostrada dei Fiori. Contemporaneamente, fu avviato lo smantellamento del vecchio pennello e di un lembo di scogliera parallela. In sostituzione delle vecchie strutture furono realizzati un nuovo pennello, a levante, e tre "piattaforme-isola" in prossimità delle case del borgo. La prima struttura garantiva un appoggio alla spiaggia ed impediva la dispersione dei sedimenti verso levante; dalle onde. le altre opere avevano la funzione di evitare la perdita di avevano la funzione di evitare la perdita di materiale , favorendone l'accumulo con un effetto Tombolo senza limitare il passaggio dei sedimenti da una cella alla successiva.

Il progetto ebbe successo e si stabilì un nuovo equilibrio grazie anche all'alimentazione proveniente dalle alluvioni del Prino. Dopo un successo iniziale evidenziato da un avanzamento della spiaggia di 15-20 metri, gli interventi furono compromessi da nuove opere. Negli anni 1980, con la chiusura della discarica, il piazzale realizzato con il

versamento di inerti venne stabilizzato mediante la realizzazione di una scogliera aderente che privò il litorale di questi apporti sedimentari. La stessa Amministrazione, pensando di migliorare la situazione, realizzò a levante della foce del torrente Prino un lungo molo inclinato che privò la spiaggia anche dei sedimenti provenienti dal corso d'acqua. Questa struttura determinò anche la traslazione dei sedimenti fini presenti sulla spiaggia verso la zona protetta creata dal nuovo molo. La spiaggia arretrò vistosamente e peggiorò anche granulometricamente, diventando ghiaiosa. Anche in questo caso, non comprendendo le reali cause del fenomeno, proseguirono gli interventi che irrigidirono ulteriormente il litorale. Le isole furono trasformate in pennelli, ad eccezione della struttura di ponente, che solo recentemente, nel 2000, è stata collegata a terra. Questi interventi ottennero il solo risultato di frammentare il litorale in tre celle non comunicanti, rendendo praticamente impossibile lo scambio di sedimenti. La situazione, a tutt'oggi, risulta essere particolarmente critica, aggravata anche dalla presenza nella spiaggia sottomarina di una depressione che convoglia verso il largo, disperdendoli in profondità, i sedimenti trasportati dal torrente Prino; questi sedimenti sono spinti all'esterno dall'azione di riflesso determinata dalle strutture presenti in prossimità dell'ex discarica.

Negli ultimi anni Il piazzale è stato ulteriormente ampliato, sia a levante che a ponente; occupando, in quest'ultimo caso, parte della spiaggia protetta dal molo che ormai si protende solo per circa dieci metri. Conseguentemente la spiaggia restante nel primo alveolo, che è direttamente esposta al moto ondoso, è ulteriormente depauperata dall'azione di riflesso del moto ondoso stesso sulle scogliere aderenti poste a protezione della nuova porzione di piazzale. Inoltre, la piattaforma isola già collegata a terra nel 2000 è stata ulteriormente ampliata con la costruzione di un nuovo tratto ricurvo verso levante.

Presumibilmente l'obiettivo che s'intendeva raggiungere con questo intervento è quello di creare, mediante il solito meccanismo, una zona protetta, analoga a quella che era presente nella cella occidentale. Questo ha comportato , la formazione di una spiaggia sabbiosa nella zona protetta dalla struttura ed il rapido depauperamento del rimanente tratto di litorale.

Inoltre sono state realizzate alcune scogliere parallele sulla spiaggia emersa, strutture riflettenti durante le mareggiate con intensità maggiore, che hanno ulteriormente amplificato il fenomeno.





Litorale di borgo Prino:
prima (foto R.A.F. 1944)
e dopo l'intervento di recupero
(Regione Liguria - volo 1973)

10.Impostazione del progetto

Come visto nel paragrafo sopra gli interventi effettuati negli ultimi anni hanno reso impossibile l'alimentazione naturale dell'arenile con i sedimenti provenienti dal Torrente Prino, inoltre il susseguirsi di interventi localizzati senza uno studio di insieme ha creato zone a forte erosione.

Il progetto oltre alla sistemazione del muro della passeggiata prevede il versamento di Ghiaia con D_{50} = 4 mm da effettuarsi 2 due momenti separati oltre alla rivisitazione delle scogliere (ripristinando in parte le strutture originarie) esistenti al fine di rinaturalizzare il più possibile il tratto di costa.

Il progetto può essere diviso in due lotti funzionali.

Il primo che prevede la sistemazione del muro a contenimento di Lungomare Cristoforo Colombo oltre alla realizzazione di un ripascimento strutturale di 25000 m³ di inerte con granulometria pari a D_{50} = 4 mm.

Il secondo lotto prevede il salpamento dei pennelli in corrispondenza delle isole, l'ampliamento delle isole esistenti verso il largo (come indicato nelle tavole progettuali) oltre ad un piccolo allungamento del pennello di levante.

Finiti i lavori sulle scogliere si prevede un ulteriore ripascimento di 25000 m³ di inerte.

Le isole vengono ampliate in larghezza con diamentro di 20 m del piano di berma ed una inclinazione verso il fondo pari a 1/3

Il pennello di levante viene allungato di circa 15 metri con le stesse caratteristiche dell'esistente.

10.1 Dimensionamento delle mantellate esterne

Come già visto in precedenza per il dimensionamento dei massi della mantellata si verifica la stabilità sotto l'azione dell'onda frangente al piede della struttura.

Si utilizza la nota formula di Hudson:

$$P = \frac{\gamma_s \cdot H^3}{k_d \cdot \left(\frac{\gamma_s}{\gamma_o} - 1\right)^3} \cdot \frac{1}{\text{cotg}\,\alpha}$$

Dove:

P = peso dei massi in tonnellate

H = altezza d'onda di progetto

γ_s = peso specifico dei massi utilizzati

γ_o = peso specifico dell'acqua

α = inclinazione della mantellata

k_d = coefficiente numerico tabellato

H = 0,78 X 3,5 l.m.m.m2,73 metri (Mc Cowen + sopraelevazione dovuta all'azione del venti di burrasca)

γ_o = 1,03 t/m³

γ_s = 2,5 t/m³

cot α = 2

k_d = 2,5

Si ricava P = circa 4 t , massi di III° categoria

Per garantire comunque un grado di sicurezza più elevato si useranno massi di III° e massi di IV ° categoria.

10.2 Massi utilizzati

La mantellata verrà realizzata in parte con i massi dei pennelli esistenti, e e per una irrisoria quantità provenienti dalle cave di Imperia aventi le stesse caratteristiche sia mineralogiche , sia cromatiche di quelli esistenti

11.Conclusioni

L'intervento progettato è mirato *esclusivamente* al miglioramento della difesa dello arenile antistante il Borgo Prino agendo in maniera tale da diminuire l'energia del moto ondoso incidente durante le mareggiate più intense oltre a diminuire le correnti in uscita causate per riflesso del moto ondoso sui pennelli esistenti.

Novembre 2021

Il tecnico