

Technoside s.r.l.
SERVIZI DI INGEGNERIA

via Trieste 21
95030 Gravina di Catania

www.technoside.it -
info@technoside.it

tel +39.095.7500609
fax +39.095.8360370

PROGETTISTA
Dott. Ing. Paolo Battiato

COMUNE DI CATANIA

Titolo progetto

**INTERVENTI PER LA MESSA IN SICUREZZA E
L'AMPLIAMENTO DELL'APPRODO TURISTICO
DENOMINATO "PORTO ROSSI" IN C.DA CAITO NEL
COMUNE DI CATANIA**

***Procedura di Verifica di Assoggettabilità a VIA
art. 19 D. Lgs. 152/2006 e ss.mm.ii.***

Titolo elaborato

RELAZIONE IDRAULICO - MARITTIMA



R.04

PROPONENTE
M.E.C. AUTO di Rossi P. & C. s.n.c.

DATA

23/02/2018

Sommario

Indice delle figure	2
Indice delle tabelle	3
Premessa ed inquadramento generale	4
Clima ondoso di largo	6
Frequenza di apparizione	8
Altezza significativa	9
Periodo di picco	10
Periodo medio	10
Flusso di energia	11
Analisi statistico – deterministica	13
Probabilità di superamento omnidirezionale.....	13
Periodo di ritorno omnidirezionale	14
Persistenza media.....	14
Profondità di chiusura	14
Grafici e tabelle riassuntive	15
Tendenze evolutive del litorale	17
Proposte progettuali.....	24
Analisi del clima ondoso e delle tendenze evolutive del litorale	24
Proposte progettuali.....	24
Altezza d’onda in corrispondenza della testata dell’opera	25
Dimensionamento massi.....	26

Indice delle figure

Fig. 1 – Vista satellitare di Porto Rossi.....	4
Fig. 2 – Particolare dell’imboccatura di Porto Rossi.	4
Fig. 3 – Particolare del litorale adiacente l’imboccatura di Porto Rossi.	5
Fig. 4 – Fetches geografici che caratterizzano il litorale antistante Porto Rossi.	5
Fig. 5 – Frequenza di apparizione del moto ondoso per ciascun settore di provenienza.	9
Fig. 6 – Altezza significativa media per ciascun settore di provenienza.....	9
Fig. 7 – Periodo di picco per ciascun settore di provenienza.	10
Fig. 8 – Periodo medio per ciascun settore di provenienza.	11
Fig. 9 - Flusso di energia per ciascun settore di provenienza.....	12
Fig. 10 – Periodo di ritorno omnidirezionale.....	15
Fig. 11 – Persistenza media al disopra della soglia.....	16
Fig. 12 – Linea di costa del 9/7/2017 (fonte: Google Earth Pro).	17
Fig. 13 – Linea di costa del 31/7/2016 (fonte: Google Earth Pro).	17
Fig. 14 – Linea di costa del 29/7/2013 (fonte: Google Earth Pro).	18
Fig. 15 – Linea di costa del 4/5/2012 (fonte: Google Earth Pro).	18
Fig. 16 – Linea di costa del 26/3/2012 (fonte: Google Earth Pro).	19
Fig. 17 – Linea di costa del 21/4/2011 (fonte: Google Earth Pro).	19
Fig. 18 – Linea di costa del 9/6/2010 (fonte: Google Earth Pro).	20
Fig. 19 – Linea di costa del 26/7/2009 (fonte: Google Earth Pro).	20
Fig. 20 – Linea di costa del 14/3/2007 (fonte: Google Earth Pro).	21
Fig. 21 – Linea di costa del 27/5/2006 (fonte: Google Earth Pro).	21
Fig. 22 – Linea di costa del 15/9/2003 (fonte: Google Earth Pro).	22
Fig. 23 – Linea di costa del 17/10/2002 (fonte: Google Earth Pro).	22

Indice delle tabelle

Tab. 1 – Numero di stati di mare registrati, suddivisi per settore di provenienza e per classe di altezza significativa.....	6
Tab. 2 – Numero di stati di mare registrati, suddivisi per classe di altezza significativa.....	7
Tab. 3 – Periodi di picco degli stati di mare registrati, suddivisi per settore di provenienza e per classe di altezza significativa.....	7
Tab. 4 – Periodi medi degli stati di mare registrati, suddivisi per settore di provenienza e per classe di altezza significativa.....	8
Tab. 5 – Flusso di energia per ciascun settore di provenienza.....	11
Tab. 6 – Soglie di altezza significativa di fissato periodo di ritorno.....	15
Tab. 7 – Evoluzione della linea di costa nei due transetti oggetto di studio.....	23

Premessa ed inquadramento generale

Nella presente relazione viene analizzato il clima ondoso al largo della località di Catania, valutando anche le tendenze evolutive del litorale al fine di individuare la soluzione progettuale ottimale per proteggere il tratto di litorale antistante Porto Rossi, senza compromettere l'accessibilità al porto stesso.

Porto Rossi è un marina che si estende su una superficie di 55000 m² e dispone di 280 posti barca da 5 a 24 m in darsena e di 300 a terra per il ricovero invernale. È stato realizzato negli anni '60 nel Golfo di Catania, in prossimità del centro cittadino, in un tratto di costa caratterizzato da sedimentologia grossolana di natura lavica ed esposto principalmente agli stati di mare provenienti da nord-est a sud-est, lungo direzioni comprese tra 50 e 150° rispetto al Nord: in particolare, i fetches geografici delle direzioni comprese tra 50 e 70° si estendono per valori compresi tra 70 e 100 km, i fetches geografici delle direzioni comprese tra 70 e 150° si estendono per valori compresi tra 500 e 1500 km mentre alle restanti direzioni sono associati fetches dell'ordine di qualche chilometro.

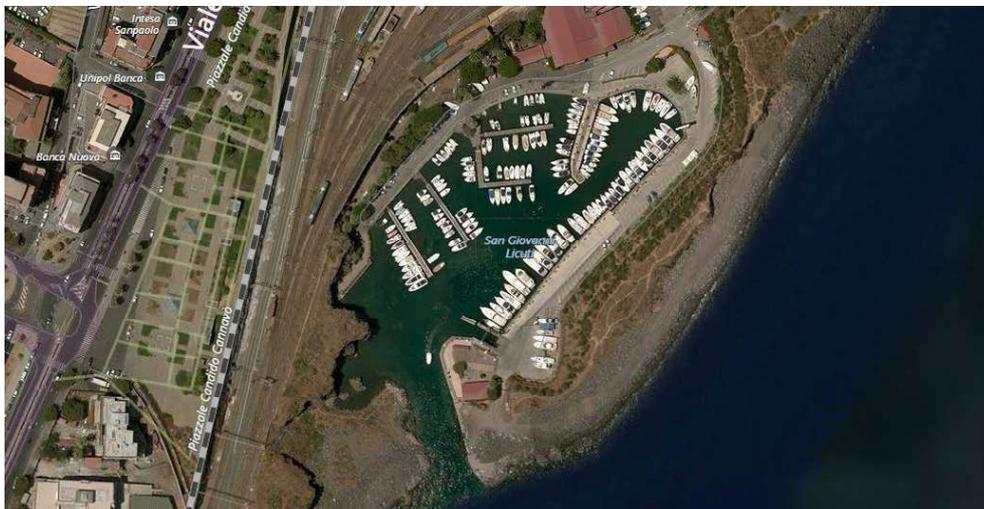


Fig. 1 – Vista satellitare di Porto Rossi.

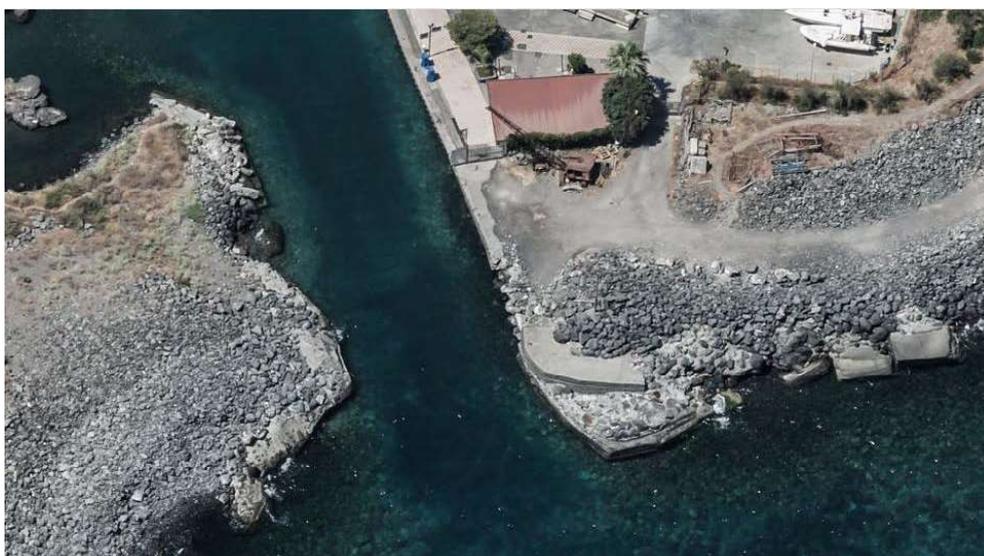


Fig. 2 – Particolare dell'imboccatura di Porto Rossi.



Fig. 3 – Particolare del litorale adiacente l'imboccatura di Porto Rossi.

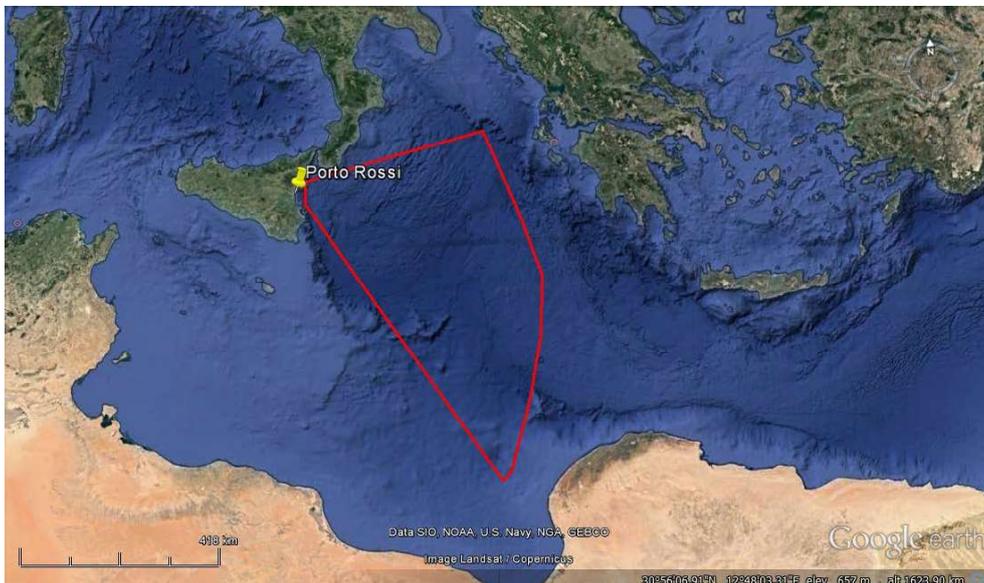


Fig. 4 – Fetches geografici che caratterizzano il litorale antistante Porto Rossi.

Relazione Idraulico-Marittima

Clima ondoso di largo

Il clima ondoso di largo è stato analizzato a partire dalle registrazioni della boa di Catania della Rete Ondametrica Nazionale (RON), ubicata nel punto di coordinate 37°26'24.00" N e 15°08'48.01" E ad una profondità di 70 m.

La serie temporale si estende dal giorno 1/7/1989 fino al giorno 5/10/2006 ed è caratterizzata da 81280 registrazioni, suddivise per classi di altezza significativa (di ampiezza 0.5 m ciascuna) e per settori di provenienza (di ampiezza 10° ciascuno), a partire dalle quali è stato possibile calcolare, per ciascun settore, i valori di frequenza di apparizione, altezza significativa, periodo di picco, periodo medio e flusso di energia.

Hs/Dir.	355-5	5-15.	15-25	25-35	35-45	45-55	55-65	65-75	75-85	85-95	95-105	105-115	115-125	125-135	135-145	145-155	155-165	165-175
0-0.5	444	363	451	1131	3214	3740	3144	3004	3243	3097	2820	2747	2800	2414	1460	776	628	562
0.5-1	276	227	311	669	2131	1964	1271	1634	1731	1596	1596	1439	1533	1390	755	364	276	230
1.0-1.5	65	91	89	142	426	360	262	618	682	589	753	545	474	393	175	98	71	73
1.5-2	29	29	36	41	89	93	116	293	213	230	341	296	209	95	33	26	38	34
2.0-2.5	9	9	6	11	16	9	27	87	80	80	166	175	89	16	5	7	7	13
2.5-3	0	4	4	2	6	8	13	41	38	37	130	113	38	13	7	5	7	4
3.0-3.5	2	0	1	0	0	0	7	36	46	58	124	136	50	15	1	1	1	5
3.5-4	0	0	0	0	0	0	5	13	24	55	97	52	8	4	1	0	2	0
4.0-4.5	0	0	0	0	0	0	0	9	13	12	83	35	0	0	2	0	0	0
4.5-5	0	0	0	0	0	0	0	5	5	3	26	7	1	0	0	0	0	0
5.0-5.5	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	18	0	1	0	0	0	0	0
5.5-6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	5	1	0	0	0	0	0	0
6.0-6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
6.5-7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.0-7.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.5-8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.0-8.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.5-9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.0-9.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.5-10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Totale	825	723	898	1996	5882	6174	4845	5741	6077	5762	6161	5546	5203	4340	2439	1277	1030	921
Hs/Dir.	175-185	185-195	195-205	205-215	215-225	225-235	235-245	245-255	255-265	265-275	275-285	285-295	295-305	305-315	315-325	325-335	335-345	345-355
0-0.5	525	496	516	572	597	654	765	797	763	632	501	446	358	409	372	341	320	317
0.5-1	244	248	263	252	249	263	245	327	290	273	277	243	222	239	202	202	176	221
1.0-1.5	88	89	67	68	73	50	58	43	43	59	49	50	58	52	60	58	70	63
1.5-2	39	39	24	23	16	16	17	19	11	12	19	22	7	23	16	19	19	23
2.0-2.5	8	15	11	7	8	3	3	5	2	4	2	5	4	8	1	4	4	7
2.5-3	4	4	5	4	4	2	3	4	2	1	2	1	0	4	0	4	3	4
3.0-3.5	0	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
3.5-4	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
4.0-4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.5-5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.0-5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.5-6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.0-6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.5-7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.0-7.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.5-8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.0-8.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.5-9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.0-9.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.5-10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Totale	909	892	888	927	947	988	1092	1195	1111	981	850	767	649	735	652	628	593	636

Tab. 1 – Numero di stati di mare registrati, suddivisi per settore di provenienza e per classe di altezza significativa.

Relazione Idraulico-Marittima

Hs /Dir.	omni
0-0.5	45419
0.5-1	23829
1.0-1.5	7004
1.5-2	2605
2.0-2.5	913
2.5-3	521
3.0-3.5	488
3.5-4	265
4.0-4.5	154
4.5-5	47
5.0-5.5	24
5.5-6	9
6.0-6.5	2
6.5-7	0
7.0-7.5	0
7.5-8	0
8.0-8.5	0
8.5-9	0
9.0-9.5	0
9.5-10	0
Totale	81280

Tab. 2 – Numero di stati di mare registrati, suddivisi per classe di altezza significativa.

Hs /Dir.	355-5	5-15.	15-25	25-35	35-45	45-55	55-65	65-75	75-85	85-95	95-105	105-115	115-125	125-135	135-145	145-155	155-165	165-175
0-0.5	4.94	4.86	4.61	4.31	4.13	4.13	4.47	5.03	5.49	5.74	5.88	5.66	5.45	5.15	5.04	5.54	5.61	5.46
0.5-1	5.76	5.49	5.38	4.92	4.70	4.69	5.02	5.84	6.02	6.22	6.54	6.68	6.46	6.29	5.91	6.03	6.06	6.10
1.0-1.5	6.96	6.78	6.66	6.09	5.52	5.65	6.45	6.26	6.47	7.18	7.73	7.65	7.33	7.45	7.36	6.95	7.13	7.14
1.5-2	8.40	8.19	8.08	7.69	6.73	7.00	7.21	6.98	7.28	8.32	8.51	8.22	8.05	8.01	8.30	8.67	8.15	8.23
2.0-2.5	8.71	9.43	8.47	8.38	7.10	8.44	8.15	7.60	7.79	8.71	8.77	8.76	8.76	8.94	8.98	8.71	8.74	8.34
2.5-3	0	8.53	8.85	9.35	9.80	8.05	8.85	8.00	8.66	9.29	9.79	9.36	9.11	9.47	9.19	8.62	9.78	8.95
3.0-3.5	10.55	0	8.00	0	0	0	8.37	8.69	9.36	9.50	10.20	9.64	9.44	9.35	9.50	7.70	7.70	10.72
3.5-4	0	0	0	0	0	0	8.62	9.27	9.41	9.97	10.44	10.06	9.55	10.23	10.00	0	12.90	0
4.0-4.5	0	0	0	0	0	0	0	10.53	10.51	9.91	10.93	10.13	0	0	12.15	0	0	0
4.5-5	0	0	0	0	0	0	0	9.68	11.38	10.37	11.22	10.54	10.00	0	0	0	0	0
5.0-5.5	0	0	0	0	0	0	0	9.10	10.00	9.55	11.04	0	8.70	0	0	0	0	0
5.5-6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11.10	11.16	11.10	0	0	0	0	0	0
6.0-6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11.10	0	0	0	0	0	0	0
6.5-7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.0-7.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.5-8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.0-8.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.5-9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.0-9.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.5-10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hs /Dir.	175-185	185-195	195-205	205-215	215-225	225-235	235-245	245-255	255-265	265-275	275-285	285-295	295-305	305-315	315-325	325-335	335-345	345-355
0-0.5	5.12	5.00	4.67	4.59	4.64	4.31	4.14	4.11	3.88	4.06	4.42	4.61	4.66	4.64	4.84	4.74	4.68	4.69
0.5-1	5.79	6.02	5.89	5.89	5.82	5.58	5.13	5.13	4.84	5.17	5.36	5.38	5.33	5.43	5.44	5.51	5.33	5.58
1.0-1.5	7.15	7.34	7.44	7.12	7.22	6.68	7.11	7.04	7.05	6.73	6.95	6.93	6.78	6.60	6.79	7.10	6.82	6.88
1.5-2	8.18	8.33	7.63	8.18	8.03	7.77	7.79	8.49	8.28	8.13	8.29	8.09	7.91	7.63	8.19	7.37	8.00	8.14
2.0-2.5	8.72	8.82	9.16	9.25	8.60	8.50	7.09	8.36	8.60	7.88	7.45	8.11	8.58	7.78	10.00	8.38	8.86	8.28
2.5-3	9.63	9.22	8.06	8.95	8.90	9.10	8.50	7.38	9.75	9.50	9.55	10.00	0	9.65	0	9.33	8.70	9.67
3.0-3.5	0	0	9.75	0	0	0	10.50	0	0	0	0	0	0	0	10.50	0	0	10.00
3.5-4	7.70	11.80	0	11.10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12.50	0
4.0-4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.5-5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.0-5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.5-6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.0-6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.5-7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.0-7.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.5-8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.0-8.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.5-9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.0-9.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.5-10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tab. 3 – Periodi di picco degli stati di mare registrati, suddivisi per settore di provenienza e per classe di altezza significativa.

Relazione Idraulico-Marittima

Hs/Dir.	355-5	5-15.	15-25	25-35	35-45	45-55	55-65	65-75	75-85	85-95	95-105	105-115	115-125	125-135	135-145	145-155	155-165	165-175
0-0.5	3.73	3.72	3.65	3.73	3.72	3.75	3.84	4.07	4.25	4.32	4.39	4.31	4.22	4.11	3.92	3.84	3.86	3.79
0.5-1	4.22	4.17	4.18	4.18	4.16	4.13	4.31	4.63	4.74	4.91	5.13	5.14	4.98	5.02	4.71	4.50	4.44	4.36
1.0-1.5	5.02	5.00	5.04	4.83	4.70	4.62	4.95	5.05	5.17	5.54	5.94	5.99	5.68	5.83	5.81	5.23	5.11	5.16
1.5-2	6.21	6.06	5.99	5.90	5.33	5.48	5.41	5.56	5.75	6.30	6.65	6.50	6.29	6.23	6.60	6.40	6.19	6.15
2.0-2.5	6.38	6.57	6.52	6.16	5.49	6.72	6.26	6.13	6.24	6.99	6.99	7.01	7.25	7.29	6.70	6.67	6.31	6.62
2.5-3	0	5.78	5.98	8.25	7.10	6.21	6.78	6.63	7.11	7.34	7.51	7.31	7.63	7.62	7.09	7.02	7.27	6.00
3.0-3.5	9.25	0	6.80	0	0	0	7.11	7.19	7.97	8.03	8.53	8.12	8.00	8.47	7.30	5.90	6.00	8.12
3.5-4	0	0	0	0	0	0	7.12	8.05	8.04	8.45	8.86	8.40	8.46	9.28	7.80	0	9.25	0
4.0-4.5	0	0	0	0	0	0	0	9.27	8.83	8.60	9.40	8.52	0	0	9.60	0	0	0
4.5-5	0	0	0	0	0	0	0	8.48	9.96	9.07	9.66	8.71	9.04	0	0	0	0	0
5.0-5.5	0	0	0	0	0	0	0	8.30	8.15	9.25	9.45	0	8.65	0	0	0	0	0
5.5-6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9.67	9.24	9.30	0	0	0	0	0	0
6.0-6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9.45	0	0	0	0	0	0	0
6.5-7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.0-7.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.5-8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.0-8.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.5-9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.0-9.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.5-10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hs/Dir.	175-185	185-195	195-205	205-215	215-225	225-235	235-245	245-255	255-265	265-275	275-285	285-295	295-305	305-315	315-325	325-335	335-345	345-355
0-0.5	3.64	3.68	3.61	3.52	3.60	3.43	3.44	3.41	3.41	3.41	3.53	3.59	3.65	3.56	3.57	3.58	3.51	3.61
0.5-1	4.36	4.21	4.24	4.27	4.36	4.15	4.03	3.95	3.84	4.18	3.99	4.03	4.07	4.09	4.10	4.23	3.98	4.14
1.0-1.5	5.18	5.37	5.58	5.21	5.25	4.97	5.21	5.39	5.15	5.19	5.02	4.95	5.05	5.04	4.88	5.03	5.07	4.98
1.5-2	6.16	6.19	5.52	6.03	5.81	5.65	5.91	6.25	5.92	5.91	6.24	5.73	5.54	5.88	6.20	5.76	5.98	5.96
2.0-2.5	7.06	7.26	7.07	7.41	6.58	7.61	6.31	6.98	5.95	6.58	5.60	6.66	6.70	6.02	8.50	6.45	7.08	6.46
2.5-3	7.48	7.17	7.23	6.18	6.20	6.55	6.00	6.75	6.60	8.80	6.15	6.80	0	7.00	0	7.43	6.00	7.31
3.0-3.5	0	0	6.30	0	0	0	6.30	0	0	0	0	0	0	0	8.70	0	0	9.80
3.5-4	6.30	8.80	0	10.70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.80	0
4.0-4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.5-5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.0-5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.5-6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.0-6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.5-7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.0-7.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.5-8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.0-8.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.5-9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.0-9.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.5-10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tab. 4 – Periodi medi degli stati di mare registrati, suddivisi per settore di provenienza e per classe di altezza significativa.

Frequenza di apparizione

$$f(\Delta\theta) = \frac{\sum N(\Delta H, \Delta\theta)}{N_{\text{tot}}} \quad (1)$$

con:

$N(\Delta H, \Delta\theta)$ numero di stati di mare di assegnata classe di altezza significativa ΔH e di assegnato settore di provenienza $\Delta\theta$;

N_{tot} numero totale di stati di mare.

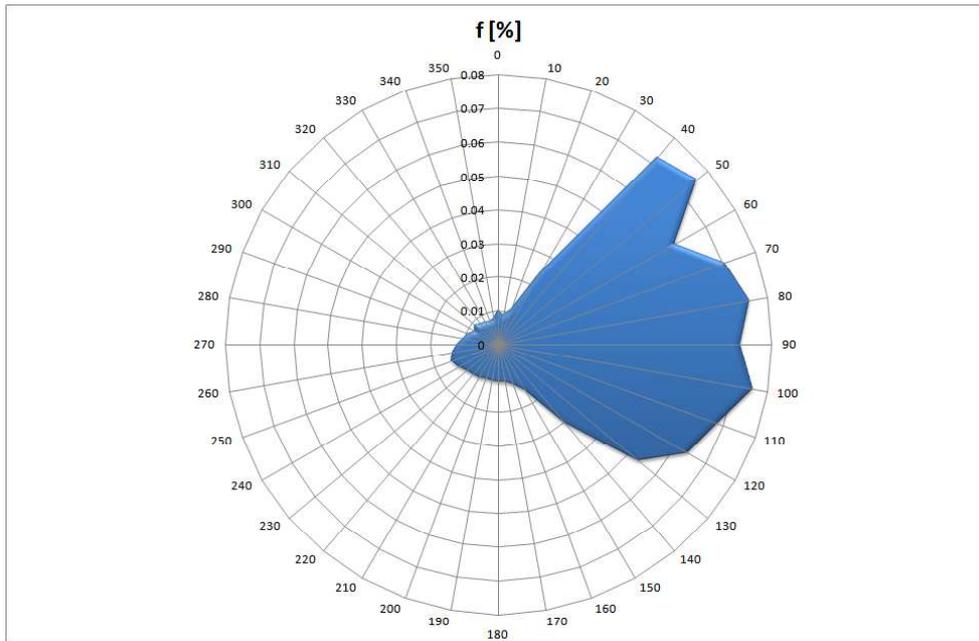


Fig. 5 – Frequenza di apparizione del moto ondoso per ciascun settore di provenienza.

Altezza significativa

$$\overline{H_{s_0}}(\Delta\theta) = \frac{\sum \overline{H_s}(\Delta H) N(\Delta H, \Delta\theta)}{N_{\text{tot}}(\Delta\theta)} \quad (2)$$

con:

- $H_s(\Delta H)$ altezza significativa media della classe ΔH ;
- $N_{\text{tot}}(\Delta\theta)$ numero di stati di mare di assegnato settore di provenienza.

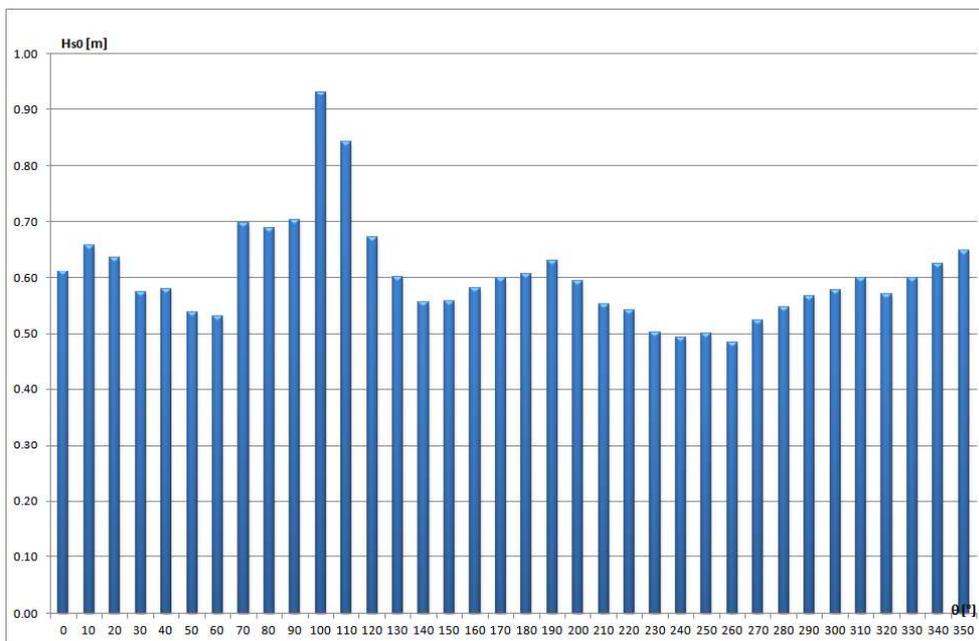


Fig. 6 – Altezza significativa media per ciascun settore di provenienza.

Periodo di picco

$$T_p(\Delta\theta) = \frac{\sum T_p(\Delta H, \Delta\theta) N(\Delta H, \Delta\theta)}{N_{\text{tot}}(\Delta\theta)} \quad (3)$$

con:

$T_p(\Delta H, \Delta\theta)$ periodo di picco medio di assegnata classe di altezza significativa ΔH e di assegnato settore di provenienza $\Delta\theta$.

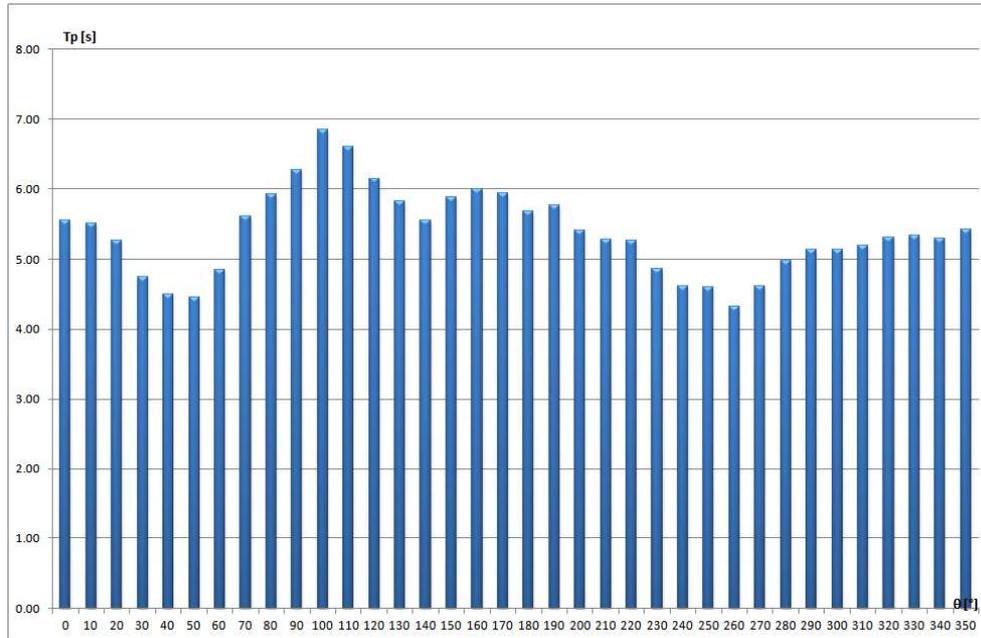


Fig. 7 – Periodo di picco per ciascun settore di provenienza.

Periodo medio

$$T_m(\Delta\theta) = \frac{\sum T_m(\Delta H, \Delta\theta) N(\Delta H, \Delta\theta)}{N_{\text{tot}}(\Delta\theta)} \quad (4)$$

con:

$T_m(\Delta H, \Delta\theta)$ periodo medio di assegnata classe di altezza significativa ΔH e di assegnato settore di provenienza $\Delta\theta$.

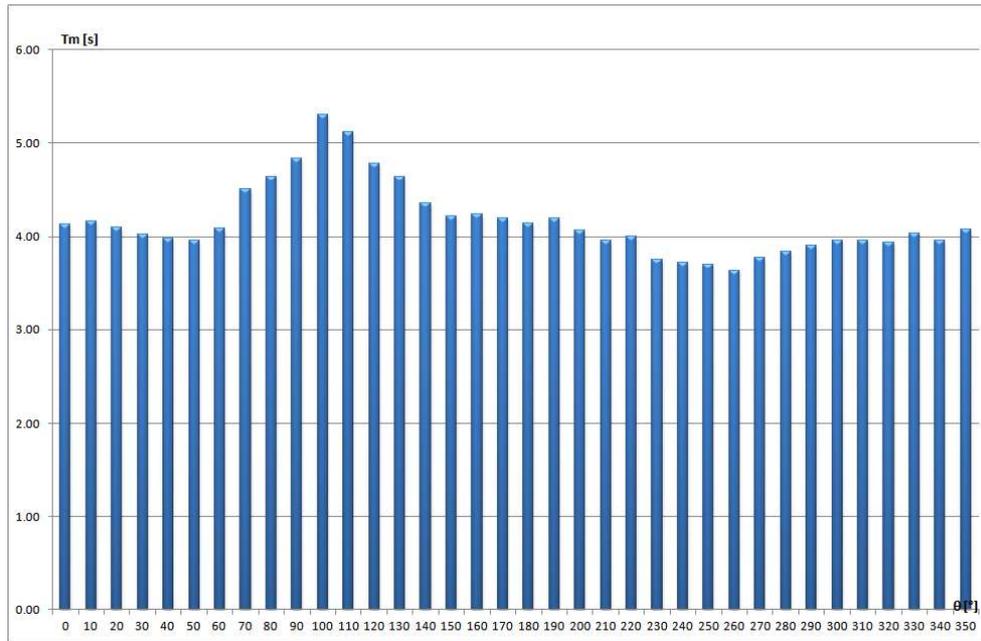


Fig. 8 – Periodo medio per ciascun settore di provenienza.

Flusso di energia

$$\Phi(\Delta\theta) = \sum 986.5 \overline{H_s^2}(\Delta H) T_p(\Delta H, \Delta\theta) f(\Delta H, \Delta\theta) \quad (5)$$

Settore [° N]	0	10	20	30	40	50	60	70	80
ϕ [N/s]	38.2	39.0	43.2	63.9	164.4	153.9	162.0	409.4	459.0
Settore	90	100	110	120	130	140	150	160	170
ϕ [N/s]	539.3	1247.8	814.6	379.6	205.5	91.3	50.3	51.8	49.9
Settore	180	190	200	210	220	230	240	250	260
ϕ [N/s]	45.3	50.7	42.1	38.1	34.8	26.3	29.2	31.8	24.7
Settore	270	280	290	300	310	320	330	340	350
ϕ [N/s]	26.4	27.4	27.6	21.9	31.2	23.7	27.2	29.1	33.1

Tab. 5 – Flusso di energia per ciascun settore di provenienza.

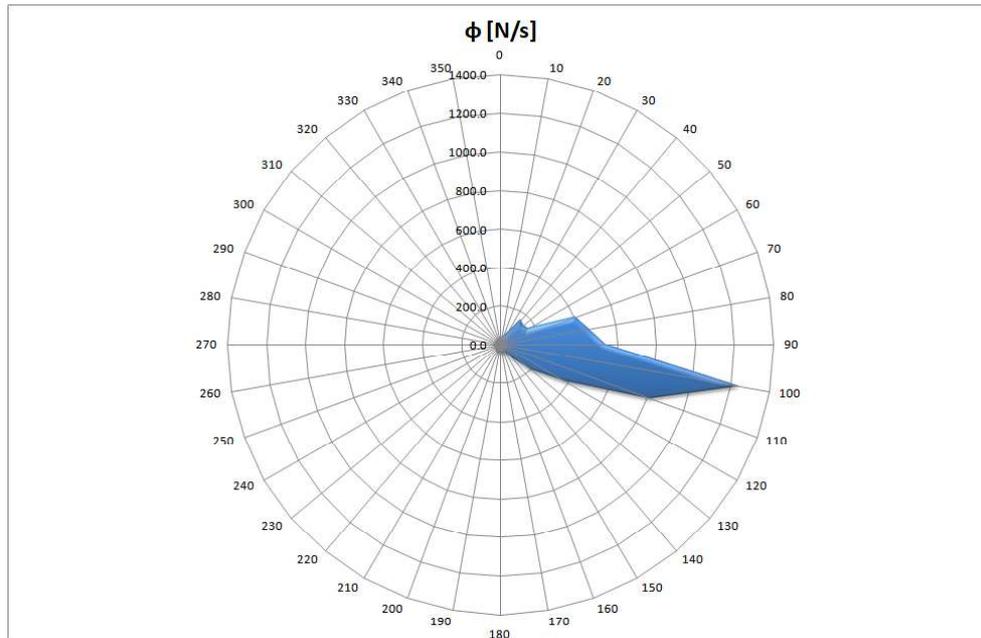


Fig. 9 - Flusso di energia per ciascun settore di provenienza.

Analisi statistico – deterministica

Probabilità di superamento omnidirezionale

La probabilità di superamento omnidirezionale $P(H_s > h)$ rappresenta la probabilità che l'altezza significativa, nella località in esame, si mantenga al di sopra di una fissata soglia h .

L'espressione della probabilità di superamento $P(H_s > h)$ normalmente utilizzata per i mari italiani è quella ricavata, dall'interpretazione di dati sperimentali, da Battyes nel 1970 ed è una "Weibull" d'equazione:

$$P(H_s > h) = \exp\left[-\left(\frac{h}{w}\right)^u\right] \quad (6)$$

con u e w parametri caratteristici della località in esame (u è adimensionale e w ha le dimensioni di una lunghezza).

Per rappresentare graficamente i dati si può ricorrere a delle variabili ausiliarie X ed Y definite come:

$$\begin{cases} X \equiv 100 \ln(2.5 h) \\ Y \equiv 100 \ln \ln \frac{1}{P} \end{cases}$$

in un diagramma che ha scala logaritmica in ascissa e doppiamente logaritmica in ordinata.

Le coppie di dati (X, Y) , a parte alcuni scarti dovuti alla limitatezza del campione statistico, si dispongono lungo una retta (che prende il nome di retta omnidirezionale) di equazione:

$$Y = a + b X \quad (7)$$

Nelle parti iniziale e finale della retta i punti possono discostarsi da essa per cui i dati significativi sono quelli che si trovano nella parte centrale. Noti i valori dei parametri a e b della retta, è possibile ricavare i valori dei parametri u e w della probabilità di superamento omnidirezionale; per ricavare tali parametri si scelgono due punti appartenenti alla retta di coordinate (X_1, Y_1) e (X_2, Y_2) ; generalmente si scelgono due punti il più possibile lontani tra loro e rientranti nel range indicato precedentemente per limitare l'incertezza sull'inclinazione della retta. Si ha:

$$a = Y_1 - b X_1$$

$$b = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}$$

$$u = b \quad (8)$$

$$w = \frac{1}{2.5} \exp\left(-\frac{a}{100 b}\right) \quad (9)$$

Il parametro u è adimensionale mentre w ha le dimensioni di una lunghezza. Per testare la validità della scelta compiuta si inseriscono i valori ricavati dei parametri u e w nell'espressione (2) e si calcolano i valori

della probabilità per differenti soglie di h : se tali valori sono in accordo con i dati sperimentali la scelta compiuta risulta corretta altrimenti è necessario ripetere la procedura di calcolo.

Dal punto di vista fisico w è il fattore scala e caratterizza i livelli di agitazione ondosa: aumenta con l'aumentare dell'altezza delle onde; u , invece, regola il rapporto tra le altezze significative a diversi livelli di probabilità: tale rapporto è tanto più grande quanto più u è piccolo.

Periodo di ritorno omnidirezionale

Il periodo di ritorno direzionale $R (H_s > h)$ è il periodo di ritorno di una mareggiata in cui l'altezza significativa si mantiene al di sopra di un'assegnata soglia h con moto ondoso proveniente da qualsiasi direzione ed ha espressione:

$$R (H_s > h) = \frac{b_{10} \left(1.12 - 0.12 \frac{h}{a_{10}} \right)}{1 + u \left(\frac{h}{w} \right)^u} \exp \left[\left(\frac{h}{w} \right)^u \right] \quad (10)$$

con a_{10} e b_{10} parametri caratteristici della località pari, rispettivamente, all'altezza media dell'insieme N (= numero di anni di registrazioni meteomarine disponibili $\times 10$) di mareggiate più forti realizzatesi nell'intervallo di tempo in considerazione ed alla durata media di tale insieme. Per definire tali parametri si fa riferimento al concetto di mareggiata triangolare equivalente introdotto da Boccotti e per l'area in esame sono stati utilizzati i seguenti valori: $a_{10} = 2.8$ m; $b_{10} = 82$ ore.

Persistenza media

La persistenza media $\bar{D}(h)$ rappresenta la durata di tempo media in cui l'altezza significativa si mantiene al disopra della soglia h , nelle mareggiate dove tale soglia viene superata. La sua espressione è:

$$\bar{D}(h) = \frac{b_{10} \left(1.12 - 0.12 \frac{h}{a_{10}} \right)}{1 + u \left(\frac{h}{w} \right)^u} \quad (11)$$

Profondità di chiusura

La profondità di chiusura (Depth of Closure) rappresenta la profondità minima del fondale in cui non si verificano cambiamenti del fondale (eventuali movimenti di sedimenti sarebbero di entità talmente ridotta da non generare variazioni del fondale). Può essere stimata mediante la formula di Hallermeier (1981):

$$D_c = 2.28 H_{0,12} - 68.5 \frac{H_{0,12}^2}{g T_{0,12}^2} \quad (12)$$

in cui $H_{0,12}$ rappresenta l'altezza significativa di largo superata mediamente 12 ore in un anno e $T_{0,12}$ rappresenta il corrispondente periodo di picco.

Nel caso in esame si ottiene:

$$H_{0,12} = 4.18 \text{ m}$$

Relazione Idraulico-Marittima

$$T_{0,12} = 8.72 \text{ s}$$

$$D_C = 7.93 \text{ m}$$

Grafici e tabelle riassuntive

Sono stati ottenuti i seguenti valori:

$$u = 0.897$$

$$w = 0.511 \text{ m}$$

R [anni]	H _s [m]
5	5.61
10	6.19
15	6.54
20	6.78
50	7.57
100	8.16
200	8.76
500	9.55

Tab. 6 – Soglie di altezza significativa di fissato periodo di ritorno.

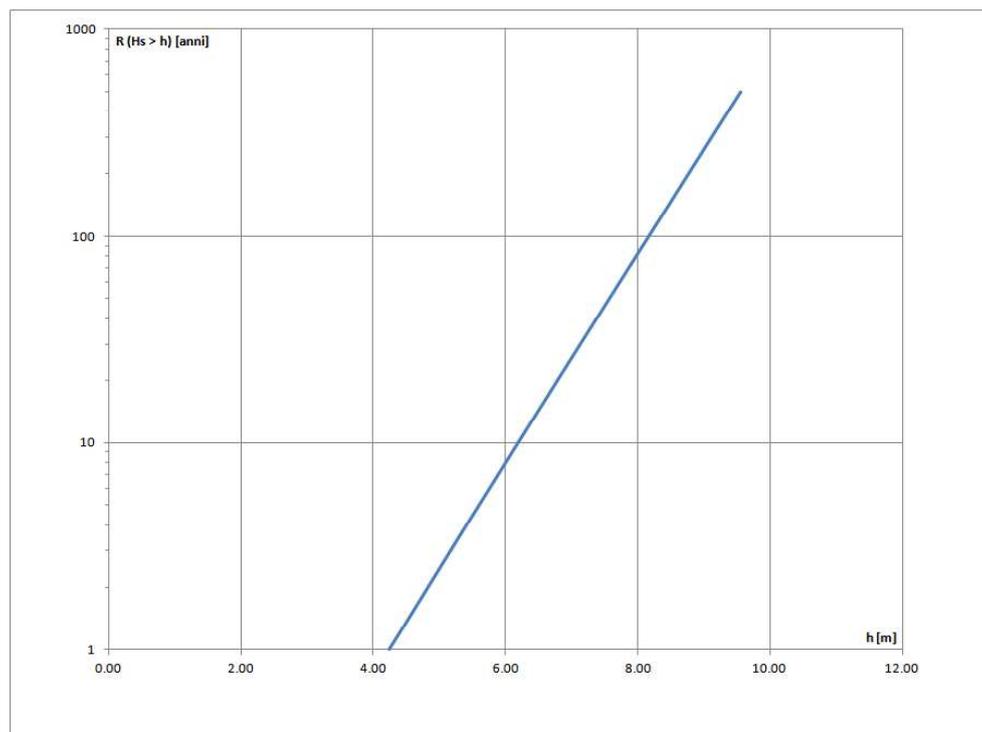


Fig. 10 – Periodo di ritorno omnidirezionale.

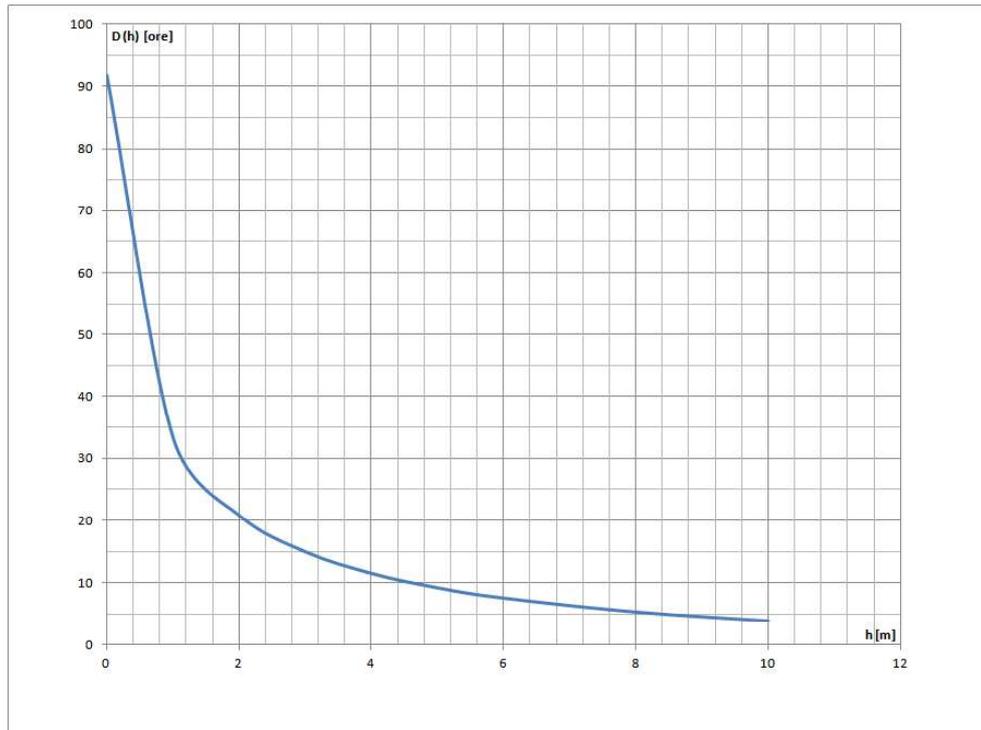


Fig. 11 – Persistenza media al disopra della soglia.

Tendenze evolutive del litorale

Per valutare le tendenze evolutive del litorale sono stati individuati due transetti significativi, uno in prossimità dell'imboccatura portuale ed uno in prossimità dell'estremità settentrionale del porto e sono state esaminate le immagini satellitari storiche di Google Earth Pro.

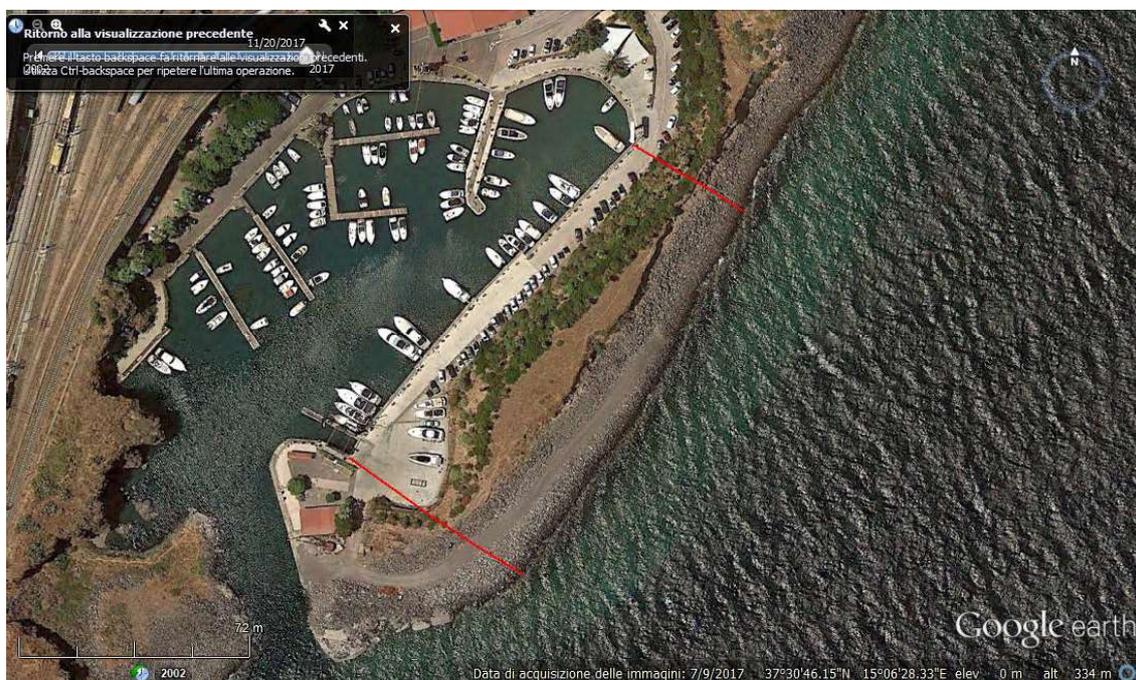


Fig. 12 – Linea di costa del 9/7/2017 (fonte: Google Earth Pro).

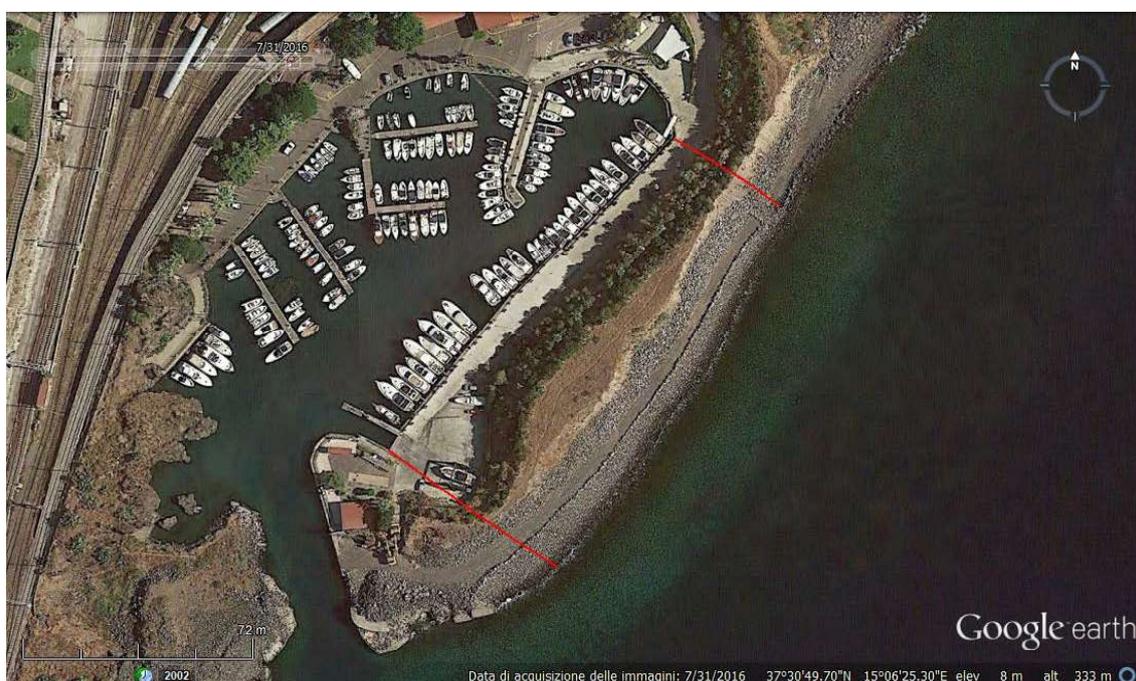


Fig. 13 – Linea di costa del 31/7/2016 (fonte: Google Earth Pro).



Fig. 14 – Linea di costa del 29/7/2013 (fonte: Google Earth Pro).

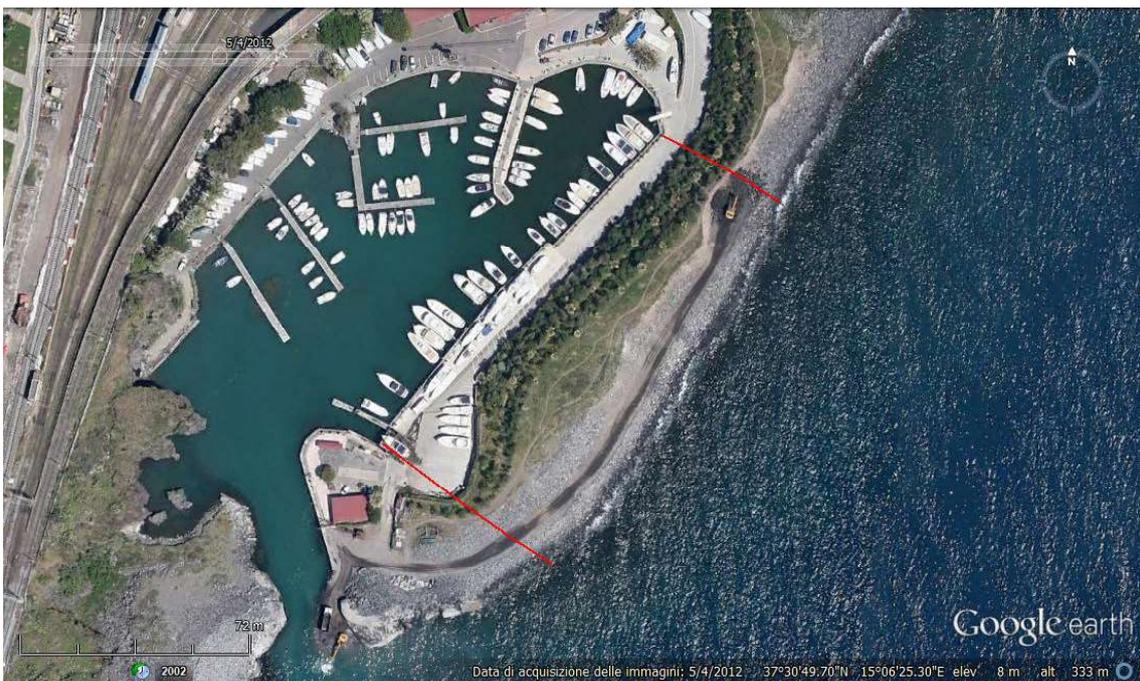


Fig. 15 – Linea di costa del 4/5/2012 (fonte: Google Earth Pro).



Fig. 16 – Linea di costa del 26/3/2012 (fonte: Google Earth Pro).



Fig. 17 – Linea di costa del 21/4/2011 (fonte: Google Earth Pro).

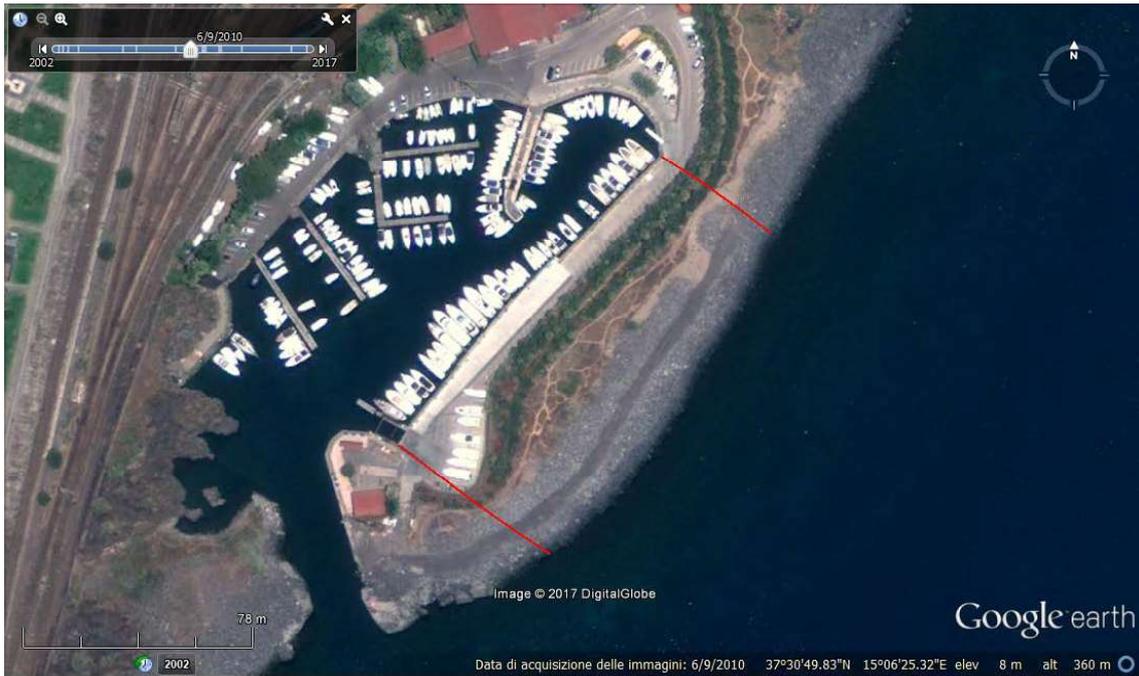


Fig. 18 – Linea di costa del 9/6/2010 (fonte: Google Earth Pro).

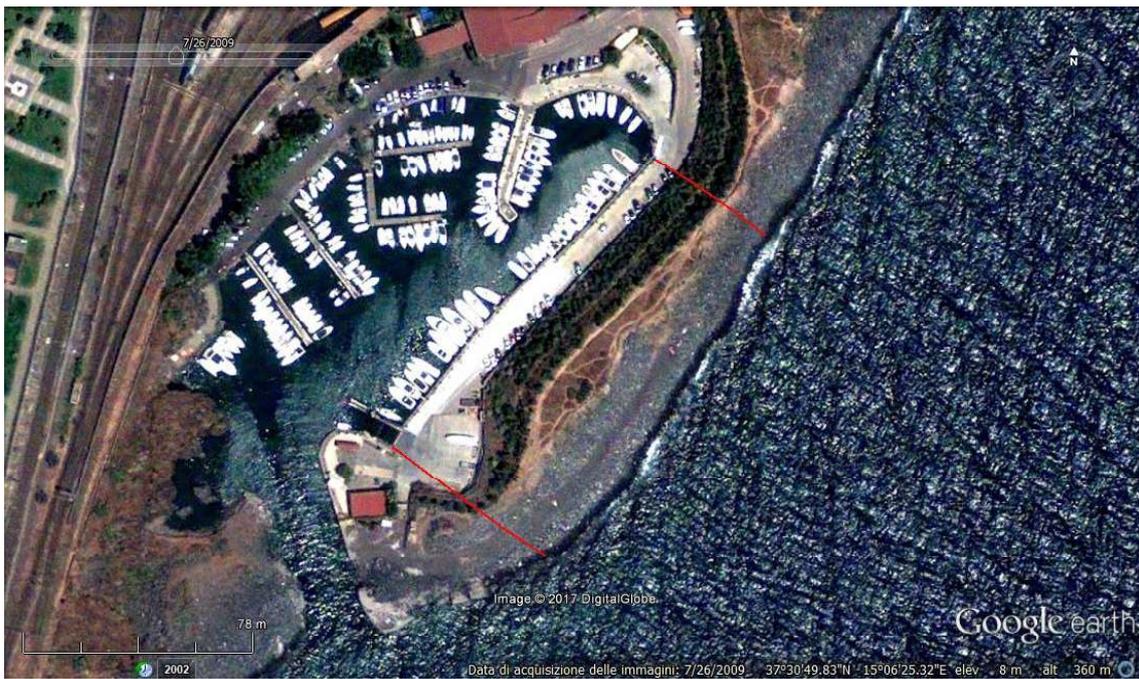


Fig. 19 – Linea di costa del 26/7/2009 (fonte: Google Earth Pro).



Fig. 20 – Linea di costa del 14/3/2007 (fonte: Google Earth Pro).



Fig. 21 – Linea di costa del 27/5/2006 (fonte: Google Earth Pro).



Fig. 22 – Linea di costa del 15/9/2003 (fonte: Google Earth Pro).



Fig. 23 – Linea di costa del 17/10/2002 (fonte: Google Earth Pro).

Relazione Idraulico-Marittima

Tabella riassuntiva

Anno	Ampiezza spiaggia transetto Nord [m]	Ampiezza spiaggia transetto Sud [m]
9/7/2017	18.4	29.6
31/7/2016	16.5	29.1
29/7/2013	20.7	26.7
4/5/2012	20	29.7
26/3/2012	21.3	29
21/4/2011	22.7	28.9
9/6/2010	23.4	27.6
26/7/2009	23.5	28.1
14/3/2007	22.9	32.2
27/5/2006	23	29.6
19/5/2003	26.5	32.6
17/10/2002	28.8	32.9
Max	28.8	32.9
Min	16.5	26.7
Media	22.3	29.7
Differenza 2017-2002	-10.4	-3.3

Tab. 7 – Evoluzione della linea di costa nei due transetti oggetto di studio.

Proposte progettuali

Analisi del clima ondoso e delle tendenze evolutive del litorale

L'individuazione delle possibili soluzioni progettuali per la salvaguardia del tratto di litorale antistante Porto Rossi si basa sull'analisi dei risultati ottenuti nella valutazione del clima ondoso e delle tendenze evolutive del litorale.

In particolare, riguardo il clima ondoso di largo è possibile osservare che il settore di traversia principale è centrato su 100° rispetto al Nord e risulta quasi ortogonale alla costa stessa in corrispondenza dell'estremità nord del porto (tale tratto risulta inclinato di circa 35° rispetto al Nord) mentre risulta sensibilmente inclinato rispetto alla costa stessa in corrispondenza dell'imboccatura portuale (tale tratto risulta inclinato di circa 65° rispetto al Nord). Dai settori centrati su 40 e 50° rispetto al Nord provengono stati di mare caratterizzati da elevata frequenza (circa 7%, dello stesso ordine di grandezza del valore osservato nel settore di traversia principale) ma con contenuto energetico minore rispetto alla traversia principale. L'altezza significativa media di ciascun settore si attesta su valori compresi tra 0.5 e 0.7 m, con valori superiori a tale range nel settore di traversia principale ed in quello ad esso adiacente (mantenendosi comunque al di sotto del metro in entrambi i settori). Il periodo di picco di ciascun settore risulta compreso tra 4 e 7 s mentre il periodo medio di ciascun settore risulta compreso tra 3.5 e 5.5 s. Dal punto di vista statistico, le soglie di altezza significativa di fissato periodo di ritorno variano da 5.5 m (con R pari a 5 anni e persistenza di circa 10 ore) a 9.5 m circa (con R pari a 500 anni e persistenza di circa 5 ore). Infine, la profondità di chiusura, stimata mediante la formula di Hallermeier a partire dall'altezza significativa di largo superata mediamente 12 ore in un anno, risulta di circa 4.2 m.

Riguardo le tendenze evolutive del litorale, nel periodo preso in esame (ottobre 2002 – luglio 2017) è possibile osservare in entrambi i transetti un arretramento della linea di costa, rispetto al valore iniziale, di 3.3 m nel transetto sud (vicino l'imboccatura portuale) e di 10.4 m nel transetto nord (in corrispondenza dell'estremità settentrionale del porto). In entrambi i transetti la massima ampiezza di spiaggia si osserva all'inizio del periodo esaminato mentre la minima ampiezza è stata osservata a luglio 2016 (nel transetto nord) ed a luglio 2013 (nel transetto sud).

Proposte progettuali

Sulla base di quanto descritto nel paragrafo soprastante, come soluzione progettuale per il transetto sud si propone la realizzazione di un pennello in prossimità dell'imboccatura portuale: tale scelta è motivata sia dalla presenza di moto ondoso sensibilmente inclinato rispetto alla costa stessa sia dalla necessità di proteggere l'imboccatura portuale in quanto la presenza di materiale grossolano ha, spesso, provocato l'ostruzione totale o parziale dell'imboccatura stessa (cfr. Fig. 15 e Fig. 16). Il pennello si estenderà fino alla batimetrica -4 m in maniera tale da essere prossimo alla profondità di chiusura del litorale, permettendo così di accumulare il materiale trasportato lungo costa dal lato sopraflutto dell'opera e proteggendo conseguentemente l'imboccatura progettuale. Si raccomanda di monitorare periodicamente l'evoluzione del litorale sopraflutto, in particolare nella stagione invernale, prevedendo interventi manutentivi sia di rimozione del materiale (nel momento in cui la linea di costa si avvicina alla testata dell'opera oppure con cadenza triennale) sia di consolidamento del pennello se mostra segni di danneggiamento a causa dell'impatto del moto ondoso e del materiale da esso trasportato.

Relazione Idraulico-Marittima

Riguardo il tratto costiero adiacente il transetto nord, a causa della lenta velocità di arretramento del litorale (inferiore a 1 m/annuo) e del recente avanzamento osservato (circa 2 m da luglio 2016 a luglio 2017) si propone una difesa aderente del tipo rivestimento (cfr. Atlante delle opere di sistemazione costiera APAT). Anche in questo caso si raccomanda di monitorare periodicamente l'evoluzione del litorale e, nel caso in cui i fenomeni erosivi dovessero manifestarsi nuovamente e/o accentuarsi rispetto a quanto recentemente osservato, sarebbe consigliabile intervenire con una serie di pennelli. Tali opere risulterebbero efficaci soprattutto nei confronti del moto ondoso proveniente dai settori di nord-est, fortemente inclinati rispetto alla costa, che risulta molto frequente anche se meno intenso rispetto a quello proveniente da est. Come protezione da quest'ultimo moto ondoso sarebbe possibile prevedere delle barriere, anche sommerse, di collegamento tra i vari pennelli in maniera tale da realizzare celle protette.

Altezza d'onda in corrispondenza della testata dell'opera

L'altezza d'onda in corrispondenza della testata dell'opera è stata valutata mediante la formulazione di Goda (2000), che ha ricavato un'espressione per valutare altezza significativa ed altezza massima all'interno della surf zone a partire dalle condizioni di largo:

$$\begin{cases} H_s = K_s H'_{s_0} \\ H_{\max} = 1.8 K_s H'_{s_0} \end{cases} \quad \text{per } d/L_0 > 0.2; \quad (13a,b)$$

$$\begin{cases} H_s = \min \left\{ (\lambda_0 H'_{s_0} + \lambda_1 d), (\lambda_{\max} H'_{s_0}), (K_s H'_{s_0}) \right\} \\ H_{\max} = \min \left\{ (\beta_0 H'_{s_0} + \beta_1 d), (\beta_{\max} H'_{s_0}), (1.8 K_s H'_{s_0}) \right\} \end{cases} \quad \text{per } d/L_0 < 0.2; \quad (14a,b)$$

con:

$$H'_{s_0} = H_s K_r K_d \quad \text{altezza significativa di largo equivalente}; \quad (15)$$

$$K_s = \left\{ \tanh(k d) \left[1 + \frac{2 k d}{\sinh(2 k d)} \right] \right\}^{-1/2} \quad \text{coefficiente di shoaling}; \quad (16)$$

$$K_r = \left(\frac{\cos \beta_0}{\cos \beta} \right)^{1/2} \quad \text{coefficiente di rifrazione}; \quad (17)$$

K_d coefficiente di diffrazione;

β_0 angolo tra la direzione di propagazione del moto ondoso a largo e l'asse ortogonale alla costa;

$$\beta = \arcsin \left[\sin \beta_0 \tanh(k d) \right] \quad \text{angolo tra la direzione di propagazione del moto ondoso e l'asse ortogonale alla costa}; \quad (18)$$

$$\lambda_0 = 0.028 \left(\frac{H'_{s_0}}{L_{p_0}} \right)^{-0.38} \exp(20 s^{1.5}) \quad (19)$$

Relazione Idraulico-Marittima

Criterio di non danneggiamento con limitata tracimazione							
Elemento	n ⁽³⁾	Posa in opera	Sezione corrente		Testata		Scarpa
			K _d ⁽²⁾		K _d		cot α
			Onda frangente	Onda non frangente	Onda frangente	Onda non frangente	
Masso naturale							
arrotondato	2	alla rinfusa	1.2	2.4	1.1	1.9	1.5 ÷ 3.0
arrotondato	> 3	alla rinfusa ⁽⁴⁾	1.6 ⁽⁴⁾	3.2	1.4 ⁽⁴⁾	2.3	
a spigoli vivi	2	alla rinfusa	2.0	4.0	1.9	3.2	1.5
					1.6	2.8	2.0
					1.3	2.3	3.0
a spigoli vivi	> 3	alla rinfusa	2.2	4.5	2.1	4.2	⁽⁵⁾
a spigoli vivi	2	speciale ⁽⁶⁾	5.8	7.0	5.3	6.4	⁽⁵⁾
Parallelepipedo ⁽⁷⁾	2	speciale ⁽⁶⁾	7.0 ÷ 20.0	8.5 ÷ 24.0			
Tetrapodo e Quadripodo	2	alla rinfusa	7.0	8.0	5.0	6.0	1.5
					4.5	5.5	2.0
					3.5	4.0	3.0
Tribar	2	alla rinfusa	9.0	10.0	8.3	9.0	1.5
					7.8	8.5	2.0
					6.0	6.5	3.0
Dolos	2	alla rinfusa	15.8 ⁽⁸⁾	31.8 ⁽⁸⁾	8.0	16.0	2.0 ⁽⁹⁾
					7.0	14.0	3.0
Cubo modificato	2	alla rinfusa	6.5	7.5		5.0	⁽⁵⁾
Hexapod	2	alla rinfusa	8.0	9.5	5.0	7.0	⁽⁵⁾
Toskane	2	alla rinfusa	11.0	22.0			⁽⁵⁾
Anfiter ⁽¹⁰⁾	2	alla rinfusa	7.0	7.7			1.5
Accropodi ⁽¹⁰⁾	2	alla rinfusa	10.0	12.0			4/3
Masso naturale KRR							
assortiti		alla rinfusa	2.2	2.5			

(1) i valori di K_d scritti in corsivo non sono stati ottenuti mediante prove di laboratorio e vanno utilizzati solo in fase di progettazione preliminare;

(2) per pendenze comprese tra 1/1.5 e 1/5;

(3) numero di strati;

(4) è conveniente che le mantellate in massi naturali sottoposte ad onde frangenti siano costituite da più strati mentre un singolo strato è ammissibile solo in presenza di onde non frangenti: in tal caso è

Relazione Idraulico-Marittima

- richiesta particolare attenzione nella posa in opera dei massi;
- (5) in assenza di informazioni dettagliate tali valori vanno utilizzati per pendenze comprese tra 1/1.5 e 1/3 (alcune prove su elementi della testata mostrano una relazione funzionale tra K_d e la pendenza);
 - (6) l'asse maggiore del masso viene posto normalmente al piano della mantellata;
 - (7) sono sagomati con forma parallelepipedica e la maggiore dimensione lineare è circa 4 volte più grande della piccola (Markle e Davidson, 1979);
 - (8) in presenza di spostamenti ed oscillazioni dei massi < 5% (criterio di non danneggiamento), se invece le oscillazioni non sono tollerate (< 2%) il coefficiente va dimezzato (Zwamborn e Van Niekerke, 1982);
 - (9) per pendenze superiori a 1/2 è necessario condurre prove su modello;
 - (10) valori consigliati (si tratta di massi sviluppati in tempi recenti, sui quali non è ancora disponibile un numero significativo di prove su modello).

Il peso di ogni singolo masso è:

$$P_M = \gamma_s D_n^3 \quad (27)$$

Lo spessore della mantellata è pari a:

$$S_M = n K_\Delta D_n \quad (28)$$

con n numero di strati costituenti la mantellata (generalmente due nel caso si utilizzino massi artificiali e due o tre nel caso si utilizzino massi naturali) e K_Δ coefficiente tabellato (Shore Protection Manual, 1984) in funzione della tipologia di elemento, del numero di strati e del collocamento in opera.

Il numero di massi per m^2 è pari a:

$$N_a = n K_\Delta (1 - p) D_n^2 \quad (29)$$

con p porosità.

Elemento	Numero strati	Posa in opera	K_Δ	Porosità
<i>Massi naturali a spigoli arrotondati</i>	2	alla rinfusa	1.02	0.38
<i>Massi naturali a spigoli vivi</i>	2	alla rinfusa	1.00	0.37
<i>Massi naturali a spigoli vivi</i>	≥ 3	alla rinfusa	1.00	0.40
<i>Cubi</i>	2	alla rinfusa	1.10	0.47
<i>Tetrapodi</i>	2	alla rinfusa	1.04	0.50
<i>Quadripodi</i>	2	alla rinfusa	0.95	0.49
<i>Esapodi</i>	2	alla rinfusa	1.15	0.47
<i>Tribar</i>	2	alla rinfusa	1.02	0.54
<i>Dolos</i>	2	alla rinfusa	0.94	0.56
<i>Accropodi</i>	2	alla rinfusa	1.51	0.59

Nel caso in esame sono stati ottenuti massi di terza categoria di peso non inferiore a 5 t e diametro nominale non inferiore a 1.3 m ed i massi di dimensioni maggiori dovranno essere disposti in testata. Per il posizionamento e per le dimensioni plano-altimetriche si rimanda agli elaborati grafici.