



COMUNE DI TORRE DEL GRECO

Provincia di Napoli

PIANO URBANISTICO COMUNALE

ATTIVITA' PRODROMICHE PER LA REDAZIONE
DEL PIANO URBANISTICO COMUNALE E RELATIVI ATTI CONNESSI

Supporto al RUP ex art. 10, comma 7, del D. Lgs. 163/2006



ELABORATI DI ANALISI

REL. **R1**

STUDIO METEOMARINO AL LARGO ED A RIVA

SCALA: _____

DIRIGENTE DEL SETTORE

Arch. Giovanni Falanga

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Dott. Vincenzo Oione

COORDINATORI DEL R.U.P.

Arch. Guido Grosso

Ing. Antonio Russo

IL SINDACO

DIPARTIMENTO
DI SCIENZE APPLICATE
Università di Napoli Parthenope

IL RESPONSABILE SCIENTIFICO
Prof. Ing. G. Benassai

GIUGNO 2011

Studio idraulico-marittimo finalizzato alla pianificazione e alla progettazione preliminare degli interventi da porre in essere per salvaguardare e valorizzare la linea di costa, in uno con nuove infrastrutture portuali, nel Comune di Torre del Greco.

1. PREMESSA

2. INQUADRAMENTO DEL PARAGGIO

3. REGIME DEL MOTO ONDOSO AL LARGO

3.1 Regime ondametrico al largo

3.2. Taratura dei dati ondametrici rispetto al paraggio in esame

3.3 Statistica degli eventi estremi al largo

4. PROPAGAZIONE DEL MOTO ONDOSO A RIVA

4.1 Modello di propagazione euleriano

4.2 Risultati del modello di rifrazione

5. ANALISI CRITICA DEI RISULTATI E CONCLUSIONI

1. PREMESSA

Il presente Studio Meteomarino costituisce parte delle attività prodromiche alla redazione del piano urbanistico comunale della città di Torre del Greco, per quanto attiene alla pianificazione della fascia costiera. In tale contesto, il Comune di Torre del Greco ha commissionato all'Università Parthenope – Dipartimento di Scienze Applicate, uno studio di fattibilità per l'ampliamento dell'attuale struttura portuale e per la realizzazione di una nuova darsena di servizio posta a sud dell'attuale porto di Torre del Greco.

Nella presente relazione viene riportata la valutazione dell'altezza significativa di progetto, in funzione di assegnati periodi di ritorno, in corrispondenza del prolungamento dell'attuale molo sopraflutto e del nuovo molo sopraflutto per la protezione della darsena localizzata a sud di quella attuale.

I periodi di ritorno presi in considerazione sono: $T_r=50$ anni per il proporzionamento dei massi di mantellata delle opere foranee, e per il calcolo dell'agitazione interna portuale; $T_r=5$ anni, per il solo calcolo dell'agitazione interna portuale.

Lo studio è stato articolato nelle seguenti fasi distinte:

- Individuazione e caratterizzazione del paraggio che sottende il litorale in esame;
- Determinazione delle caratteristiche del moto ondoso di largo;
- Analisi dei fenomeni evolutivi del moto ondoso nella propagazione dal largo verso costa;
- Determinazione delle caratteristiche del moto ondoso da utilizzare come base per il proporzionamento delle strutture in progetto, e per il calcolo dell'agitazione interna, attività rispettivamente svolte nella Relazione di Calcolo preliminare e nella Relazione dell'agitazione interna portuale.

Nella prima fase il paraggio viene individuato al largo in acque profonde in cui sostanzialmente il clima ondoso incidente non è ancora influenzato da fenomeni evolutivi di rifrazione e shoaling.

Studio idraulico-marittimo finalizzato alla pianificazione e alla progettazione preliminare degli interventi da porre in essere per salvaguardare e valorizzare la linea di costa, in uno con nuove infrastrutture portuali, nel Comune di Torre del Greco.

Nella seconda fase la caratterizzazione del clima ondoso di largo viene eseguita determinando il settore di traversia e le caratteristiche idrodinamiche delle agitazioni ondose interne al settore con assegnati periodi di ritorno. Per tale determinazione sono state considerate le registrazioni dirette di altezza d'onda significativa, periodo significativo e direzione di provenienza, effettuate dalla stazione ondametrica di Ponza che afferisce alla Rete Ondametrica Nazionale (RON). Allo scopo di effettuare la valutazione delle onde estreme, il set di dati a disposizione è stato adattato alla distribuzione della funzione probabilistica di Fisher-Tippet I (FT-I) (Gumbel). In tal modo una volta calcolati i parametri di tale distribuzione, quest'ultima è stata estrapolata oltre il periodo di osservazione dei dati per ottenere l'altezza ed il periodo dell'onda di progetto per assegnati periodi di ritorno.

Nella terza fase è stato effettuato lo studio della propagazione del moto ondoso dal largo verso la costa con particolare riferimento alla zona di impianto delle opere foranee, riferita alle seguenti condizioni ondose:

- periodo di ritorno $T_R=50$ anni, al fine di ottenere i valori della direzione di provenienza e dell'altezza significativa in corrispondenza delle batimetriche delle opere foranee oggetto di proporzionamento;
- periodo di ritorno $T_R=5$ anni, al fine di ottenere i valori della direzione di provenienza e dell'altezza significativa in corrispondenza delle batimetriche delle imboccature portuali, per poter successivamente alimentare un modello numerico di calcolo dell'agitazione interna portuale.

Nella quarta fase si analizzano i risultati delle analisi e si determinano i valori da assumere a base del progetto delle opere.

2. INQUADRAMENTO DEL PARAGGIO.

Con riferimento alla corografia riportata in fig. 1, il paraggio al largo risulta esposto ai mari provenienti dal II e III quadrante. Il litorale è esposto al clima ondoso che si genera nella traversia compresa tra le direzioni 135°N (P.ta Orlando) e 310°N (Napoli). All'interno di detto settore si distingue una traversia principale, da cui provengono le ondazioni caratterizzate da maggiore frequenza ed intensità, ed uno secondario meno esposto del primo.

Il settore principale è compreso tra le direzioni 210°N (Capri p.ta Arcera) e 270°N (Ischia – P.ta S.Angelo). Il settore di traversia secondario si sviluppa all'interno del Golfo di Napoli all'interno di due sub-settori compresi, il primo aperto verso S-SE e compreso tra le direzioni 135°N e 210°N, il secondo esposto verso O-NO e delimitato dalle direzioni 270°N e 310°N.

I valori numerici dei fetches effettivi sono riportati in tab. 1, quelli dei fetches efficaci sono riportati in tab. 2. e in fig. 2 viene riportato un diagramma polare di entrambi i fetches.

Il calcolo è stato eseguito determinando dapprima i valori dei fetches geografici relativi alle direzioni di traversia competenti al paraggio in esame, quindi successivamente si è effettuato il calcolo dei fetches efficaci, supponendo che la distribuzione dello spettro di energia del moto ondoso abbracci un settore di $\pm 90^\circ$ rispetto a ciascuna direzione di vento considerata e che ogni direzione, compresa in tale settore, fornisca un contributo energetico proporzionale al quadrato del coseno dell'angolo che essa forma con la direzione in cui spira il vento.

Operativamente la determinazione dei fetches efficaci è stata effettuata utilizzando la formula di Saville di seguito riportata:

$$F_{\text{efficace}} = \frac{\sum F_i \cos^2 \alpha_i}{\sum \cos^2 \alpha_i} \quad (1)$$

dove:

- F_i = fetch effettivo della i-esima direzione [Km]

Studio idraulico-marittimo finalizzato alla pianificazione e alla progettazione preliminare degli interventi da porre in essere per salvaguardare e valorizzare la linea di costa, in uno con nuove infrastrutture portuali, nel Comune di Torre del Greco.

- α_i = angolo che direzione i-esima forma con quella in cui spira il vento

DD (°N)	Fetches (Km)
130	13
140	13
150	13
160	14.3
170	16.4
180	17
190	22
200	26.5
210	340
220	540
230	650
240	750
250	430
260	405
270	30
280	17
290	16
300	15
310	13

Tab. 1 - Valori numerici in Km dei fetches effettivi del paraggio di Torre del Greco (Porto).

Studio idraulico-marittimo finalizzato alla pianificazione e alla progettazione preliminare degli interventi da porre in essere per salvaguardare e valorizzare la linea di costa, in uno con nuove infrastrutture portuali, nel Comune di Torre del Greco.

DD (°N)	Fetches (Km)
130	7.8
140	9.9
150	12.3
160	15.1
170	42.6
180	92.1
190	160.4
200	246.3
210	314.4
220	375.7
230	397.8
240	397.7
250	376.4
260	318.9
270	243.4
280	163.3
290	86.9
300	43.1
310	9.8

Tab. 2 - Valori numerici in Km dei fetches efficaci del paraggio di Torre del Greco (Porto).

Studio idraulico-marittimo finalizzato alla pianificazione e alla progettazione preliminare degli interventi da porre in essere per salvaguardare e valorizzare la linea di costa, in uno con nuove infrastrutture portuali, nel Comune di Torre del Greco.

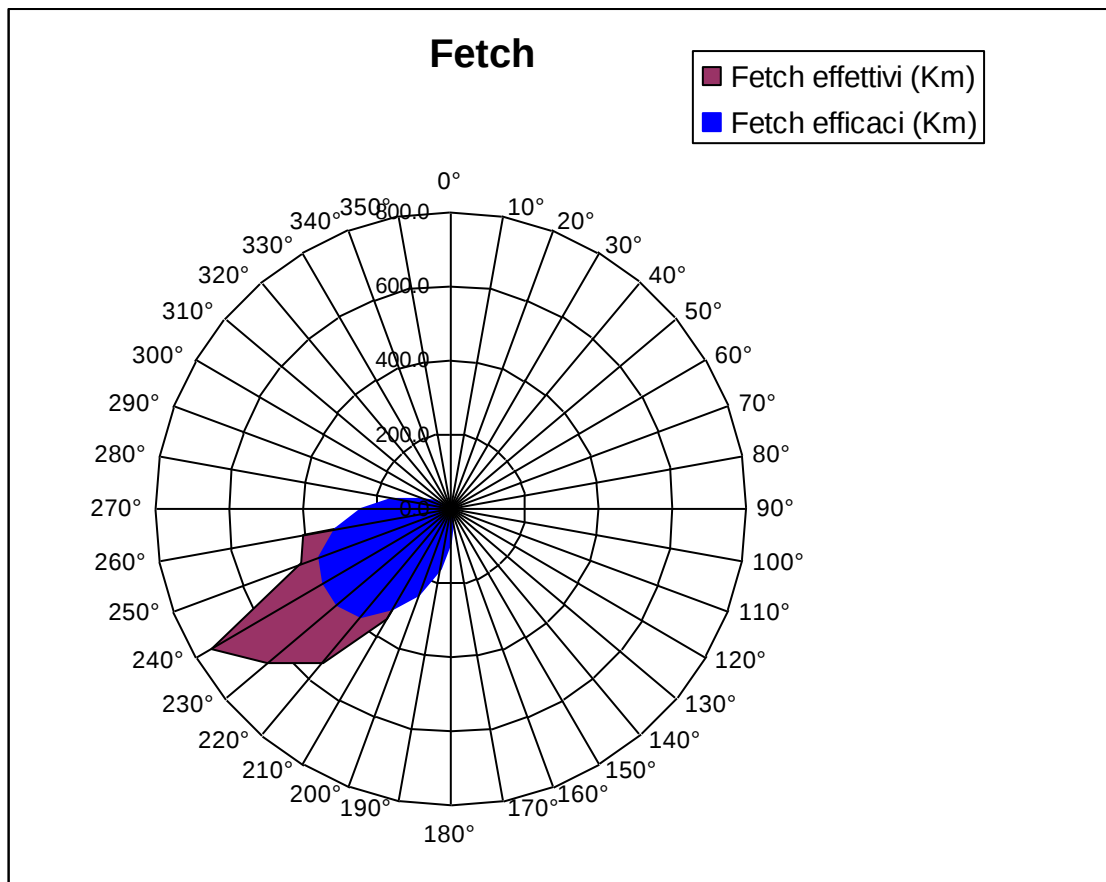


Fig. 2 – Diagramma polare dei fetches effettivi e efficaci del paraggio di Torre del Greco (Porto).

3. REGIME DEL MOTO ONDOSO AL LARGO

3.1 Regime ondametrico al largo

Per la determinazione del clima ondoso al largo di Torre del Greco sono state considerate misure dirette di altezza d'onda significativa, periodo significativo e direzioni di provenienza, registrati dalla stazione ondametrica di Ponza (LT), che rispetto al paraggio in esame presenta ubicazione sufficientemente prossima e stessa esposizione al clima ondoso.

Studio idraulico-marittimo finalizzato alla pianificazione e alla progettazione preliminare degli interventi da porre in essere per salvaguardare e valorizzare la linea di costa, in uno con nuove infrastrutture portuali, nel Comune di Torre del Greco.

Per tale motivo si può ritenere che gli stati del mare registrati in detta stazione siano sufficientemente rappresentativi per il litorale in oggetto.

La predetta stazione ondametrica, posta su profondità infinita, fa parte della Rete Ondametrica Italiana, gestita dal Servizio Idrografico e Mareografico della Presidenza del Consiglio dei Ministri. La tab.3 riporta la posizione geografica, il periodo di funzionamento ed il settore di traversia geografico relativo alla boa, a confronto con il settore di traversia geografico al largo di Torre del Greco.

I dati ondametrici, relativi alla stazione di Ponza, ai quali si è fatto riferimento sono quelli compresi tra il 07/1989 e il 12/2005.

Le coppie di valori di grandezze H_s e T_s relative agli eventi rilevati in successione temporale sono state memorizzate e classificate poi in tab.4 che riporta le frequenze di apparizione delle altezze significative a doppia entrata, suddivisa per classi di altezza (ogni 0.5 m) e settore di provenienza (ogni 10°).

Stazione Ondametrica	Coordinate geografiche	Periodo di funzionamento considerato	settore di trav. Boa	settore di tr. Torre del Greco
Ponza	$\varphi=40^{\circ}52',0$ N; $\lambda=12^{\circ}57',0$ E	07/1989 - 12/2005	70°N-290°N	210°N-270°N

Tab. 3 - Rilevazioni ondametriche considerate nello studio.

Studio idraulico-marittimo finalizzato alla pianificazione e alla progettazione preliminare degli interventi da porre in essere per salvaguardare e valorizzare la linea di costa, in uno con nuove infrastrutture portuali, nel Comune di Torre del Greco.

DD (°N)	0<Hs<0.5	0.5<Hs<1	1<Hs<1.5	1.5<Hs<2	2<Hs<2.5	2.5<Hs<3	Hs>3
10	.163	.088	.027	.000	.000	.000	.000
20	.224	.122	.007	.000	.000	.000	.000
30	.204	.075	.014	.014	.000	.000	.000
40	.306	.163	.020	.007	.000	.000	.000
50	.326	.088	.034	.000	.000	.000	.000
60	.401	.122	.068	.000	.000	.000	.000
70	.550	.394	.129	.088	.034	.000	.000
80	.998	1.019	.930	.584	.177	.054	.000
90	1.372	2.010	1.759	.808	.183	.081	.000
100	1.331	1.535	.652	.238	.115	.041	.000
110	.869	.808	.231	.075	.034	.041	.000
120	.815	.632	.272	.095	.034	.000	.007
130	.706	.509	.306	.129	.068	.014	.007
140	.788	.598	.265	.122	.068	.027	.014
150	.625	.625	.183	.061	.034	.007	.000
160	.577	.584	.285	.054	.020	.007	.000
170	.720	.537	.326	.177	.061	.007	.020
180	.754	.713	.285	.102	.143	.027	.014
190	.992	.856	.326	.224	.183	.054	.020
200	1.182	.862	.441	.149	.143	.048	.034
210	1.467	.862	.333	.265	.061	.081	.048
220	1.813	.862	.482	.306	.143	.034	.054
230	1.895	.903	.523	.340	.122	.041	.122
240	2.024	.971	.414	.258	.143	.034	.054
250	2.153	1.229	.611	.346	.129	.102	.034
260	2.866	1.508	.937	.516	.407	.224	.075
270	3.382	2.458	1.691	1.311	.638	.333	.353
280	4.890	2.574	1.277	.795	.333	.163	.115
290	5.005	1.467	.414	.129	.054	.034	.020
300	3.063	1.107	.143	.061	.020	.000	.014
310	1.487	.394	.197	.054	.034	.007	.007
320	.795	.149	.061	.020	.000	.000	.000
330	.482	.095	.041	.000	.000	.000	.000
340	.272	.115	.020	.000	.000	.000	.000
350	.238	.068	.007	.000	.000	.000	.000
360	.394	.122	.020	.000	.000	.000	.000

Tab. 4 - Valori delle frequenze di apparizione delle H_s rilevate alla Stazione Ondametrica di Ponza per ciascuna direzione di provenienza tra il 07/89 e il 12/2010.

3.2 Taratura dei dati ondametrici rispetto al paraggio in esame.

I dati ondametrici registrati nella stazione di Ponza possono essere correlati al clima ondoso che compete al paraggio in esame ipotizzando che il regime dei venti sia sostanzialmente lo stesso per le due località. Tale ipotesi è sufficientemente avvalorata dall'esposizione e dalla vicinanza dei due paraggi e dal fatto che sul mare che genera il moto ondoso non vi sono ostacoli che interferiscono sul regime dei venti. Per cui si può ritenere che il clima ondoso di Torre del Greco e Ponza sia generato dagli stessi eventi anemometrici e che quindi la differenza tra i climi delle due località possa essenzialmente essere dovuta ai diversi fetches delle stesse.

Sulla base delle suddette considerazioni le registrazioni ondametriche di Ponza possono essere tarate su Torre del Greco considerando che, nel caso di fetches limitati, le relazioni che legano l'altezza d'onda significativa H_{m0} ed il periodo di picco T_m alla lunghezza del fetch e alla velocità del vento sono le seguenti:

$$\frac{gH_{m0}}{U^2} = 1.6 \cdot 10^{-3} \left(\frac{gF}{U} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2a)$$

$$\frac{gT_m}{U^2} = 2.857 \cdot 10^{-1} \left(\frac{gF}{U} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (2b)$$

dove:

- g = accelerazione di gravità (9.81m/s^2)
- U = fattore di velocità del vento [ft]
- F = fetch efficace relativo a una determinata direzione [Km]
- H = altezza dell'onda [m]

Operativamente si ipotizza che per il paraggio A relativo al punto di misura (Ondametro di Ponza) ed il paraggio B di trasposizione (al largo di Torre del Greco) il regime dei venti che ha generato le ondatazioni sia lo stesso ($U_A=U_B=\text{cost}$), per cui dalle (2a) e (2b) si ottengono le

Studio idraulico-marittimo finalizzato alla pianificazione e alla progettazione preliminare degli interventi da porre in essere per salvaguardare e valorizzare la linea di costa, in uno con nuove infrastrutture portuali, nel Comune di Torre del Greco.

seguenti espressioni che permettono di trovare la corrispondenza tra le altezze d'onda e i periodi di picco relativi al punto di misura A (ondametro di Ponza) e al punto di trasposizione B (Torre del Greco):

$$\frac{H_{m0}^B}{H_{m0}^A} = \left(\frac{F^B}{F^A} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3a)$$

$$\frac{T_{m0}^B}{T_{m0}^A} = \left(\frac{F^B}{F^A} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (3b)$$

I risultati delle suddette elaborazioni sono riportati nella seguente tab.5, con riferimento alle direzioni comprese nel settore di traversia principale.

DD(°N)	Fetches efficaci (Km)		Coeff. di taratura
	Ponza	Torre del Greco	
210	500	314,40	0,792969
220	489	375,70	0,876529
230	469	397,80	0,920971
240	457	397,70	0,932867
250	435	376,40	0,930208
260	422	318,90	0,869303
270	420	243,40	0,761265

Tab.5 – Valori del coefficienti di taratura delle Hs per il settore di traversia principale.

3.3 Statistica delle onde estreme al largo.

Mediante regolarizzazione della serie di eventi estremi, secondo note funzioni probabilistiche, è possibile ricavare le caratteristiche del moto ondoso (definite in termini di altezza significativa Hs e periodo di picco Tp) da associare ad assegnati periodi di ritorno Tr.

Allo scopo di determinare il clima ondoso del paraggio di Torre del Greco, il set di dati a disposizione è stato adattato alla distribuzione dei valori estremi di Gumbel. In tal modo, calcolati i parametri di tale distribuzione, quest'ultima può essere estrapolata oltre il periodo

Studio idraulico-marittimo finalizzato alla pianificazione e alla progettazione preliminare degli interventi da porre in essere per salvaguardare e valorizzare la linea di costa, in uno con nuove infrastrutture portuali, nel Comune di Torre del Greco.

di osservazione dei dati per ottenere l'altezza d'onda di progetto, ed il periodo relativo, associati a determinati periodi di ritorno T_r .

La distribuzione di Gumbel presenta probabilità cumulata:

$$P(H) = \exp \left\{ - \exp \left[- (H - \varepsilon) / \theta \right] \right\} \quad (4)$$

con

$$\varepsilon = \text{parametro di posizione} = \mu - 0.45\sigma ; \quad (5a)$$

$$\theta = \text{parametro di forma} = \sigma / 1.283 . \quad (5b)$$

Il piano probabilistico è definito in ascissa dai valori di H ed in ordinata dai valori della variabile trasformata y :

$$y = -\ln \left\{ -\ln [P(H)] \right\} \quad (6)$$

Si evince quindi che dalle (4) e (5) deriva:

$$y = (H - \varepsilon) / \theta \quad (7)$$

L'adattamento dei dati alla distribuzione scelta viene effettuato calcolando per le altezze d'onda selezionate la funzione di probabilità $F(H_s \leq H_{sm})$ con la formula seguente, dopo averle ordinate in senso decrescente:

$$F(H_s \leq H_{sm}) = 1 - \frac{m - 0.44}{N_T + 0.12} \quad (8)$$

dove:

- $F(H_s \leq H_{sm})$ = probabilità che la m -esima altezza d'onda significativa non sia superata;

- H_{sm} = m -esimo valore nel campione delle altezze significative;

- m = livello dell'altezza significativa nell'ordine decrescente assegnato = $1, 2, \dots, N$;

- N_T = numero totale degli eventi durante la lunghezza della registrazione;

Per individuare la retta interpolatrice che meglio approssima i dati alla distribuzione è necessario calcolare i parametri di detta distribuzione con il metodo dei momenti, che eguaglia media μ e varianza σ^2 del campione (i dati a disposizione) a quelli della popolazione statistica.

Successivamente è possibile ricavare i parametri ε e θ mediante le relazioni (5a) e (5b).

Studio idraulico-marittimo finalizzato alla pianificazione e alla progettazione preliminare degli interventi da porre in essere per salvaguardare e valorizzare la linea di costa, in uno con nuove infrastrutture portuali, nel Comune di Torre del Greco.

I calcoli, effettuati per ogni direzione, sono basati sulle relazioni suddette: una volta ricavati i due parametri ε e θ , le altezze d'onda per i vari periodi di ritorno possono essere determinate mediante le seguenti espressioni:

$$H_{sr} = \theta y_r + \varepsilon \quad (9)$$

$$y_r = -\ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{\lambda T_r} \right) \right] \quad (10)$$

dove:

- H_{sr} = altezza d'onda significativa con periodo di ritorno T_r ;
- λ = numero medio degli eventi per anno = N_T/K ;
- T_r = periodo di ritorno [anni];
- K = lunghezza della registrazione (anni).

Nel seguito si riportano i risultati delle analisi in forma grafica:

La stima del periodo corrispondente all'altezza d'onda di progetto può essere effettuata utilizzando differenti tipi di approcci. Una relazione proposta da Boccotti (1989) e largamente utilizzata in virtù della sua semplicità fornisce il periodo d'onda corrispondente all'altezza significativa attraverso la seguente relazione basata sui dati sperimentali:

$$T_{H_{Tr}} = 0.95 \cdot 9\pi \{ H_{Tr} / 4g \}^{1/2} \quad (11)$$

Nelle figg. da 3 a 12 sono riportati nel piano probabilistico i valori della probabilità cumulata ottenuti dalla distribuzione e dai dati.

Nella tab. 6 sono riportati in sintesi i valori delle altezze d'onda di progetto e dei rispettivi periodi, ottenuti dalle altezze attraverso l'eq. (11), per i periodi di ritorno di 50 anni.

Studio idraulico-marittimo finalizzato alla pianificazione e alla progettazione preliminare degli interventi da porre in essere per salvaguardare e valorizzare la linea di costa, in uno con nuove infrastrutture portuali, nel Comune di Torre del Greco.

	Tr=50 anni	
DD(°N)	Hs(m)	Ts (s)
180	3,74	8,29
190	4,59	9,18
200	4,85	9,44
210	4,42	9,01
220	5,58	10,13
230	5,51	10,06
240	5,03	9,62
250	5,2	9,78
260	5,85	10,37
270	6,99	11,34

Tab. 6 – Valori delle altezze d’onda di progetto relativi a Tr=50 anni

Studio idraulico-marittimo finalizzato alla pianificazione e alla progettazione preliminare degli interventi da porre in essere per salvaguardare e valorizzare la linea di costa, in uno con nuove infrastrutture portuali, nel Comune di Torre del Greco.

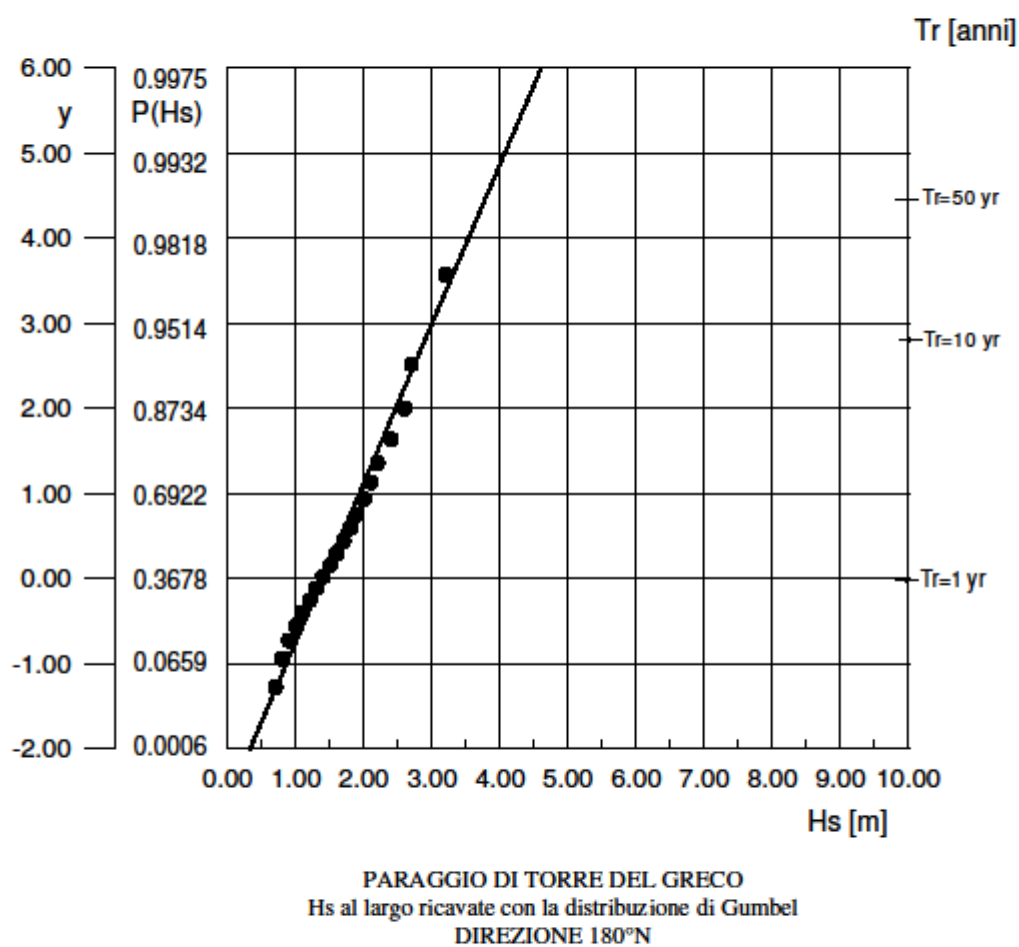


FIG. 3

Studio idraulico-marittimo finalizzato alla pianificazione e alla progettazione preliminare degli interventi da porre in essere per salvaguardare e valorizzare la linea di costa, in uno con nuove infrastrutture portuali, nel Comune di Torre del Greco.

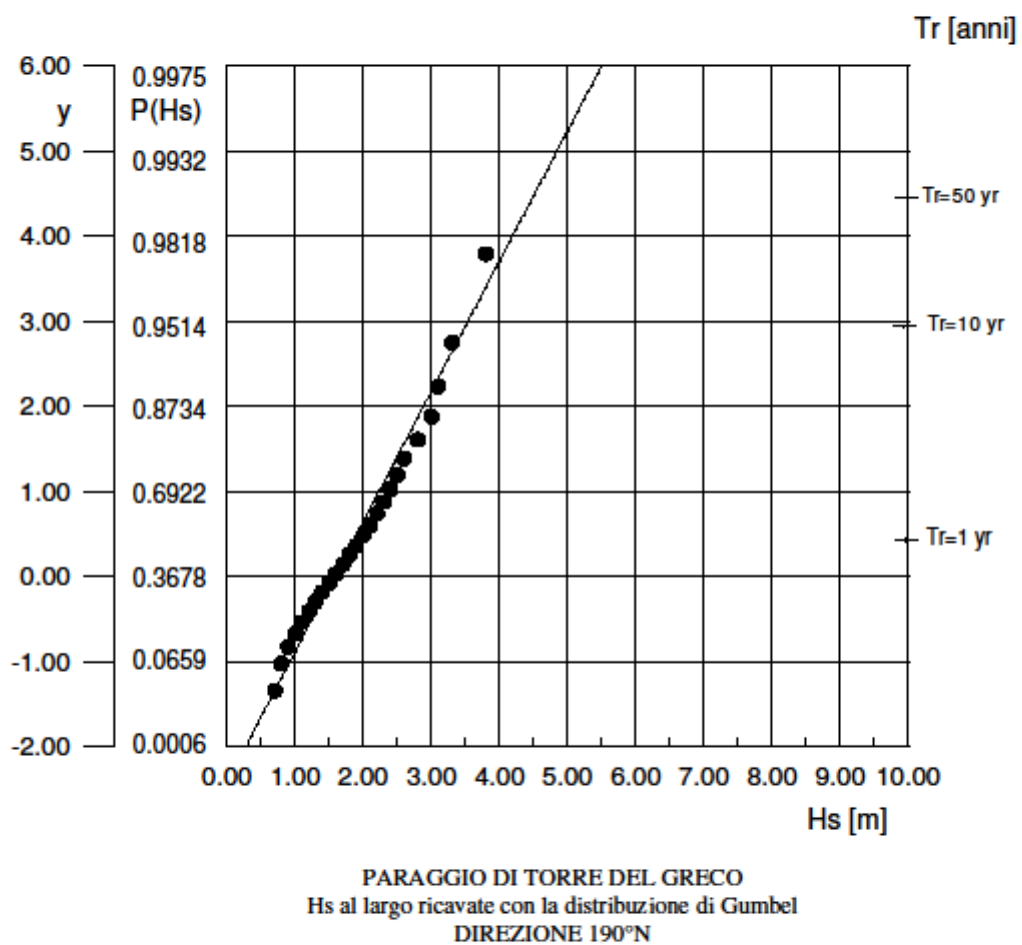


FIG. 4

Studio idraulico-marittimo finalizzato alla pianificazione e alla progettazione preliminare degli interventi da porre in essere per salvaguardare e valorizzare la linea di costa, in uno con nuove infrastrutture portuali, nel Comune di Torre del Greco.

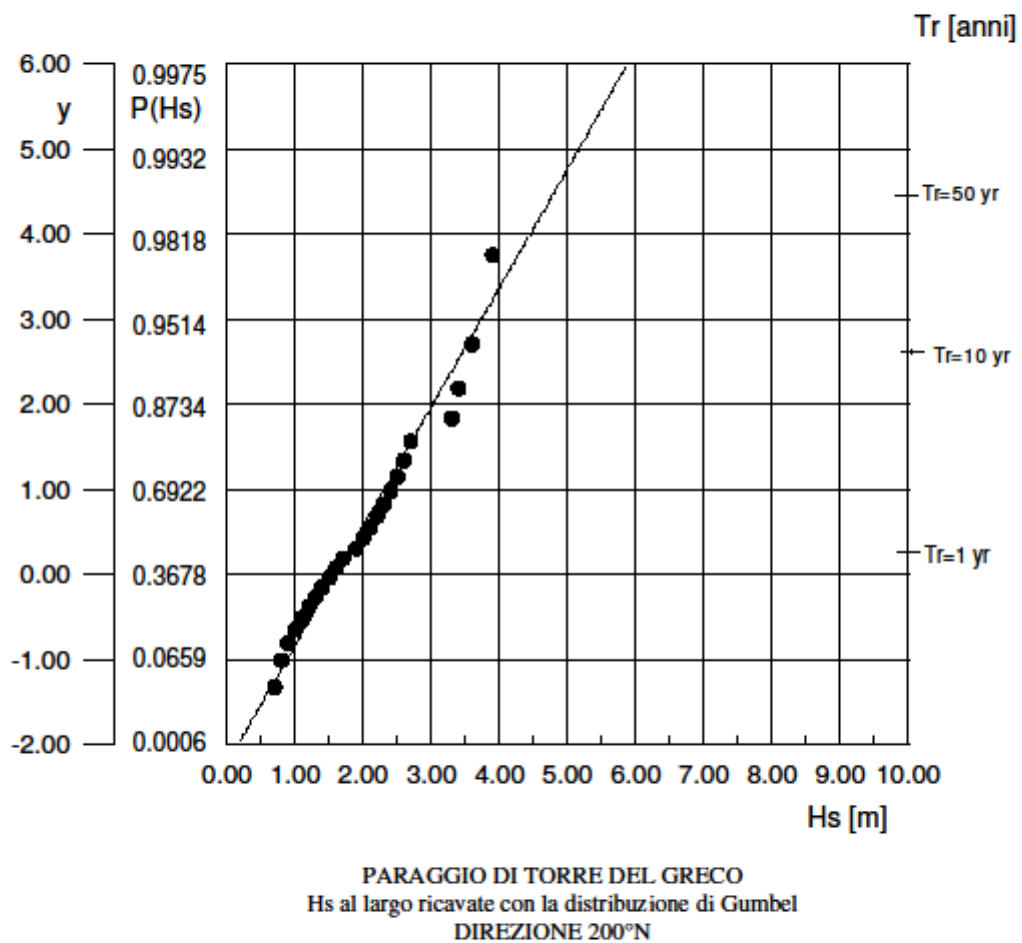
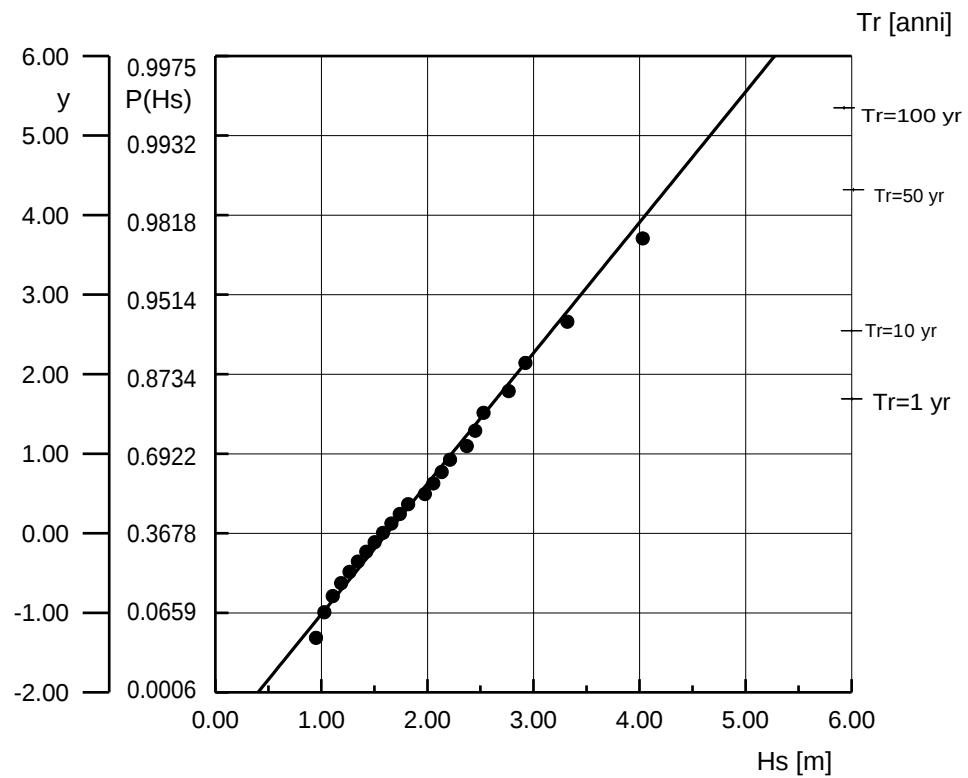


FIG. 5

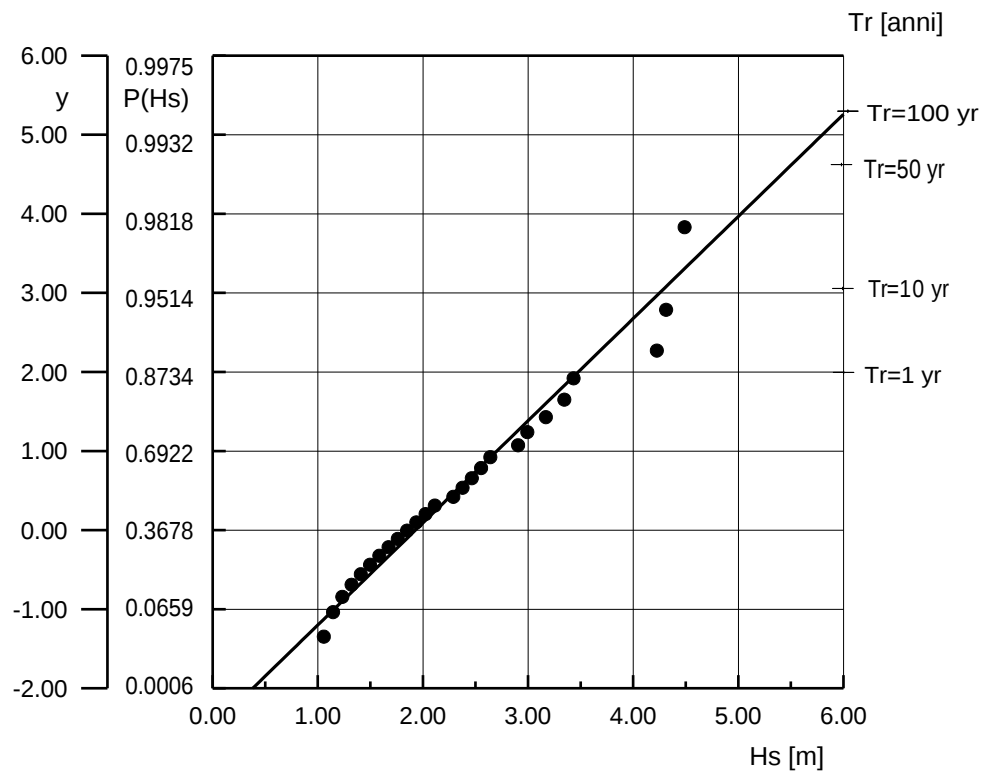
Studio idraulico-marittimo finalizzato alla pianificazione e alla progettazione preliminare degli interventi da porre in essere per salvaguardare e valorizzare la linea di costa, in uno con nuove infrastrutture portuali, nel Comune di Torre del Greco.



PARAGGIO DI TORRE DEL GRECO
Hs al largo ricavate con la distribuzione di Gumbel
DIREZIONE 210°N

Fig.6

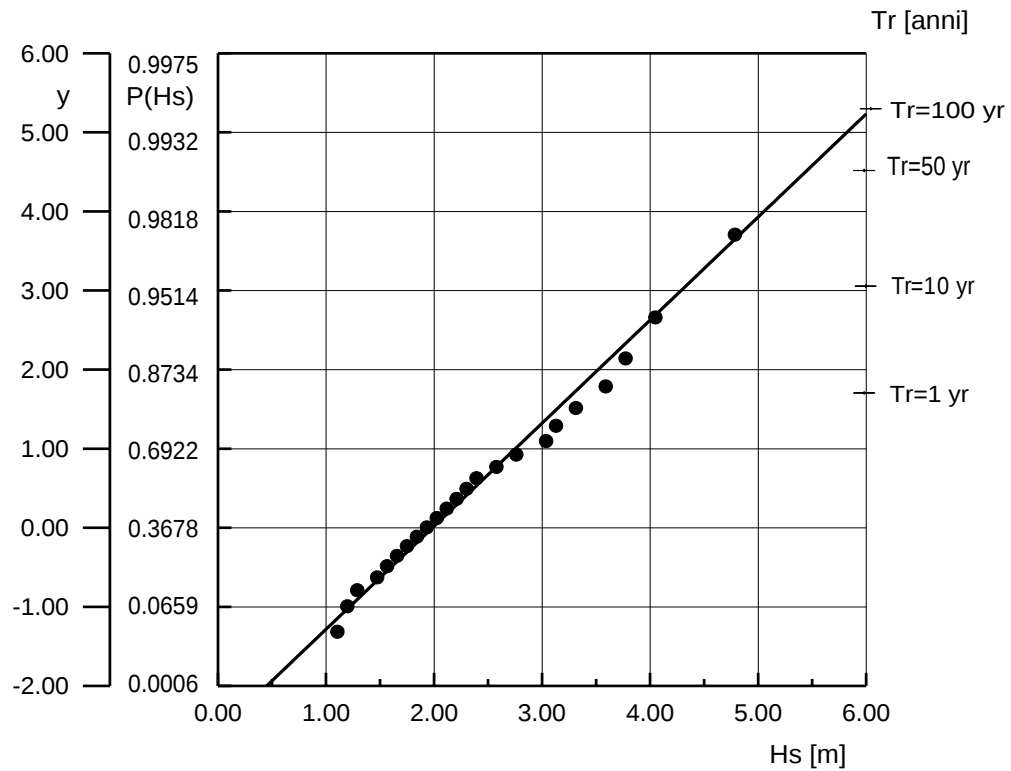
Studio idraulico-marittimo finalizzato alla pianificazione e alla progettazione preliminare degli interventi da porre in essere per salvaguardare e valorizzare la linea di costa, in uno con nuove infrastrutture portuali, nel Comune di Torre del Greco.



PARAGGIO DI TORRE DEL GRECO
Hs al largo ricavate con la distribuzione di Gumbel
DIREZIONE 220°N

Fig.7

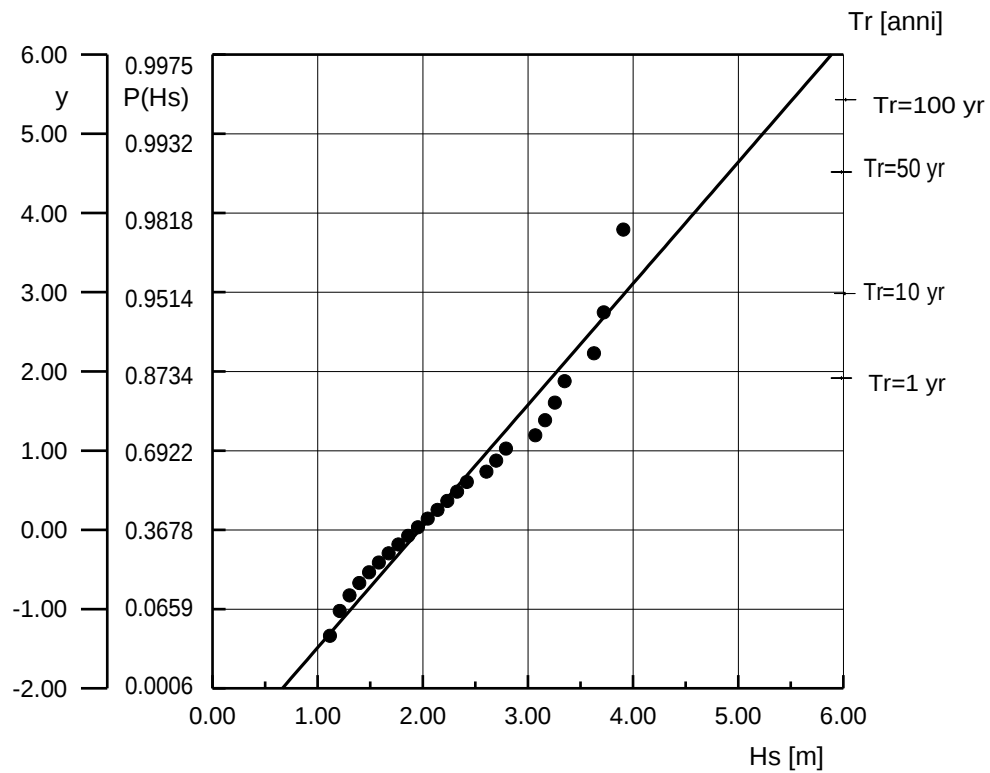
Studio idraulico-marittimo finalizzato alla pianificazione e alla progettazione preliminare degli interventi da porre in essere per salvaguardare e valorizzare la linea di costa, in uno con nuove infrastrutture portuali, nel Comune di Torre del Greco.



PARAGGIO DI TORRE DEL GRECO
Hs al largo ricavate con la distribuzione di Gumbel
DIREZIONE 230°N

Fig.8

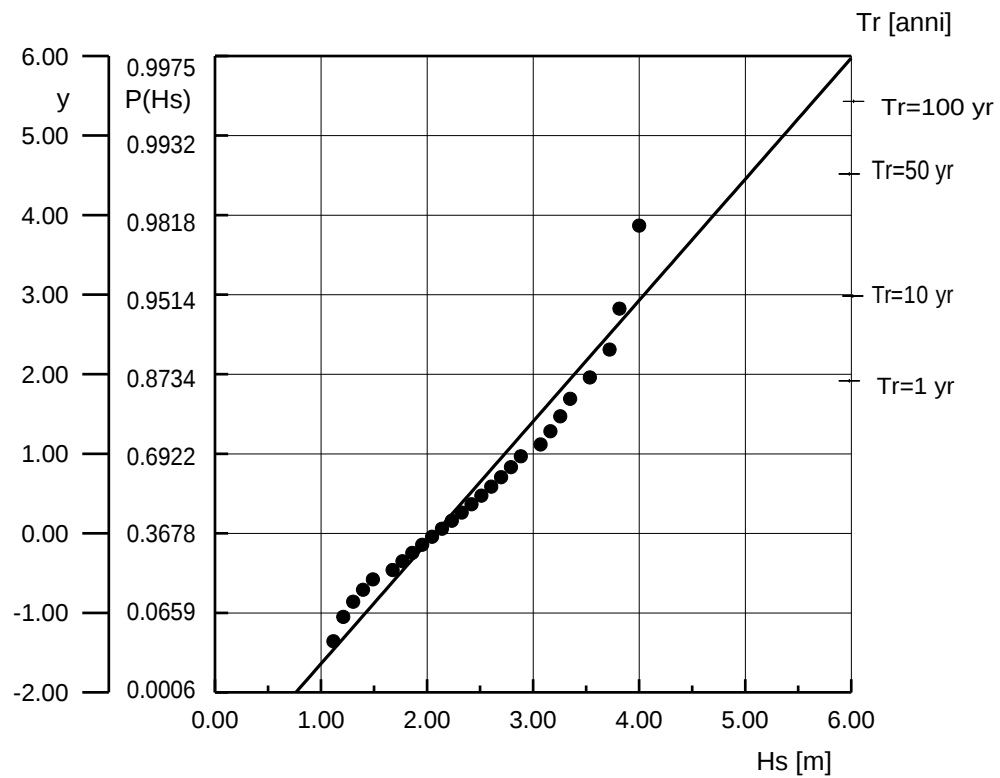
Studio idraulico-marittimo finalizzato alla pianificazione e alla progettazione preliminare degli interventi da porre in essere per salvaguardare e valorizzare la linea di costa, in uno con nuove infrastrutture portuali, nel Comune di Torre del Greco.



PARAGGIO DI TORRE DEL GRECO
Hs al largo ricavate con la distribuzione di Gumbel
DIREZIONE 240°N

Fig.9

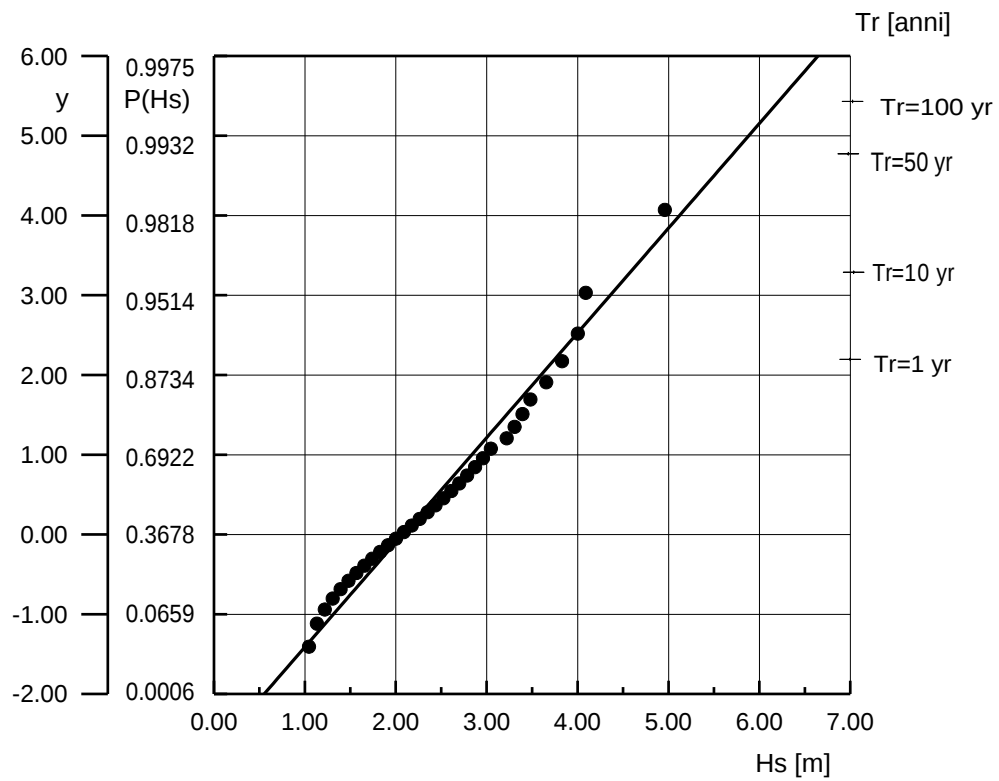
Studio idraulico-marittimo finalizzato alla pianificazione e alla progettazione preliminare degli interventi da porre in essere per salvaguardare e valorizzare la linea di costa, in uno con nuove infrastrutture portuali, nel Comune di Torre del Greco.



PARAGGIO DI TORRE DEL GRECO
Hs al largo ricavate con la distribuzione di Gumbel
DIREZIONE 250°N

Fig.10

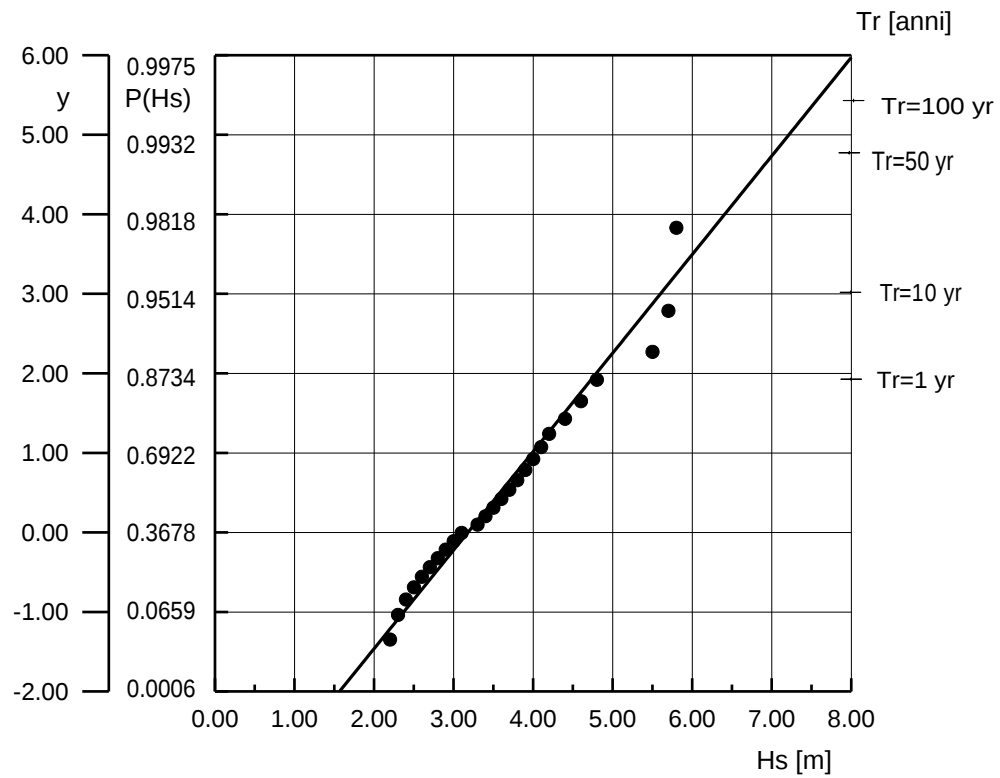
Studio idraulico-marittimo finalizzato alla pianificazione e alla progettazione preliminare degli interventi da porre in essere per salvaguardare e valorizzare la linea di costa, in uno con nuove infrastrutture portuali, nel Comune di Torre del Greco.



PARAGGIO DI TORRE DEL GRECO
Hs al largo ricavate con la distribuzione di Gumbel
DIREZIONE 260°N

Fig.11

Studio idraulico-marittimo finalizzato alla pianificazione e alla progettazione preliminare degli interventi da porre in essere per salvaguardare e valorizzare la linea di costa, in uno con nuove infrastrutture portuali, nel Comune di Torre del Greco.



PARAGGIO DI TORRE DEL GRECO
Hs al largo ricavate con la distribuzione di Gumbel
DIREZIONE 270°N

Fig.12

4. PROPAGAZIONE DEL MOTO ONDOSI A RIVA

Determinate le caratteristiche significative dell'onda al largo del paraggio, per completare lo studio meteomarinario si sono individuate le caratteristiche possedute dalla perturbazione ondosa in prossimità della costa.

Come è noto, infatti, le caratteristiche peculiari del moto ondoso proveniente da largo (rapporto $h/L > 0.5$) mutano per effetto della rifrazione, con il procedere verso riva. L'unico parametro che si conserva inalterato è il periodo T , mentre diminuisce sia il valore della lunghezza d'onda L sia della celerità C .

I valori della lunghezza d'onda L , secondo la teoria lineare o di Airy, sono dati dalla relazione implicita:

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi h}{L}\right) \quad (9)$$

dove $g=9.81$ m/s accelerazione di gravità, $\pi=3.1415$ e h =profondità.

La diminuzione della lunghezza d'onda e quindi della celerità ($C=L/T$) comporta la rotazione dei fronti d'onda che tendono a disporsi parallelamente alla linea di riva mentre le ortogonali tendono a disporsi perpendicolarmente alle batimetriche.

La necessità di tenere conto di questi effetti, dovuti alla rifrazione, cioè all'interazione fra il moto ondoso e il fondale, ha comportato l'utilizzo di un modello di rifrazione euleriano che fornisce l'altezza e la direzione di propagazione in corrispondenza della batimetria desiderata, tenendo conto dei processi di shoaling e rifrazione attraverso una relazione di dispersione non lineare.

A tal fine è stato necessario costruire un reticolo esterno a maglie di lato 250 m sulla Carta Nautica 1:25.000 n.130 redatta dall'I.I.M (Litorale di Napoli), in corrispondenza del quale è stata effettuata la propagazione del moto ondoso dalla batimetria -35 m fino alla linea di costa, uno stralcio della quale è riportata nella fig. A della presente Relazione. La direzione di provenienza, l'altezza d'onda H_o ed il periodo T_o della perturbazione al largo, costituiscono gli 'input' del modello di rifrazione. Da queste grandezze, applicando il predetto modello

implementato con un procedimento di calcolo alle differenze finite, si ottengono come 'output' i tabulati ed i grafici di seguito riportati negli allegati.

4.1 Modello matematico utilizzato

Il modello si basa sul principio di conservazione dell'azione d'onda $A(x,y,t)$ definita da:

$$A(x,y,t) = E(x,y,t) / \sigma = \frac{1}{8} \rho g H^2(x,y,t) / \sigma \quad (10)$$

e sul principio di irrotazionalità del numero d'onda $\vec{K}$.

Nell'eq. (10) σ rappresenta la frequenza angolare di propagazione:

$$\sigma = \omega - \vec{k} \cdot \vec{V} \quad (11)$$

in cui $\omega = 2\pi/T$ è la frequenza angolare dell'onda, $\vec{k}$ è il vettore numero d'onda, il cui modulo è fornito da $|\vec{k}| = 2\pi/L$, e $\vec{V}$ il vettore velocità di corrente (nel caso in cui essa sia presente), di componenti $U = V \cos \theta$, $V = V \sin \theta$.

Esplicitando i termini, tale principio si esprime con la seguente equazione:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(C_x A) + \frac{\partial}{\partial y}(C_y A) = T \quad (12)$$

in cui T è un termine dissipativo. In assenza di tale termine ed in regime stazionario, l'eq. (12) diventa:

$$\frac{\partial}{\partial x}(C_x A) + \frac{\partial}{\partial y}(C_y A) = 0 \quad (13)$$

essendo C_x e C_y le componenti della celerità di propagazione date da:

$$C_x = U + C_g \cos \theta \quad (14)$$

$$C_y = V + C_g \sin \theta \quad (15)$$

ed essendo C_g la celerità di gruppo delle onde data da:

$$C_g = \frac{C}{2} \left[1 + \frac{2kh}{\sin 2kh} \right] \quad (16)$$

In definitiva l'eq. (13) diventa:

Studio idraulico-marittimo finalizzato alla pianificazione e alla progettazione preliminare degli interventi da porre in essere per salvaguardare e valorizzare la linea di costa, in uno con nuove infrastrutture portuali, nel Comune di Torre del Greco.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{E}{\sigma} (U + C_g \cos \theta) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\frac{E}{\sigma} (V + C_g \sin \theta) \right] = 0 \quad (17)$$

Quest' ultima viene accoppiata alla seguente relazione di dispersione non lineare:

$$\sigma^2 = g k \tanh kh + f_2(ka) \left[1 + f_1(ka)^2 D \right] \quad (18)$$

essendo D un parametro di non linearità fornito da:

$$D = \frac{\cosh 4kh + 8 - 2 \tanh^2 kh}{8 \sinh^4 kh} \quad (19)$$

ed

$$f_1 = \tanh^5 kh \quad (20)$$

$$f_2 = \left[\frac{kh}{\sinh(kh)} \right]^4 \quad (21)$$

Per quanto riguarda l'equazione della rifrazione:

$$\nabla \times \bar{k} = 0 \quad (22)$$

essa può essere riscritta nel seguente modo:

$$\frac{\partial(k \sin \theta)}{\partial x} - \frac{\partial(k \sin \theta)}{\partial y} = 0 \quad (23)$$

posto $A = k \sin \theta$, si ottiene:

$$\frac{\partial A}{\partial x} - \frac{\partial B}{\partial y} = 0 \quad (24)$$

dove B è definito come:

$$B \equiv k \cos \theta = \sqrt{k^2 - A^2} \quad (25)$$

L'eq (24) è un'equazione differenziale alle derivate parziali del primo ordine, risolubile con condizione iniziale $x=0$, corrispondente alla direzione d'onda incidente. Tale equazione inoltre, tenendo conto dell'espressione di B , risulta essere un'equazione non lineare in A risolubile tramite processo iterativo.

Avendo fissato un sistema di coordinate con l'asse x orientato normalmente alla costa e suddiviso in segmenti, $x=i\Delta x$, per $i=0,1,2,\dots,m$, e con l'asse y orientato parallelamente

Studio idraulico-marittimo finalizzato alla pianificazione e alla progettazione preliminare degli interventi da porre in essere per salvaguardare e valorizzare la linea di costa, in uno con nuove infrastrutture portuali, nel Comune di Torre del Greco.

alla costa e suddiviso analogamente in segmenti, $y=j\Delta y$, per $y=0,1,2,\dots,n$, l'eq.(24) é risolvibile mediante un metodo alle differenze finite per $A(x,y) \rightarrow A_{i,j}$. Le soluzioni vengono quindi calcolate a partire dalle righe di largo della griglia nella direzione delle i crescenti, tenendo conto che il valore di θ é noto sul contorno esterno della griglia ($i=0$).

L'altezza d'onda viene determinata partendo dall'eq (17):

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{E(U + C_g \cos\theta)}{\sigma} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\frac{E(V + C_g \sin\theta)}{\sigma} \right] = 0 \quad (26)$$

Partendo dall' eq. (26) ed introducendo le espressioni del flusso dell'azione d'onda rispettivamente nelle direzioni x e y :

$$\underline{A} = \frac{E}{\sigma} (U + C_g \cos\theta) \quad (27)$$

$$\underline{B} = \frac{E}{\sigma} (V + C_g \sin\theta) \quad (28)$$

si ottiene l'equazione:

$$\frac{\partial \underline{A}}{\partial x} + \frac{\partial \underline{B}}{\partial y} = 0 \quad (29)$$

Tale equazione differisce dall'eq. (17) solo per il segno meno, e quindi é possibile risolverla utilizzando il procedimento sopramenzionato.

Il valore dell'altezza d'onda ottenuto in funzione del flusso dell'azione d'onda assume la seguente forma:

$$H_{i,j} = \left[\frac{8 \underline{A}_{i,j} \sigma}{\sigma_g (U_{i,j} + C_{gi,j} \cos\theta_{i,j})} \right]^{1/2} \quad (30)$$

La propagazione del moto ondoso termina all'atto del frangimento dell'onda, quando quest'ultima raggiunge la ripidità limite per il fondale considerato, ovvero quando la sua altezza raggiunge una certa frazione della profondità:

$$H_b = k' h_b \quad (31)$$

Studio idraulico-marittimo finalizzato alla pianificazione e alla progettazione preliminare degli interventi da porre in essere per salvaguardare e valorizzare la linea di costa, in uno con nuove infrastrutture portuali, nel Comune di Torre del Greco.

essendo rispettivamente H_b e h_b altezza e profondità dell'onda al frangimento.

Tra le varie espressioni di K' proposte in letteratura, ne è stata utilizzata una ottenuta recentemente da Kamphuis (1992) che fornisce:

$$H_b = 0.56 \exp(3.5m) h_b \quad (32)$$

essendo m la pendenza media del fondale, desunta dai rilievi batimetrici disponibili.

4.2 Simulazioni del modello di propagazione.

Le simulazioni sono state effettuate per le condizioni estreme di altezze e periodi d'onda associati ad un periodo di ritorno $Tr=50$ anni, relative alle direzioni comprese tra $180^\circ N$ e $270^\circ N$ per il dimensionamento successivo dei massi di mantellata e delle quote di coronamento delle sezioni dei moli sopraflutti, e per le condizioni di esercizio associate ad un periodo di ritorno di 5 anni, relative ad alcune direzioni significative comprese tra $180^\circ N$ e $270^\circ N$ per il calcolo successivo dell'agitazione interna portuale. Le direzioni scelte per la propagazione dell'altezza significativa con periodo di ritorno $Tr=5$ anni sono state le seguenti: $DD=180^\circ N$; $DD=210^\circ N$; $DD=230^\circ N$; $DD=270^\circ N$.

Le caratteristiche del moto ondoso al largo utilizzate per la propagazione delle onde sono state riportate in tab. 6 per quanto riguarda il periodo di ritorno $Tr=50$ anni, vengono qui riportate in tab. 7 per quanto riguarda il periodo di ritorno $Tr=5$ anni.

	Tr=5 anni	
DD(°N)	Hs(m)	Ts (s)
180	2,26	6,45
210	3,28	7,77
230	4,08	8,67
270	5,15	9,05

Tab. 7 – Caratteristiche del moto ondoso utilizzate per la propagazione relative a $Tr=5$ anni

I grafici della propagazione a riva delle altezze significative con periodo di ritorno $Tr=50$ anni sono riportati nelle figure da 1A a 10A, i corrispondenti grafici delle altezze significative a riva con periodo di ritorno $Tr=5$ anni sono riportati nelle figure da 1B a 4B rispettivamente per le direzioni $180^{\circ}N$, $210^{\circ}N$, $230^{\circ}N$ e $270^{\circ}N$.

5. ANALISI CRITICA DEI RISULTATI E CONCLUSIONI

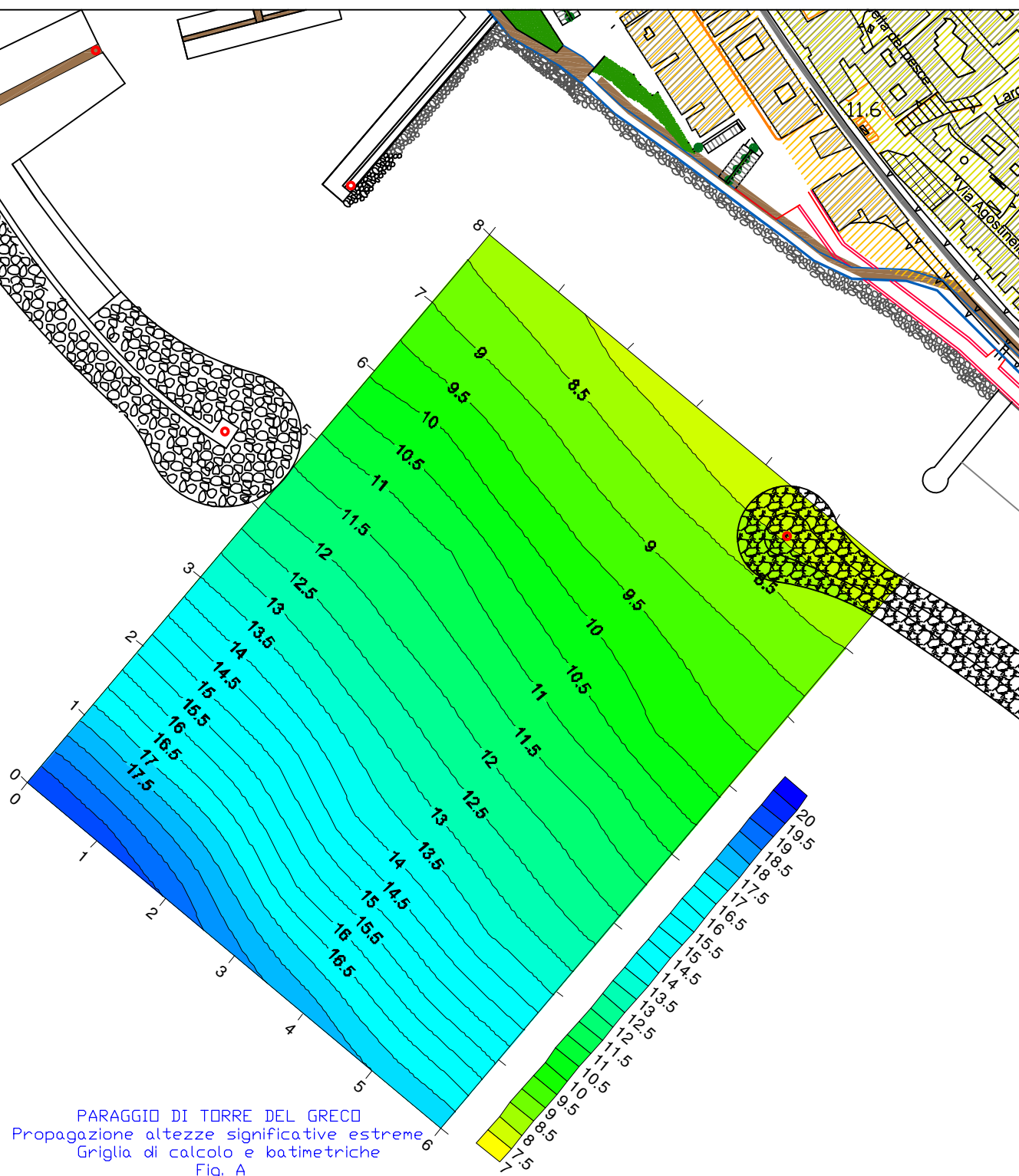
Le simulazioni effettuate per le condizioni estreme di altezze e periodi d'onda associati ad un periodo di ritorno $Tr=50$ anni, relative alle direzioni in grado di raggiungere la costa (direzioni comprese tra $180^{\circ}N$ e $270^{\circ}N$) e riportate nelle figg. da 1A a 10A, mostrano i seguenti risultati:

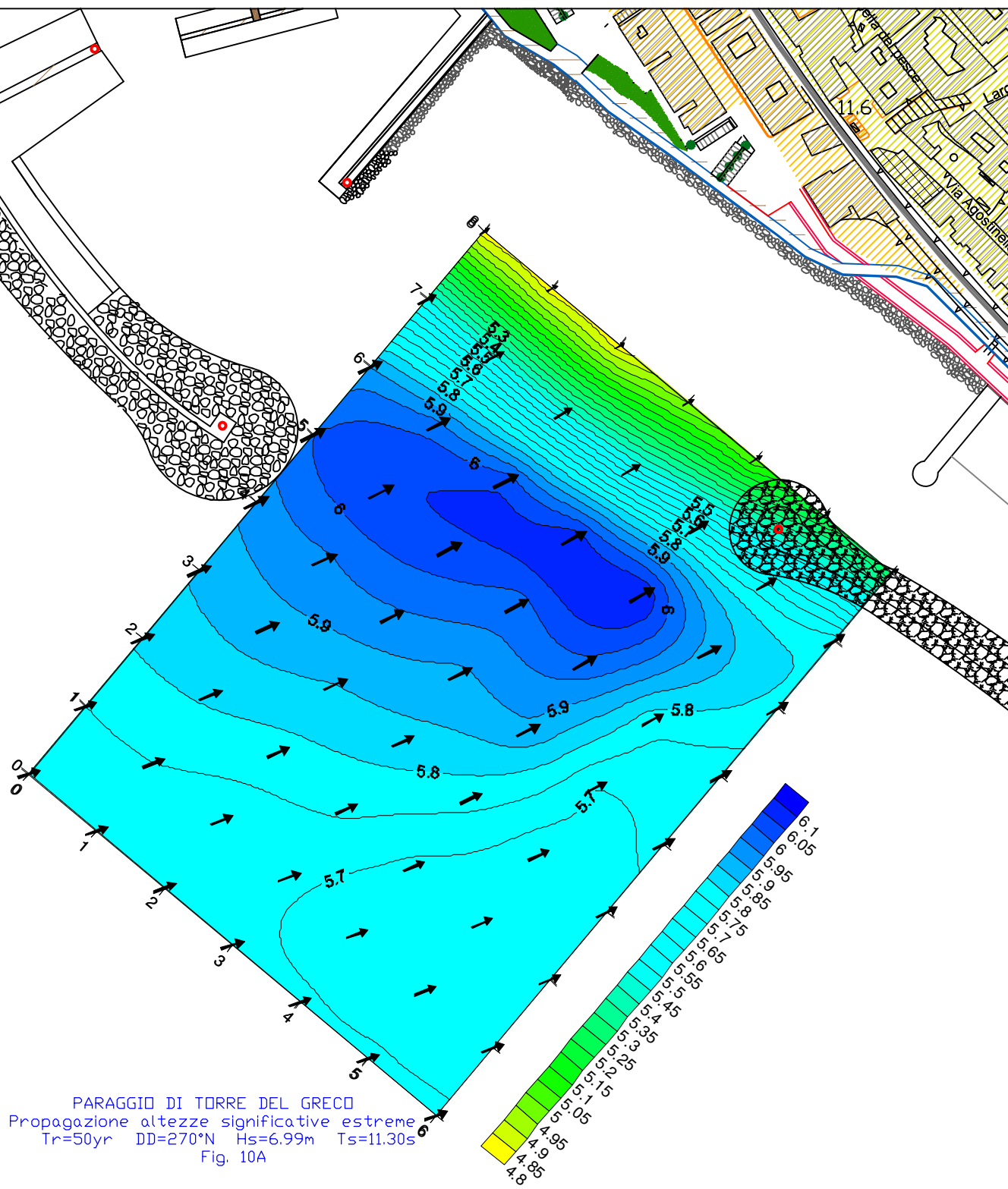
- Il settore di traversia principale sotto costa si restringe notevolmente, per modo che la direzione di provenienza a riva risulta pressochè ortogonale alle batimetriche nella maggior parte dei casi. Ciò comporta importanti considerazioni nella valutazione della dinamica litoranea, svolte nella omonima Relazione.
- Le massime altezze d'onda cinquantennali frangono su batimetriche comprese tra la $-7.0m$ e la $-8.0 m.s.m$, che risultano inferiori ai fondali di imposta del prolungamento del molo sopraflutto attuale, e praticamente coincidenti con quelli del nuovo molo sottoflutto.
- Poiché le opere foranee del nuovo molo sottoflutto sono fondate tra le isobate -6.0 e $-7.0 m.s.m.$, l'altezza d'onda di progetto a riva si assume cautelativamente pari a quella massima frangente sull'opera, valutata con la formula di Kamphuis, (vedi Relazione di calcolo). Ciò comporta, da un punto di vista del dimensionamento, che si può ancora ricorrere a massi naturali per la mantellata della scogliera, ancorchè di 4a categoria (ovvero di peso superiore a 7.0 ton).
- Le opere foranee del prolungamento dell'attuale molo sopraflutto (fondate su batimetriche comprese tra $-11m$ e $-12m$) presentano un'altezza d'onda di progetto a riva ancora maggiore, dal momento che non è smorzata dal frangimento. Dal punto di

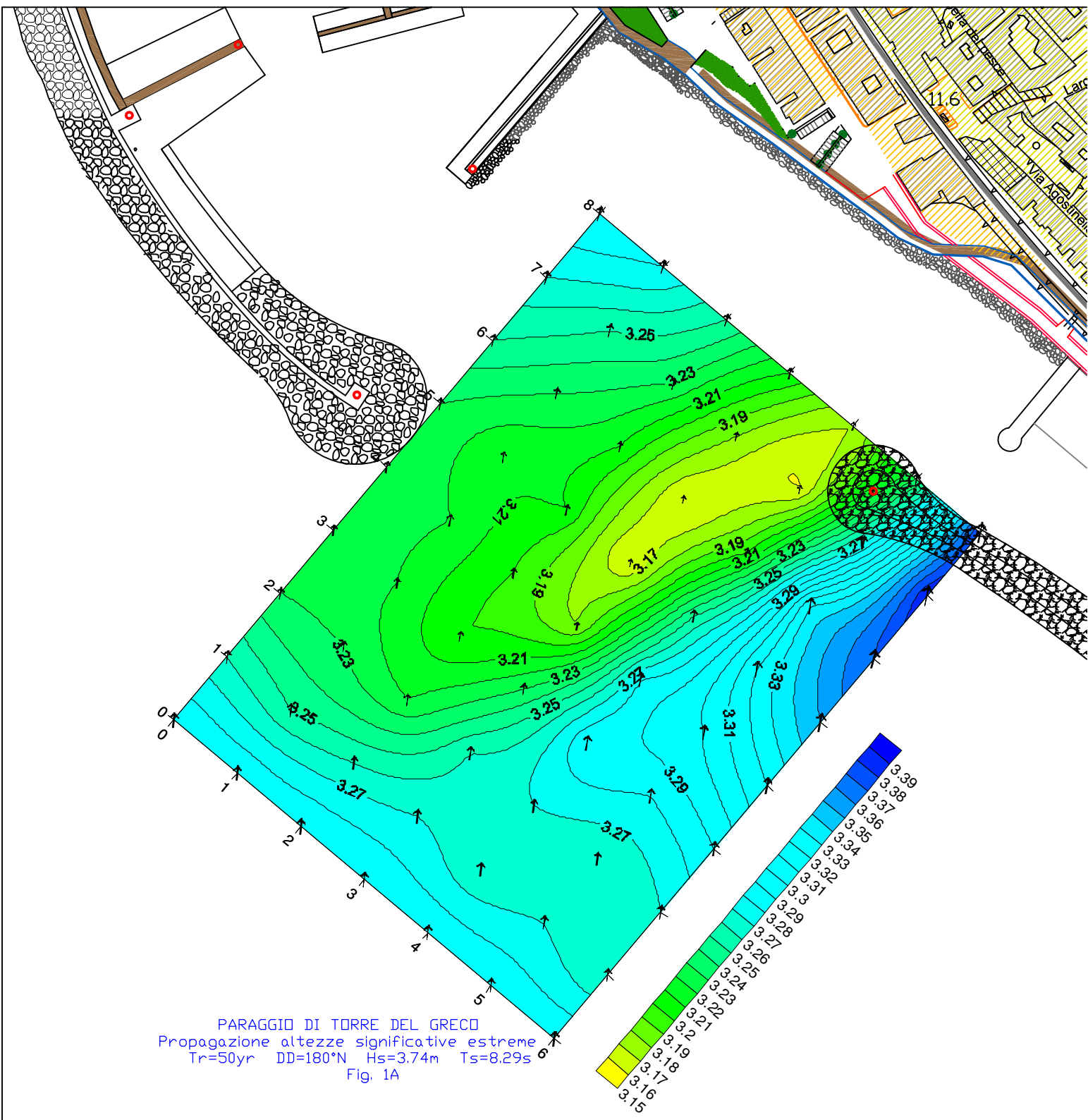
Studio idraulico-marittimo finalizzato alla pianificazione e alla progettazione preliminare degli interventi da porre in essere per salvaguardare e valorizzare la linea di costa, in uno con nuove infrastrutture portuali, nel Comune di Torre del Greco.

vista del dimensionamento, ciò comporta il necessario ricorso a massi artificiali tipo tetrapodi ovvero ecopod . Tale ricorso comporta un incremento notevole del costo a ml che, rispetto al costo del nuovo molo sopraflutto, è da 2 a 3 volte superiore.









PARAGGIO DI TORRE DEL GRECO
 Propagazione altezze significative estreme
 $Tr=50yr$ $DD=190^{\circ}N$ $Hs=4.59m$ $Ts=9.18s$
 Fig. 2A

