



Unione Europea



# COMUNE DI PROCIDA

Città Metropolitana di Napoli




## SISTEMA PORTUALE ISOLA DI PROCIDA 1° LOTTO - PARTE D'OPERA 1

LAVORI URGENTI PER LA MESSA IN SICUREZZA,  
IL CONSOLIDAMENTO ED IL RECUPERO DI MARINA CORRICELLA

CUP: C99I18000140002

### PROGETTO ESECUTIVO

Committente:	COMUNE DI PROCIDA		
Responsabile del procedimento:	arch. Luca Imparato	<i>Responsabile Settore V - Servizi Tecnici del Comune di Procida</i>	
Supporto al RUP:	arch. Stefano Prisco		
Geologia:	geol. Francesco Maglione		
Progettazione:	 <b>ARCHIMED s.r.l.</b>	Responsabile progetto:	Ing. Roberto de Rosa
		Coordinatore sicurezza:	arch. Rosamaria Vignale
		con la collaborazione di:	ing. Riccardo Autieri ing. Giovanni Giannini

rev.	data	oggetto
2	luglio 2019	aggiornamento interventi e rimodulazione spese generali
1	giugno 2018	aggiornamento
0	gennaio 2018	emissione

Elaborato:  <b>SM</b> rev.2	<b>STUDIO METEOMARINO</b>	File:
		Scala:
		Data: luglio 2019

# INDICE

1. INTRODUZIONE
2. STUDIO DEL MOTO ONDOSO
  - 2.1. Inquadramento geografico del paraggio
  - 2.2. Fonti di dati meteomarini
  - 2.3. Caratterizzazione del moto ondoso medio per la boa di Ponza
  - 2.4. Determinazione dei fetch geografici ed efficaci
  - 2.5. Trasposizione geografica - Ricostruzione clima moto ondoso locale
  - 2.6. Caratterizzazione del moto ondoso medio per il Punto Largo
  - 2.7. Caratterizzazione del moto ondoso sottocosta
  - 2.8. Caratterizzazione del moto ondoso medio
  - 2.9. Profondità di chiusura di spiaggia
  - 2.10 Riepilogo dati sottocosta
3. STUDIO DELLE CORRENTI
  - 3.1 Correntometria e dinamica nel Golfo di Napoli
  - 3.2 Studi modellistica nel Golfo di Napoli e sottocosta
4. RIEPILOGO RISULTATI STUDI

## 1. INTRODUZIONE

Nella presente relazione si riportano le metodologie, i calcoli ed i risultati sviluppati per caratterizzare il clima meteomarinico (medio ed estremo) del paraggio e la correntometria nel luogo oggetto dell'intervento.

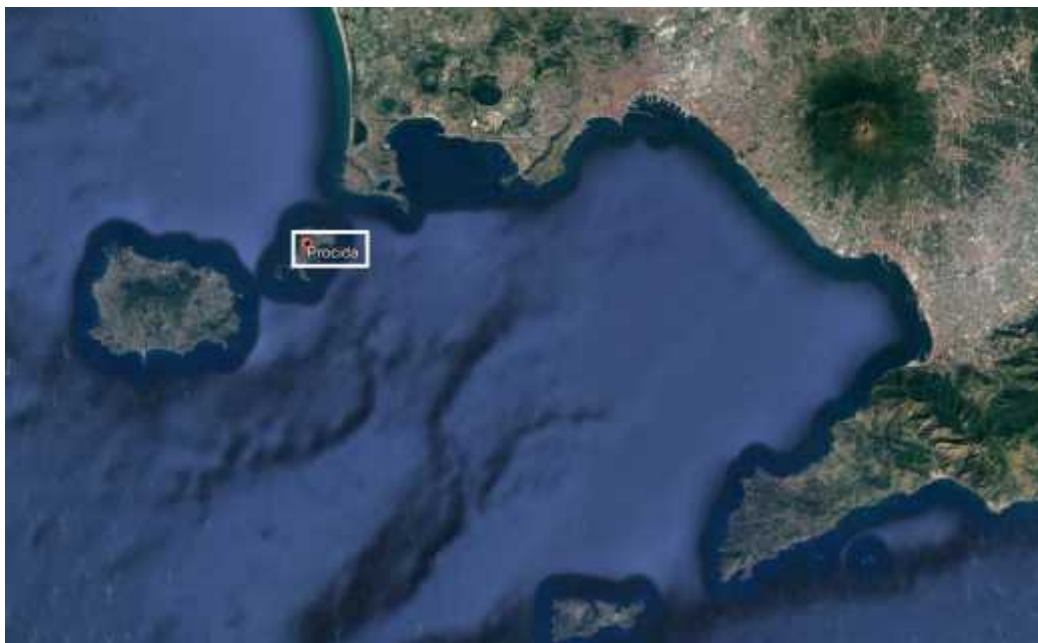


Fig. 1 - Paraggio

Per la caratterizzazione del clima meteomarinico si è fatto riferimento alle registrazioni dei dati di moto ondoso eseguite dalla boa ondometrica direzionale ubicata al largo di Ponza, appartenente alla Rete Ondometrica Nazionale gestita dall'ISPRA.

Valutata l'esposizione del paraggio, mediante il tracciamento dei *Fetchs* geografici ed efficaci, i dati meteomarinici sono stati trasferiti al largo dell'area d'interesse, attraverso il metodo della trasposizione geografica, per la determinazione dei valori di altezza e periodo nell'area oggetto di studio e attraverso un approccio empirico per la determinazione della deviazione angolare che subiscono l'onda nel trasferimento da un paraggio ad un altro.

Tali condizioni ondometriche, valutate in corrispondenza del punto di analisi di largo, discretizzate in funzione delle classi di altezza d'onda, direzione e periodo di picco, hanno permesso di caratterizzare il clima medio annuo del paraggio, sia in termini di componenti globali che di periodi stagionali (invernale, primaverile, estivo, autunnale).

Visti gli obiettivi della presente analisi, è stato realizzato uno studio estremo del paraggio, sia in corrispondenza di largo (PUNTO LARGO) che sottocosta (PUNTO SOTTOCOSTA).

In seguito, per definire il clima ondoso sottocosta e, più precisamente, in prossimità della profondità di posa delle barriere, è stata applicata una metodologia di propagazione largo-costa basata sul modello numerico SWAN; tali condizioni ondometriche, così determinate, discretizzate in funzione delle classi di



### 2.3 Caratterizzazione del moto ondoso medio per la boa di Ponza

Allo scopo di individuare le caratteristiche del clima ondoso medio annuo registrato dalla boa di Ponza, i dati misurati dalla strumentazione ondometrica sono stati suddivisi per classi altezza d'onda significativa, direzione di provenienza, periodo di picco e medio, in modo tale da poter calcolare la frequenza di accadimento media annua complessiva.

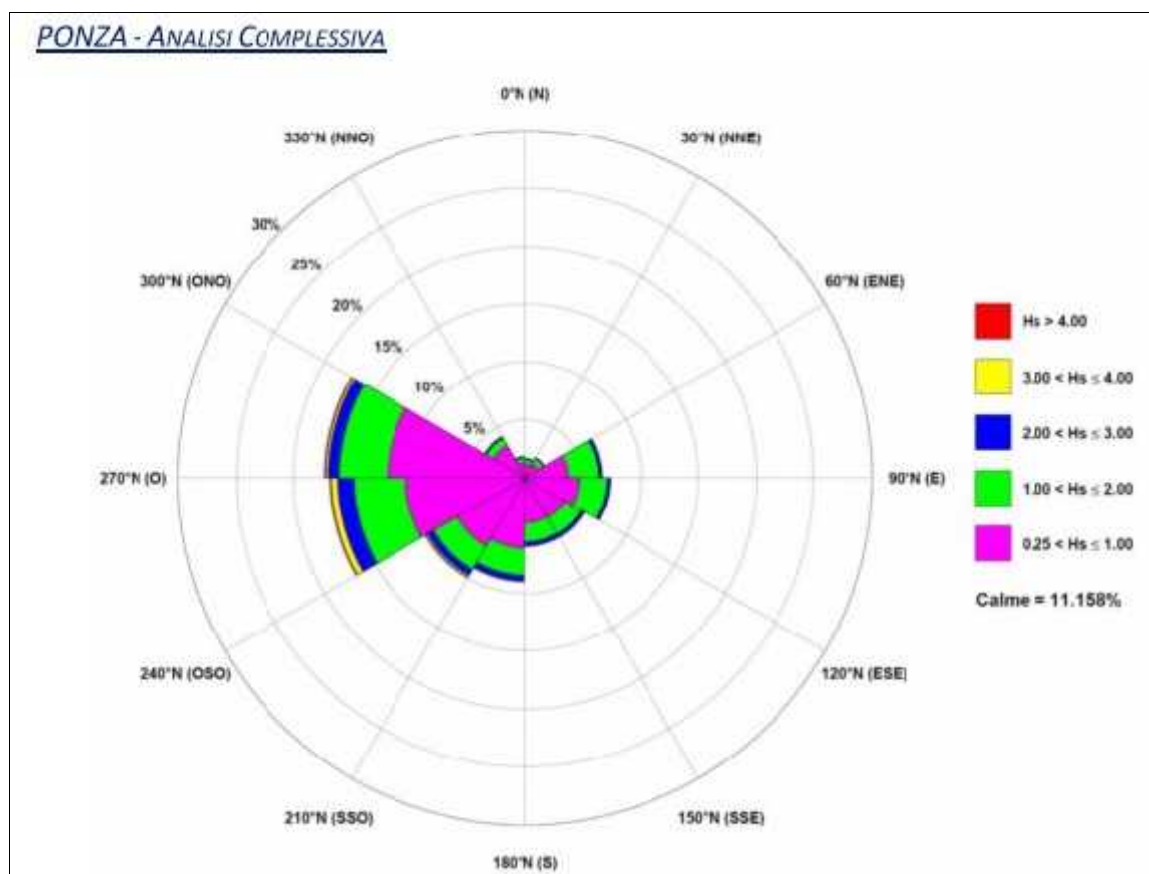


Fig. 3 - Diagramma polare distribuzione direzionale media annuale eventi di moto ondoso

Dal suddetto grafico e dalle analisi effettuate si evince quanto segue (v. Tab. 1):

- gli stati di mare più significativi, sia in termini di frequenza che di intensità, provengono principalmente da OSO-ONO e S-OSO con picco massimo nel range 270°-300°N per il primo settore e 210°-240°N per il secondo settore;
- il moto ondoso mostra un valore massimo della frequenza di accadimento del 17,357% per il range direzionale 270°-300°N e del 9,962% per il range direzionale 210°-240°N;
- le frequenze di accadimento delle onde sono:
  - con altezza compresa tra 0,25-1,00 m: 58,707%
  - con altezza compresa tra 1,00-2,00 m: 23,495%
  - con altezza compresa tra 2,00-3,00 m: 5,088%
  - con altezza massima  $H_s > 7,00$  m: 0,001%

Hs(m) Dir(°N)	calme <=0.25	0.25 -	1.00 -	2.00 -	3.00 -	4.00 -	5.00 -	6.00 -	> 7.00	Totale senza Calme	Totale
		1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00			
0 - 30	0.263%	1.160%	0.406%	0.095%	0.025%	0.004%	0.000%	-	-	1.690%	1.953%
30 - 60	0.222%	1.383%	0.516%	0.095%	0.013%	0.002%	0.000%	-	-	2.009%	2.231%
60 - 90	0.351%	3.771%	2.599%	0.270%	0.020%	0.000%	0.000%	-	-	6.660%	7.012%
90 - 120	0.402%	4.749%	2.345%	0.268%	0.031%	0.004%	0.000%	-	-	7.395%	7.798%
120 - 150	0.613%	4.018%	1.628%	0.302%	0.046%	0.003%	0.000%	-	-	5.995%	6.609%
150 - 180	0.700%	3.944%	1.632%	0.358%	0.037%	0.003%	0.000%	-	-	5.974%	6.674%
180 - 210	1.154%	6.106%	2.301%	0.498%	0.075%	0.004%	0.000%	-	-	8.984%	10.137%
210 - 240	1.868%	6.827%	2.310%	0.604%	0.164%	0.044%	0.013%	-	0.001%	9.962%	11.830%
240 - 270	2.117%	10.330%	4.460%	1.424%	0.530%	0.108%	0.016%	0.004%	-	16.872%	18.989%
270 - 300	2.314%	11.893%	4.184%	0.947%	0.211%	0.076%	0.044%	0.003%	-	17.357%	19.671%
300 - 330	0.830%	3.204%	0.720%	0.134%	0.020%	0.004%	0.001%	0.001%	-	4.090%	4.920%
330 - 360	0.325%	1.323%	0.397%	0.092%	0.030%	0.010%	0.000%	-	-	1.852%	2.177%
<b>Totale</b>	<b>11.158%</b>	<b>58.707%</b>	<b>23.495%</b>	<b>5.088%</b>	<b>1.209%</b>	<b>0.261%</b>	<b>0.073%</b>	<b>0.008%</b>	<b>0.001%</b>	<b>88.84%</b>	<b>100.00%</b>

Tab. 1

## 2.4 Determinazione dei fetch geografici ed efficaci

L'analisi dell'esposizione geografica di una stazione di misura del moto ondoso o di un sito costiero non può prescindere dalla determinazione dei *fetch geografici* e *fetch efficaci*.

In bacini semichiusi di estensione limitata, come il Mar Mediterraneo, tale misura può essere eseguita facendo ricorso al concetto del *fetch geografico*, che indica la distanza geografica tra il punto di interesse e la terra più vicina in relazione ad una prefissata direzione.

Tuttavia, per completare l'inquadramento del paraggio, è necessario determinare anche i valori dei *fetch efficaci* sulla base di quelli geografici. L'area geografica, da sola, non è in grado di fornire un adeguato inquadramento del paraggio relativo al sito considerato: limitandosi al solo *fetch geografico*, non si tiene conto in alcun modo né della dispersione direzionale dell'energia dell'onda né di quella del vento (il vento, in effetti, trasmette la sua energia alla superficie del mare non solo secondo la sua direzione di propagazione ma anche secondo le direzioni a questa vicine).

Da qui la necessità di dover introdurre il concetto di *fetch efficace*, strettamente legato a quello di *fetch geografico*.

Considerata una delle direzioni lungo le quali sono stati misurati i valori dei *fetch geografici*, la lunghezza del corrispondente *fetch efficace* può essere valutata attraverso una media ponderata delle distanze geografiche relative alle direzioni comprese all'interno di un settore di ampiezza predefinita a cavallo di quella considerata.

Pertanto, si riporta di seguito l'estensione del *fetch geografico* ed *efficace* per la BOA DI PONZA e per il punto di indagine al largo del Golfo di Napoli (PUNTO LARGO).

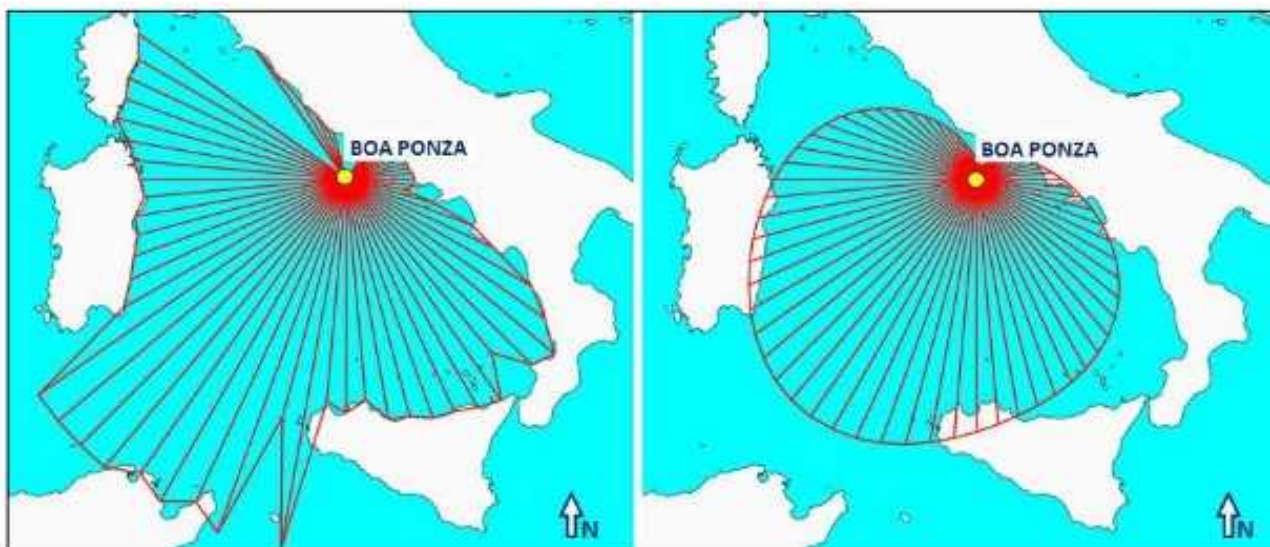


Fig. 4 - Fetch geografico BOA DI PONZA

Fig. 5 - Fetch efficace BOA DI PONZA

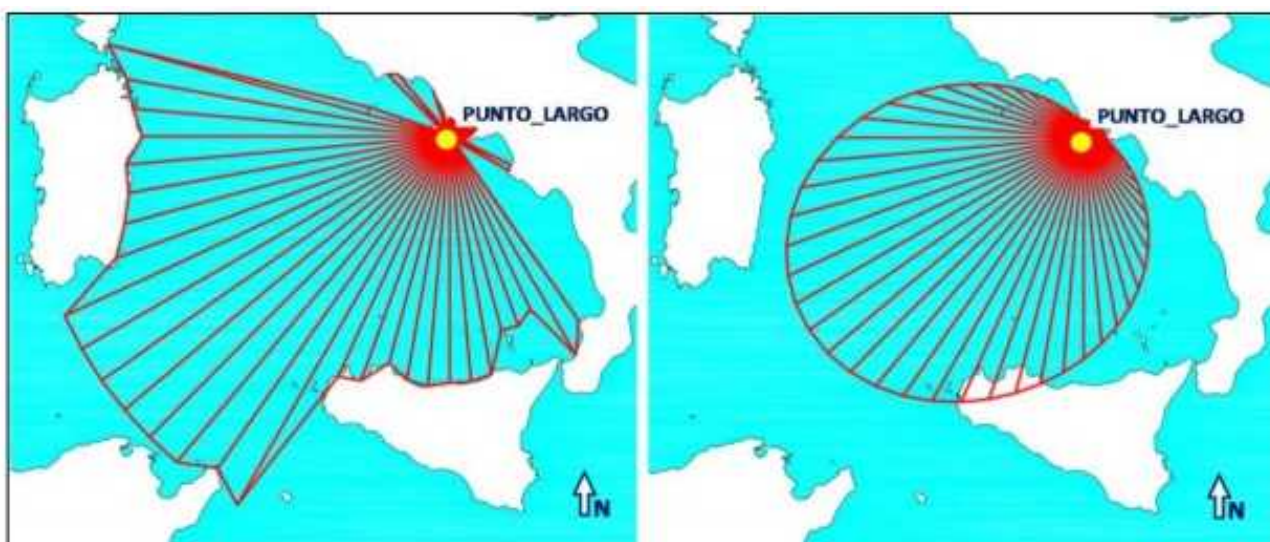


Fig. 6 - Fetch geografico PUNTO LARGO

Fig. 7 - Fetch efficace PUNTO LARGO

## 2.5 Trasposizione geografica - Ricostruzione clima moto ondoso locale

Una delle fonti più attendibili di dati per la determinazione dei parametri relativi al moto ondoso in un dato sito è certamente quella delle misure registrate sul campo; la disponibilità di tali misure risulta, però, spesso esigua o addirittura assente.

Si è osservato, infatti, che le stazioni della R.O.N., seppur ben distribuite al largo delle coste italiane, sono comunque poste in un numero limitato di punti e, pertanto, fatta eccezione per alcuni casi, in tutti gli altri risulterà praticamente impossibile avere una misura locale del moto ondoso.

Qualora in questi ultimi casi l'analisi del clima meteomarinario voglia comunque svolgersi basandosi (com'è preferibile) su dati realmente registrati dagli ondometri del R.O.N. (metodo diretto), l'unica possibilità a disposizione del progettista è quella di fare riferimento ad una stazione ondometrica che,

quantomeno, ricada in un'area geografica che si possa ritenere simile a quella in cui si trova il sito oggetto di studio ed utilizzare per quest'ultimo i dati registrati appunto da questa stazione.

Ovviamente, in una simile situazione, nasce l'esigenza di dover ricorrere ad un metodo che, tenendo conto delle differenze, pur sempre esistenti, tra i due siti, permetta appunto di "trasporre" geograficamente i dati dall'uno all'altro.

Con riferimento al caso in esame, i dati cui si farà riferimento sono quelli registrati dalla stazione ondometrica appartenente alla R.O.N. di Ponza: è necessario, quindi, che tali dati vengano trasferiti ed adattati al caso specifico in corrispondenza del Golfo di Napoli.

La trasposizione dei dati ondometrici da un sito all'altro è un'operazione per cui non è prevista una metodologia unica e ben definita e, pertanto, nel prosieguo sarà dapprima descritta quella che è la tecnica di trasposizione cui usualmente si fa riferimento.

L'ipotesi fondamentale alla base di tale metodo geografico è che le stesse condizioni di vento (velocità e direzione) che hanno determinato le condizioni di moto ondoso registrate dall'ondametro di riferimento abbiano interessato anche l'area di generazione situata al largo del sito di interesse.

Supponendo inoltre che le aree di generazione del moto ondoso possano essere determinate per ciascun sito utilizzando solo ed esclusivamente il concetto di *fetch efficace*, il metodo di trasposizione geografica dovrà semplicemente stabilire una corrispondenza tra le direzioni, le altezze e i periodi del moto ondoso relativi al sito di registrazione ed a quello oggetto di studio.

Nel caso di fetch limitati e nell'ipotesi che siano valide le teorie che descrivono la generazione del moto ondoso a seguito degli eventi eolici alla base del metodo SMB, le leggi che permettono di calcolare l'altezza d'onda significativa spettrale  $H_s$  ed il relativo periodo di picco spettrale  $T_p$  in funzione della lunghezza del fetch considerato e della velocità del vento sono i seguenti:

$$\frac{gH_s}{U_A^2} = 1.6 \cdot 10^{-5} \left( \frac{gF}{U_A^2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad \frac{gT_p}{U_A} = 2.857 \cdot 10^{-1} \left( \frac{gF}{U_A^2} \right)^{\frac{1}{3}}$$

dove:

$U_A$  fattore di velocità del vento ("wind stress factor"), dipendente in modo non lineare dalla velocità del vento misurata alla quota di +10 m s.l.m.

$F$  lunghezza del fetch efficace relativo alla direzione prefissata.

Fissata quindi una generica direzione geografica dalla quale si ritenga spiri il vento ed indicando con gli apici  $M$  e  $O$  le grandezze associate rispettivamente al sito di misura ed a quello oggetto di studio, le precedenti relazioni permettono di trovare la corrispondenza ricercata tra le altezze ed i periodi delle onde relativi ai punti  $M$  e  $O$  ed alla direzione considerata attraverso la determinazione dei relativi coefficienti di trasposizione geografica  $K_H$  e  $K_T$ .

Ritenendo che il fattore di velocità del vento sia lo stesso per i due punti in esame, dalle relazioni precedenti si ha:



$$K_H = \frac{H_s^O}{H_s^M} = \left( \frac{F^O}{F^M} \right)^{\frac{1}{2}} = \text{coefficiente di trasposizione delle altezze d'onda}$$

$$K_T = \frac{T_p^O}{T_p^M} = \left( \frac{F^O}{F^M} \right)^{\frac{1}{3}} = \text{coefficiente di trasposizione dei periodi d'onda}$$

Il calcolo dei coefficienti  $K_H$  e  $K_T$  andrà effettuato per ognuna delle direzioni considerate per l'individuazione dei fetch geografici ed efficaci relativi al sito oggetto di studio ed a quello di misura; moltiplicando i dati  $H_s$  e  $T_p$  registrati dalla stazione di misura per i valori di tali coefficienti relativi alla direzione a cui gli stessi si riferiscono, si ottengono i corrispondenti valori  $H_s$  e  $T_p$  per il sito di interesse.

Il metodo si completa utilizzando una legge che stabilisce il legame tra la direzione media del vento e quella del moto ondoso:

$$f(\beta) = (F_{e,w})^{0.28} \cdot \cos(\beta)^{0.44}$$

dove:

$f(\beta)$  direzione del moto ondoso generato da un vento caratterizzato da una direzione media  $w$

$F_{e,w}$  lunghezza del fetch efficace relativo alla direzione media  $w$  del vento.

Di seguito si riportano in forma grafica i valori ottenuti per i coefficienti di trasposizione e la correlazione fra le direzioni di moto ondoso ed il vento per la boa reale di Ponza ed il punto di indagine (PUNTO LARGO) al largo del Golfo di Napoli.

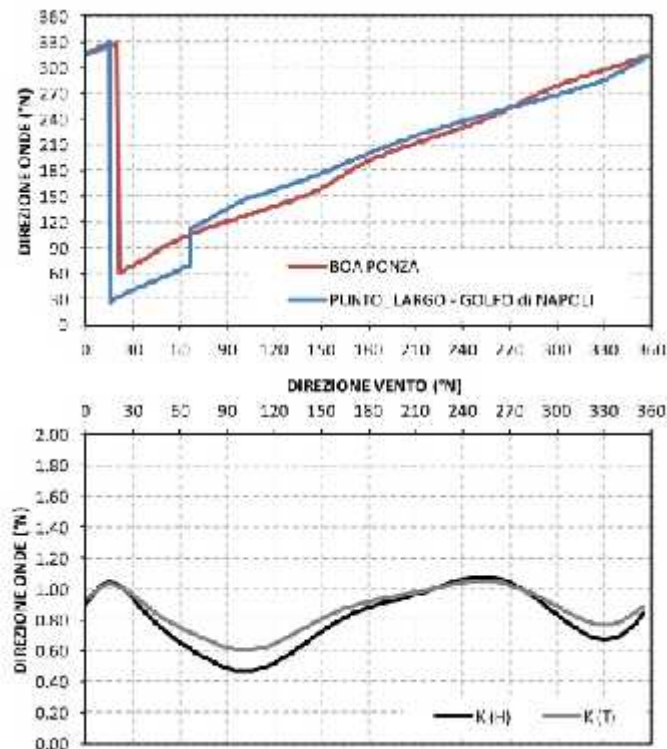


Fig. 8

Coefficienti trasposizione e correlazione direzione Onde-Vento (Boa Ponza - Punto Largo)

## 2.6 Caratterizzazione del moto ondoso medio per il Punto Largo

Allo scopo di individuare le caratteristiche del clima ondoso nel punto di interesse (PUNTO LARGO) posizionato nel Golfo di Napoli, i dati determinati attraverso la metodologia di trasposizione descritta in precedenza sono stati suddivisi per classi altezza d'onda significativa, direzione di provenienza, periodo di picco e medio, in modo tale da poter calcolare la frequenza di accadimento media annua complessiva.

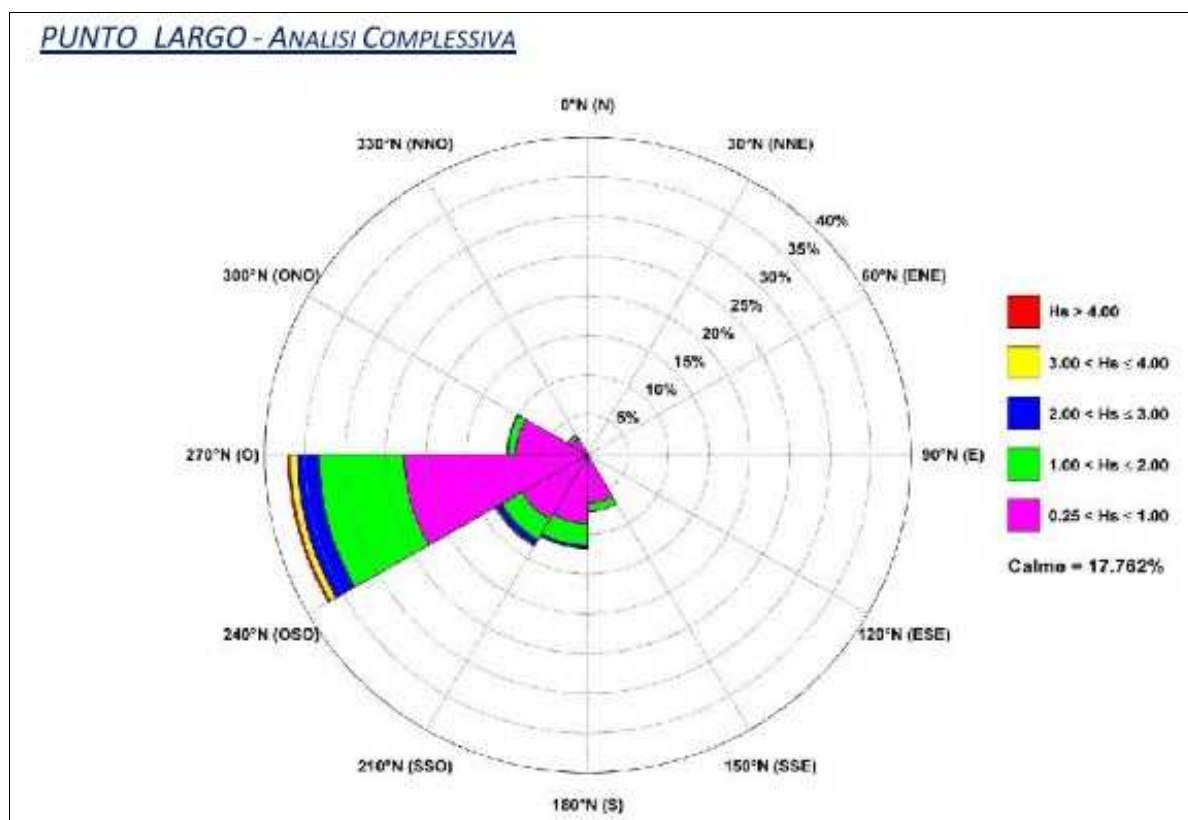


Fig. 9

Diagramma polare distribuzione direzionale media annuale eventi di moto ondoso (PUNTO LARGO)

Dal suddetto grafico e dalle seguenti analisi effettuate (v. Tab. 2), si evince quanto segue:

- gli stati di mare più significativi, sia in termini di frequenza che di intensità, provengono principalmente da S-ONO con picco massimo nel range 240°-270°N;
- il moto ondoso mostra un valore massimo della frequenza di accadimento del 24,091% per il range direzionale 255°-270°N;
- le frequenze di accadimento delle onde sono:
  - con altezza compresa tra 0,25-1,00 m: 58,082%
  - con altezza compresa tra 1,00-2,00 m: 18,701%
  - con altezza compresa tra 2,00-3,00 m: 4,042%
  - con altezza massima  $H_s > 7,00$  m: 0,001%

Hs(m)	calme <= 0,25	0,25	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	> 7,00	Totale senza Calme	Totale
0 - 15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,000%	0,000%
15 - 30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,000%	0,000%
30 - 45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,000%	0,000%
45 - 60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,000%	0,000%
60 - 75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,000%	0,000%
75 - 90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,000%	0,000%
90 - 105	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,000%	0,000%
105 - 120	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,000%	0,000%
120 - 135	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,000%	0,000%
135 - 150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,000%	0,000%
150 - 165	1,617%	2,823%	0,366%	0,035%	0,005%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,230%	4,847%
165 - 180	1,075%	3,254%	0,441%	0,172%	0,026%	0,008%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,903%	4,977%
180 - 195	1,186%	4,425%	1,003%	0,326%	0,115%	0,039%	0,013%	-	-	-	-	-	-	-	-	5,923%	7,107%
195 - 210	0,784%	4,199%	1,022%	0,416%	0,154%	0,046%	0,020%	0,003%	-	-	-	-	-	-	-	5,861%	6,645%
210 - 225	1,170%	4,733%	0,822%	0,347%	0,152%	0,069%	0,035%	0,008%	0,003%	-	-	-	-	-	-	6,167%	7,337%
225 - 240	1,257%	4,658%	1,140%	0,628%	0,356%	0,138%	0,079%	0,049%	0,021%	0,016%	0,014%	0,008%	-	-	0,001%	7,113%	8,368%
240 - 255	2,037%	8,343%	2,138%	1,226%	0,632%	0,282%	0,180%	0,15%	0,054%	0,016%	0,006%	0,004%	-	-	-	12,995%	15,031%
255 - 270	2,956%	14,373%	4,528%	2,649%	1,159%	0,647%	0,330%	0,177%	0,123%	0,062%	0,033%	0,005%	0,004%	0,001%	-	24,091%	27,047%
270 - 285	3,410%	6,771%	0,626%	0,168%	0,080%	0,023%	0,013%	0,009%	0,003%	-	-	-	-	-	-	7,689%	11,099%
285 - 300	1,337%	2,131%	0,129%	0,046%	0,023%	0,007%	0,001%	0,001%	-	0,001%	-	-	-	-	-	2,340%	3,677%
300 - 315	0,658%	1,452%	0,161%	0,092%	0,022%	0,009%	-	0,001%	0,003%	-	-	-	-	-	-	1,739%	2,397%
315 - 330	0,275%	0,918%	0,161%	0,058%	0,028%	0,020%	0,004%	0,003%	0,003%	-	-	-	-	-	-	1,194%	1,469%
330 - 345	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,000%	0,000%
345 - 360	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,000%	0,000%
<b>Totale</b>	<b>17,762%</b>	<b>58,082%</b>	<b>12,538%</b>	<b>6,163%</b>	<b>2,753%</b>	<b>1,289%</b>	<b>0,672%</b>	<b>0,367%</b>	<b>0,203%</b>	<b>0,096%</b>	<b>0,050%</b>	<b>0,018%</b>	<b>0,004%</b>	<b>0,001%</b>	<b>4,001%</b>	<b>82,24%</b>	<b>100,00%</b>

Tab. 2

## 2.7 Caratterizzazione del moto ondoso sottocosta

La corretta descrizione delle trasformazioni che le onde subiscono in prossimità della costa risulta fondamentale per la comprensione dei processi di idrodinamica e morfodinamica costiera e per la progettazione o verifica delle opere marittime.

Nel movimento dal largo verso costa l'onda subisce modifiche di forma, altezza, direzione e celerità, in conseguenza di fenomeni quali lo shoaling, la rifrazione, la diffrazione, la riflessione e il fangimento, associati a fenomeni non lineari dovuti alle interazioni fra le stesse onde e tra le onde e le correnti.

Per questi motivi, nel presente studio meteomarinario si è stabilito di valutare la propagazione del clima ondoso da largo verso riva in corrispondenza della zona oggetto d'intervento mediante l'applicazione del modello SWAN, acronimo di *Simulating WAVes Nearshore*, sviluppato dal Dipartimento di Meccanica dei Fluidi dell'Università di Delft.

Lo SWAN permette di ottenere stime reali dei parametri d'onda in aree costiere, laghi ed estuari, una volta note le condizioni del fondo, del vento e delle correnti. In particolare, l'algoritmo simula lo sviluppo degli spettri d'onda che viaggiano da acque profonde verso acque poco profonde e consente di rappresentare molteplici processi di propagazione, generazione e dissipazione di un'onda:

- propagazione lungo lo spazio geografico
- rifrazione dovuta a variazione del fondale marino e della corrente
- shoaling dovuta a variazione del fondale marino e della corrente
- bloccaggio e riflessione da parte di correnti in direzione opposta
- trasmissione, bloccaggio o riflessione da parte di ostacoli
- generazione dovuta al vento

- dissipazione dovuta alla rottura in cresta (whitecapping)
- dissipazione dovuta alla rottura d'onda indotta dalla profondità
- dissipazione dovuta all'attrito sul fondo
- interazioni onda-onda
- diffrazione a tergo di ostacoli.

Il primo passo nello studio di propagazione del clima ondoso da largo verso riva con il modello SWAN ha riguardato la preparazione di una griglia di calcolo innestata sulla batimetria in corrispondenza del paraggio del Golfo di Napoli.

La modellazione del fondale marino è stata realizzata digitalizzando la carta nautica dell'Istituto Idrografico della Marina corrispondente al tratto di costa interessato dall'intervento, effettuando un'interpolazione per triangolazione sulle batimetriche rilevate per avere tutti i valori di tutte le profondità nella griglia di calcolo considerata.

Sui limiti della griglia di calcolo lato mare sono state effettuate le propagazioni degli stati di mare da largo a sottocosta, con particolare attenzione alla definizione del clima ondoso in corrispondenza di un **punto sottocosta P1**, rappresentativo del tratto costiero oggetto di studio, posto circa alla batimetrica -20 m, ai fini di una caratterizzazione esaustiva del clima meteomarinico medio.

Le onde propagate con lo SWAN vengono definite da un valore di altezza d'onda  $H_s$ , di periodo di picco  $T_p$ , e di direzione di provenienza rispetto al Nord cartografico ricadenti nel settore di traversia  $110^\circ$ - $185^\circ$ N del paraggio del Golfo di Napoli.

I piani d'onda realizzati hanno permesso di costruire un data-base, mediante il quale è stato possibile calcolare la propagazione nel **Punto Sottocosta P1** dell'intera serie storica trasposta al largo del Golfo di Napoli dalla boa ondometrica di Ponza.

## 2.8 Caratterizzazione del moto ondoso medio

Allo scopo di individuare le caratteristiche del clima ondoso nel punto di interesse (PUNTO SOTTOCOSTA P1), i dati determinati attraverso la metodologia di trasposizione descritta in precedenza sono stati suddivisi per classi altezza d'onda significativa, direzione di provenienza, periodo di picco e medio, in modo tale da poter calcolare la frequenza di accadimento media annua complessiva.

Dalle analisi effettuate, si evince quanto segue:

- gli stati di mare più significativi, sia in termini di frequenza che di intensità, provengono principalmente da S-SE con picco massimo nel range  $145^\circ$ - $180^\circ$ N;
- il moto ondoso mostra un valore massimo della frequenza di accadimento del 45,006% per il range direzionale  $145^\circ$ - $180^\circ$ N;
- le frequenze di accadimento delle onde sono:
  - con altezza compresa tra 0,25-1,00 m: 57,255%
  - con altezza compresa tra 1,00-2,00 m: 14,898%

- con altezza compresa tra 2,00-3,00 m: 2,409%
- con altezza massima  $H_S > 5,00$  m: 0,008%.

## 2.9 Profondita' di chiusura di spiaggia

La profondità di chiusura di una spiaggia risulta la massima profondità del fondale rispetto alla quale si avvertono gli effetti di un'onda ai fini del trasporto solido dei sedimenti, da considerarsi anche come limite iniziale della zona di frangimento del moto ondoso incidente sulla costa.

Il calcolo del suo valore può avvenire tramite la comparazione dei rilievi batimetrici delle medesime sezioni effettuate in anni diversi, oppure, in mancanza di queste informazioni, è possibile utilizzare delle relazioni semiempiriche sviluppate negli ultimi decenni da diversi ricercatori (Hallemeyer, Birkemeier, ...) che ne consentono una stima in funzione delle caratteristiche che governano il fenomeno.

Nel presente studio è stata utilizzata la relazione empirica proposta da Birkemeier nel 1985, che lega questa profondità all'altezza d'onda significativa superata 12 ore all'anno:

$$d_c = 1.75H_{(12h)} - 57.78 \frac{H_{(12h)}^2}{gT_s^2}$$

dove:

$d_c$  profondità di chiusura derivata

$g$  accelerazione di gravità

$H_{(12h)}$  altezza d'onda al largo caratterizzata da una frequenza di accadimento di 12 ore/anno

$T_{(s)}$  periodo dell'onda  $H_{(12h)}$ .

La determinazione di  $H_{(12h)}$  è stata effettuata con riferimento ai dati di moto ondoso trasposti al largo del Golfo di Napoli (Fig. 10), mentre per quanto attiene al  $T_{(s)}$ , a vantaggio di sicurezza, è stata impiegata la relazione calcolata per il periodo di picco, così come riportata nella Fig. 11.

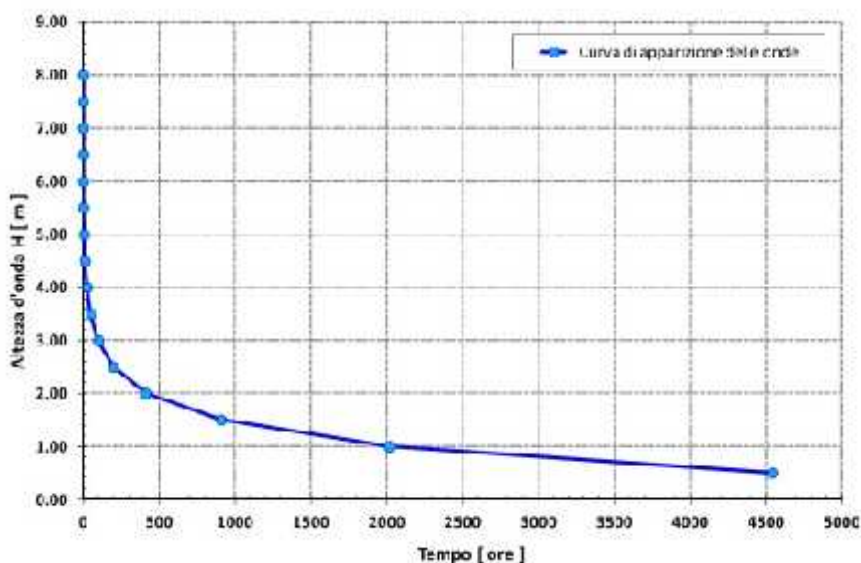


Fig. 10 - Curva di apparizione delle onde (Paraggio di interesse)

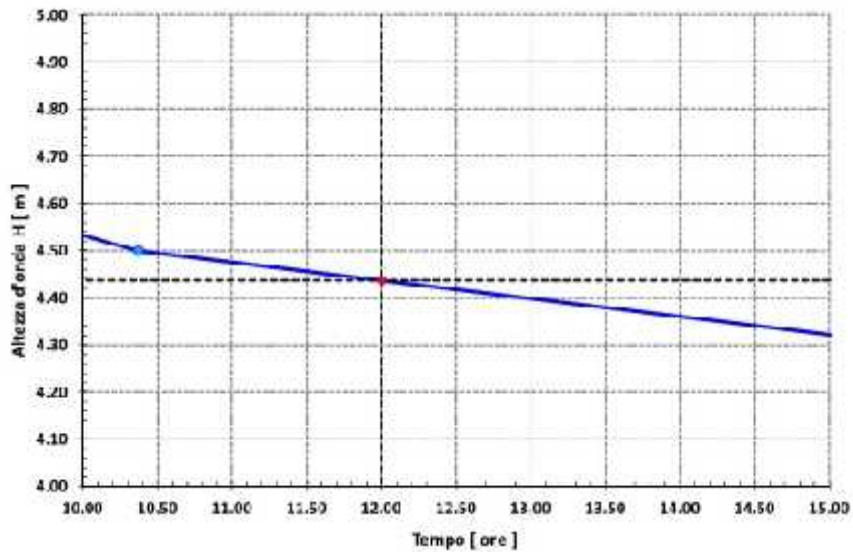


Fig. 11 - Particolare della curva di apparizione delle onde (Paraggio d'interesse)

Pertanto, dall'analisi sulla persistenza calcolata al largo della zona oggetto d'intervento è stato possibile determinare i seguenti valori della profondità di chiusura  $d_c$  (limite del moto attivo dei sedimenti e/o delle condizioni di frangimento d'onda):

Altezza d'onda a 12 ore	Periodo $T_{12}$	Profondità di chiusura $d_c$ [ m ]		
$H_{12}$ [ m ]	$T_s$ [ s ]	Hallermeier (1987) [m]	Hallermeier (1981)	Berkmeier (1985)
4.44	9.99	<b>8.74</b>	7.10	6.60

Come si evince dalla suddetta tabella, considerando a vantaggio di sicurezza la condizione più sfavorevole, la profondità di chiusura per la zona oggetto di studio, in questo caso da intendersi come limite iniziale delle condizioni di frangimento del moto ondoso, è pari a **-8,74 m**.

## 2.10 Riepilogo dati sottocosta

- Gli stati di mare più significativi, sia in termini di frequenza che di intensità, provengono principalmente da **S-SO** con picco massimo nel **range 145°-180°N**;
- Le frequenze di accadimento delle onde sono:
  - con altezza compresa tra 0,25-1,00 m: 57,255%
  - con altezza compresa tra 1,00-2,00 m: 14,898%
  - con altezza compresa tra 2,00-3,00 m: 2,409%
  - con altezza massima  $H_s > 5,00$  m: 0,008%
- Profondità di chiusura e limite iniziale delle condizioni di frangimento del moto ondoso: **-8,74 m**.

### 3. STUDIO DELLE CORRENTI

#### 3.1 Correntometria e dinamica nel Golfo di Napoli

Un primo schema di circolazione è relativo ad una situazione stabile di venti da NE (v. Fig. 12):

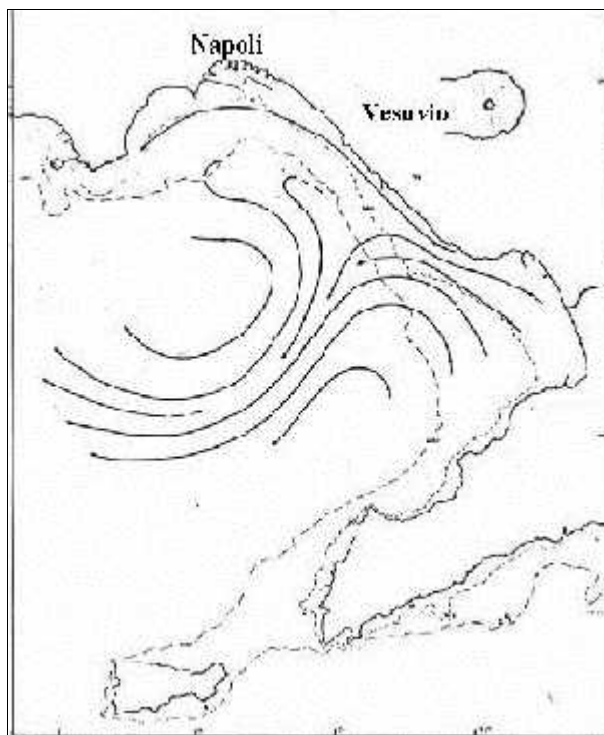


Fig. 12

quello che si osserva è una corrente che si allontana dalla costa in direzione SW davanti a Torre del Greco (zona di convergenza) a cui sono associate due zone di divergenza nelle aree prospicienti Napoli e Torre Annunziata. Questo andamento è attribuito all'effetto del Vesuvio che ripara la parte centrale del Golfo dai venti provenienti da NE.

Tali venti trovano facile sbocco sul mare lungo la pianura del Sarno, così lo stress superficiale è notevole sulle acque antistanti le coste tra Castellammare e Torre Annunziata, dove si nota una certa divergenza proprio a causa dell'allontanamento delle acque dalla costa.

In un lavoro di Gravili ed altri (2001) questo schema è stato riprodotto utilizzando un modello di circolazione barotropica forzato con venti non uniformi, allo scopo di riprodurre l'effetto schermante del Vesuvio (v. Fig. 13). La simulazione (v. Fig. 14) evidenzia la presenza di un'area di convergenza localizzata al centro del Golfo accompagnata da un gyre ciclonico in prossimità della Penisola Sorrentina e da un gyre anticiclonico in prossimità della Bocca Grande.

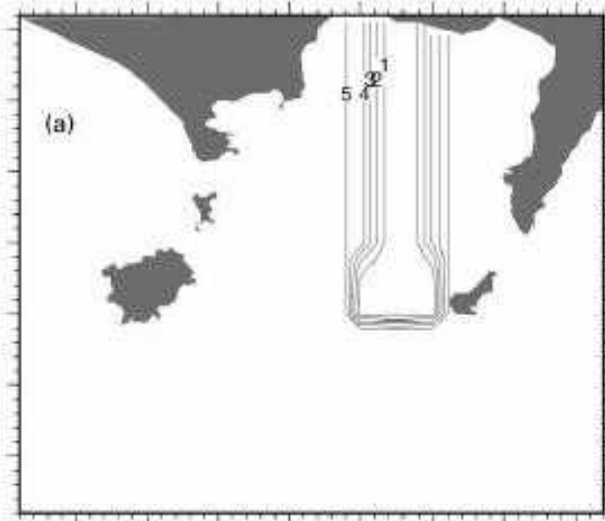


Fig. 13

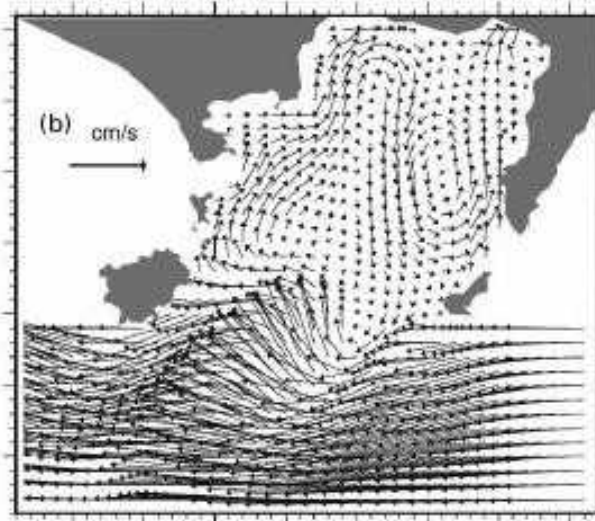


Fig. 14

In un lavoro di De Maio ed altri (1982) si definiscono altri 2 schemi tipici della circolazione superficiale, che dipendono principalmente dalla circolazione presente nel bacino tirrenico. In particolare, quando il flusso tirrenico è diretto verso NO (situazione settentrionale, v. Fig. 15) la corrente penetra in maniera più o meno uniforme nel Golfo di Napoli dove si forma una circolazione secondaria con andamento orario. Quando il flusso tirrenico è diretto verso S (situazione meridionale, v. Fig. 16) la parte esterna alle isole di Ischia e Capri è sede di un moto medio in direzione SE; la parte interna del bacino resta isolata e sembra risentire molto poco della situazione al largo. Quello che si osserva è un vortice ciclonico nella parte centrale del bacino e due vortici anticiclonici, di dimensioni ridotte, situati nello specchio d'acqua antistante la città di Napoli e nel Golfo di Castellammare.



Fig. 15



Fig. 16

### 3.2 Studi modellistica nel Golfo di Napoli e sottocosta

L'applicazione di modelli fisici nel Golfo di Napoli nasce allo scopo di studiare un sistema costiero complesso e altamente variabile nella sua interezza.

Aspetti della circolazione barotropica stagionale sono stati studiati da Grieco ed altri (2005) attraverso l'applicazione del POM (Princeton Ocean Model): il modello è stato forzato dallo stress del vento



mediato mensilmente e da correnti che si muovono lungo il boundary aperto del modello.

Tutti i pattern di circolazione (v. Fig. 17) mostrano una stretta dipendenza dalla batimetria del fondale e dallo stress del vento:

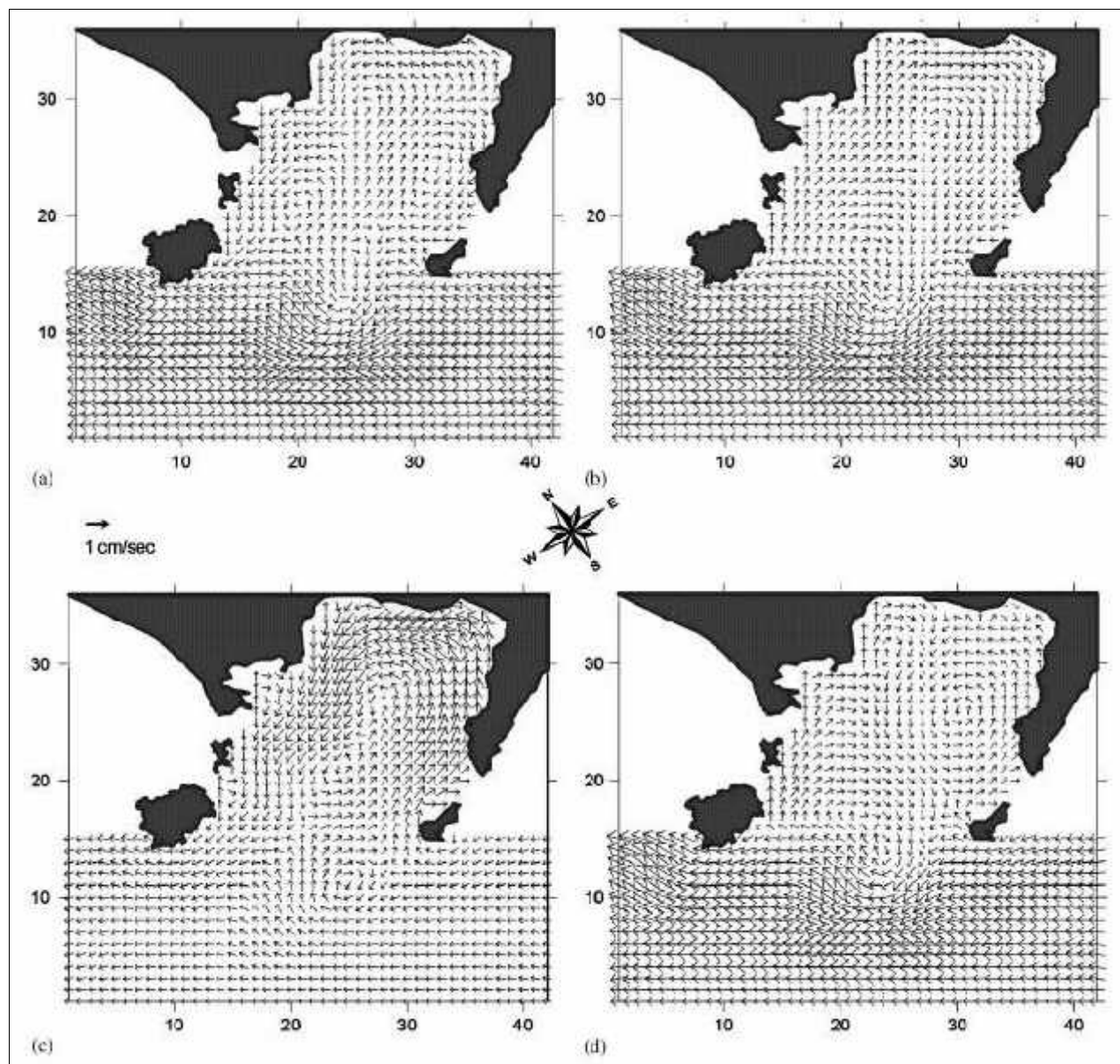


Fig. 17 Pattern medi della circolazione stagionale ottenuti dal POM, usando uno stress del vento variabile mensilmente e una corrente costante di 1 cm/s che entra nel dominio da destra

- a gennaio (v. Fig. 17 a), con la corrente tirrenica diretta verso NW, si crea un gyre ciclonico nel Golfo di Pozzuoli ed un gyre anticiclonico nel Golfo di Castellammare;
- ad aprile (v. Fig. 17 b) le correnti tendono a seguire la batimetria interna al Golfo;
- a luglio (v. Fig. 17 c) vi è una situazione di transizione, la corrente tirrenica è poco intensa e le correnti interne al Golfo si muovono lungo la costa;
- a ottobre (v. Fig. 17 d) si crea una zona di convergenza interna al Golfo con un gyre anticiclonico localizzato davanti al Golfo di Pozzuoli ed un gyre ciclonico nel Golfo di Castellammare.

#### 4. RIEPILOGO RISULTATI STUDI

##### Moto ondoso

- Gli stati di mare più significativi, sia in termini di frequenza che di intensità, provengono principalmente da **S-SO** con picco massimo nel **range 145°-180°N**;
- Le frequenze di accadimento delle onde sono:
  - con altezza compresa tra 0,25-1,00 m: 57,255%
  - con altezza compresa tra 1,00-2,00 m: 14,898%
  - con altezza compresa tra 2,00-3,00 m: 2,409%
  - con altezza massima  $H_s > 5,00$  m: 0,008%
- Profondità di chiusura e limite iniziale delle condizioni di frangimento del moto ondoso: **-8,74 m**

##### Correnti

Le correnti si sviluppano tangenzialmente alla linea di costa ed hanno le seguenti direzioni medie di provenienza:

- periodo gennaio-marzo: da NE
- periodo aprile-giugno: da SW
- periodo luglio-settembre: da NE
- periodo ottobre-dicembre: da SW.