

Autorità di Sistema Portuale
del Mar Tirreno Centro Settentrionale



PORTI DI ROMA E DEL LAZIO - CIVITAVECCHIA - FIUMICINO - GAETA

PORTO DI CIVITAVECCHIA

ADEGUAMENTO TECNICO FUNZIONALE AL P.R.P. DEL PORTO DI CIVITAVECCHIA APERTURA A SUD

Titolo elaborato

STUDIO METEOMARINO

C1

Committente:

Autorità Portuale di Civitavecchia, Fiumicino e Gaeta

IL PRESIDENTE:

Dr. Pino Musolino

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Dott. Ing. Maurizio Marini

IL COORDINATORE GENERALE

Dott. Ing. Giuseppe Solinas

Progetto:

MODIMAR S.r.l.



MODIMAR S.r.l. Via Monte Zebio 40 - 00195 - ROME - ITALY www.modimar.it

Data	Rev.	DESCRIZIONE
04/07/2022	1	REVISIONE
13/06/2022	0	PRIMA EMISSIONE

PORTO DI CIVITAVECCHIA

STUDIO METEOMARINO

INDICE

1	Premesse	2
2	Sintesi dello studio meteomarinò dell'Università di Padova.....	3
2.1	<i>Dati ondametrici</i>	3
2.2	<i>Clima di moto ondoso al largo di Civitavecchia</i>	5
2.3	<i>Analisi degli eventi estremi e onde di progetto</i>	7
3	Clima sottocosta a ridosso delle nuove opere	9
3.1	<i>Griglia di calcolo.....</i>	10
3.2	<i>Condizioni al contorno e ipotesi di calcolo.....</i>	11
3.3	<i>Distribuzione degli eventi per classi di altezza d'onda e direzioni</i>	12
3.4	<i>Propagazione sotto costa nel punto P.....</i>	15
4	Variazione del livello marino (maree e sovralti).....	17
5	Correnti	19

1 Premesse

Nel presente studio sono riportati i risultati delle analisi eseguite per la definizione del clima ondometrico a ridosso delle opere previste per il nuovo accesso al bacino storico del porto di Civitavecchia.

La ricostruzione del moto ondoso sotto costa è stato effettuato attraverso l'applicazione del modello matematico di rifrazione inversa spettrale MEROPE (sviluppato dalla MODIMAR S.r.l.), che ha consentito la definizione delle principali caratteristiche meteomarine che contraddistinguono il paraggio in esame, necessarie per la determinazione dei principali parametri progettuali.

Lo studio aggiorna e completa lo studio meteo marino eseguito dall'Università di Padova per l'autorità Portuale per la definizione delle caratteristiche ondometriche al largo del porto. Per completezza se ne riporta una sintesi nel presente documento al par. 2.

2 Sintesi dello studio meteomarino dell'Università di Padova

2.1 *Dati ondametrici*

Lo studio meteomarino redatto dall'Università di Padova nel 2017 ha analizzato tutti i dati ondametrici disponibili per Civitavecchia e ha individuato la fonte di dati più attendibile per conoscere dettagliatamente il clima ondoso al largo del paraggio di interesse e caratterizzare con una buona accuratezza gli eventi estremi, determinando le altezze d'onda con assegnato tempo di ritorno e quindi l'onda di progetto.

Tutte le fonti di dati sono illustrate nel grafico di Figura 2.1.

Tale fonte di dati è costituita dai dati forniti dal gruppo MeteOcean del Dipartimento DICCA dell'Università di Genevra ("dati DICCA" nel prosieguo). I dati DICCA sono dati di moto ondoso ricostruiti in ri-analisi (hindcasting) a partire dal 1979 per l'intero bacino del mediterraneo con il modello di generazione e propagazione del moto ondoso WaveWatch III, con una risoluzione spaziale pari a 0.1° ed una risoluzione temporale pari a 1 ora.

Tale database, divenuto accessibile dal 2015, allo stato attuale è unico nel suo genere data la grande accuratezza spaziale e l'arco temporale delle serie storiche di moto ondoso ricostruite.

I dati DICCA dunque, considerati particolarmente significativi per lo studio svolto, sono stati comunque confrontati con i valori con le boe curate dalla Autorità di Porto per verificarne la qualità che si è dimostrata soddisfacente.

Il punto DICCA preso a riferimento per la definizione del clima ondametrico al largo di Civitavecchia è il punto P1933.

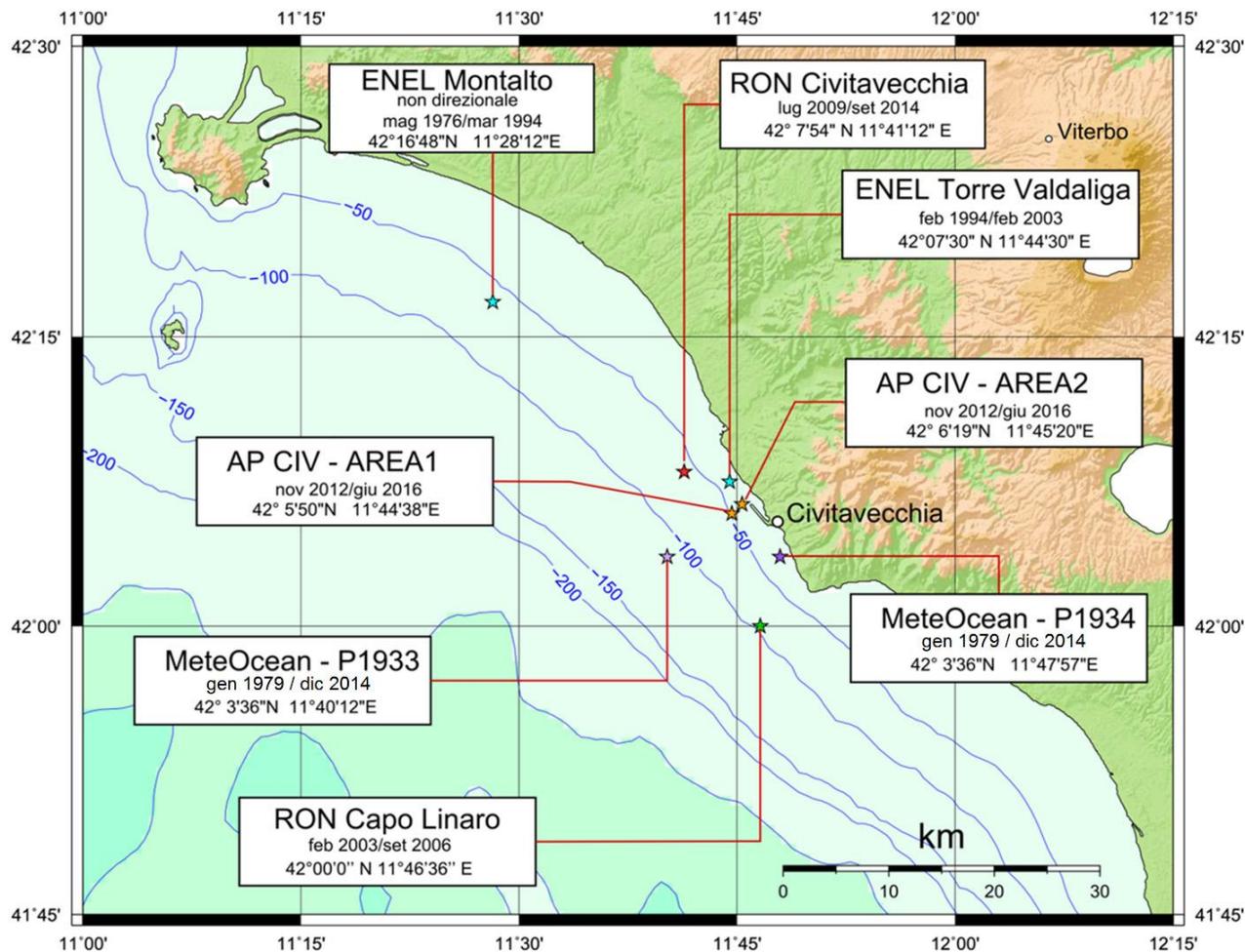


Figura 2.1 – Dati onda metrici disponibili per il paraggio di Civitavecchia

2.2 *Clima di moto ondoso al largo di Civitavecchia*

Le caratteristiche del clima di moto ondoso al largo di Civitavecchia sono state individuate classificando in funzione dell'altezza d'onda, della direzione di provenienza e della frequenza di accadimento i dati onda metrici. Il risultato di tale analisi è sintetizzato nella Figura 2.2.

L'analisi dei dati ha portato alle seguenti considerazioni:

- Gli eventi con un maggiore frequenza di accadimento sono quelli che provengono dal settore 135°N-195°N pari a circa il 34.23 % del totale, e quelli del settore 195°N-285°N pari a circa il 43.06 % del totale;
- La frequenza di accadimento degli eventi più intensi, aventi $H_s \geq 3.5$ m per l'intero settore 135°N-285°N è pari al 0.45 %;
- Se si classificano anche le onde aventi $H_s \leq 0.5$ m (le calme), esse rappresentano il 33.75% di tutte le osservazioni;
- Nel corso degli anni di registrazione si sono osservati 8 eventi con altezza d'onda maggiore di 7 m.

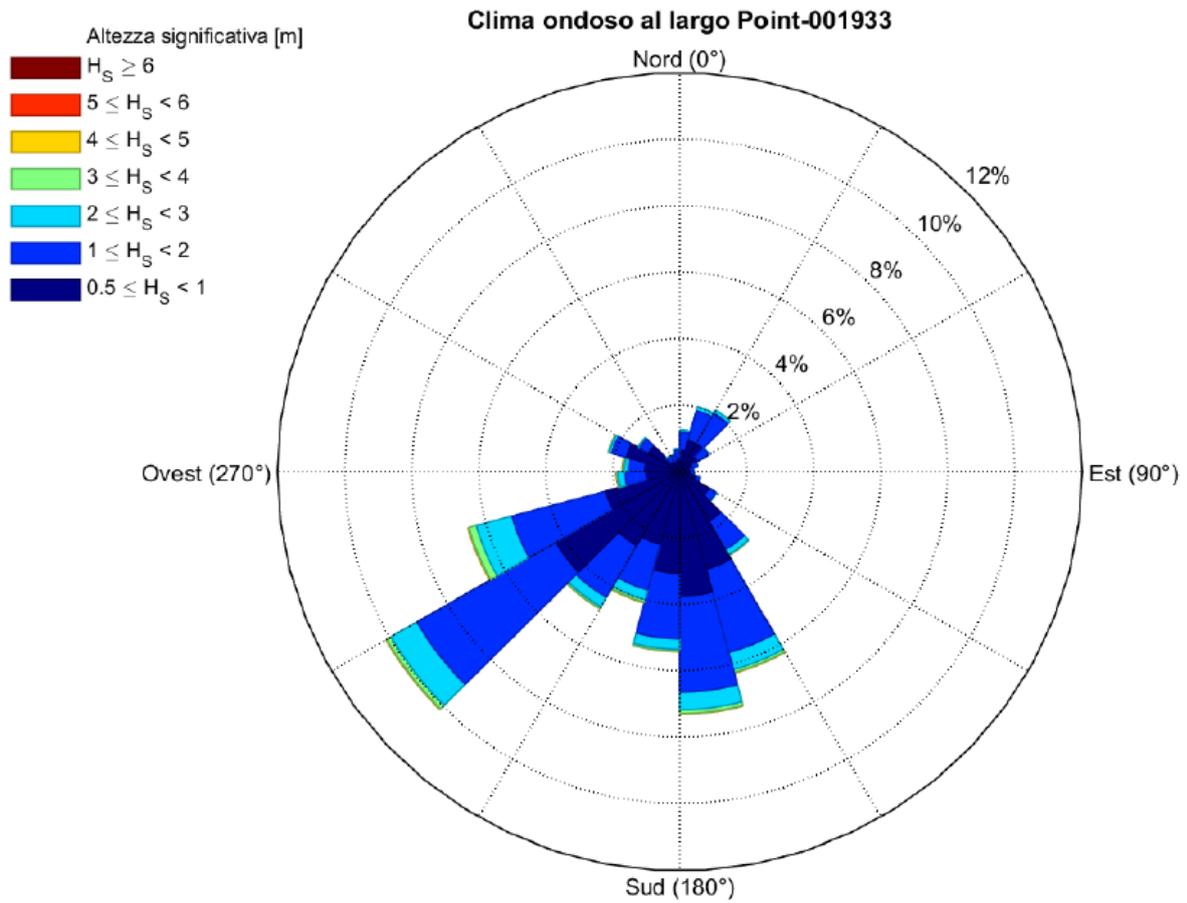


Figura 2.2 – Distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso

2.3 *Analisi degli eventi estremi e onde di progetto*

Per l'individuazione delle onde di progetto sono state dapprima identificate le mareggiate e selezionate con il metodo del "Peak Over Threshold" (POT).

I dati devono sono stati pre-analizzati per selezionare una popolazione omogenea ed indipendente. Per soddisfare il requisito di omogeneità è stato necessario suddividere le serie in base alla direzione.

Il paraggio è esposto al mare aperto per un settore abbastanza ampio (formato da circa 160°), delimitato a Nord-Ovest dal Promontorio dell'Argentario (300° N) e a Sud-Est dal Promontorio di Santa Marinella (140° N). Affacciandosi sul Mar Tirreno, è limitato a Sud dalla costa siciliana (distante circa 450 km) e dalla costa nord africana (distante circa 450 km), ad Ovest è confinato dalla costa della Corsica (distante circa 180 km) mentre a Sud-Ovest dalla Sardegna (distante circa 250 km).

I settori di traversia individuati sono individuati in Tabella 2.1. Per settore di traversia si intende un settore angolare centrato nel porto che comprende tutte le direzioni dalle quali possono giungere le onde generate dal vento durante una mareggiata di caratteristiche omogenee.

Adattando ad una distribuzione Generalised Pareto le mareggiate caratterizzare da altezza d'onda superiore o uguale alla soglia di 4.5 m, si ottiene la statistica indicata in Tabella 2.2 in cui sono riportati i valori dell'altezza d'onda significativa in funzione del tempo di ritorno per i settori direzionali individuati relativi alla serie storica di dati del punto 1933. I dati in tabella sono arrotondati tenendo conto della diversa accuratezza

La correlazione tra altezza d'onda significativa H_s e periodo di picco T_p è descritta dalla relazione riportata di seguito:

$$T_p = 4.96 \cdot (H_s)^{0.417}$$

SETTORI	DIREZIONE
Omnidirezionale	135° – 285 °N
I settore	135 – 195 °N
II settore	195 – 285 °N

Tabella 2.1 – Settori di traversia individuati

Tempo di ritorno (anni)	Hs (m)			
	10	50	100	500
Settore I	5.2	6.5	7.0	10.0
Settore II	5.5	6.5	7.5	10.0
Omindirezionale	5.5	6.5	7.0	8.5

Tabella 2.2 – Altezza d'onda in funzione del tempo di ritorno

3 Clima sottocosta a ridosso delle nuove opere

Partendo dai risultati ottenuti dallo studio meteomarino del Prof. Ruol, il clima ondoso sottocosta è stato aggiornato rispetto al suddetto studio in quanto il clima che definisce le condizioni "a riva" rappresentato dai dati del punto DICCA 1934 si trova distante dalle future opere foranee.

Per definire dunque le condizioni di moto ondoso che si vengono a realizzare in prossimità del nuovo accesso al porto di Civitavecchia è stato necessario effettuare una propagazione del moto ondoso da largo verso riva utilizzando un opportuno modello matematico. I dati del clima ondoso a largo sono stati assunti quelli del punto DICCA 1933.

A tal fine si è in primo luogo scelto il modello numerico più appropriato per lo studio in questione. La scelta del modello numerico viene normalmente effettuata a valle di una attenta analisi dei principali fenomeni fisici che condizionano l'evoluzione delle onde durante la loro propagazione.

Per quanto riguarda i meccanismi che possono alterare la propagazione delle onde su fondali via via decrescenti, che collegano il mare aperto alla zona di intervento, la sufficiente regolarità dell'andamento delle linee batimetriche che caratterizzano il paraggio in esame ha permesso di ritenere che essi siano costituiti in modo dominante dalla rifrazione e dallo shoaling e che possono essere ritenuti trascurabili i processi diffrattivi (diffrazione esterna ed interna).

Per quanto riguarda i processi dissipativi (attrito sul fondo e frangimento), nel caso in esame, si può affermare che la loro importanza diventa rilevante solo su fondali aventi profondità inferiori a 10÷15 m.

Sulla base delle considerazioni appena effettuate si è scelto in primis, per la propagazione sotto costa della serie di dati di moto ondoso, di utilizzare il modello numerico di propagazione inversa spettrale MEROPE, sviluppato dalla società MODIMAR S.r.l..

Il modello numerico MEROPE risolve la rifrazione inversa spettrale dei fronti d'onda a partire da un punto utilizzando una griglia di calcolo costruita sulla base dei dati batimetrici del paraggio in esame.

3.1 Griglia di calcolo

In Figura 3.1 è rappresentato il dominio di calcolo utilizzato per le simulazioni effettuate con il modello MEROPE, definito sulla base dei dati batimetrici disponibili o desunti dalle carte nautiche del paraggio.

Il suddetto dominio ha dimensioni 10000x10000 m, ed è numericamente definito da una griglia regolare con passo di discretizzazione di 25 m in entrambe le direzioni, per un totale di 401x401 nodi. La griglia è orientata con l'asse verticale a 300° Nord.

All'interno della griglia di calcolo è stato selezionato un punto di propagazione, indicato in Figura 21 dal punto in rosso (punto P). La posizione è stata scelta in modo tale che il punto si trovi in prossimità del nuovo varco di accesso. Tale punto è posizionato in corrispondenza della batimetrica -20 m sul l.m.m..

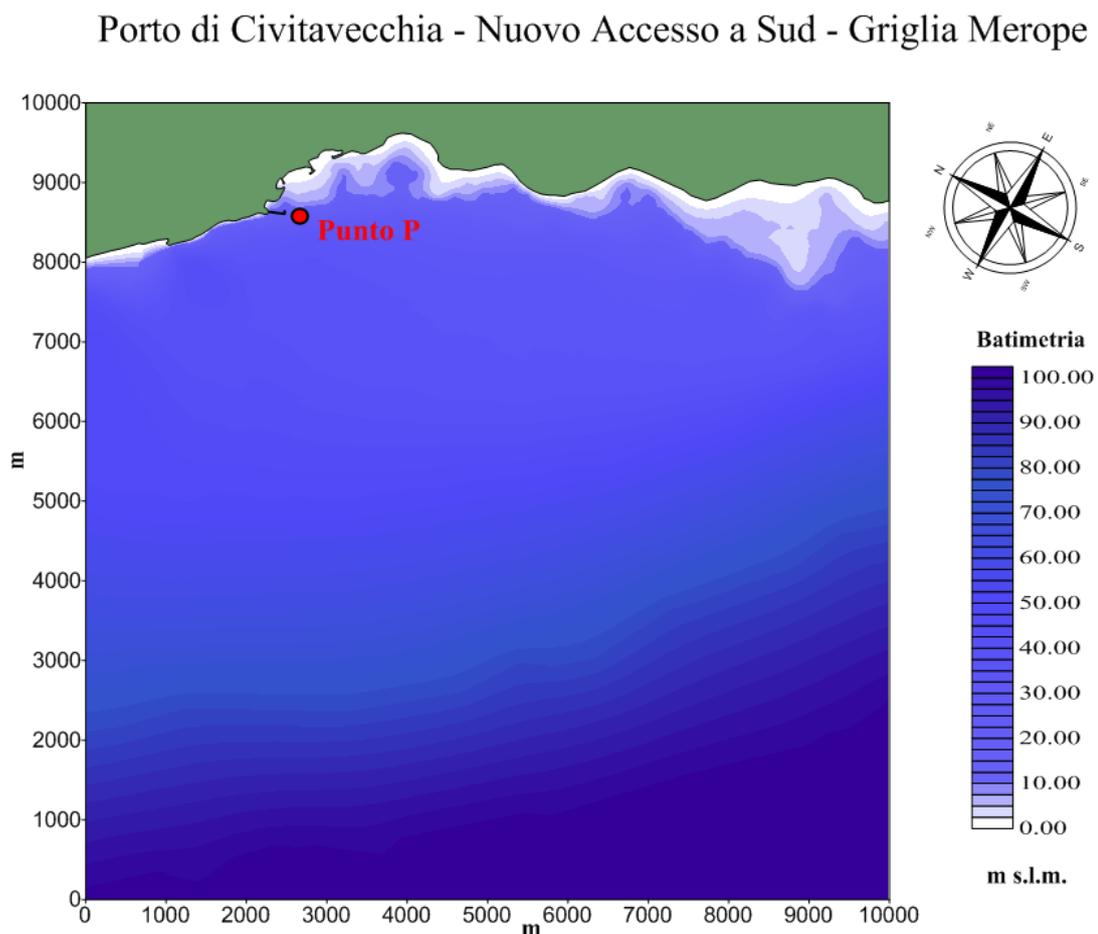


Figura 3.1 – Griglia di calcolo utilizzata dal modello di inversa spettrale MEROPE.

3.2 Condizioni al contorno e ipotesi di calcolo

Per il punto scelto sono stati calcolati 20 piani d'onda d'inversa per altrettanti periodi compresi tra 2 e 22 secondi, tracciando una serie di raggi (ortogonali ai fronti d'onda), spazati di 0.5° , sino a coprire l'intero settore (geografico) di traversia.

I 4000 piani d'onda inversi (20x200) hanno consentito di costruire un data-base mediante il quale è stata propagata nel punto prescelto l'intera serie storica dei dati DICCA P1933.

Per simulare la dispersione dell'energia in frequenza e direzione si è utilizzata la funzione densità spettrale:

$$S(f, \theta) = S(f) G(f, \theta)$$

dove la funzione $S(f)$ è stata espressa con uno spettro di tipo JONSWAP con $\gamma = 3.3$ e di altezza significativa e frequenza di picco assegnata.

La funzione $G(f, \theta)$ viene esplicitata nel modello MEROPE sulla base dell'equazione fornita da Goda ponendo $s_{max} = 18$ (onde di mare vivo)

Si ricorda che le "onde di mare vivo" (sea), tipiche dell'area di generazione (fetch), hanno una elevata dispersione direzionale dell'energia e per tale ragione vengono anche chiamate "onde a cresta corta".

3.3 Distribuzione degli eventi per classi di altezza d'onda e direzioni

L'applicazione del modello MEROPE ha consentito di propagare nel punto di inversa spettrale P tutti gli stati di mare della serie storica DICCA 1933 al largo di Civitavecchia e di valutare pertanto le caratteristiche di clima di moto ondoso in prossimità del nuovo accesso a Sud del porto.

La rosa del moto ondoso di Figura 3.2 mostra la distribuzione direzionale su base annuale degli stati di moto ondoso di altezza superiore a 0.5 m ottenute nel punto P.

La Figura 3.3 mette a confronto il regime ondometrico annuale a largo e a riva (in prossimità del futuro varco a Sud del porto). Come è possibile notare gli eventi di moto ondoso provenienti dai settori di traversia principale (secondo e terzo quadrante), durante il processo di propagazione largo/riva, subiscono una rotazione concentrandosi prevalentemente nel settore 180–240°N (terzo quadrante).

La Tabella 3.1 riporta i dati rappresentati nella Figura 3.2: del più ampio spettro direzionale di provenienza al largo di Civitavecchia, le mareggiate provengono solamente dal settore 160 °N – 310 °N.

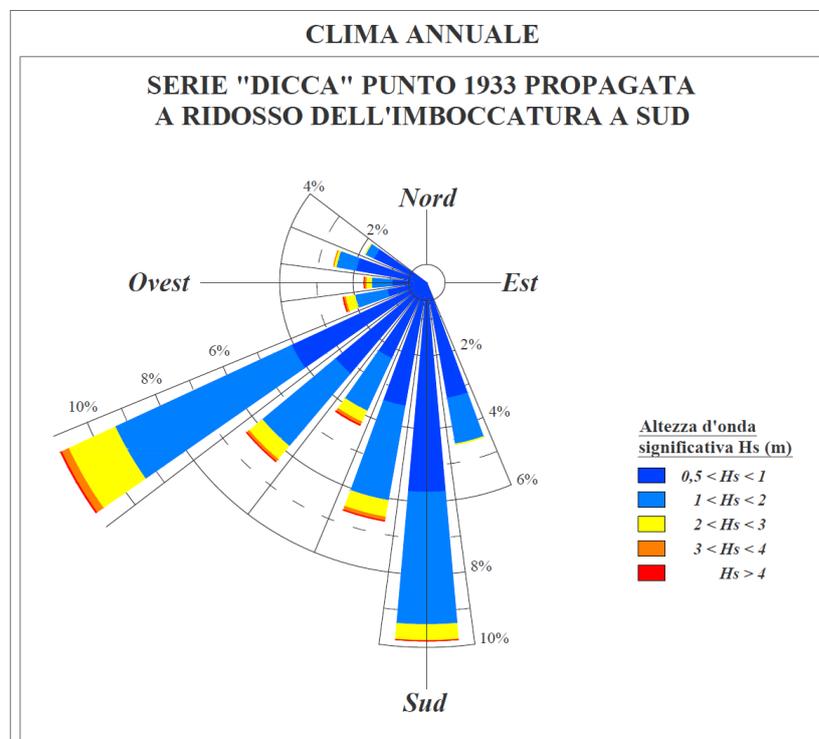


Figura 3.2 – Distribuzione degli eventi di moto ondoso propagati in costa

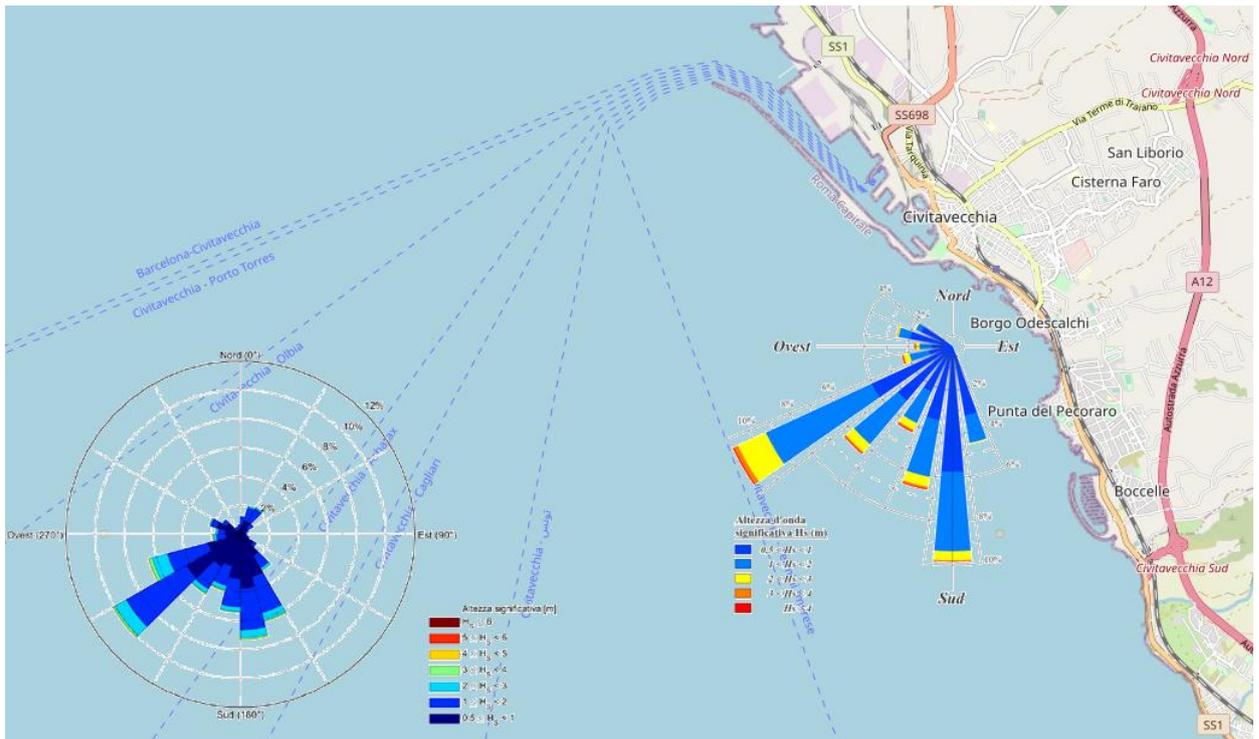


Figura 3.3 – Combinazione delle rose ondamiche a largo e propagata in costa

Tabella 3.1 – Tabella climatica annuale in costa.

Frequenza di accadimento degli eventi di moto ondoso. ANNUALE

Serie DICCA 1933 propagata a ridosso del varco a Sud

Dir. ° Nord	Classe di altezza d'onda significativa Hs [m]															Tot	>0.5		
	<2.5	.25+0.5	0.5+1.0	1.0+1.5	1.5+2.0	2.0+2.5	2.5+3.0	3.0+3.5	3.5+4.0	4.0+4.5	4.5+5.0	5.0+5.5	5.5+6.0	6.0+6.5	≥ 6.5				
10																		0.0	
20																		0.0	
30																		0.0	
40																		0.0	
50																		0.0	
60																		0.0	
70																		0.0	
80																		0.0	
90																		0.0	
100																		0.0	
110																		0.0	
120																		0.0	
130																		0.0	
140																		0.0	
150	0.4																	0.4	0.0
160	4.1	1.6	0.5	0.05	0.00													6.2	0.6
170	3.2	3.3	3.6	1.3	0.4	0.04	0.00											11.9	5.4
180	1.6	2.5	3.9	1.7	0.7	0.3	0.04	0.00										10.6	6.6
190	1.4	2.2	3.0	1.7	0.7	0.3	0.1	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00					9.3	5.7	
200	1.1	1.6	1.8	0.9	0.4	0.2	0.08	0.04	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		6.0	3.3	
210	1.0	1.4	1.5	0.7	0.3	0.2	0.07	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00			5.2	2.8	
220	0.8	1.3	1.8	0.9	0.4	0.2	0.07	0.03	0.01	0.00	0.00						5.4	3.3	
230	0.8	1.5	2.7	1.8	0.8	0.3	0.1	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00				8.0	5.7	
240	0.8	1.7	3.0	2.5	1.5	0.8	0.3	0.1	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00				10.9	8.3	
250	0.6	0.9	1.0	0.6	0.4	0.2	0.09	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00		3.9	2.4	
260	0.5	0.7	0.6	0.3	0.2	0.10	0.04	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00			2.5	1.2	
270	0.5	0.7	0.6	0.2	0.1	0.07	0.03	0.02	0.01	0.00							2.4	1.1	
280	0.7	1.1	0.9	0.3	0.1	0.05	0.02	0.01	0.00								3.1	1.4	
290	0.6	1.5	1.5	0.3	0.07	0.03	0.00										4.0	1.9	
300	0.7	0.9	0.8	0.2	0.02	0.00											2.6	1.1	
310	5.6	1.7	0.4	0.00													7.7	0.4	
320																		0.0	
330																		0.0	
340																		0.0	
350																		0.0	
360																		0.0	
Tot	24.4	24.5	27.6	13.3	6.0	2.6	1.0	0.4	0.2	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00		100.0	51.1	
Tot. cumul.		48.9	76.5	89.8	95.7	98.3	99.3	99.7	99.9	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0				

Numero di eventi: 306874

3.4 Propagazione sotto costa nel punto P

I diagrammi riportati in Figura 3.4 è mostrata la correlazione largo/riva per gli spettri di moto ondoso più rappresentativi. In particolare, nella parte alta della Figura 3.4 è mostrato, attraverso l'utilizzo della mappa a colori, il campo di variazione del coefficiente di rifrazione e shoaling, $K = K_r \cdot K_s = H_s/H_{s0}$, rappresentativo del rapporto tra i valori di altezza d'onda nel punto di propagazione e al largo, in funzione della direzione al largo e del periodo di picco dello spettro dell'onda. La figura fornisce in modo immediato e compatto i valori di attenuazione d'onda. Nella parte bassa della Figura 3.4 è mostrata la corrispondenza tra le direzioni del moto ondoso al largo ed i corrispondenti valori di direzione calcolati a riva in funzione del periodo di picco dello spettro dell'onda.

PUNTO P - MEROPE
 Propagazione sotto costa dei spettri più rappresentativi

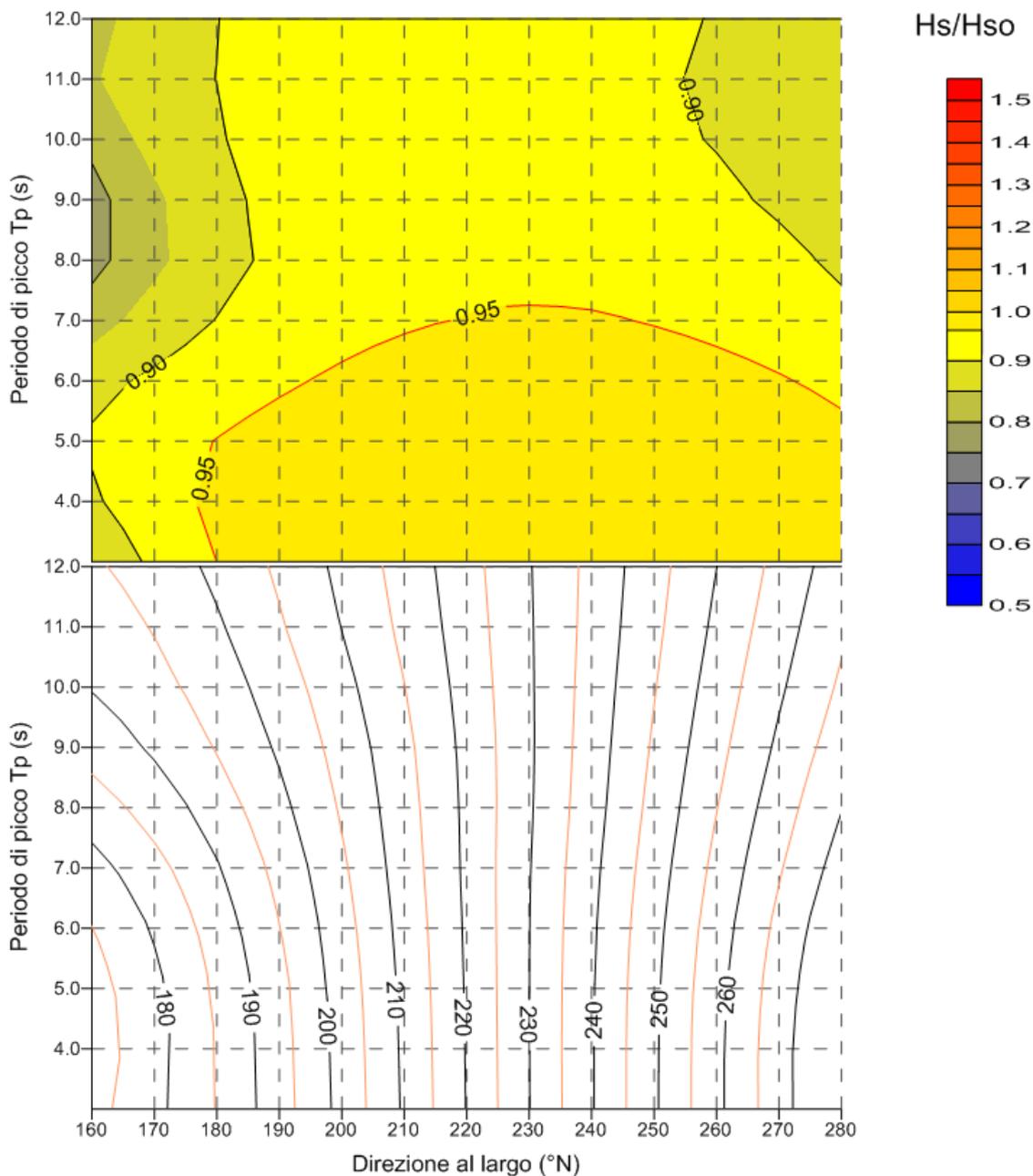


Figura 3.4 – Correlazione largo7riva nel punto di inversa spettrale P

4 Variazione del livello marino (maree e sovralti)

Le variazioni quasi-statiche del livello marino sono dovute a cause diverse che vengono sintetizzate nel fenomeno di "oscillazione di marea" riconoscendo come componenti principali quella astronomica e "meteorologica".

La conoscenza delle massime escursioni dei livelli di marea è necessaria per molteplici scopi quali ad esempio: la corretta progettazione delle quote da assegnare alle opere marittime; la profondità dei fondali per garantire il giusto pescaggio delle imbarcazioni; l'analisi del grado di ricircolo naturale dei volumi d'acqua invasati nello specchio liquido portuale.

In generale per quanto riguarda le variazioni a breve termine, periodiche e non, occorre distinguere gli effetti della marea astronomica da quelli della marea "meteorologica" (indotta essenzialmente dall'azione del vento e dalle variazioni di pressione atmosferica).

Nel zona del Mar Tirreno ove ricade il paraggio costiero di Civitavecchia le escursioni del livello del mare sono di fatto modeste; per la stima della componente oscillatoria della marea astronomica le ampiezze ed i tempi di marea sono prevedibili per alcuni porti principali italiani in base alle "Tavole di Marea", pubblicate annualmente dall'Ufficio Idrografico della Marina Militare; per il caso in esame si possono utilizzare i dati forniti per il porto di Civitavecchia. L'andamento temporale risultante è di tipo semidiurno (periodo 12 ore e 25 minuti) con due alte maree e due basse maree al giorno di ampiezza diversa (marea di tipo sinodico-declinazionale). Le escursioni di marea astronomica sono contraddistinte da una periodicità bisettimanale distinta nelle fasi di sizigie (luna piena e nuova) e di quadratura. Nei periodi sizigiali si verificano i massimi dislivelli positivi e negativi che raggiungono valori di circa ± 0.20 m rispetto al livello medio marino (massimo dislivello pari a circa 0,40). Nelle fasi di quadratura l'escursione è limitata al massimo a ± 0.15 m s.l.m..

Per la definizione della *marea meteorologica* si distinguono:

- sovralto ed abbassamento barico (legati al passaggio dei cicloni ed anticicloni): considerata una condizione di minimo barico pari a 978 mb rispetto ad una condizione media di 1013 mb ne consegue un effetto di sovralto marino massimo pari a 0.35 m; considerando che il massimo barico pluriennale osservato è di 1040 mb, si ha un abbassamento locale del livello marino di circa 27 cm.

- sovrizzo di vento: l'effetto di innalzamento dei livelli sottocosta indotto dall'azione di venti foranei spiranti verso la costa è definito in funzione dell'estensione della piattaforma continentale (l'isobata -200 si trova a circa 17 km dalla imboccatura portuale). Il calcolo del sovrizzo di vento può essere effettuato con la nota relazione implicita:

$$S = \frac{K_p \cdot L_p \cdot U^2}{g(D - d - S)} \ln\left(\frac{D}{d + S}\right)$$

Questa fornisce un valore di 0.04 m alla profondità di 5 m (d), essendo D=200 m profondità limite assunta per la piattaforma continentale; $L_p=17000$ m estensione della piattaforma continentale; $g=9.81\text{m/s}^2$; $K_p=3 \times 10^{-6}$; $U=20\text{m/s}$ velocità del vento persistente. Eseguendo il calcolo anche per profondità inferiori si osserva che il sovrizzo segue una legge esponenziale con un massimo lungo la linea di riva ($d=0$) pari a $S=0.08$ m.

Infine si devono considerare le variazioni a lungo termine dovute a fenomeni di eustatismo: le attuali proiezioni prevedono un progressivo innalzamento del livello marino dovuto all'incremento della temperatura terrestre (effetto serra) stimabile in circa 30 cm nei prossimi 50 anni. Valutazioni meno pessimistiche considerano possibili incrementi di livello di poco superiori a quelli registrati nell'ultimo millennio (dell'ordine di 10 cm al secolo).

In definitiva è possibile calcolare il massimo sovrizzo atteso sommando tutti i diversi contributi di oscillazione del livello marino ma considerando che in generale non si verifica la piena concomitanza per i sovrizzi di carattere meteorologico ed astronomico. Si può cautelativamente assumere una riduzione del 25% per il sovrizzo massimo di carattere meteorologico ed astronomico; in definitiva, a fronte di un sovrizzo massimo assoluto pari a circa 0.63 m ($0.20 + 0.35 + 0.08$), il massimo livello marino da assumere per la progettazione delle opere può essere posto pari a + 0.50 m sopra il medio mare ($0.75 \times 0.63 \text{ m} = 0.47 \text{ m}$).

Il minimo abbassamento del livello marino è pari alla somma dell'oscillazione di marea (20 cm) e dell'abbassamento barico (27 cm), ed è uguale a circa 47 cm; anche in questo caso si può ammettere un abbattimento del 25% dell'oscillazione massima, pertanto il minimo livello da assumere per la progettazione delle opere è pari a 0.40 m sotto il medio mare ($0.75 \times 0.47 \text{ m} = 0.36 \text{ m}$).

5 Correnti

Non sono disponibili rilievi correntometrici locali nella zona costiera. L'analisi d'insieme (riferita alla rappresentazione grafica estratta da "Atlante Tematico d'Italia" TCI, CNR), riportata in Figura 5.1, mostra che, al largo della costa in esame, i flussi delle correnti di gradiente (o di densità) sono condizionati dalla circolazione d'insieme antioraria del Mar Mediterraneo. La velocità media delle correnti in superficie è piuttosto modesta, circa 5 cm/s, con punte massime comunque inferiori a 50 cm/s. La conformazione batigrafica del sito in esame, associata alla limitata escursione dei livelli di marea astronomica, lascia prevedere valori trascurabili delle possibili correnti di marea.

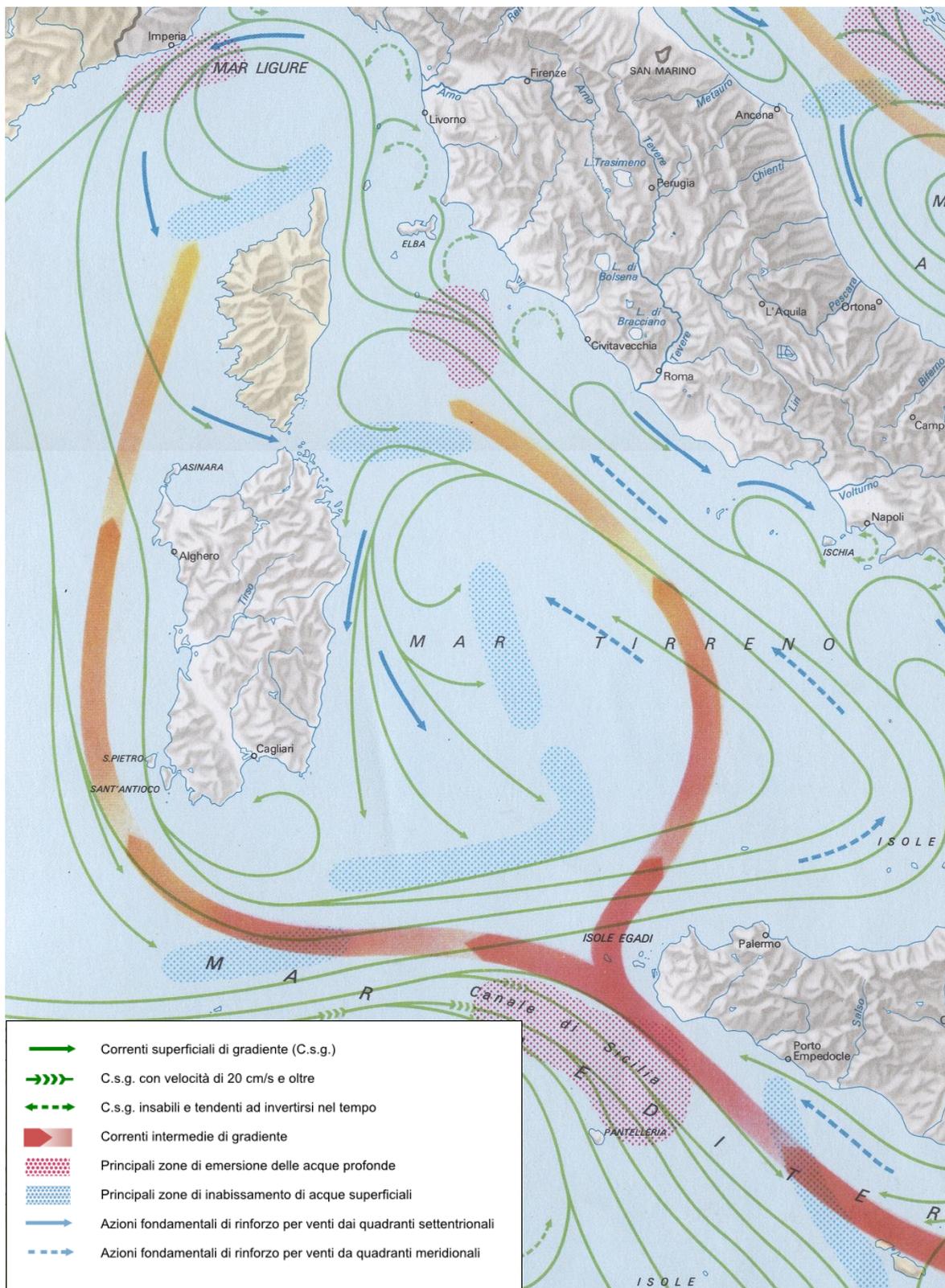


Figura 5.1 – Analisi delle correnti nel bacino del Mar Tirreno