COMUNE DI CELLE LIGURE

ASSOCIAZIONI BAGNI MARINI
DI CELLE LIGURE

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA PER LA DIFESA DELL'ABITATO, DELLE SPIAGGE E DELLE ATTIVITA' PRODUTTIVE CONNESSE

PARTE PRIMA CONOSCITIVA

RELAZIONI TECNICHE SPECIALISTICHE
TOMO 2

- Studio meteomarino delle onde al largo

5

data
Febbraio 2019

A	PRIMA STESURA	Ottobre 2018

STUDIO SIRITO
Savona

Ing. Giorgio Sirito
Ing. Roberto Sirito
Geom. Vittorio Sirito

STUDIO METEOMARINO
DELLE ONDE AL LARGO

INDICE

PARTE PRIMA
IL REGIME ANEMOMETRICO ED I FETCH

1. IL REGIME ANEMOMETRICO DEL MAR LIGURE 1

1.1. - Condizioni generali 1

1.2. - La dinamica di alcune importanti situazioni tipiche 1

1.3 - I venti del "Wind and Wave Atlas of the Mediterranean Sea" (2004) 3

2. ESPOSIZIONE MARITTIMA 7

3. I FETCH 7

3.1. - Settore di traversia, Fetch geografici 7

3.2. - I Fetch efficaci 7

PARTE SECONDA LE ONDE AL LARGO 11

4. - ANALISI DELLE FONTI DI DATI 11

4.1. Dati Atlante delle onde e del vento nel Mediterraneo (ISMAR - Wind and Wave Atlas of the Mediterranean Sea - 2004) 11

4.1.1. Osservazioni visuali 11

4.1.2. - Boe ondametriche 13

4.1.3. - Dati satellitari 13

4.1.4. - Modelli meteorologici e delle onde 13

4.1.5. - Conclusioni: i dati dell'Atlante 13

4.2. - Dati boa di La Spezia (RON) 17

4.3. - Dati boa Côte d'Azur e nodo modello CEP (METEO FRANCE) 18

4.3.1. - Composizione dei dati della boa Côte d'Azur con i dati CEP 18

4.3.2. - Distribuzione settoriale del moto ondoso 19

4.4. - Dati Hindcast (Oceanweather) 20

4.5. - Dati KNMI 21

4.6. - Boa di Capo Mele 22

5. - RAFFRONTO FRA LE ROSE DEL MOTO ONDOSO ANNUALE 23

STUDIO METEOMARINO

PARTE PRIMA
IL REGIME ANEMOMETRICO ED I FETCH

1. IL REGIME ANEMOMETRICO DEL MAR LIGURE

1.1. - Condizioni generali

Il Mar Ligure é uno dei bacini italiani su cui l'influenza dei sistemi montuosi, che fanno da contorno, risulta determinante sull'andamento delle masse d'aria in evoluzione su tale area e soprattutto negli strati più bassi.

Le depressioni sottovento ai rilievi orografici sono qui periodicamente ricorrenti sotto la classica denominazione di CICLOGENESI SUL GOLFO LIGURE. La media annuale di questi casi è di circa 50 con un massimo in Dicembre-Gennaio ed un minimo in Settembre. Su 100 casi, ossia in 2 anni, si hanno i seguenti valori di persistenza:

43,4% dura fino a 24 ore
30,4% " 2 giorni
16,2% " 3 "
6,7% " 4 "
2,7% " 5 "
0,4% " 6 "
0,2% " 7 "

Queste ciclogenesi danno luogo ad una fenomenologia tipica in cui il campo del vento assume aspetti particolarmente complessi, considerandone le fasi evolutive su scala regionale.

1.2. - La dinamica di alcune importanti situazioni tipiche

Le più importanti situazioni tipiche, sono illustrate sulle cartine da fig. 2 a fig. 9. In queste cartine e stata messa in particolare evidenza l'orografia alpina ed appenninica e le correnti aeree sono state simboleggiate da apposite freccette.

1.2.1

Sulla cartina 2 un nucleo di bassa pressione (B) sulla Valle del Rodano richiama masse di aria del 2° quadrante. Il flusso, di tipo sciroccale, ossia da Sud-Est sul Tirreno e sull'Adriatico, modifica la propria traiettoria nell'ambito del Golfo di Genova, dove confluiscono, da Nord e da Nord-Est, correnti di provenienza adriatica, che hanno imboccato la Pianura Padana. Al largo del Golfo di Genova queste correnti confluiscono con i venti di Scirocco e Levante, provenienti dalle coste della Toscana e dalla Riviera Ligure di Levante, per poi proseguire da Est verso la Valle del Rodano, sede del nucleo depressionario, che quasi sempre tende a portarsi in direzione del Golfo Ligure.

1.2.2

Sulla cartina 3 l'elemento motore di questa situazione é costituito da un campo depressionario sulla Francia. Esso infatti richiama masse di aria umida dai bacini

occidentali italiani, lasciando indisturbato l'Adriatico, almeno nella fase iniziale, per cui non sussistono correnti settentrionali dall'entroterra ligure, come nel caso precedente. Sono queste le situazioni tipiche in cui il Golfo Ligure è temporaneamente battuto dal Sud-Est, moderato, ma talvolta anche forte, in cui l'altezza significativa Hs dell'onda può raggiungere i 3 metri. L'impatto di queste correnti contro i rilievi montuosi dell'entroterra ligure può provocare abbondanti precipitazioni. A Sud delle Alpi Marittime queste correnti piegano da Est e poi da Sud-Est, prima di imboccare la Valle del Rodano, come si può dedurre anche dai diagrammi anemometrici di Sanremo e Bordighera.

1.2.3

Sulla cartina 4 un vasto e spesso profondo campo di basse pressioni a Nord dell'Arco Alpino, di provenienza atlantica ed in fase di movimento verso Levante, determina sul Golfo Ligure un notevole flusso di correnti da Sud-Ovest. Sono correnti particolarmente violente sul costone di Capo Mele per effetto orografico. Esse tendono a piegare da Sud-Sud-Ovest e, al limite, da Sud tra Capo Noli e Genova, specie se a ridosso dell'Appennino Ligure si forma una piccola depressione sottovento, che interessa le Langhe. Queste correnti tra Sud-Ovest e Sud superano la Pianura Padana e vanno oltre le Alpi centro-orientali, sotto 1 'azione del nucleo depressionario sopra citato.

Sono queste le situazioni dinamicamente più importanti e provocano le più grosse mareggiate sui litorali prospicienti il Golfo di Genova (mareggiate di Libeccio).

1.2.4

Il campo delle correnti nei bassi strati sulla Liguria è, come già accennato, fortemente influenzato dalla imponente orografia delle Alpi Occidentali. Depressioni sottovento sono qui frequenti, specie in presenza di correnti atlantiche, che penetrano nel Mediterraneo attraverso il varco tra i Pirenei e le Cevenne o lungo la Valle del Rodano per piegare poi da Ovest e da Sud-Ovest verso la Corsica ed il Golfo Ligure e proseguire verso l'Adriatico in conformità all'andamento delle correnti a quote più elevate. Parte di questo flusso dalla Valle del Rodano (mistral) investe la Sardegna da Nord-Ovest (maestrale) e raggiunge il bacino tirrenico (cartina 5).

Nella fase iniziale della ciclogenesi sul Golfo Ligure é frequente il caso in cui un nucleo depressionario, sottovento alle Alpi, sia già in atto sulla zona delle Langhe (vedi cartina 5). Analogamente, sottovento all'Appennino Tosco-Emiliano un'altra depressione si può formare sull'Adriatico Settentrionale, sotto 1 'azione delle correnti da Sud-Ovest, come simboleggiato in figura 5. Lungo le coste liguri di Ponente fortissimi venti di Sud-Ovest, sono in grado di provocare forti mareggiate, tuttavia tra Noli e Genova questi venti tendono ad attenuarsi, presentandosi davanti alla costa dal settore tra Sud-Sud-Ovest e Sud.

Al largo e verso la costa toscana le correnti sono ancora da Sud-Ovest. E' il caso della classica "libecciata" sulla Riviera Ligure di Levante e sulle coste toscane.

1.2.5

La cartina 6 mostra la ciclogenesi in pieno sviluppo sul Golfo Ligure. Sulla costa ligure il vento spira ora tra Nord e Nord-Est, mentre sulla Toscana e sul Tirreno Settentrionale è da Sud-Est. Sul mare di Corsica soffia da Ponente e Libeccio. Nelle sue fasi evolutive la depressione ligure tende a spostarsi più frequentemente verso Sud-Est, interessando l'area tirrenica, ma può anche trasferirsi verso l'Adriatico, inglobando il nucleo ciclonico ivi presente o portarsi verso il mare di Corsica, spinto da correnti da Nord-Est dall'Adriatico Settentrionale verso il Golfo Ligure. Vento forte di "bora" può soffiare in

questi casi sul Golfo di Trieste. Queste correnti da Nord-Est possono perdurare più giorni, specie se sotto l'azione di un campo anticiclonico stabile a Nord ed a Levante dell'Arco Alpino.

1.2.6

La cartina 7 illustra il caso più frequente in cui la depressione ligure si sposta verso Sud-Est, interessando l'area tirrenica, mentre continuano a spirare i venti, da moderati a forti, da Nord sulla Riviera di Ponente e da Nord-Est sulla Riviera di Levante. Ampie schiarite con buona visibilità accompagnano questa evoluzione, caratterizzata ovviamente da un aumento della pressione atmosferica.

1.2.7

Nel tipo di evoluzione, illustrato sulla cartina 8, il nucleo ciclonico originario delle Langhe o del Golfo Ligure, si é trasferito nella zona adriatica, specie se era qui presente la già citata area ciclonica sottovento all'Appennino Tosco-Emiliano. Questa evoluzione é sovente accompagnata da irruzione di aria fredda dai valichi alpini, evidenziata sulle carte del tempo da un fronte freddo che attraversa la Pianura Padana fino alle Venezie. Sulla costa ligure i venti moderati spirano dal settore tra Nord-Ovest e Nord-Est, ma a componente prevalente da Nord tra Genova e Capo Mele (Tramontana).

1.2.8

Nella situazione illustrata sulla cartina 9, lo spostamento del nucleo ciclonico dal Golfo Ligure verso il Mare di Corsica prevede quasi sempre un campo di alta pressione a Nord ed a Levante dell'Arco Alpino, in contrasto con un campo depressionario sul Mediterraneo Occidentale. In questo caso persistono sulla Liguria moderate correnti da Nord-Est in fase di attenuazione, man mano che il minimo dal mare di Corsica si sposta verso il Mare di Sardegna o più oltre, verso Sud. Sull'Adriatico Settentrionale e sulla Toscana le correnti da Sud-Est tendono a ruotare da Est e successivamente da Nord-Est nel caso in cui si consolidi il campo anticiclonico a Nord ed a Levante dell'Arco Alpino o che si sposti verso le Regioni Balcaniche.

1.3 - I venti del "Wind and Wave Atlas of the Mediterranean Sea" (2004)

L'Atlante è il risultato del "progetto Medatlas", realizzato dal 1999 al 2004 da un consorzio istituito fra Francia, Italia e Grecia, con l'obiettivo di ottenere dati statistici sul regime delle onde in specifici punti del Mar Mediterraneo, intervallati di circa 50 Km.
Le elaborazioni statistiche dei dati hanno permesso di definire il clima dei venti di ogni sito, definito per mezzo delle statistiche stagionali dei più significativi parametri del vento, in particolare la velocità e la direzione del vento a 10 metri al di sopra del livello medio mare.
Nella **Figura 2a** alla pagina seguente, si riporta dall'Atlante un esempio di rappresentazione spaziale della velocità e direzione del vento.
L'esempio considera i venti di velocità superiore ai 6 *m/s* e di frequenza superiore al 10%. La lunghezza delle frecce indica la frequenza.

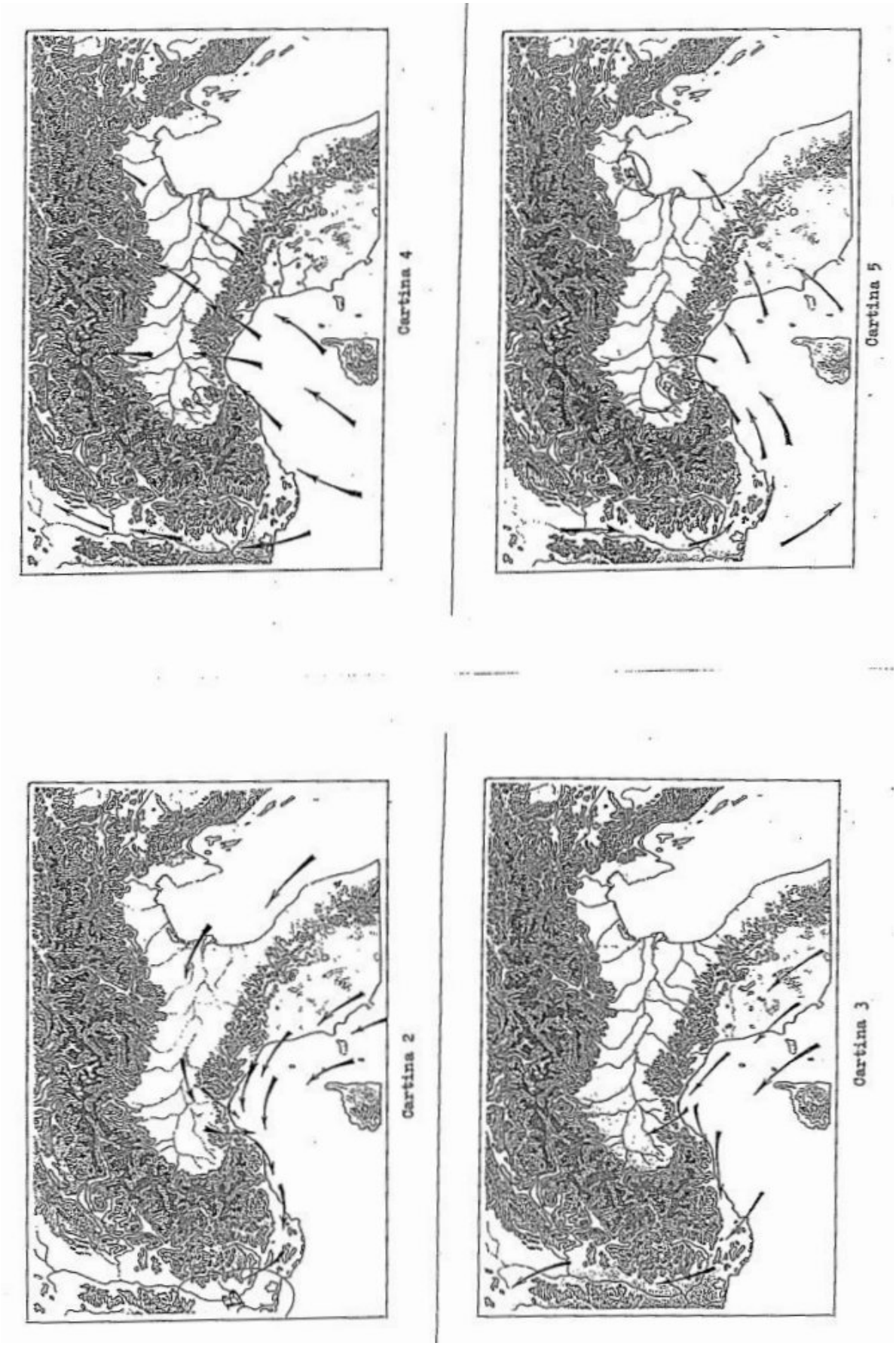


Fig. 1 – La dinamica di alcune importanti situazioni tipiche: cartine 2-3-4-5

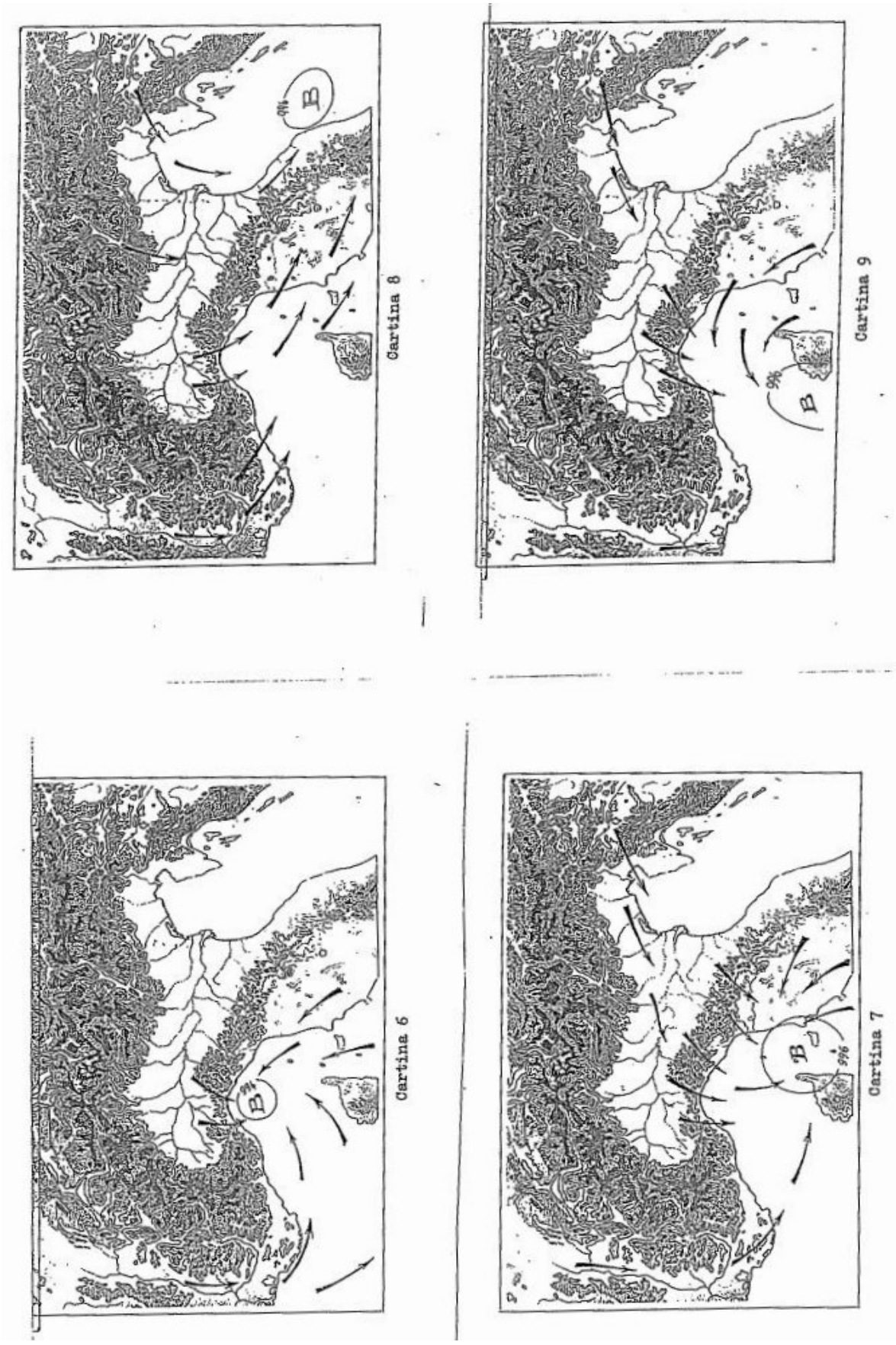


Fig. 2 – La dinamica di alcune importanti situazioni tipiche:
cartine 6-7-8-9

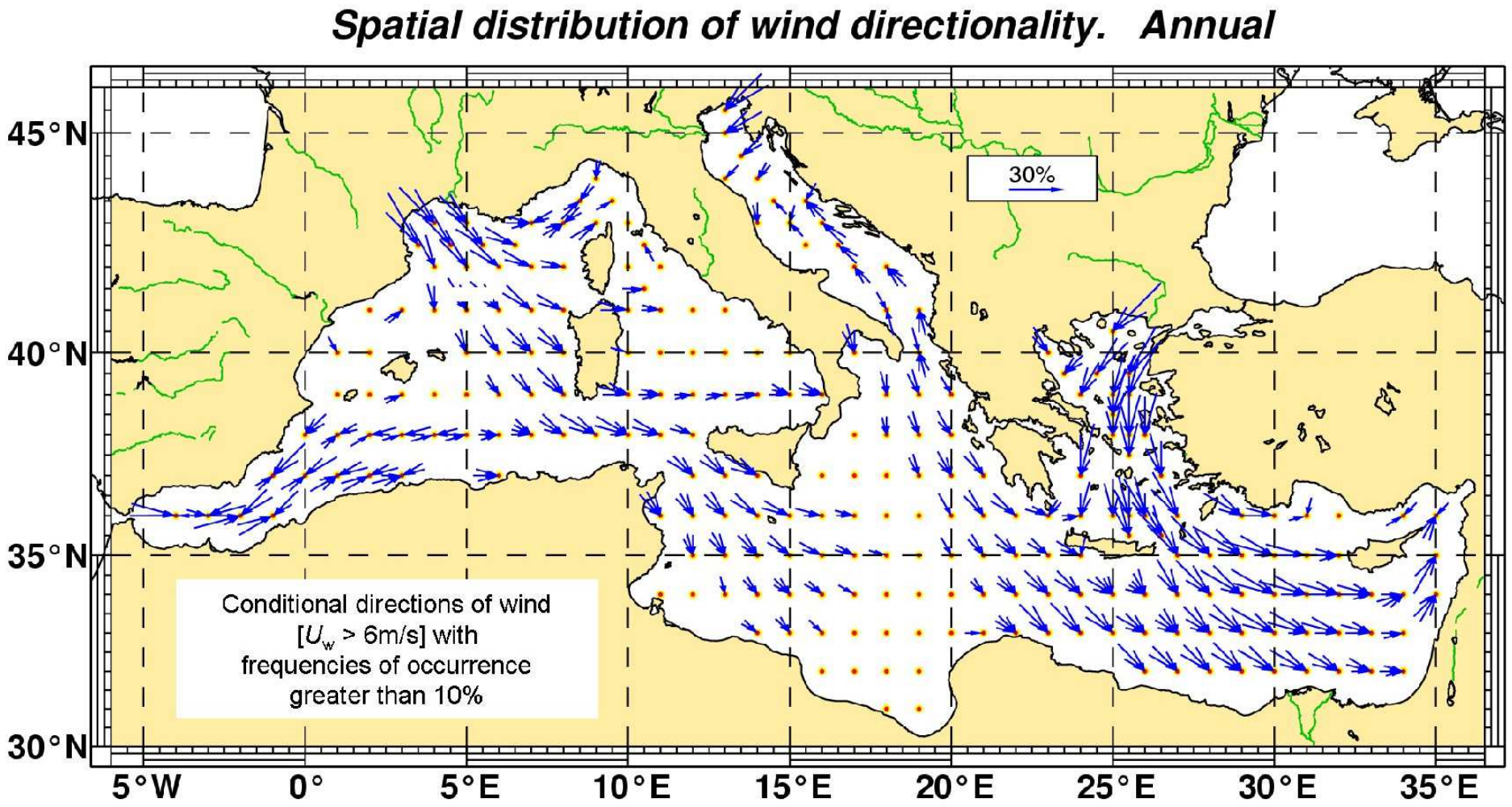


Fig. 2a – Distribuzione spaziale della velocità e direzione dei venti (atlante dei venti e delle onde del Mediterraneo - WEAO)

2. ESPOSIZIONE MARITTIMA

Il litorale di Celle Ligure è parte del tratto della costa del Ponente Ligure che da Capo Mele a Voltri si mantiene mediamente frontale alla direzione di provenienza del mare di Scirocco, ma con variazioni locali continue, determinate dai Capi, dalle Punte e dagli Estuari dei corsi d'acqua maggiori, che incidono notevolmente sull'influenza costiera del mare dominante di Libeccio che, molto angolato con la linea di costa determina il senso prevalente del trasporto delle sabbie verso Levante.

3. I FETCH

Il presente capitolo è finalizzato alla definizione dei Fetch, vale a dire le distanze di mare libero, nelle diverse direzioni, lungo le quali si può formare l'onda che va ad investire la costa di interesse ed è così articolato:

- definizione del settore di traversia;
- definizione dei Fetch geografici delle diverse provenienze;
- definizione dei Fetch efficaci.

3.1. - Settore di traversia, Fetch geografici

Con la scorta della carta nautica I.I.M. N° 340 di cui si riporta stralcio ridotto alla scala 1:4.000.000 alla **Tav.2**, si individua il settore di traversia del litorale di Celle Ligure limitato nel 2° e nel 3° quadrante, tra le congiungenti al Capo Mele ad Ovest (direzione 220°) ed all'Isola Palmaria ad Est (107°), per un'ampiezza del settore di 113°.
Determiniamo i Fetch geografici interni al settore di traversia suddividendo ancora il settore in tre parti, tracciando le direzioni al Capo dell'Argentiera (185°) ed a Capo Corso (154°).
Lungo le bisettrici dei tre sottosettori si ottengono quindi i Fetch geografici rispettivamente di Libeccio-Mezzogiorno da 202° limitato dalla costa dell'Algeria (900 km), di Mezzogiorno da 170° limitato dalla Corsica (200 km) e di Scirocco da 130° limitato dal Capo di Piombino (220 km).
La distribuzione dei Fetch geografici individua un settore di traversia del moto ondoso molto esposto con onda prevalente dal settore di SW, provenienza delle mareggiate di Libeccio-Mezzogiorno.
Il Fetch geografico massimo che viene preso in considerazione è comunque 500 km, con una riduzione quindi del Fetch di quest'ultima provenienza principale.

3.2. - I Fetch efficaci

L'estensione della porzione di mare sulla quale si esplica "effettivamente" l'azione di trasferimento energetico dal vento al moto ondoso è detta fetch efficace o effettivo.
Il valore del fetch efficace relativo ad una determinata direzione è funzione anche dell'estensione dei fetch geografici associati alle direzioni contigue; in questo modo i

fetch efficaci tengono conto del fatto che alla generazione del moto ondoso contribuiscono, oltre alla superficie marina individuata nella direzione media ϕ_w lungo la quale spira il vento, anche le porzioni di mare calcolate dalle direzioni comprese in un settore di $\pm\theta$ rispetto alla direzione media di azione del vento.
Il calcolo dei fetch efficaci puo' essere eseguito in base alla seguente relazione:

$$F_{e,w} = \frac{\sum_{\phi_i=\phi_w-\theta}^{\phi_w+\theta} F_i \cos^{n+1}(\phi_i - \phi_w)}{\sum_{\phi_i=\phi_w-\theta}^{\phi_w+\theta} \cos^{n}(\phi_i - \phi_w)} \qquad (1)$$

nella quale i simboli che compaiono rappresentano i seguenti parametri:

$F_{e,w}$	lunghezza del fetch efficace relativa alla direzione ϕ_w;
F_i	lunghezza del fetch geografico relativa alla direzione i-esima ϕ_i;
ϕ_w	direzione media (riferita al nord geografico) di possibile provenienza del vento responsabile del fenomeno di generazione del moto ondoso lungo la traversia;
$\phi_w - \theta \le \phi_i \le \phi_w + \theta$	direzione i-esima (riferita al nord geografico) relativa ad un settore di 2θ considerato nell'intorno della direzione ϕ_w;
θ	ampiezza del settore di possibile provenienza del moto ondoso (il metodo di Saville prevede un valore di $\theta = \pm 45°$ mentre quello di Seymour fa riferimento ad un valore di $\theta = \pm 90°$);
n	termine esponenziale definito in funzione della legge di distribuzione direzionale degli spettri di moto ondoso che caratterizzano il sito in esame (solitamente si assume n = 2).

L'equazione (1) deriva dalla teoria di ricostruzione indiretta del moto ondoso nota come metodo S.M.B. (Sverdrup, Munk e Bretsheneider, 1947) e dai suoi successivi aggiornamenti (Saville 1954, Seymour 1977, Smith 1991). Detto procedimento di fatto impone che la distribuzione dello spettro di energia del moto ondoso abbracci un settore di $\pm 90°$ 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.
Per il calcolo della relazione esistente tra la direzione del vento e quella del moto ondoso generato, si fa riferimento al criterio introdotto da Donelan.
Nell'ipotesi che:

- la direzione media del moto ondoso corrisponda alla direzione della componente spettrale associata al periodo di picco;
- il moto ondoso generato dal vento è ben definito e rappresentabile tramite le relazioni introdotte dalla campagna oceanografica JONSWAP (JOint North Sea WAve Project, Hasselmann 1976);

si puo affermare che la direzione media fÀ del moto ondoso relativa alla direzione media di provenienza del vento β e' individuata come il valore che rende massima la funzione:

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

quindi imponendo le condizioni $f'(\beta) = 0$ e $f''(\beta) = 0$ è possibile individuare per ogni fetch efficace associato ad una determinata direzione di provenienza del vento la relativa direzione del moto ondoso generato.

Ciò premesso, i valori dei fetch geografici ed efficaci ottenuti per il paraggio in esame sono riportati nella **Tabella 1**.
Nel grafico seguente (**Figura 3**), i fetch sono rappresentati sotto forma di diagramma polare.

Direzione (°)	Fetch geografici (km)	Fetch efficaci (km)
100	80	100
110	142	126
120	158	151
130	206	175
140	214	202
150	500	230
160	174	258
170	189	271
180	215	275
190	500	267
200	500	247
210	500	212
220	52	177

Tab. 1 – Valori dei fetch geografici ed efficaci del paraggio Celle Ligure

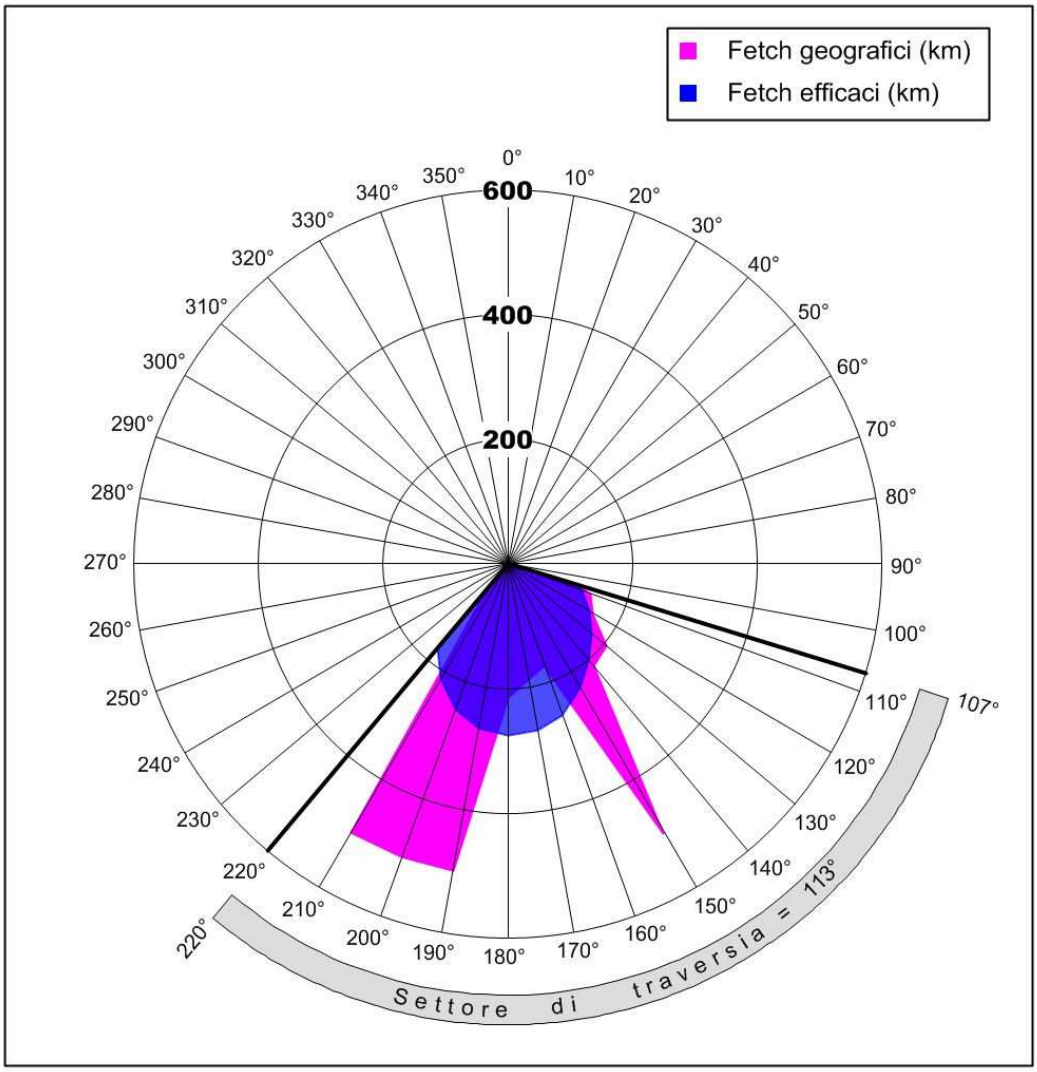


Fig. 3 – Diagramma polare dei fetch

PARTE SECONDA

LE ONDE AL LARGO

PARTE SECONDA
LE ONDE AL LARGO

4. - ANALISI DELLE FONTI DI DATI

In questo studio si analizzano le condizioni del clima meteomarino nel Mar Ligure, con l'obiettivo di definire le condizioni del moto ondoso al largo di Celle Ligure.



Figura 4 - Ubicazione geografica dell'area di studio e fonti di dati analizzate

Nel caso specifico abbiamo potuto analizzare cinque distinte fonti di dati di clima meteomarino al fine di definire quella che permetta una miglior descrizione del clima stesso nella zona di studio.

Le cinque fonti di dati di clima sono le seguenti:

- ***Atlante delle onde e del vento del Mediterraneo (ISMAR-WEAO)***
- ***Dati Boa direzionale di La Spezia (RON)***
- ***Dati composizione boa Cote d'Azur e nodo modello CEP (METEO FRANCE)***

- ***Dati Hindcast (OCEANWEATHER)***
- ***Dati visuali KNMI***

Il punto di riferimento ISMAR-WEAO, il posizionamento dei due PUNTI BOA e l'estensione delle aree dei dati KNMI ed OCEANWEATHER sono riportati in **Figura 4**. Nei paragrafi successivi sono rappresentate le rose del moto ondoso annuale per ciascuna delle quattro fonti.

4.1. Dati Atlante delle onde e del vento nel Mediterraneo (ISMAR - Wind and Wave Atlas of the Mediterranean Sea - 2004)

"L'Atlante delle onde e del vento del Mediterraneo", edito nel 2004, raccoglie i dati di 10 anni elaborati dal WEAO Research Cell (Wester Europe Armaments Organisation), con la collaborazione di sei Istituti di ricerca localizzati in Francia, Italia e Grecia fra cui, per l'Italia, ISMAR e THETIS.
Viene fornito gratuitametne dagli istituti sviluppatori. Detto Atlante fornisce per il Mediterraneo i valori integrati delle seguenti variabili: velocità e direzione del vento, altezza d'onda significativa, periodo di picco e direzione di provenienza del moto ondoso.
I dati dell'Atlante vengono calcolati in base ai risultati del modello atmosferico del ECMWF che vengono inseriti come forzanti nel codice di calcolo di generazione delle onde da vento (WAM). Successivamente viene effettuata una calibrazione attraverso le variabili altezza d'onda significativa e velocità del vento, telerilevate entrambe da satellite (Topex e ERS 1-2).
Dall'Atlante si riporta nella pagina successiva, la distribuzione spaziale della velocità e direzione delle onde (Figura 4a).
Nella compilazione dell 'Atlante, sono stati esaminati e discussi tutti i dati disponibili, le osservazioni visuali dalle navi in navigazione, le misurazioni registrate dalle boe, le misure altimetriche effettuate dai satelliti, i cartelli meteorologici ed i modelli dei centri meteo-oceanografici.

4.1.1. Osservazioni visuali

In presenza di altre fonti più affidabili, sono state innanzitutto scartate le osservazioni visuali, sia perché limitate alle rotte marittime, sia perché non strumentali e quindi discrezionali, sia per la tendenza delle navi ad evitare le tempeste.

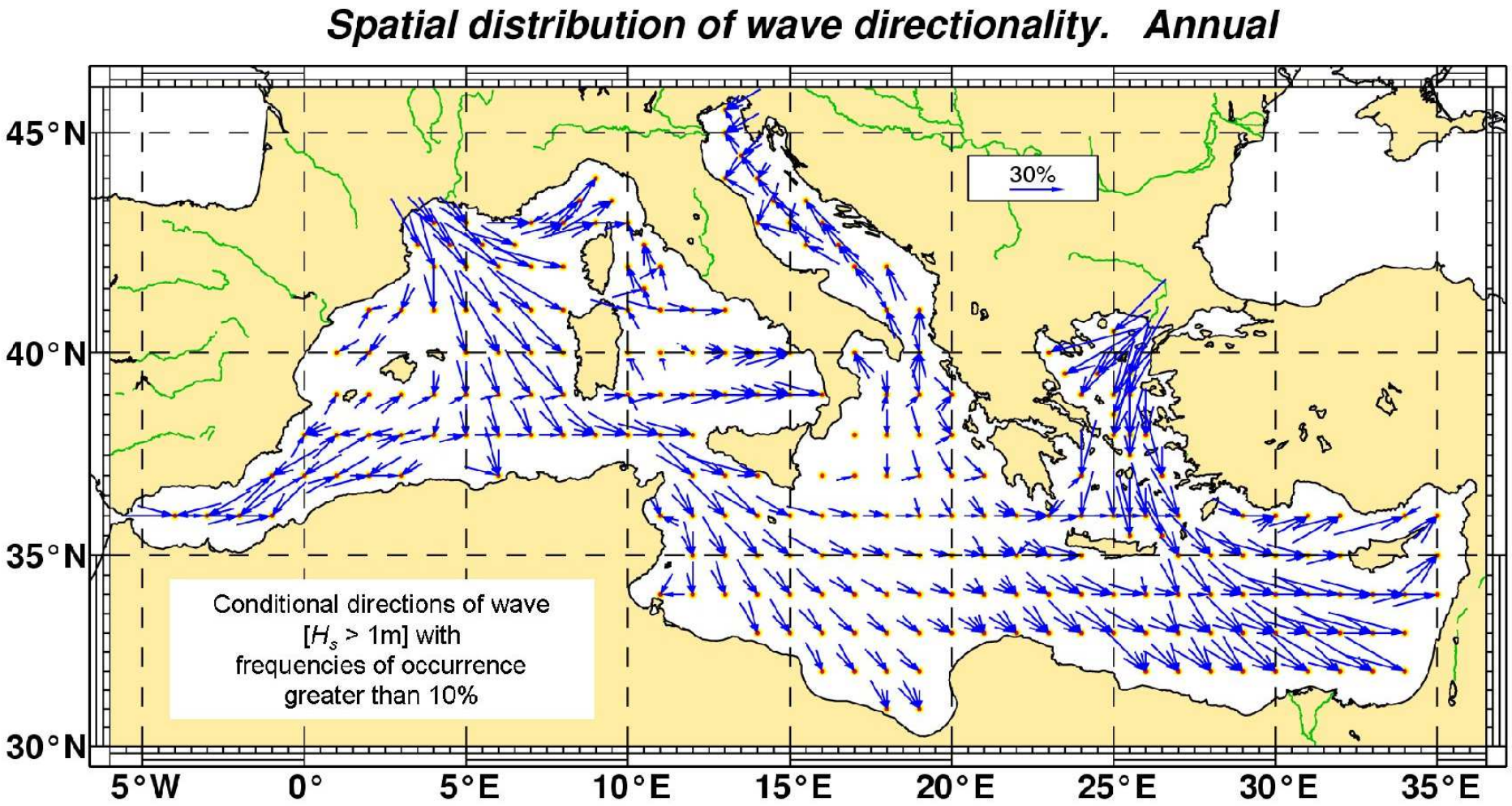


Figura 4a - Distribuzione spaziale della altezza Hs e distribuzione delle onde (atlante dei venti e delle onde del Mediterraneo - WEAO)

4.1.2. - Boe ondametriche

I dati più affidabili sono risultati quelli registrati e trasmessi dalle boe, con errori dell' ordine di pochi punti percentuali. Pur verificandosi una sottostima delle altezze d'onda maggiori, per la tendenza della boa a scivolare intorno alle alte creste, questa fonte di informazione è stata utilizzata nell'Atlante, pur tenendo conto che la vicinanza delle boe alla costa (generalmente ubicate su fondali di 80 - 100 metri) non sono molto rappresentative delle condizioni del mare al largo, soprattutto nella complicata geometria del Mediterraneo, suddiviso in diversi sub-bacini.

4.1.3. - Dati satellitari

Sono fomiti da altimetri radar satellitari, in grado di misurare sia l'altezza d'onda, sia la velocità del vento. I dati sono stati calibrati e validati con il confronto dei dati dei diversi satelliti e con i dati delle boe, per cui i risultati sono affidabili, sebbene non esenti da errori strumentali che incidono soprattutto sulle altezze d'onda minori.

4.1.4. - Modelli meteorologici e delle onde

Esistono numerose Istituzioni che elaborano modelli atmosferici e delle onde, che coprono tutto il globo, ma che perdono accuratezza nei bacini interni quali il Mediterraneo, per cui alcune di queste Istituzioni sono specializzate ad elaborare i dati "locali" di questi bacini.
Le condizioni richieste dagli estensori dell' Atlante per ottenere una maggiore attendibilità sono state:
- la disponibilità di dati almeno decennale, per l'intero Mediterraneo
- la libera disponibilità dei dati

La verifica delle condizioni e dell'accuratezza dei dati ha portato a scegliere il modello ECMWF (European Centre for Medium - range Wether Forecast - Reading - U.K.) come *fonte dati ufficiale utilizzata nell 'Atlante ed in particolare, per quanto riguarda le onde, il modello WAM,* modello avanzato di terza generazione, che utilizza i campi di vento, determinandone in ogni punto velocità e direzione e modella correttamente i complessi processi di trasferimento di energia dal vento all' onda, di dissipazione di energia, di scambio conservativo di energia fra le onde.
Peraltro il modello non è privo di inesattezze, ad esempio è meno attendibile per le piccole onde, a causa della insufficiente attendibilità dei rilevamenti dei venti deboli e risente delle irregolarità dei venti nell'avvicinarsi alla costa, per l'influenza dell'orografia e delle brezze.
Il modello ha inoltre la tendenza a sottostimare i picchi di tempesta, conseguenza anche questa, della sottostima della velocità dei venti.

4.1.5. - Conclusioni: i dati dell'Atlante

Gli estensori dell' Atlante, esaminate le qualità e difetti dei dati, hanno concluso che nessuna delle fonti di dati, da sola, è sufficiente per caratterizzare il clima delle onde nel Mediterraneo o per assicurare precisione.
Per cui i dati delle boe, molto precisi ma validi per un 'area ristretta, sono stati utilizzati unicamente per validare i dati satellitari.
Questi ultimi per calibrare i risultati di vento e onde del modello di previsione.

Da questi ultimi risultati calibrati si sono derivati i dati statistici tabellati per ciascuno dei "nodi" prescelti, nodi indicati sulla ***Figura 5****.*



Figura 5 - Distribuzione dei punti di calcolo dei dati statistici del regime dei venti e delle onde

Nella **Tabella 2** che segue sono riportate dlall'Atlante le frequenze di accadimento Rs/direzione, per il punto 44ºN, 9ºE, sito dinanzi a Genova.

Dai dati della **Tabella 2** è stata derivata la relativa rosa delle onde di **Figura 6**.

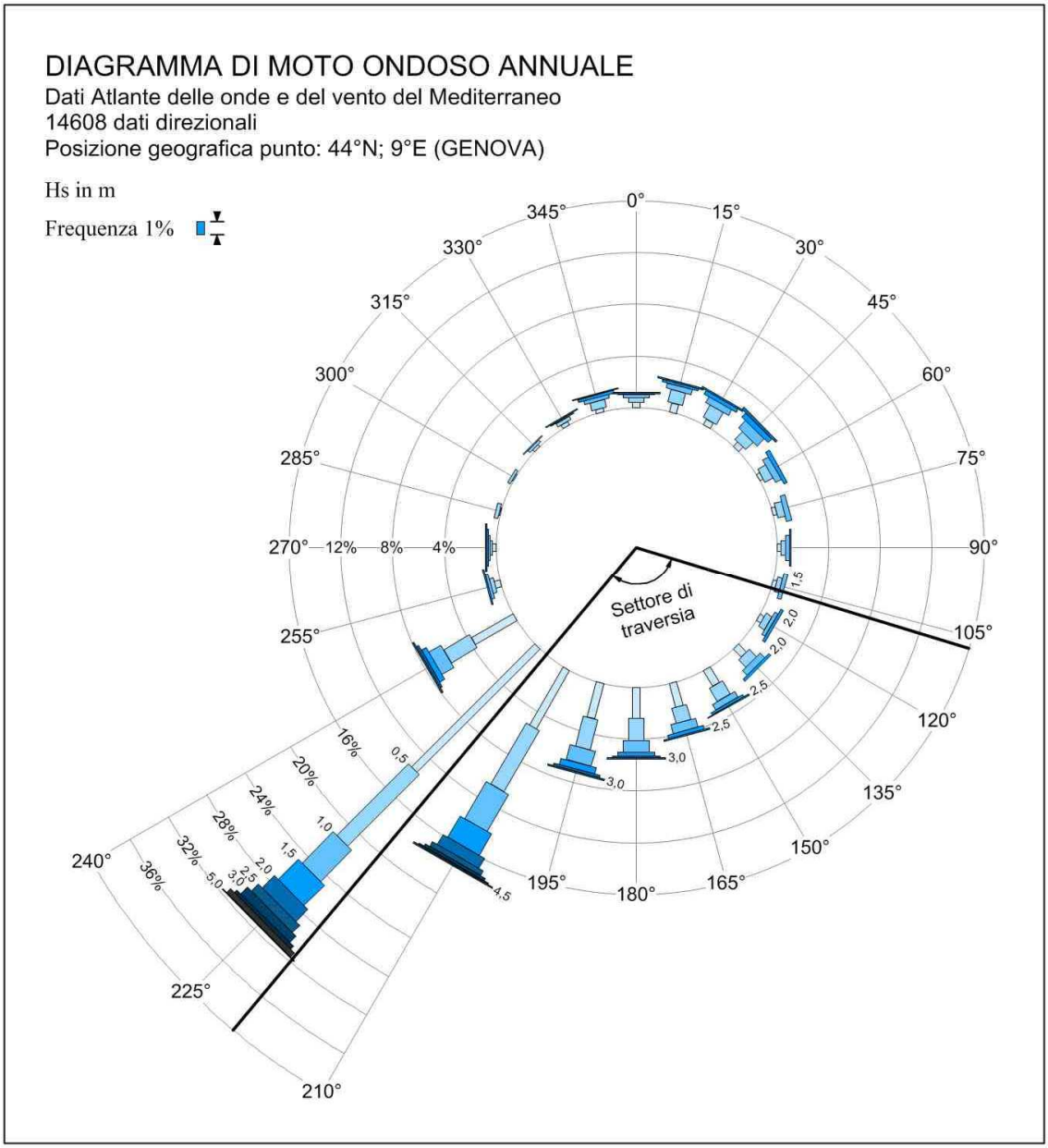


Figura 6 - Rosa del moto ondoso annuale. Dati Atlante delle onde e del vento del Mediterraneo

th_wave-hs(m)	0-0.5	0.5-1	1-1.5	1.5-2	2-2.5	2.5-3	3-3.5	3.5-4	4-5	5-6	6-7.5	7.5-9	9-10	Total
0	4	4	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	12
15	7	10	4	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	24
30	5	11	5	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	25
45	5	8	8	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	27
60	3	7	5	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18
75	3	6	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13
90	3	4	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11
105	3	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
120	4	5	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14
135	9	8	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24
150	14	12	5	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	34
165	19	12	7	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	42
180	24	17	9	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	55
195	28	24	12	5	2	1	0	0	0	0	0	0	0	72
210	52	54	33	19	9	4	2	1	1	0	0	0	0	175
225	134	78	34	22	13	8	7	3	4	1	0	0	0	304
240	37	23	11	4	2	1	0	0	0	0	0	0	0	78
255	5	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11
270	3	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	8
285	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
300	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
315	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
330	3	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
345	3	6	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	15
Total	372	308	161	81	36	15	9	4	5	1	0	0	0	992

Tabella 2 - Atlante delle onde e del vento del Mediterraneo (WEAO), punto 44°N, 9° E (Genova): 14608 dati direzionali - Frequenze

Bivariate frequency table of hs and th_wave
(44N, 9E)
Months: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12
Totalnumber of observations: 14608

4.2. - Dati boa di La Spezia (RON)

La boa direzionale di La Spezia, appartenente alla Rete Ondametrica Nazionale (RON) è posizionata nel punto di coordinate 43.928º N di latitudine e 9.827 E di Longitudine. Il periodo di registrazione si estende dal 1º Luglio 1989 al 31 Dicembre 2001, per un periodo complessivo di 12 anni e mezzo.

La distribuzione per settori del moto ondoso annuale a partire dai dati della boa di La Spezia è rappresentata in **Figura 7**.

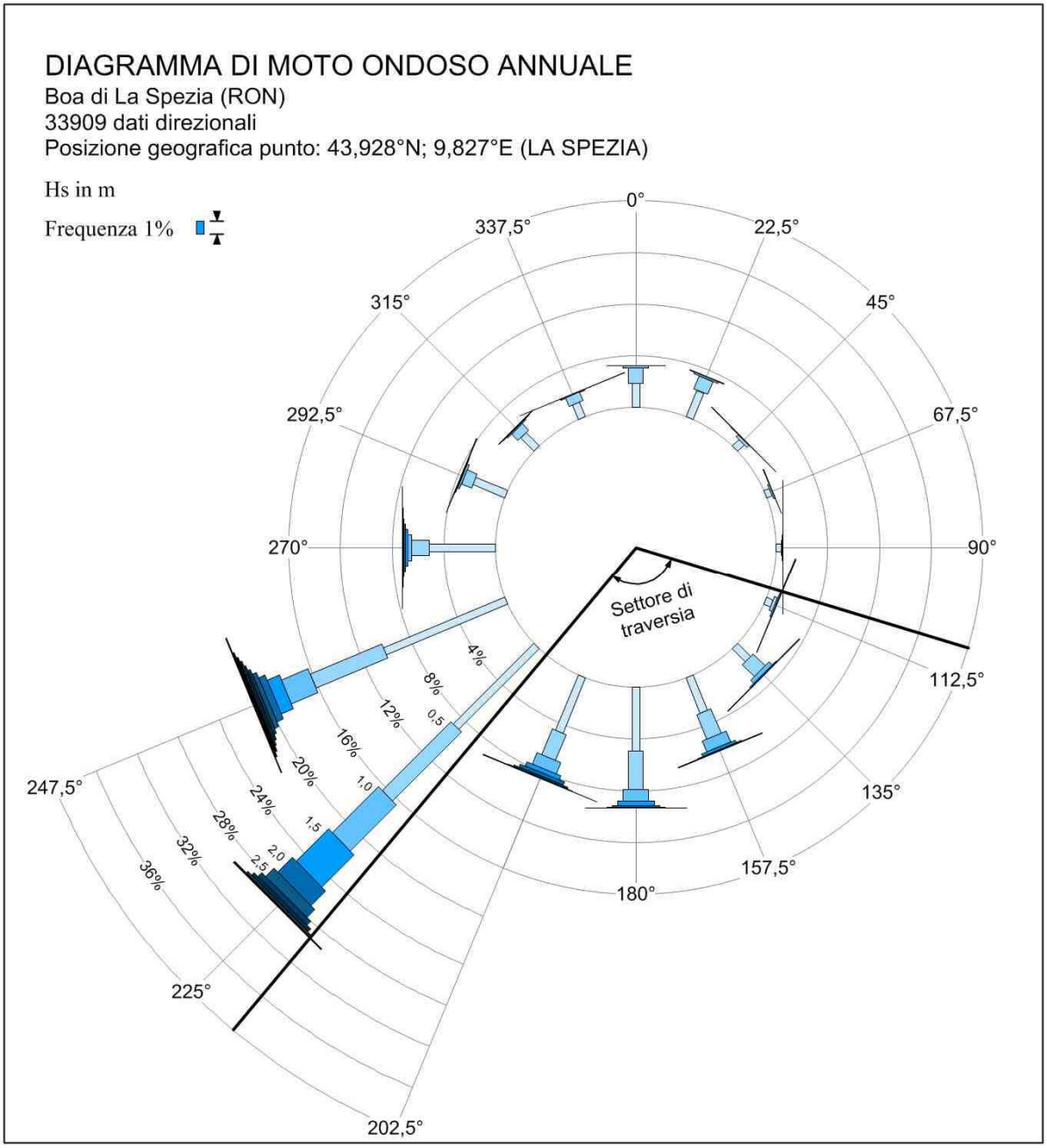


Figura 7 - Rosa del moto ondoso annuale. Dati boa direzionale di La Spezia. Periodo dal 1º Luglio 1989 al 31 Dicembre 2001.

4.3. - Dati boa Côte d'Azur e nodo modello CEP (METEO FRANCE)

L'insieme dei dati forniti dalla Meteo France è costituito da dati strumentali registrati dalla Boa "Cote d'Azur" ubicata al largo di Sanremo e dai dati di tipo hindcast del modello CEP (Meteo France).

La boa scalare della Cote d'Azur è situata in un punto di coordinate 43.4º N di latitudine e 7.8º E di longitudine, con profondità 2300m (**Figura 4**).
Il punto utilizzato dal modello CEP è posto accanto alla boa della Cote d'Azur, con coordinate geografiche 43,5º N di latitudine e 8º E di longitudine, e quindi in acque profonde. Il periodo di registrazione considerato in questo studio è compreso tra il 17 Marzo 1999 al 31 Marzo 2004, corrispondente ad un intervallo di tempo pari a 5 anni.
I dati hindcast (cioè di tipo predittivo a posteriori) sono stati ottenuti dal Dipartimento di Clima Meteomarino della Meteo France mediante un modello di predizione del moto ondoso (CEP).
I dati strumentali dalla boa hanno una maggior precisione sulle misure ottenute con altri metodi, ma la registrazione non è continua, a causa di vuoti (o intervalli di tempo senza registrazione) di notevole importanza, ed inoltre non contengono informazione sulla direzione di provenienza delle onde.
I dati del modello CEP, invece, presentano un insieme temporalmente continuo di valori, malgrado la affidabilità degli stessi dipenda dalla bontà del modello predittivo e, a sua volta, quest'ultimo dipenda dall'affidabilità dei dati di vento disponibili.

4.3.1.- Composizione dei dati della boa Côte d'Azur con i dati CEP

Dal momento che i dati della boa non contengono informazioni sulla direzione del moto ondoso e che i dati CEP sono poco precisi sui valori di altezza d'onda e periodo, esistono diverse metodologie che consentono di ottenere un campione di dati in acque profonde con informazione direzionale.

Tra le possibili metodologie, la maggior parte basate sulla ricerca di una correlazione tra i valori di altezza d'onda sperimentali con valori del moto ondoso che devono essere corretti (fonti di dati direzionali), si evidenziano le seguenti:

- Informazioni raccolte nella letteratura scientifica (es.: Cartwright, 1964; Jardin, 1979; Nordenstrom, 1984).
- Correlazione diretta (simultanea) tra le variabili.
- Confronto del regime medio scalare di ciascuna delle variabili.

Di questi tre metodi, il secondo ed il terzo sono soliti fornire risultati migliori. L'ultimo è il più comune, dal momento che per stabilire una correlazione diretta (simultanea) è necessario disporre di registri di dati temporalmente simultanei. Inoltre, per poter ottenere una correlazione con massima flessibilità è necessario che entrambe le fonti di dati si trovino spazialmente vicine, cosa non sempre possibile a causa del fatto che la rete di boe è piuttosto limitata.

In questo caso, poichè la boa scalare della Côte d'Azur ed il nodo CEP sono situati a poca distanza l'una dall'altro e le loro registrazioni sono simultanee in un dato intervallo di tempo, è stato possibile effettuare un'analisi dei valori di altezza d'onda "ora per ora" di entrambe le fonti di informazione.
Mediante la composizione dei dati di entrambe le fonti per intervalli di tempo simultanei, è stato ottenuto un insieme con dati della boa (Hs e Tp) ed informazioni direzionali ricavate dal nodo CEP. A partire da questo nuovo campione è stato quindi definito il regime di moto ondoso in acque profonde, come se si trattasse di una boa direzionale reale.

4.3.2.- Distribuzione settoriale del moto ondoso

La distribuzione settoriale del moto ondoso, in settori di 22.5º, è rappresentata graficamente nella corrispondente rosa del moto ondoso (**Figura 8**) costruita a partire dall'insieme dei dati. In Tabella 3 è riportato, invece, il numero di osservazioni classificate per settori di incidenza del moto ondoso e per valori di altezza d'onda significativa Hs.

Hs (m)	**0.0-0.5**	**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**	**%**	**TOTALE**
Settore													
N	23	14	12	10	4	2	1	0	0	0	0	1.02	**66**
NNE	31	43	42	13	6	1	1	0	0	0	0	2.13	**137**
NE	62	63	47	13	10	1	1	1	0	0	0	3.07	**198**
ENE	67	68	46	31	18	5	1	0	0	0	0	3.66	**236**
E	75	65	42	37	26	13	6	1	2	0	0	4.14	**267**
ESE	91	61	66	41	29	9	10	6	0	1	0	4.87	**314**
SE	126	62	84	40	20	4	0	1	0	1	0	5.24	**338**
SSE	168	101	71	36	21	5	1	0	0	0	0	6.25	**403**
S	263	146	82	42	24	14	2	2	1	0	0	8.94	**576**
SSW	317	189	144	79	62	29	12	5	4	0	1	13.06	**842**
SW	603	450	214	100	60	15	13	2	5	1	1	22.71	**1464**
WSW	419	354	311	146	99	20	7	3	1	0	0	21.10	**1360**
W	16	26	25	11	11	3	2	0	0	0	0	1.46	**94**
WNW	12	16	13	9	6	0	2	0	0	0	0	0.90	**58**
NW	12	14	10	10	2	0	0	0	0	0	0	0.74	**48**
NNW	16	14	9	3	1	1	1	0	0	0	0	0.70	**45**
%	35.70	26.16	18.90	9.63	6.19	1.89	0.93	0.33	0.20	0.05	0.03	100	
TOTALE	**2301**	**1686**	**1218**	**621**	**399**	**122**	**60**	**21**	**13**	**3**	**2**		**6446**

Tabella 3. Tabella della presentazione settoriale del moto ondoso (annuale). Composizione boa scalare della Cote d'Azur e nodo modello CEP.

Le frequenze di presentazione settoriale del moto ondoso in acque profonde, definite come la percentuale di presentazione dei dati par ciascuno dei settori, sono raccolte nella **Tabella 4**.

Settore	%
N	1.02
NNE	2.13
NE	3.07
ENE	3.66
E	4.14
ESE	4.87
SE	5.24
SSE	6.25

Settore	%
S	8.94
SSW	13.06
SW	22.71
WSW	21.10
W	1.46
WNW	0.90
NW	0.74
NNW	0.70

Tabella 4. Frequenze di presentazione settoriale del moto ondoso (in %).

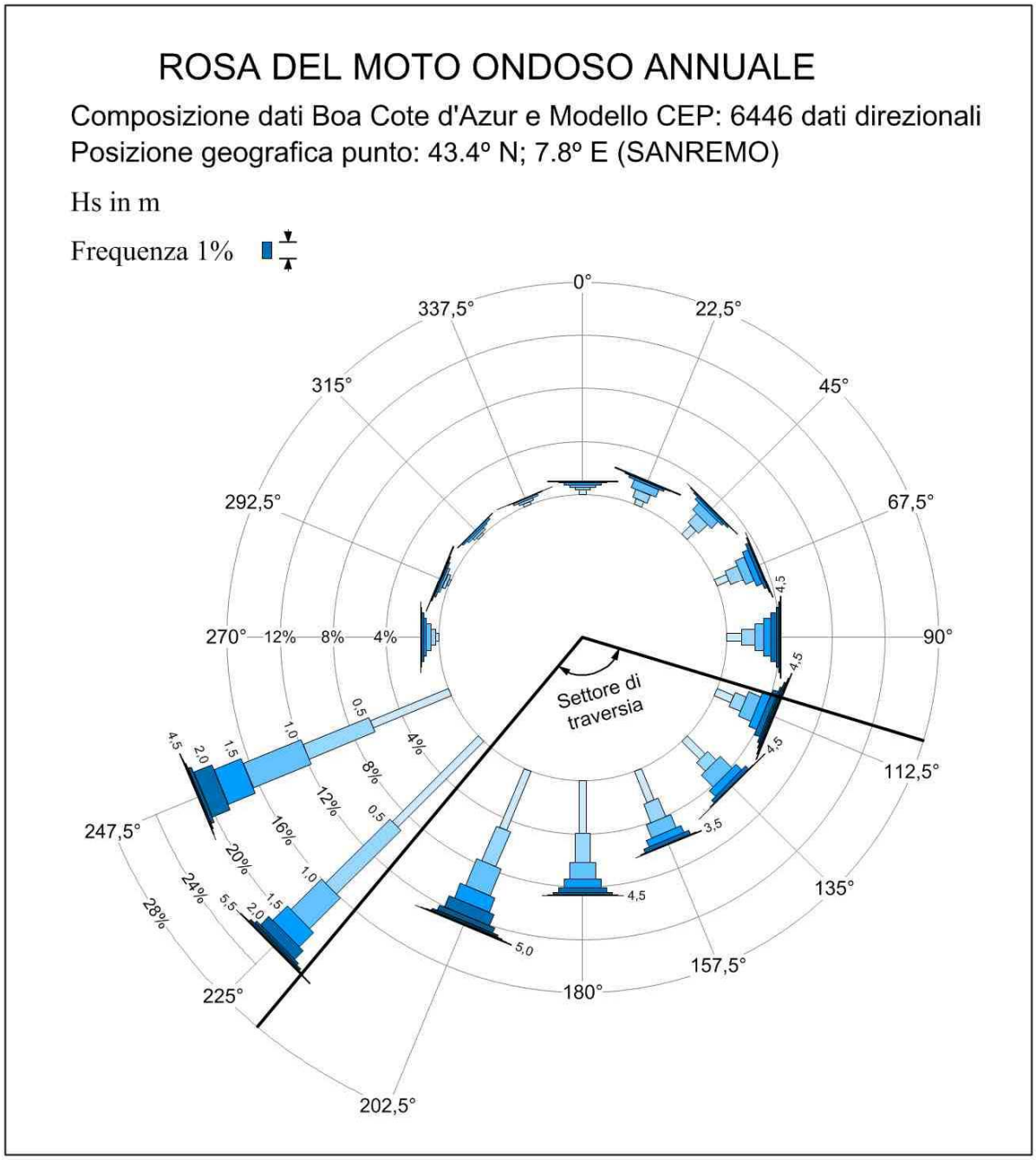


Figura 8 - Rosa del moto ondoso annuale. Composizione boa scalare della Cote d'Azur e nodo modello CEP. Periodo dal 17 Marzo 1999 al 31 Marzo 2004.

4.4. - Dati Hindcast (Oceanweather)

I dati di moto ondoso forniti dalla ditta Oceanweather Inc. (U.S.A.) sono ottenuti mediante un metodo di predizione a posteriori di tipo Hindcast. Il nodo utilizzato, corrispondente al G2040753, è situato nel punto di coordinate 43.75º N di latitudine e 8.75º E di longitudine, che rappresenta il nodo centrale della griglia di analisi dei dati che si estende da punto di coordinate 43.44º N, 8.12º E al punto di coordinate 44.06º N, 9.37º E. Il periodo della serie di dati è compreso tra Gennaio del 1990 e Dicembre del 1999, coprendo un arco di tempo complessivo di 10 anni.

La distribuzione per settori del moto ondoso annuale a partire dai dati Hindcast (OCEANWEATHER INC.) è rappresentata in **Figura 9**.

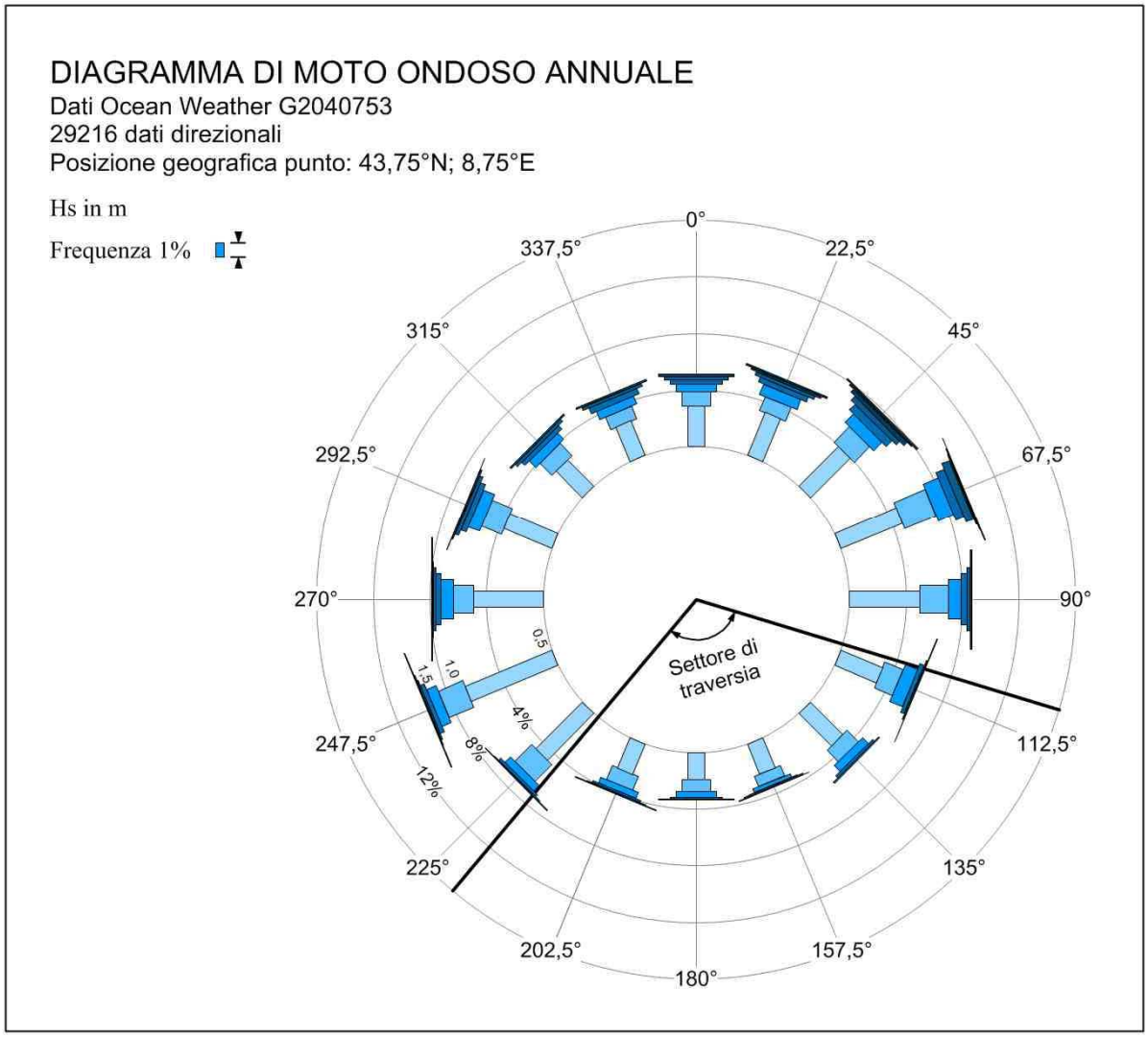


Figura 9 - Rosa del moto ondoso annuale. Dati Hindcast (Ocean Weather), nodo G2040753. Periodo da Gennaio del 1990 a Dicembre del 1999.

4.5. - Dati KNMI

I dati di clima meteomarino forniti dalla KNMI (Koninklijk Nederlands Meteorogisch Institut) sono dati di tipo visuale raccolti dalle navi in transito nel Mar Mediterraneo per un periodo di 30 anni, dal 1961 al 1980. L'area di raccolta dati considerata per questo studio si estende dal punto di coordinate 43,0º N – 7.0º E al punto di coordinate 43.9º N – 9.9º E.

La distribuzione per settori (limitatamente ai settori di interesse per l'area di studio, dall'E al WSW) del moto ondoso annuale a partire dai dati KNMI è rappresentata in **Figura 10**.

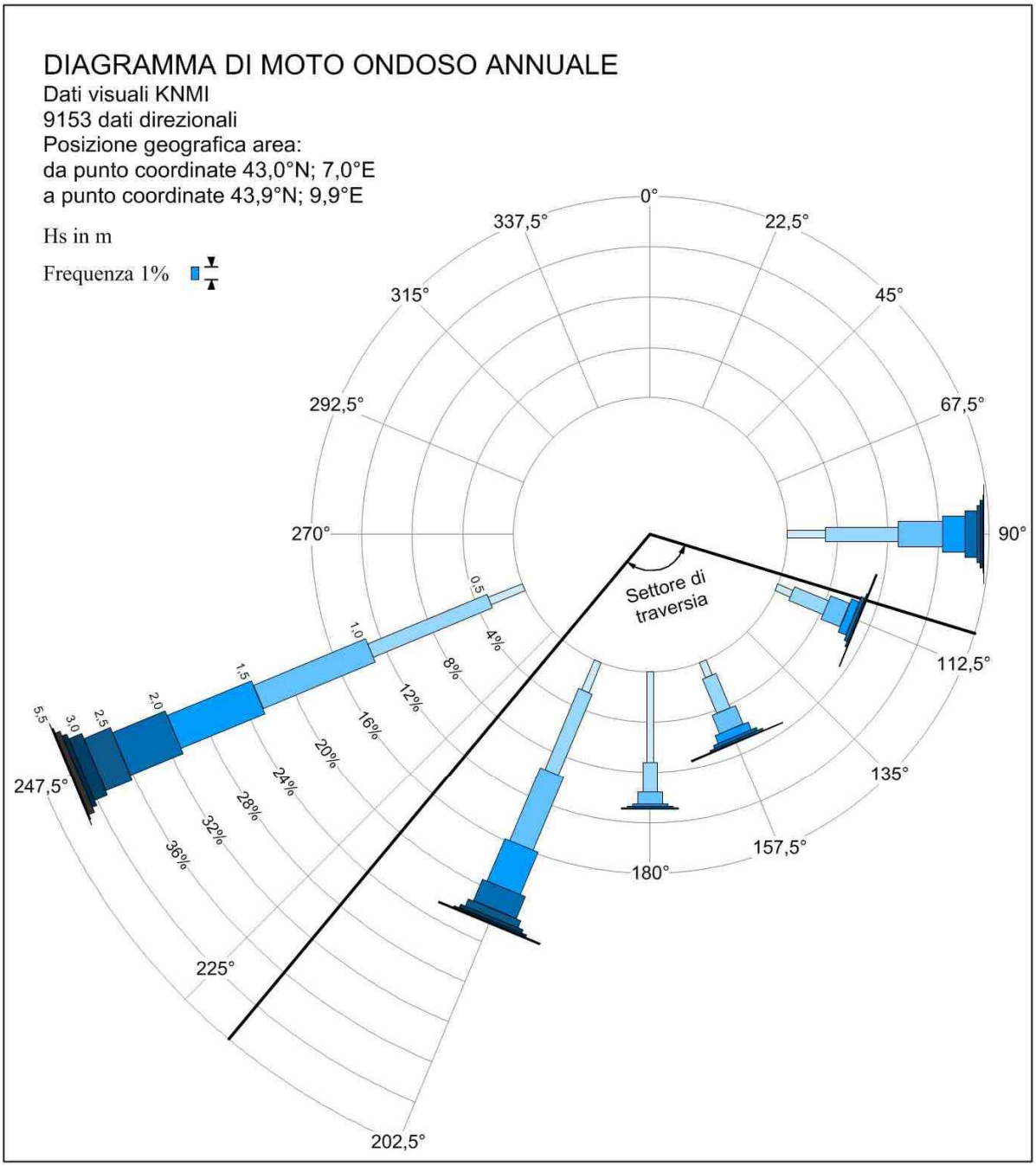


Figura 10 - Rosa del moto ondoso annuale. Dati visuali KNMI. Periodo dal 1961 al 1980.

4.6. - Boa di Capo Mele

La boa di Capo Mele consiste in una boa operativa ed una seconda boa di back-up, ospitata nella base logistica presso il porto di Andora, che sostituisce la boa principale in caso di manutenzione.

E' installata dinanzi a Capo Mele, a 4 km dalla costa, alle coordinate 43° 57' 27,64" N, 8° 10' 11,78" E, in fondale di 80 metri.

La stazione metereologica di Capo Mele è la stazione metereologica di riferimento per il servizio meteorologico dell'aeronautica Militare e per l'Organizzazione Mondiale della Meteorologia, relativa all'omonimo promontorio, che assume dalla boa i dati del mare.

I dati della boa vengono inviati tramite la stazione di ricezione dell'aeronautica di Capo Mele, al Servizio Meteorologico dell'aeronautica Militare, all'ARPAL di Genova ed al Servizio Mareografico dell'ISPRA.
La Boa è stata installata e resa funzionante dal 23 Febbraio 2012.
I dati registrati si possono visualizzare sul sito ARPAL – Rete Ondametrica Ligure (R.O.L.) – Archivio storico, dal 23 Febbraio 2012 ad oggi, che riporta le registrazioni effettuate ogni mezz'ora, fra cui altezza d'onda significativa, direzione media spettrale, altezza massima, periodo, periodo di picco.
Peraltro la serie di dati presenta vuoti per periodi piuttosto lunghi e non può essere utilizzata per elaborazioni statistiche utili al presente studio.

5. - RAFFRONTO FRA LE ROSE DEL MOTO ONDOSO ANNUALE

Alla figura 11 sono riportate per un raffronto le rose delle onde elaborate al capitolo precedente.
Il raffronto consente di individuare, nell'ambito del settore di traversia, una buona corrispondenza fra la rosa relativa a Genova dello "Atlante delle onde del Mediterraneo" (WEAO) e la rosa della boa Meteo France "Corse Cote d'Azur" ubicata al largo di Sanremo, salvo una leggera rotazione delle provenienze principali di una rosa rispetto all'altra, spiegabile osservando la rotazione dei venti di provenienza SW (Libeccio) nelle cartine 4 e 5 delle "situazioni tipiche" a pagina 4.
Pertanto queste due rose, già esposte più particolareggiatamente alla figura 6 di pagina 15 e figura 8 di pagina 20, sono state ulteriormente ingrandite per una più agevole consultazione alla Tavola grafica N°2 della parte prima conoscitiva, dove è messa in evidenza l'altezza dell'onda significativa massima nel settore di traversia di metri 5,00÷5,50.

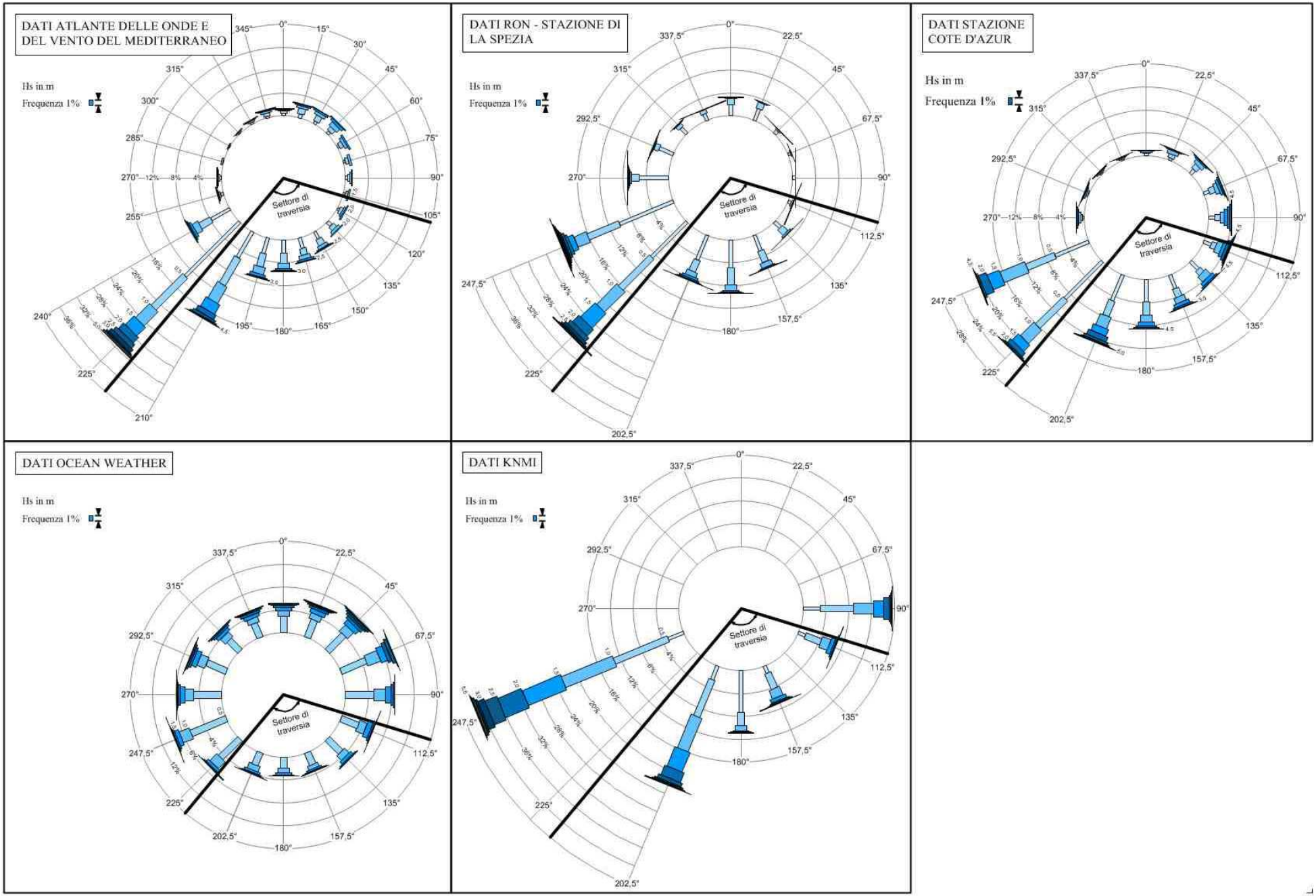


Figura 11 – Raffronto fra le rose del moto ondoso annuale

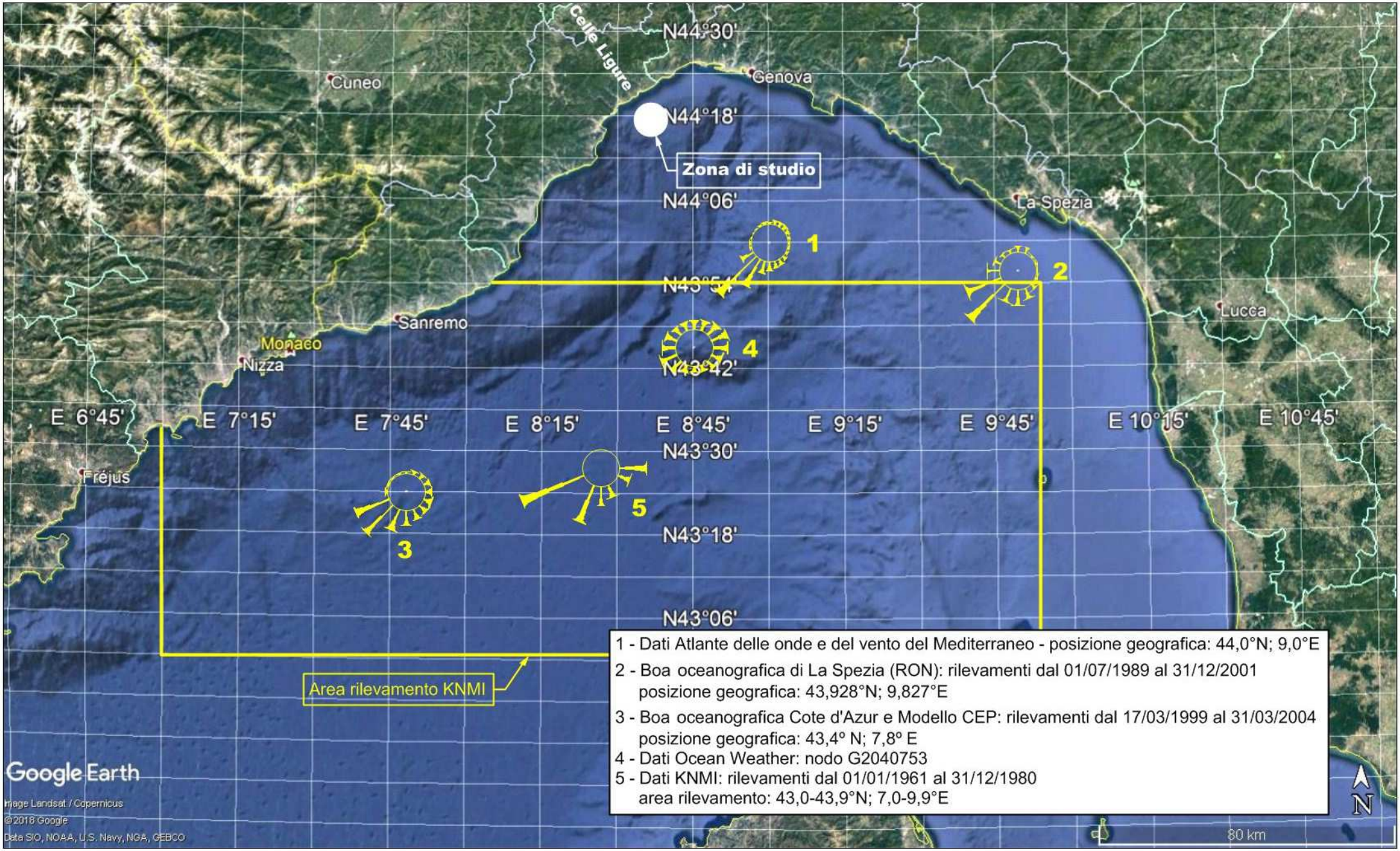


Figura 12: Ubicazione geografica dell'area di studio e fonti di dati analizzate