



Comune di
La Maddalena
Provincia di
Olbia-Tempio

approvazione

**AGGIORNAMENTO PROGETTO
DEFINITIVO DPC**

*COMPLETAMENTO OPERE DI BONIFICA
SPECCHIO ACQUEO EX ARSENALE
MILITARE DI LA MADDALENA
AGGIORNAMENTO PROGETTO DEFINITIVO*

Elab. n.

R6

titolo

STUDIO METEOMARINO

scala

data


Maggio 2016

committente

Comune di La Maddalena

responsabile unico procedimento

Ing. Giovanni Nicola Cossu

progetto n.	data Maggio 2016	PROF. ING. PAOLO DE GIROLAMO 
file		
approvato	data	
revisione	data	

LA MADDALENA - STUDIO METEOMARINO

INDICE

1	PREMESSA.....	3
2	OBIETTIVI E METODOLOGIA DI LAVORO	4
2.1	MAREOGRAFIA.....	4
2.2	ANEMOMETRIA.....	5
2.3	ONDAMETRIA	6
3	MAREOGRAFIA.....	8
3.1	PORTO TORRES.....	9
3.1.1	<i>La stazione mareografica di Porto Torres.....</i>	<i>9</i>
3.1.2	<i>Marea astronomica e livelli medi a Porto Torres</i>	<i>10</i>
3.2	AJACCIO.....	13
3.2.1	<i>La stazione mareografica di Ajaccio.....</i>	<i>13</i>
3.2.2	<i>Marea astronomica e livelli medi ad Ajaccio.....</i>	<i>14</i>
4	ANEMOMETRIA.....	23
4.1	DATI ANALIZZATI.....	23
4.2	CLASSIFICAZIONE DEGLI EVENTI ANEMOMETRICI IN BASE ALLA VELOCITÀ E ALLA DIREZIONE DEL VENTO	24
4.2.1	<i>Clima anemometrico</i>	<i>25</i>
5	ONDAMETRIA.....	34
5.1	DATI ANALIZZATI.....	34
5.2	CARATTERIZZAZIONE DEL MOTO ONDOSI AL LARGO DI CALA CAMICIA.....	35
5.2.1	<i>Definizione dei fetchs geografici, efficaci e della correlazione tra direzioni del vento e dello stato di mare generato.....</i>	<i>35</i>
5.2.2	<i>Analisi della serie ricostruita</i>	<i>36</i>
5.3	CARATTERIZZAZIONE DEL MOTO ONDOSI AL LARGO DI PUNTA CHIARA.....	45
5.3.1	<i>Definizione dei fetchs geografici, efficaci e della correlazione tra direzioni del vento e dello stato di mare generato.....</i>	<i>45</i>
5.3.2	<i>Analisi della serie ricostruita</i>	<i>47</i>

6	ANALISI ESTREMALE DELLE FORZANTI MARINE	56
6.1	INTRODUZIONE	56
6.2	ANALISI ESTREMALE DEI LIVELLI	58
7	APPENDICE 1 - PRESUPPOSTI TEORICI DEL METODO SMB	62
8	BIBLIOGRAFIA	66

1 Premessa

Con riferimento alla Determinazione n. 1501 del 05/12/2014, il Comune di La Maddalena ha conferito al Prof. Ing. Paolo De Girolamo l’incarico avente per oggetto:

“Completamento opere di bonifica specchio acqueo ex arsenale militare di La Maddalena, affidamento incarico revisione progetto definitivo aspetti idraulico-marittimi”

La presente relazione costituisce lo studio meteomarinario del progetto revisionato.

2 OBIETTIVI E METODOLOGIA DI LAVORO

L'obiettivo del presente lavoro è quello di analizzare e caratterizzare i dati meteomarini a supporto delle attività di progettazione.

In particolare sono stati presi in esame i seguenti parametri:

- variazioni del livello medio marino indotte dalle maree astronomiche e meteorologiche (mareografia);
- vento (anemometria);
- moto ondoso (ondametria).

2.1 Mareografia

La conoscenza della variazione del livello del mare in una data località risulta di fondamentale importanza per numerose applicazioni progettuali marittime anche in campo ambientale. Ad esempio è indispensabile per la definizione del livello medio marino locale, al quale occorrerebbe sempre fare riferimento per i rilievi sia delle profondità (rilievi batimetrici) sia delle quote terrestri. Si evidenzia che in topografia normalmente si fa riferimento a zeri convenzionali che possono differire anche notevolmente rispetto al valore locale del livello medio marino, grandezza variabile anche sensibilmente da luogo a luogo. La mancata od errata conoscenza del livello medio marino locale è spesso origine di grossolani errori progettuali.

Per quanto riguarda la mareografia, non si è riusciti a reperire, per il sito in esame, dati storici di misure dirette delle variazioni del livello medio marino, che risultino significative dal punto di vista statistico. Pertanto si è fatto riferimento alle stazioni mareografiche più vicine e in particolare a quelle di:

- Porto Torres, facente parte della Rete Mareografica Nazionale (RMN) gestita dall'ISPRA (serie storica di misure di livello compresa tra il 1 gennaio 2000 e il 30 novembre 2010);

- Ajaccio, gestita dal ‘Service Hydrographique et Océanographique de la Marine Militaire Francais’ (Istituto Idrografico e Oceanografico della Marina Militare Francese) (serie storica di misure di livello compresa tra luglio 2000 e dicembre del 2006);

ambedue localizzate a circa $90 \div 100$ km dall’area in esame.

Sulla base delle serie storiche disponibili per le due stazioni, è stata preventivamente eseguita l’analisi armonica dei segnali registrati, al fine di caratterizzare la componente astronomica della marea (componente deterministica). In analogia a tutte le località del Mediterraneo, la marea astronomica per le due località risulta del tipo mista-semidiurna. Inoltre l’analisi armonica ha consentito di definire i livelli caratteristici delle maree ed in particolare la quota del livello medio marino locale in relazione agli zeri idrografici assunti nelle due stazioni. Per ambedue le stazioni il livello medio marino locale presenta uno scostamento rispetto allo zero idrografico pari a + 0,14 m per Porto Torres e a + 0,43 m per Ajaccio.

Una ulteriore analisi ha riguardato i livelli medi mensili nelle due località. Questi mostrano una variazione stagionale significativa con un minimo in corrispondenza ai primi mesi invernali e un massimo in corrispondenza ai primi mesi autunnali. Tale variazione appare avere una chiara origine meteorologica (pressione atmosferica e vento).

Infine si sono analizzati i livelli residui di origine stocastica (marea meteorologica). L’analisi degli estremi eseguita sui segnali di livello, ha consentito di definire la legge di correlazione tra i livelli estremi e il relativo tempo di ritorno.

2.2 Anemometria

La conoscenza dell’esposizione anemometrica di un paraggio è anch’essa importante per la maggior parte delle applicazioni d’ingegneria marittima e ambientale. Nel presente caso il vento è sicuramente la principale causa della circolazione idrodinamica del paraggio, oltre ad essere la causa generatrice del moto ondoso.

Anche in questo caso non si sono reperite misure dirette, significative dal punto di vista statistico, eseguite in prossimità del sito in esame. Pertanto si è fatto riferimento alla serie

storica registrata dalla stazione anemometrica dell'Aeronautica Militare Italiana A.M. 506 – Guardia Vecchia - localizzata a La Maddalena ad una quota di +158 m sul l.m.m.. La serie storica trioraria disponibile si estende per 22 anni complessivi, dal 1 gennaio del 1951 al 31 dicembre del 1973. Le analisi condotte hanno consentito di caratterizzare il clima anemometrico medio annuale e stagionale per il sito in esame. Le analisi mostrano chiaramente la bimodalità del regime anemometrico, con asse posto lungo la direzione ovest-est e la netta prevalenza per intensità e frequenza dei venti occidentali. Tale comportamento è come noto dovuto alla presenza dei rilievi montuosi della Corsica e della Sardegna che incanalano i venti occidentali nelle “Bocche di Bonifacio”, determinandone spesso un rilevante aumento di velocità.

2.3 Ondametria

Nel caso in questione la conoscenza del clima ondometrico locale risulta importante poichè il moto ondoso è la principale causa ambientale naturale in grado di determinare la messa in sospensione dei sedimenti. Inoltre il moto ondoso può costituire un fattore limitante per le operazioni di dragaggio.

Sia per il sito dell'area marina oggetto della bonifica (zona ex Arsenale) sia per quello di Punta Chiara, non esistono misure dirette di moto ondoso. Pertanto si è provveduto a ricostruire il clima ondometrico utilizzando un metodo di ricostruzione (“hindcasting”) partendo dalla serie storica anemometrica dell'Aeronautica Militare disponibile per la stazione di Guardia Vecchia (vedi anemometria).

Il metodo di ricostruzione implementato (SMB) ha consentito di ricostruire la serie storica ondometrica per ciascuna delle due località di interesse (zona ex Arsenale e Punta Chiara). Le due serie storiche ondometriche ricostruite coprono quindi un periodo di circa 22 anni, al pari di quello coperto dalle misure anemometriche. Nel ricostruire il moto ondoso si è tenuto conto dei “fetch efficaci” relativi a ciascuna località ottenuti in funzione dei corrispondenti “fetch geografici”. Le due serie storiche ottenute sono state utilizzate per definire i climi ondometrici medi annuali e stagionali relativi alle due località. Operando a favore di sicurezza, non si è tenuto conto della riduzione dell'intensità del vento che si

potrebbe verificare passando dalla quota in corrispondenza della quale sono state eseguite le misure anemometriche (+ 158 m sul l.m.m.) alla quota +10,0 m sul l.m.m., quota utilizzata per convenzione come dato di ingresso per l'applicazione del metodo SMB.

3 MAREOGRAFIA

In assenza di misure effettuate direttamente nel sito di interesse, allo scopo di caratterizzare le variazioni di livello forzate da cause astronomiche (marea meteorologica) o meteorologiche (marea meteorologica), si è fatto riferimento principalmente al mareografo della stazione della Rete Mareografica Nazionale (RMN) impiantato presso il Porto Torres. A termine di confronto, sono stati anche analizzati i dati disponibili misurati presso la stazione di Ajaccio, impiantata e gestita dal ‘Service Hydrographique et Océanographique de la Marine Militaire Francais’ (Istituto Idrografico e Oceanografico della Marina Militare Francese). Si osserva come entrambe le stazioni distino un centinaio di chilometri in linea d'aria dal sito di interesse (Fig. 2.1).

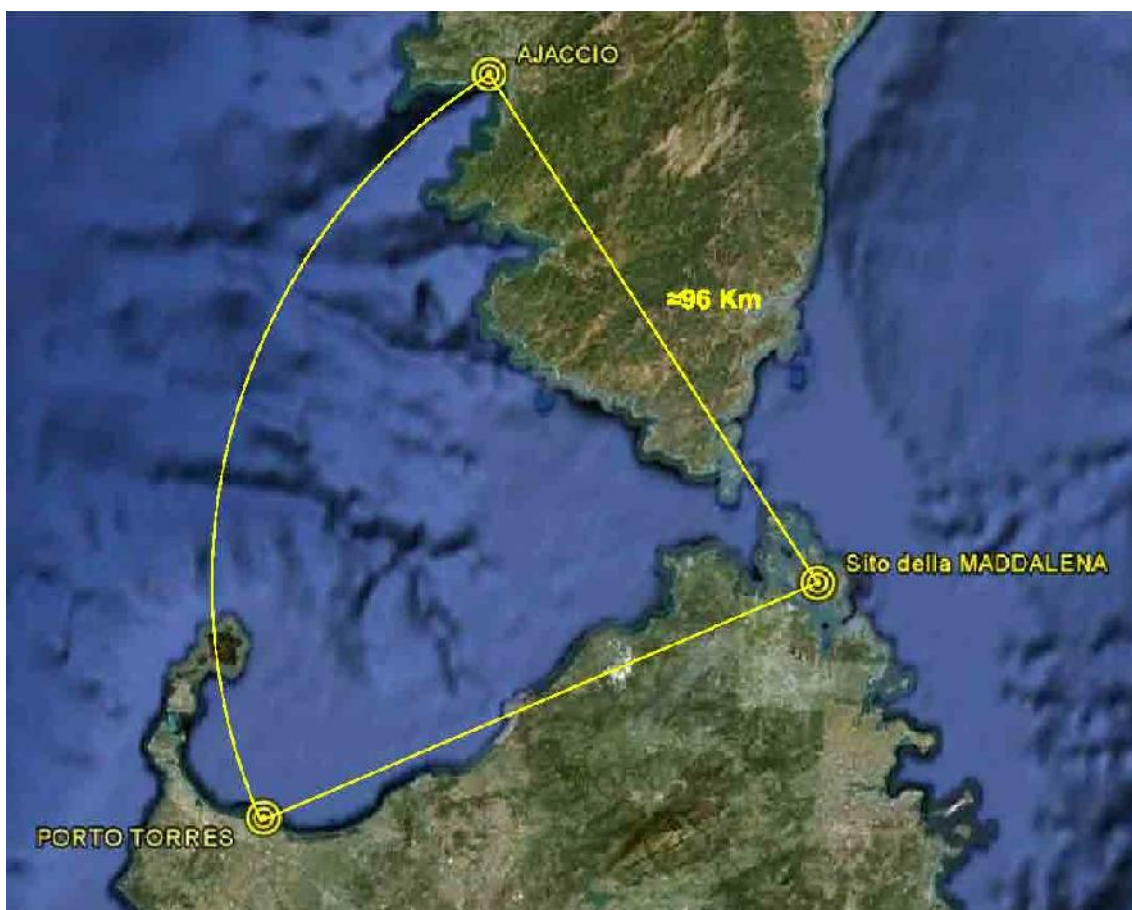


Fig. 2.1 - Localizzazione delle stazioni mareografiche di Porto Torres e Ajaccio relativamente al sito di interesse della Maddalena su foto satellitare ricavata da ‘Google Earth’.

3.1 Porto Torres

3.1.1 La stazione mareografica di Porto Torres

Porto Torres è sede di una stazione mareografica della RMN (Rete Mareografica Nazionale Italiana). La stazione (Fig. 2.2) è posta sul lato ridossato del molo di levante, in corrispondenza alle coordinate geografiche $40^{\circ}50'31''N$ e $08^{\circ}24'13''E$. In analogia a tutte le stazioni della RMN, la stazione di Porto Torres, impiantata nel 1986, è stata oggetto di lavori di ripristino e ammodernamento nell'estate del 1998.



Fig. 2.2 – Localizzazione della stazione mareografica di Porto Torres su foto satellitare ricavata da Google Earth’.

La stazione misura il livello idrometrico (tramite un sensore a ultrasuoni), la velocità e la direzione del vento, la pressione atmosferica, nonché le temperature dell'aria e dell'acqua (si veda al riguardo http://www.idromare.it/rmn{_}strumenti.php). Relativamente alle misure di livello, la serie storica oraria disponibile va dal giugno del 1998 al novembre del 2010. La tabella 2.1 mostra i rendimenti annuali del sensore di livello in tale periodo. Tenuto conto dell'assenza di dati relativamente all'intero anno 1999, per il presente studio si è considerata la serie storica che va dal 1 gennaio 2000 al 30 novembre 2010.

Anno	R (%)	Anno	R (%)	Anno	R (%)
		2001	98.41	2006	97.83
		2002	83.73	2007	94.34
1998	31.24	2003	98.30	2008	91.10
1999	0.00	2004	98.24	2009	91.82
2000	74.98	2005	95.48	2010	87.65

Tab. 2.1 – Rendimenti annuali del sensore di livello della stazione di Porto Torres

3.1.2 Marea astronomica e livelli medi a Porto Torres

L'analisi armonica dei dati disponibili mostra come la marea astronomica a Porto Torres sia, in analogia a tutte le località del Mediterraneo, del tipo mista-semidiurna (Fig. 2.10 – 2.12). Il livello medio marino, relativo all'intera serie considerata (2000-2010), risulta 0.14 m superiore allo zero idrometrico del mareografo (Fig. 2.3).

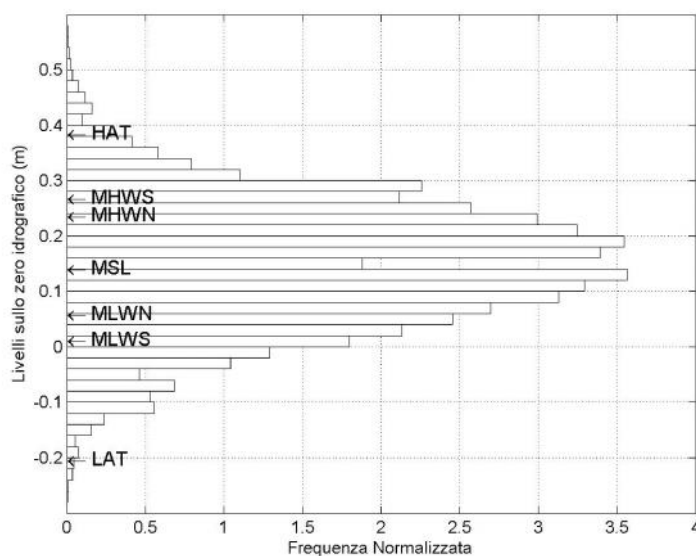


Fig. 2.3 – Istogramma normalizzato dei livelli osservati al mareografo di Porto Torres nel periodo 2000-2010 e livelli medi astronomici.

Rispetto a tale riferimento, ovvero allo zero idrometrico, il livello di massima alta marea astronomica risulta pari a 0.39 m mentre quello di minima bassa marea astronomica risulta pari a -0.20 m (Tab. 2.2). La massima escursione dei livelli tra alta e bassa mare, ovvero la massima altezza di marea astronomica, appare mediamente di circa 0.25 m.

HAT - Highest Astronomical Tide	(m):	+ 0.39	(Massima Alta Marea Astronomica)
MHWS - Mean High Water Springs	(m):	+ 0.27	(Altezza Media delle Alte Maree Astronomiche Sigiziali)
MHWN - Mean High Water Neaps	(m):	+ 0.24	(Altezza Media delle Alte Maree Astronomiche in Quadratura)
MSL - Mean Sea Level	(m):	+ 0.14	Livello Medio Marino
MLWN - Mean Low Water Neaps	(m):	+ 0.06	(Altezza Media delle Basse Maree Astronomiche in Quadratura)
MLWS - Mean Low Water Springs	(m):	+ 0.02	(Altezza Media delle Basse Maree Astronomiche Sigiziali)
Ordnance datum	(m):	0.00	(Zero Idrometrico del mareografo)
LAT - Lowest Astronomical Tide	(m):	- 0.20	(Massima Bassa Marea Astronomica)

Tab. 2.2 – Livelli medi astronomici al mareografo di Porto Torres (2000-2010) riferiti allo zero idrometrico.

Il ritmico innalzamento e abbassamento del livello marino indotto da cause astronomiche appare disturbato da cause meteorologiche, in particolare dalle variazioni bariche. Il massimo e il minimo livello misurato dal mareografo nell'ambito della serie disponibile risultano rispettivamente pari a +0.66 m e a -0.33 m sullo zero idrometrico (ovvero +0.52 e -0.47 m sul l.m.m.). Assumendo valida la legge del barometro inverso (per la quale a una variazione ± 1 mmBar rispetto alla pressione media atmosferica, posta pari a 1013.25 mmBar, può farsi corrispondere una variazione di livello pari a ∓ 0.01 m), è possibile verificare come le differenze tra il mareogramma osservato e il mareogramma previsto (marea astronomica) siano essenzialmente legate a variazioni di pressione atmosferica. Il mareogramma residuale segue infatti dappresso la variazione dell'inverso barico (Fig. 2.10 - 2.12).

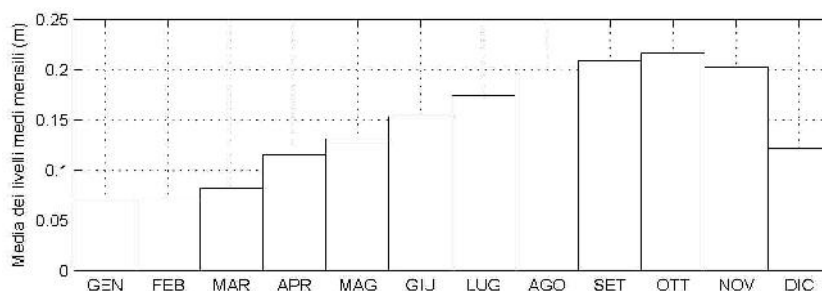


Fig. 2.4– Variazione annuale della media dei livelli medi mensili sullo zero idrometrico a Porto Torres (2000-2010).

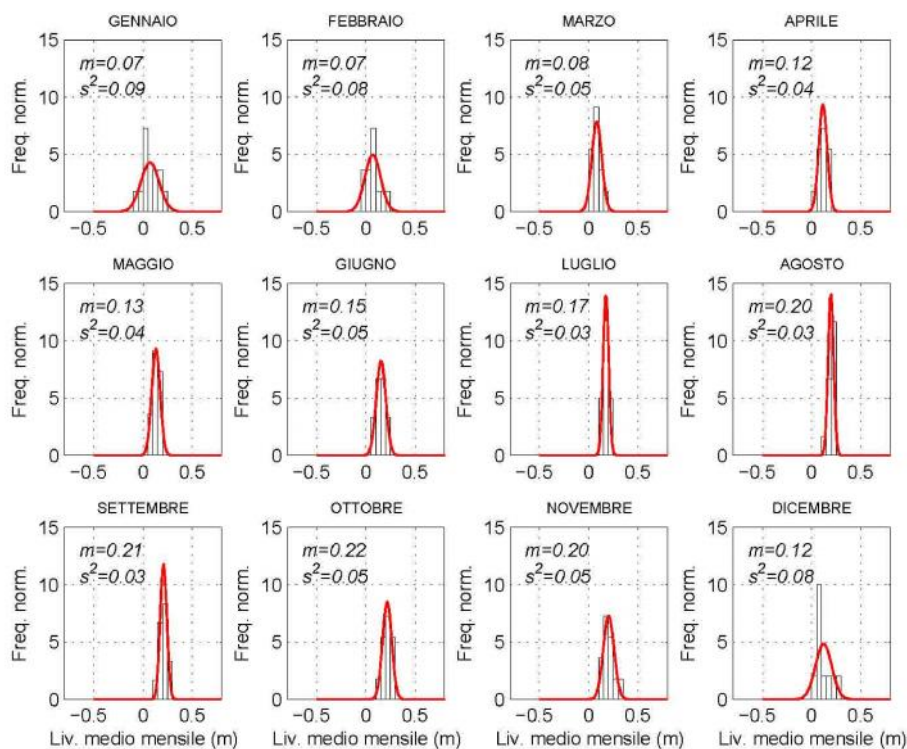


Fig. 2.5 – Istogramma normalizzato e distribuzione normale (—) dei livelli medi mensili sullo zero idrometrico a Porto Torres nel periodo (2000-2010). m: media campionaria; s²: varianza campionaria.

I livelli medi mensili mostrano una variazione stagionale (massima escursione di circa 0.20 m) con un minimo in corrispondenza ai primi mesi invernali e un massimo in corrispondenza ai primi mesi autunnali (Fig. 2.4 e 2.5). Tale variazione appare avere una chiara origine meteorologica (pressione atmosferica e vento) in quanto tende a seguire la variazione dei valori medi dell'inverso barico, ovvero della pressione atmosferica (Fig. 2.6). Da quanto precede sembra plausibile correlare l'incremento del livello medio annuale osservato negli anni 2009 e 2010 all'aumento delle condizioni di bassa pressione atmosferica mediamente osservato in tali anni.

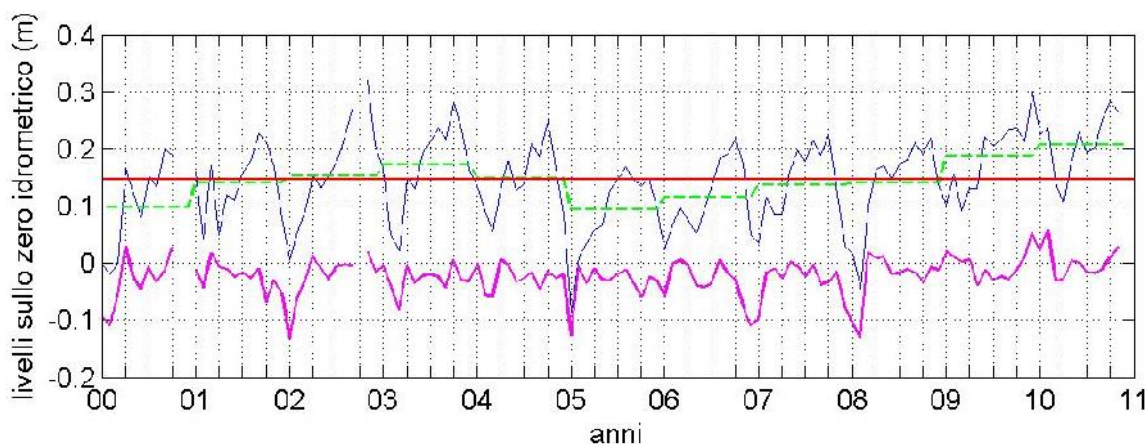


Fig. 2.6 – Variazione dei livelli sullo zero idrometrico a Porto Torres (2000-2010).
 Livello medio pluriennale (—), Livelli medi annuali (- - -)
 Livelli medi mensili (—), Inverso barico medio mensile (—).

3.2 Ajaccio

3.2.1 La stazione mareografica di Ajaccio

Il porto di Ajaccio è sede di una stazione mareografica impiantata nel 2000 e gestita dal Servizio Idrografico e Mareografico della Marina Militare Francese (Service Hydrographique et Océanographique de la Marine Militaire Francais). Presso la stazione (Fig.2.7), localizzata in corrispondenza alle coordinate geografiche 41°55'22.07"N e 08°45'46.26"E, vengono effettuate le consuete misure di livello idrometrico (tramite un sensore a ultrasuoni) e di parametri meteorologici quali la velocità e la direzione del vento, la pressione atmosferica (si veda al riguardo <http://www.sonel.org/>).

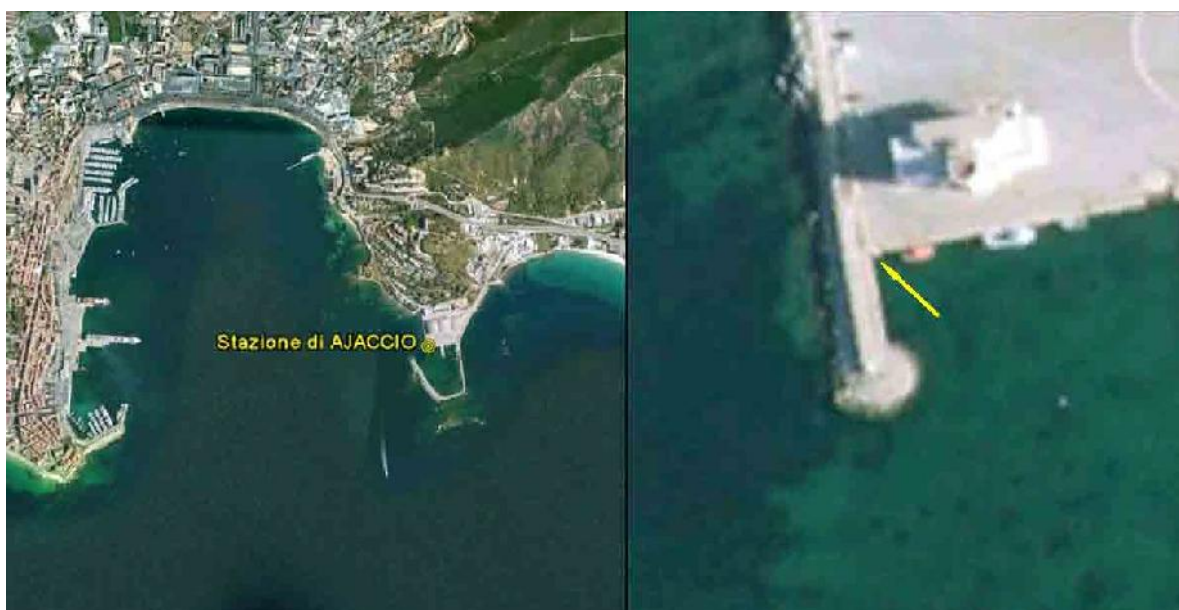


Fig. 2.7 – Localizzazione della stazione mareografica di Ajaccio su foto satellitare ricavata da Google Earth'.

Relativamente alle misure di livello, la serie storica oraria disponibile è stata ottenuta grazie al sito dell'ESEAS (European Sea-Level Service - <http://www.e seas.org/>) e si estende dal luglio del 2000 al gennaio del 2007. La tabella \ref{Tab:REND_ST_AJACCIO} mostra i rendimenti annuali del sensore di livello in tale periodo. Tenuto conto dell'assenza di dati relativamente alla gran parte dell'anno 2007, per il presente studio si è considerata la serie storica che va dal luglio 2000 al 31 dicembre 2006.

Anno	R (%)
2000	49.31
2001	94.50
2002	100.00
2003	91.67
2004	91.91
2005	99.99
2006	94.42

Tab. 2.3 – Rendimenti annuali del sensore di livello della stazione di Ajaccio

3.2.2 Marea astronomica e livelli medi ad Ajaccio

L'analisi armonica dei dati disponibili mostra come la marea astronomica ad Ajaccio sia, in analogia a tutte le località del Mediterraneo, del tipo mista-semidiurna (Fig. 2.13 – 2.15).

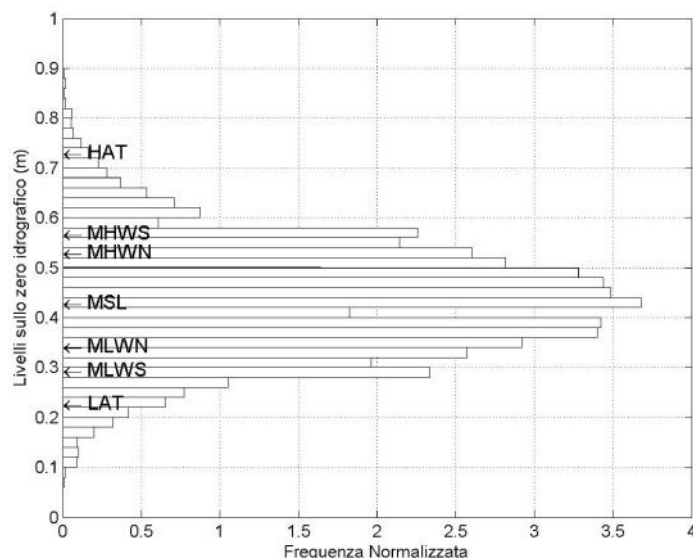


Fig. 2.8 – Istogramma normalizzato dei livelli osservati al mareografo di Ajaccio nel periodo 2000-2006 e livelli medi astronomici.

Il livello medio marino, relativo all'intera serie considerata (2000-2006), risulta 0.43 m superiore allo zero idrometrico del mareografo (Fig. 2.8). Rispetto a tale riferimento, il livello di massima alta marea astronomica risulta pari a + 0.73 m mentre quello di minima bassa marea astronomica risulta pari a + 0.23 m (Tab. 2.4). La massima escursione dei livelli tra alta e bassa mare, ovvero la massima altezza di marea astronomica, appare mediamente di circa 0.25 m.

HAT - Highest Astronomical Tide	(m): + 0.73	(Massima Alta Marea Astronomica)
MHWS - Mean High Water Springs	(m): + 0.57	(Altezza Media delle Alte Maree Astronomiche Sigiziali)
MHWN - Mean High Water Neaps	(m): + 0.53	(Altezza Media delle Alte Maree Astronomiche in Quadratura)
MSL - Mean Sea Level	(m): + 0.43	Livello Medio Marino
MLWN - Mean Low Water Neaps	(m): + 0.35	(Altezza Media delle Basse Maree Astronomiche in Quadratura)
MLWS - Mean Low Water Springs	(m): + 0.30	(Altezza Media delle Basse Maree Astronomiche Sigiziali)
LAT - Lowest Astronomical Tide	(m): + 0.23	(Massima Bassa Marea Astronomica)
Ordnance datum	(m): 0.00	(Zero Idrometrico del mareografo)

Tab. 2.4 – Livelli medi astronomici misurati al mareografo di Ajaccio (2000-2010) riferiti allo zero idrometrico.

Il ritmico innalzamento e abbassamento del livello marino indotto da cause astronomiche appare disturbato da cause meteorologiche, in particolare dalle variazioni bariche. Il massimo e il minimo livello misurato dal mareografo nell'ambito della serie disponibile

risultano rispettivamente pari a +0.94 m e a -0.02 m sullo zero idrometrico. Si osserva come, relativamente al l.m.m., i valori massimo e minimo misurati dal mareografo (+0.51 e -0.45 m sul l.m.m.) tendano a coincidere con gli analoghi livelli misurati a Porto Torres.

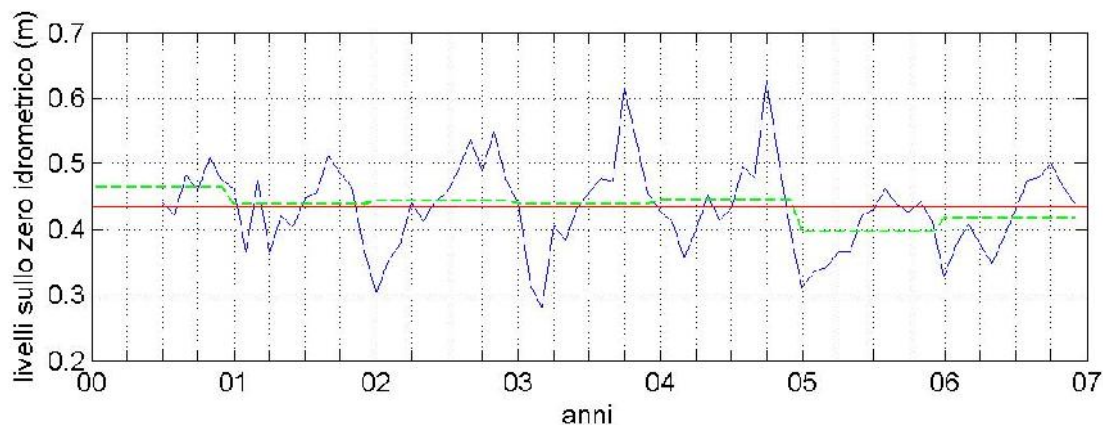


Fig. 2.9 – Variazione dei livelli sullo zero idrometrico ad Ajaccio (2000-2006).
 Livello medio pluriennale (—), Livelli medi annuali (---), Livelli medi mensili (—).

Sempre in analogia con il caso di Porto Torres, i livelli medi mensili mostrano una variazione stagionale (massima escursione di circa 0.20 m) con un minimo in corrispondenza ai primi mesi invernali e un massimo in corrispondenza ai primi mesi autunnali (Fig. 2.9).

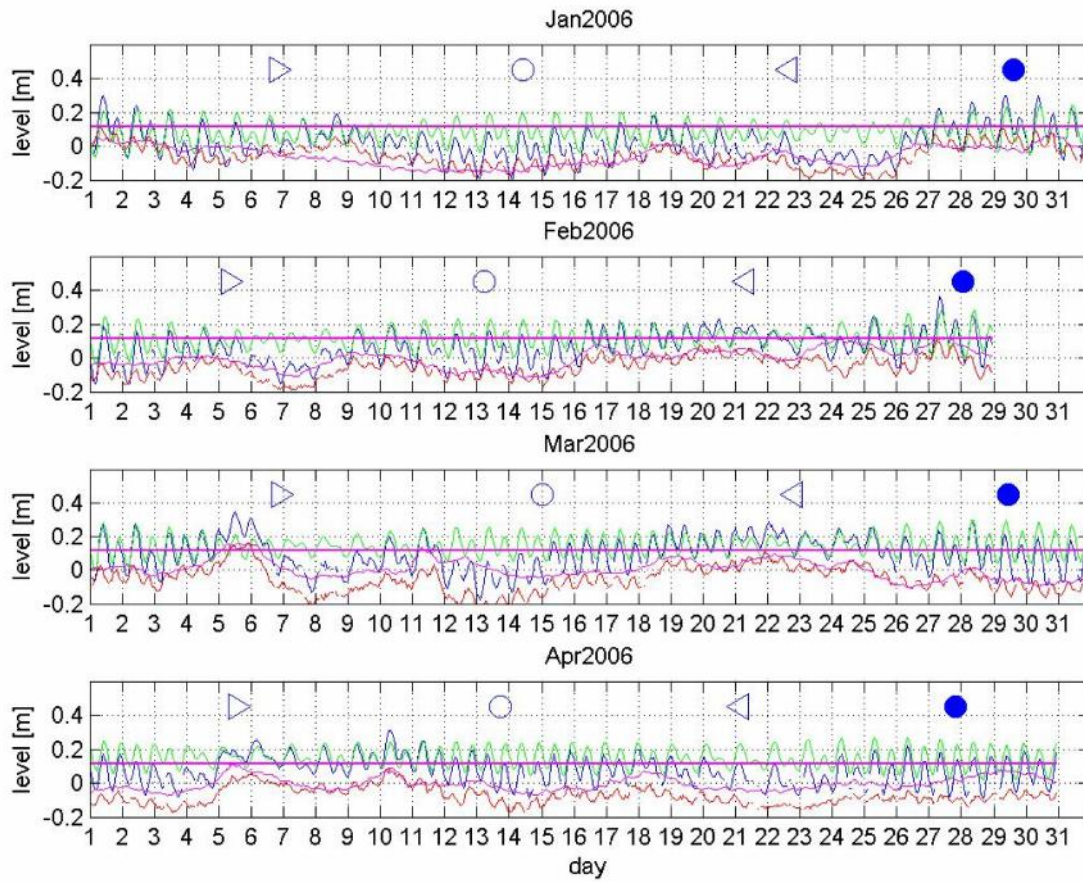


Fig. 2.10 – Esempio di variazione dei livelli orari a Porto Torres (gen-apr 2006).
 Livelli osservati (—), previsti (—), residui (—) e inverso barico (—).
 [○ = luna piena, ● = luna nuova, ▷ = primo quarto, ◁ = ultimo quarto]

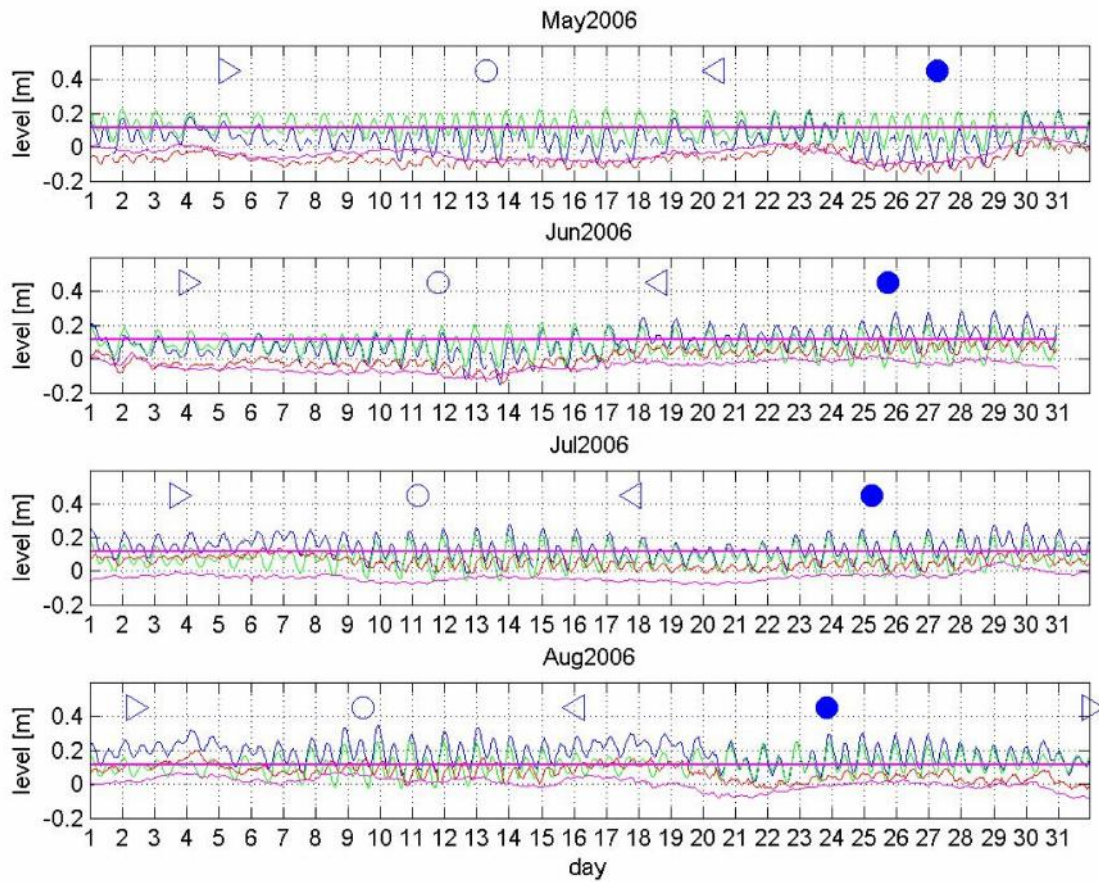


Fig. 2.11 – Esempio di variazione dei livelli orari a Porto Torres (mag-ago 2006).
 Livelli osservati (—), previsti (—), residui (—) e inverso barico (—).
 [○ = luna piena, ● = luna nuova, ▷ = primo quarto, ◁ = ultimo quarto]

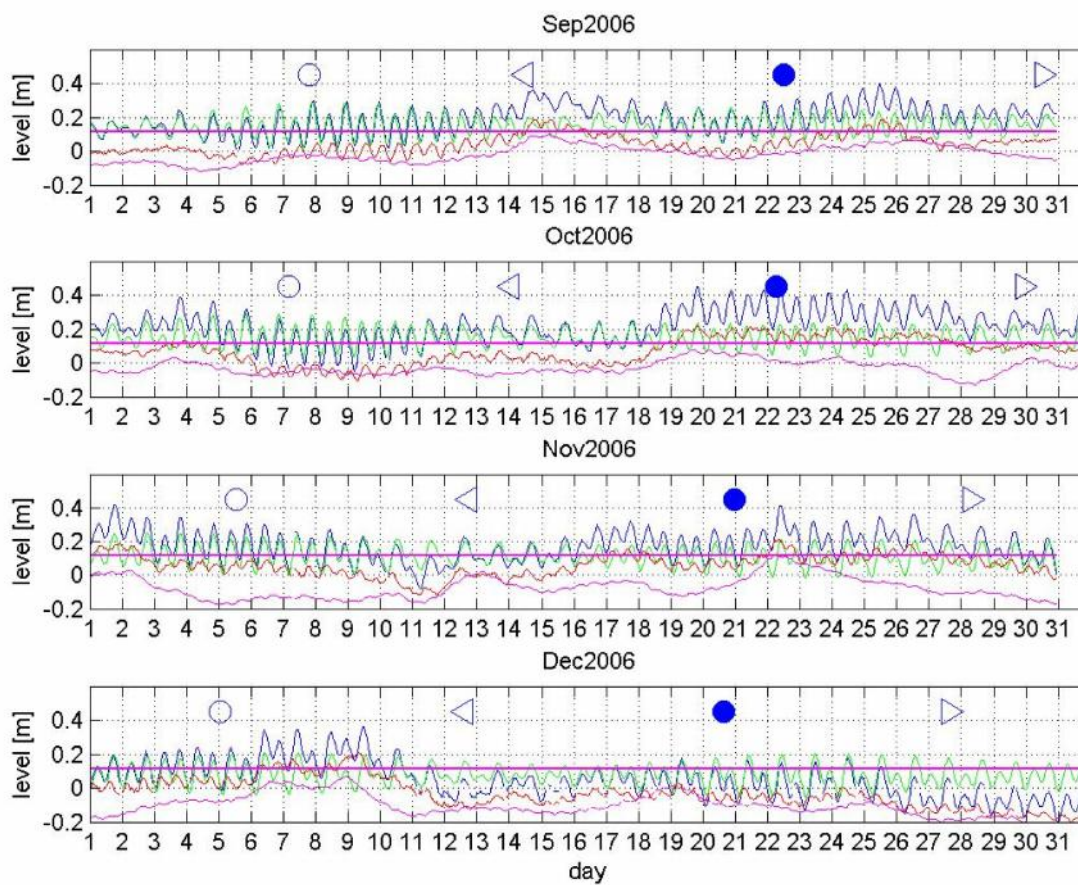


Fig. 2.12 – Esempio di variazione dei livelli orari a Porto Torres (set-dic 2006).
 Livelli osservati (—), previsti (—), residui (—) e inverso barico (—).
 [○ =luna piena, ● =luna nuova, ▷ = primo quarto, ◁ =ultimo quarto]

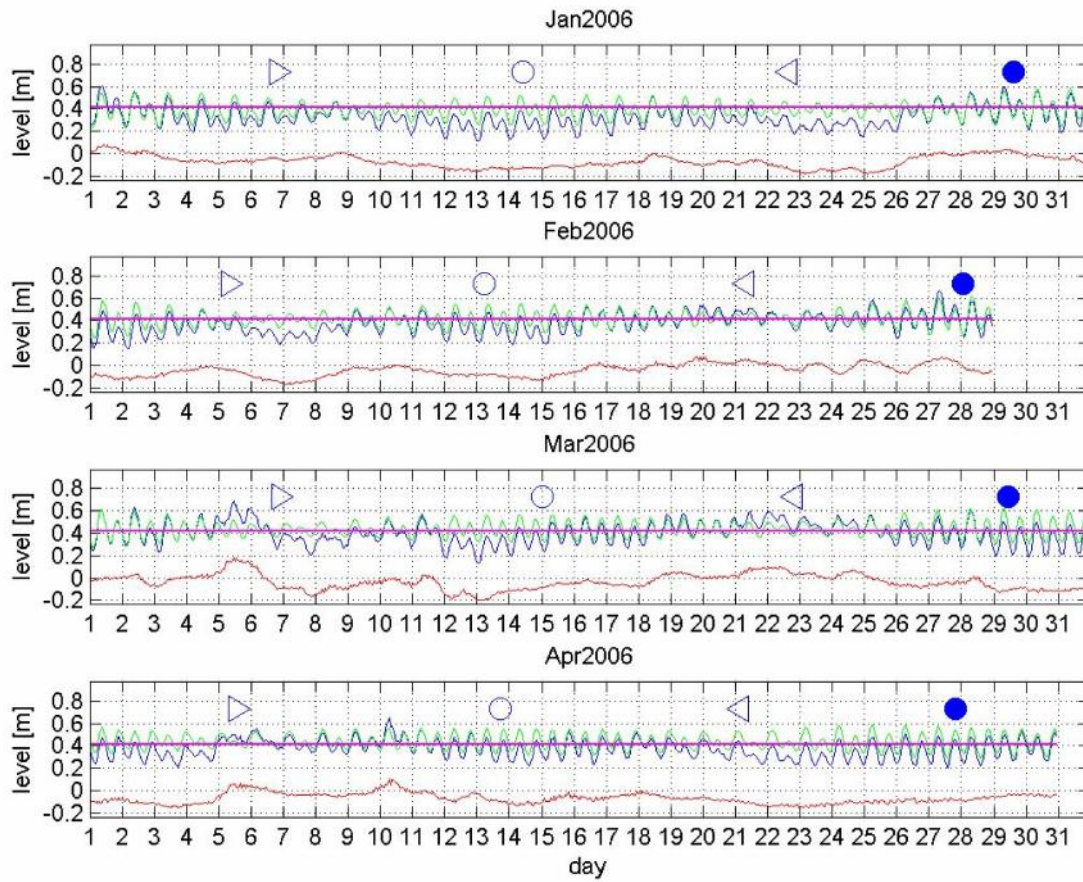


Fig. 2.13 – Esempio di variazione dei livelli orari ad Ajaccio (gen-apr 2006).
 Livelli osservati (—), previsti (—), residui (—).
 [○ =luna piena, ● =luna nuova, ▷ = primo quarto, ◁ =ultimo quarto]

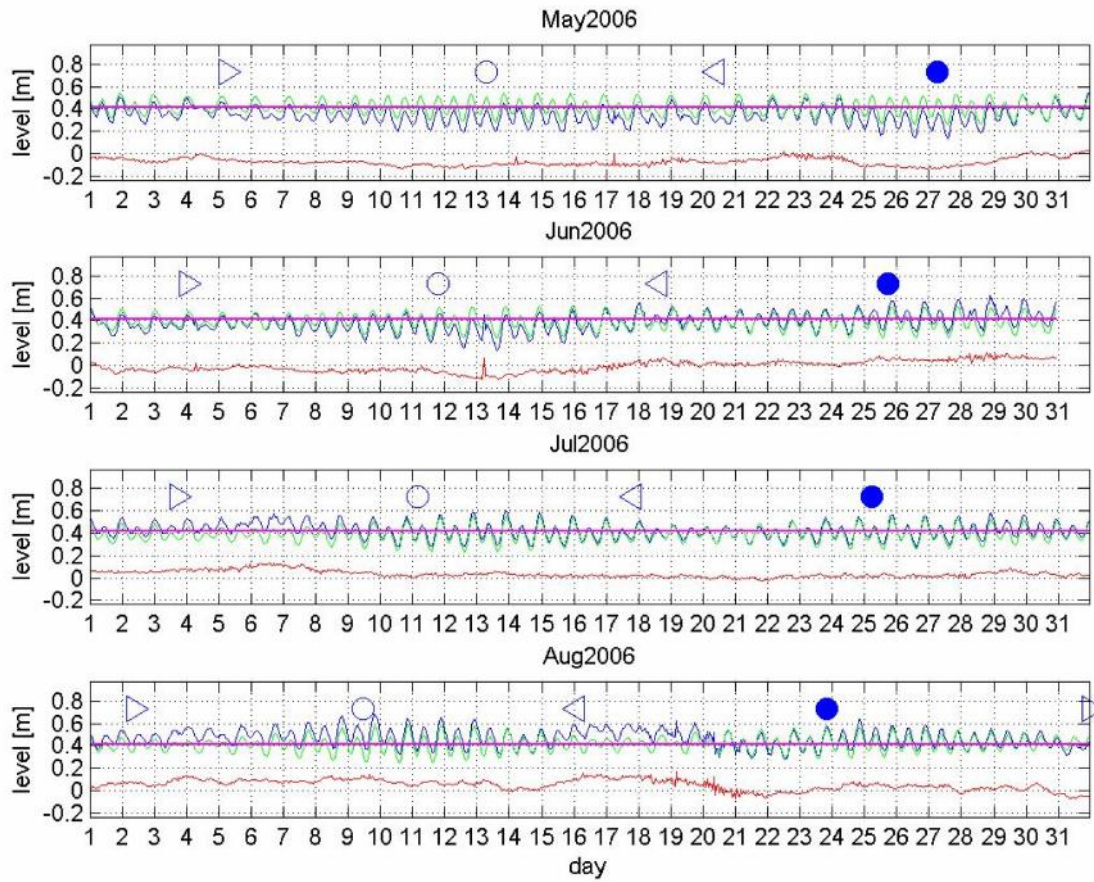


Fig. 2.14 – Esempio di variazione dei livelli orari ad Ajaccio (mag-ago 2006).
 Livelli osservati (—), previsti (—), residui (—).
 [○ =luna piena, ● =luna nuova, ▷ = primo quarto, ◁ =ultimo quarto]

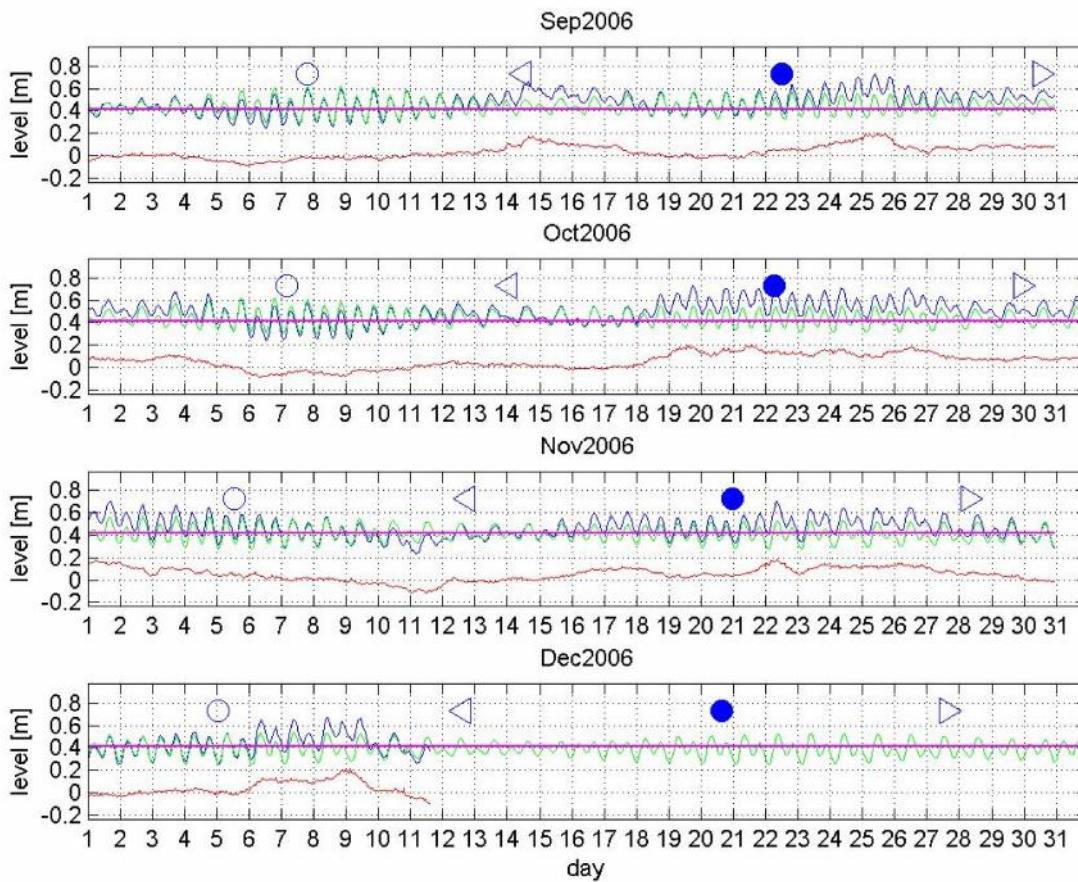


Fig. 2.15 – Esempio di variazione dei livelli orari ad Ajaccio (set-dic 2006).

Livelli osservati (—), previsti (—), residui (—).

[○ =luna piena, ● =luna nuova, ▷ = primo quarto, ◁ =ultimo quarto]

4 ANEMOMETRIA

4.1 Dati analizzati

Per l'analisi delle condizioni anemometriche del paraggio si è resa disponibile la serie storica registrata dalla stazione anemometrica dell'Aviazione Militare Italiana A.M. 506 – Guardia Vecchia - localizzata ad una quota di 158 m sul l.m.m. in corrispondenza alle coordinate geografiche 41°13'21”N e 09°23'58”E.

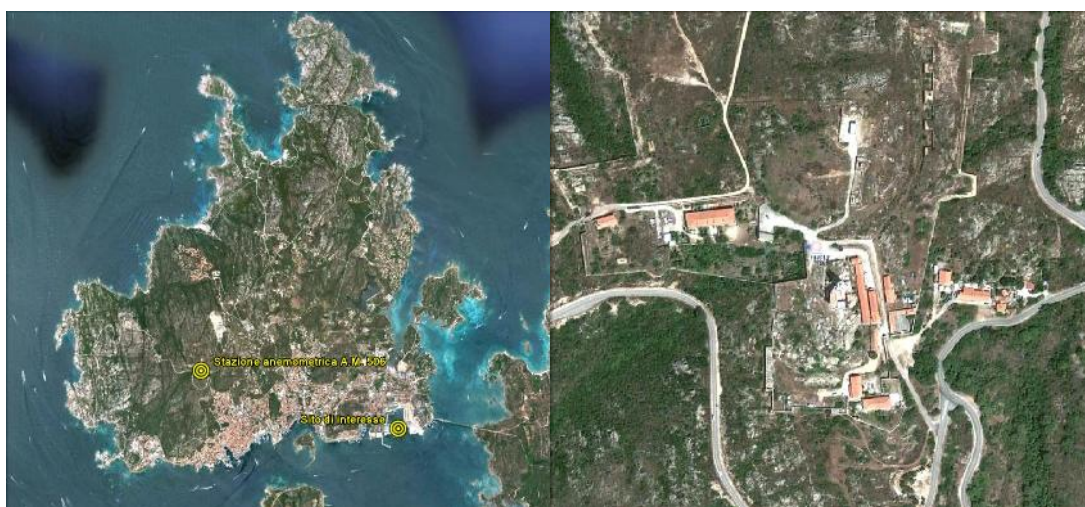


Fig. 4.1 – Localizzazione della stazione anemometrica A.M. 506 - Guardia Vecchia – su foto satellitare ricavata da ‘Google Earth’.

In particolare, la stazione è localizzata presso l'ottocentesco Forte di San Vittorio, conosciuto come ‘Guardia Vecchia’ (Fig. 4.1). La serie storica trioraria disponibile si estende per 22 anni complessivi dal 1 gennaio del 1951 al 31 dicembre del 1973. La tabella 4.1 fornisce i rendimenti annuali dell'anemometro della stazione.

Anno	R (%)	Anno	R (%)
1951	62.43	1962	68.39
1952	62.16	1963	67.29
1953	52.71	1964	66.94
1954	56.06	1965	67.47
1955	58.60	1966	68.66
1956	55.74	1967	65.86
1957	59.42	1968	67.96
1958	68.36	1969	69.14
1959	68.94	1970	75.58
1960	69.64	1971	90.62
1961	51.68	1972	90.40
		1973	84.52

Tab. 4.1 – Rendimenti annuali dell’anemometro della stazione A.M. 506, Guardia Vecchia

4.2 Classificazione degli eventi anemometrici in base alla velocità e alla direzione del vento

Questo tipo di analisi consiste nel suddividere gli eventi anemometrici in base al valore della velocità e alla direzione del vento al fine di individuare la frequenza di accadimento di ogni singola classe di eventi. E' buona norma eseguire tale analisi sia su tutti gli eventi della serie, sia considerando separatamente gli eventi stagionali.

Per quanto riguarda la suddivisione degli eventi in classi di velocità del vento si sono considerati due diversi criteri in funzione del tipo di rappresentazione che si intende dare al risultato dell'analisi. Nel caso di rappresentazione in forma tabellare si sono adottate le classi di velocità (in nodi - kn) corrispondenti ai successivi gradi della scala Beaufort (da 0 a 12).

Nel caso di rappresentazione grafica invece si è adottato il seguente schema:

- si sono esclusi gli eventi caratterizzati da velocità inferiori a 1 kn;
- per gli eventi caratterizzati da una velocità superiore a 1 kn le seguenti classi: 1÷6 kn; 6÷10 kn; 10÷16 kn; 16÷21 kn; >21 kn.

Per quanto riguarda la suddivisione degli eventi in base alla direzione di provenienza del vento si sono considerati settori di ampiezza pari a 30°.

4.2.1 Clima anemometrico

Il clima anemometrico in corrispondenza alla quota della stazione si presenta caratterizzato da una prevalenza di eventi di Ponente (Fig. 4.2). Il 48.85 % degli eventi risulta infatti avere direzione di provenienza compresa tra i 250°N e i 290°N (Tab. 4.3). Più in generale il 61.22 % degli eventi risulta provenire dal settore 220°N e i 350°N, mentre il 29.79 % dal settore 40°N e i 140°N. Solo il 8.99 % degli eventi appare provenire da altre direzioni, mostrando la spiccata orizzontalità (asse Ponente-Levante) delle direzioni di provenienza del vento. Tale tendenza appare peraltro confermata dall'analisi del clima anemometrico stagionale (Fig. 4.2, Tab. 4.4-4.7).

La decisa prevalenza degli eventi di Ponente viene ulteriormente confermata dall'analisi degli eventi caratterizzati da intensità superiori rispettivamente ai 10 kn e ai 16 kn (Fig. 4.3-4.4). Tali eventi provengono dal settore compresa tra i 250°N e i 290°N (Tab. 4.3) rispettivamente per il 39.97 % e 24.41 % dei casi.

La sottostante tabella 4.2 riassume le frequenze di accadimento, su base annuale, degli eventi di vento per soglie di velocità e direzioni di provenienza.

DIR (°N)	Frequenza percentuale				
	U > 0 kn	U > 6 kn	U > 10 kn	U > 16 kn	U > 21 kn
0	2.87	2.09	1.65	1.07	0.69
30	6.28	5.32	4.35	2.81	1.70
60	6.75	5.47	3.87	1.96	1.02
90	9.95	6.00	3.94	1.56	0.66
120	9.37	6.92	4.42	1.89	0.90
150	2.55	1.48	0.78	0.25	0.08
180	0.90	0.41	0.19	0.06	0.02
210	1.35	0.82	0.50	0.24	0.13
240	11.32	9.78	7.87	5.07	3.13
270	37.30	32.65	26.07	16.04	9.74
300	8.17	6.49	4.70	2.75	1.75
330	3.18	1.83	0.87	0.26	0.13
tot	100.00	80.06	59.20	33.96	19.92

Tab. 4.2 – Frequenza di accadimento annuale degli eventi per soglie di velocità e direzioni di provenienza. Anemometro della stazione A.M. 506, Guardia Vecchia.

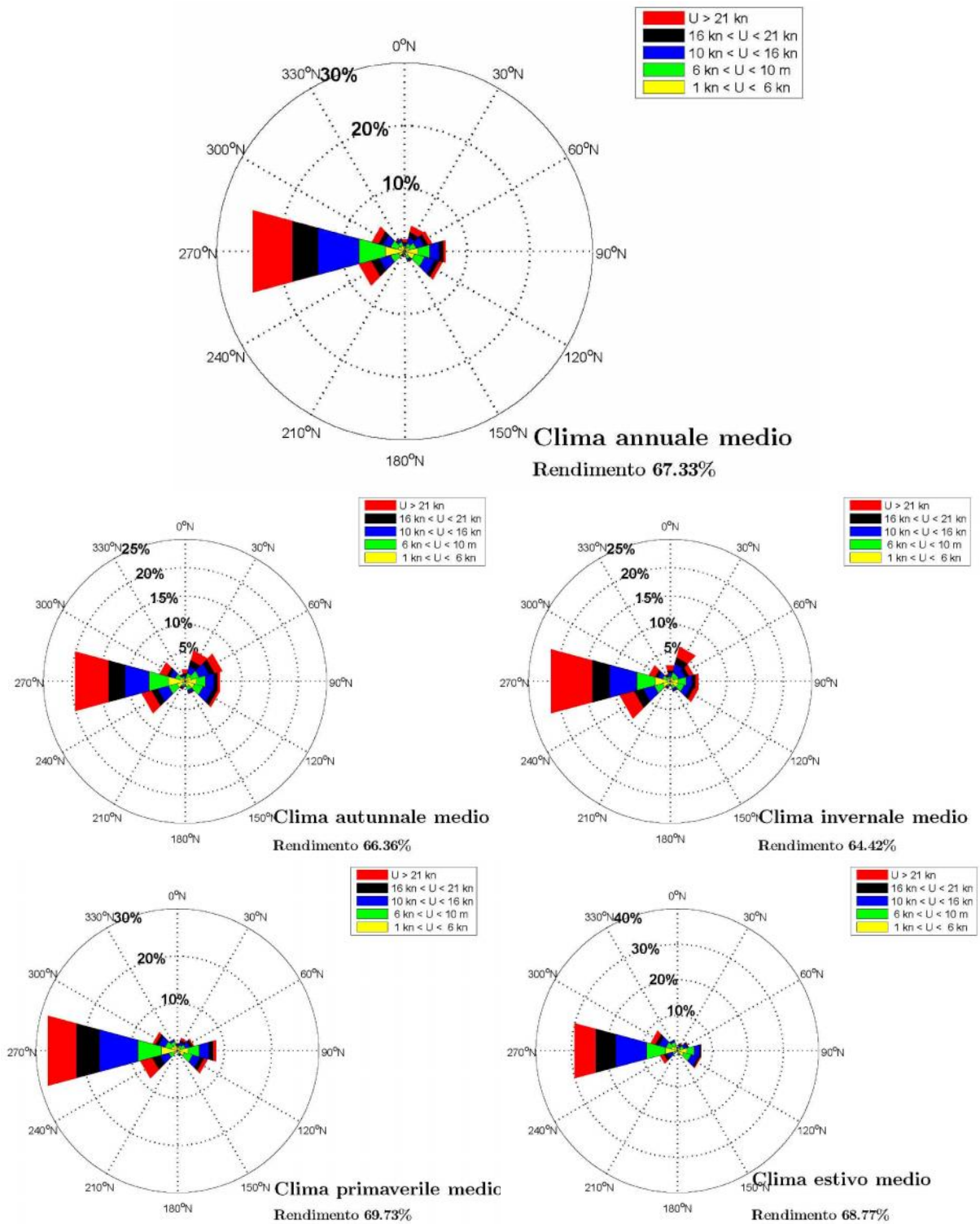


Fig. 4.2 - Distribuzione direzionale della velocità del vento alla Maddalena. Stazione A.M. 506 - Guardia Vecchia.

DIR (°N)	CLASSI DI VELOCITA' DEL VENTO (kn)													TOT.
	< 1	1 + 3	3 + 6	6 + 10	10 + 16	16 + 21	21 + 27	27 + 33	33 + 40	40 + 47	47 + 55	55 + 63	>= 63	
10		0.05	0.11	0.12	0.22	0.17	0.14	0.06	0.03	0.02	0.01			0.92
20		0.06	0.20	0.22	0.33	0.27	0.23	0.12	0.08	0.01	0.00			1.53
30		0.07	0.27	0.37	0.57	0.38	0.33	0.20	0.11	0.01	0.01			2.33
40		0.06	0.31	0.37	0.64	0.46	0.34	0.14	0.09	0.02	0.01			2.42
50		0.07	0.29	0.42	0.57	0.35	0.31	0.08	0.05	0.00	0.00			2.14
60		0.09	0.38	0.54	0.69	0.36	0.23	0.08	0.03					2.40
70		0.08	0.37	0.64	0.66	0.23	0.17	0.05	0.02	0.00				2.21
80		0.10	0.34	0.65	0.52	0.19	0.12	0.04	0.01					1.98
90		0.49	1.48	1.36	1.07	0.37	0.17	0.05	0.01	0.00				5.00
100		0.17	0.58	0.86	0.79	0.34	0.19	0.05	0.01					2.98
110		0.14	0.59	0.84	0.85	0.38	0.25	0.08	0.01	0.00				3.13
120		0.23	0.90	1.19	1.17	0.41	0.33	0.06	0.01	0.00				4.30
130		0.13	0.46	0.47	0.51	0.19	0.13	0.03	0.00		0.00			1.93
140		0.12	0.34	0.36	0.32	0.10	0.04	0.01	0.00					1.29
150		0.09	0.23	0.20	0.13	0.05	0.00	0.00						0.71
160		0.10	0.19	0.15	0.08	0.03	0.01	0.00						0.55
170		0.04	0.08	0.07	0.04	0.02	0.00							0.25
180		0.12	0.17	0.11	0.08	0.02	0.01							0.50
190		0.02	0.06	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00						0.15
200		0.04	0.08	0.06	0.04	0.02	0.02	0.00	0.00					0.27
210		0.07	0.12	0.11	0.10	0.04	0.01	0.00	0.01					0.46
220		0.06	0.16	0.15	0.11	0.06	0.06	0.01	0.01	0.00		0.00		0.62
230		0.08	0.23	0.26	0.27	0.15	0.20	0.06	0.02	0.01				1.29
240		0.10	0.37	0.51	0.67	0.49	0.54	0.21	0.11	0.01	0.00	0.00		3.02
250		0.14	0.63	1.14	1.86	1.30	1.14	0.59	0.19	0.04	0.01			7.01
260		0.12	0.44	1.28	2.06	1.44	1.25	0.69	0.37	0.09	0.05	0.00		7.80
270	0.00	0.49	2.72	4.08	5.99	3.64	2.60	1.40	0.79	0.16	0.07	0.00		21.94
280		0.18	0.69	1.22	1.97	1.23	1.03	0.68	0.40	0.10	0.04	0.00	0.00	7.56
290		0.15	0.52	0.77	1.09	0.71	0.59	0.43	0.19	0.08	0.01	0.00		4.54
300		0.16	0.42	0.55	0.53	0.21	0.13	0.12	0.07	0.01	0.01			2.21
310		0.10	0.34	0.47	0.33	0.09	0.04	0.02	0.02	0.01				1.41
320		0.12	0.44	0.42	0.33	0.06	0.01	0.02	0.00		0.00			1.39
330		0.09	0.34	0.33	0.20	0.04	0.02	0.02	0.01	0.00				1.04
340	0.00	0.11	0.24	0.22	0.08	0.03	0.03	0.02	0.00	0.00				0.74
350		0.10	0.19	0.13	0.08	0.03	0.05	0.02	0.02	0.02				0.64
360		0.12	0.21	0.19	0.29	0.18	0.20	0.06	0.06	0.01				1.32
TOT.		0.01	4.44	15.50	20.85	25.24	14.04	10.93	5.42	2.72	0.60	0.23	0.02	100.00
Tot. cumu			4.44	19.94	40.80	66.04	80.08	91.00	96.42	99.14	99.75	99.98	100.00	100.00

Tab. 4.3 – Stazione A.M. 506 - Guardivecchia - periodo 1951-1973. Distribuzione percentuale degli eventi anemometrici, per classi di velocità e direzione di provenienza del vento. ANNUALE

DIR (°N)	CLASSI DI VELOCITA' DEL VENTO (kn)													TOT.
	< 1	1 + 3	3 + 6	6 + 10	10 + 16	16 + 21	21 + 27	27 + 33	33 + 40	40 + 47	47 + 55	55 + 63	>= 63	
10		0.04	0.11	0.13	0.23	0.24	0.24	0.08	0.04	0.01				1.13
20		0.03	0.18	0.20	0.37	0.29	0.41	0.21	0.14	0.03	0.01			1.85
30		0.08	0.28	0.43	0.69	0.44	0.46	0.33	0.19		0.01			2.89
40		0.05	0.38	0.55	0.94	0.84	0.52	0.28	0.12	0.04	0.02			3.74
50		0.07	0.42	0.64	0.97	0.54	0.76	0.18	0.12	0.01	0.02			3.72
60		0.13	0.48	0.79	1.12	0.53	0.42	0.16	0.05					3.69
70		0.14	0.38	0.78	0.71	0.33	0.31	0.11	0.04					2.81
80		0.11	0.37	0.61	0.61	0.24	0.20	0.06	0.04					2.24
90		0.57	1.37	1.04	1.01	0.45	0.14	0.09		0.01				4.68
100		0.13	0.53	0.85	0.73	0.23	0.18	0.04						2.70
110		0.12	0.61	0.81	0.87	0.42	0.22	0.02						3.08
120		0.25	0.86	1.03	1.22	0.49	0.27	0.02						4.13
130		0.20	0.54	0.57	0.62	0.29	0.20	0.04						2.46
140		0.13	0.38	0.45	0.49	0.16	0.08	0.04	0.01					1.75
150		0.12	0.38	0.38	0.20	0.03								1.11
160		0.14	0.25	0.20	0.07	0.03								0.69
170		0.06	0.15	0.14	0.11	0.02								0.48
180		0.20	0.26	0.20	0.14	0.03	0.02							0.84
190		0.05	0.12	0.06	0.02		0.01							0.26
200		0.07	0.13	0.12	0.05	0.04	0.01		0.01					0.44
210		0.11	0.20	0.21	0.21	0.07	0.03		0.02					0.86
220		0.12	0.24	0.22	0.20	0.12	0.10			0.01				1.00
230		0.12	0.37	0.50	0.44	0.24	0.25	0.05	0.03	0.01				2.00
240		0.15	0.61	0.79	1.02	0.43	0.51	0.22	0.11	0.02		0.01		3.87
250		0.22	0.76	1.12	1.47	0.95	0.84	0.59	0.17	0.04				6.16
260		0.12	0.53	1.40	1.32	1.23	1.13	0.73	0.39	0.15	0.10	0.01		7.10
270		0.46	2.43	3.04	4.00	2.27	1.91	1.29	0.86	0.26	0.14	0.01		16.66
280		0.20	0.70	0.99	1.38	0.93	0.91	0.77	0.40	0.12	0.06			6.47
290		0.12	0.44	0.65	0.85	0.56	0.58	0.48	0.26	0.10	0.01			4.03
300		0.16	0.40	0.37	0.42	0.27	0.16	0.17	0.09	0.01	0.02			2.06
310		0.09	0.16	0.34	0.20	0.04	0.08	0.04	0.02	0.02				0.99
320		0.07	0.20	0.21	0.18	0.08	0.02	0.03						0.78
330		0.05	0.22	0.20	0.16	0.05	0.03	0.03	0.03					0.77
340	0.01	0.07	0.12	0.15	0.10	0.04	0.04	0.03						0.55
350		0.03	0.10	0.10	0.06		0.09	0.04	0.04	0.02				0.46
360		0.04	0.17	0.22	0.35	0.28	0.33	0.10	0.07	0.01				1.57
TOT.	0.01	4.85	15.84	20.48	23.52	13.15	11.43	6.22	3.23	0.86	0.38	0.03		100.00
Tot. cum.		4.85	20.70	41.18	64.70	77.86	89.29	95.50	98.74	99.59	99.97	100.00	100.00	

Tab. 4.4 – Stazione A.M. 506 - Guardiavecchia - periodo 1951-1973. Distribuzione percentuale degli eventi anemometrici, per classi di velocità e direzione di provenienza del vento.
AUTUNNO

DIR (°N)	CLASSI DI VELOCITA' DEL VENTO (kn)													TOT.
	< 1	1 + 3	3 + 6	6 + 10	10 + 16	16 + 21	21 + 27	27 + 33	33 + 40	40 + 47	47 + 55	55 + 63	>= 63	
10		0.03	0.12	0.21	0.36	0.34	0.27	0.12	0.06	0.06	0.03			1.58
20		0.07	0.21	0.32	0.63	0.57	0.43	0.22	0.11	0.02	0.01			2.59
30		0.08	0.38	0.51	1.01	0.70	0.62	0.41	0.25	0.05	0.02			4.03
40		0.06	0.34	0.43	0.84	0.57	0.42	0.24	0.23	0.03	0.02			3.18
50		0.11	0.27	0.35	0.66	0.46	0.35	0.10	0.06					2.36
60		0.03	0.34	0.46	0.65	0.40	0.28	0.13	0.06					2.35
70		0.03	0.30	0.48	0.58	0.22	0.21	0.07	0.04					1.91
80		0.09	0.24	0.44	0.40	0.22	0.14	0.07						1.60
90		0.39	1.08	1.09	0.77	0.39	0.22	0.07	0.02					4.03
100		0.10	0.37	0.63	0.55	0.35	0.23	0.07	0.04					2.35
110		0.14	0.53	0.67	0.61	0.48	0.35	0.13						2.91
120		0.17	0.88	0.71	0.87	0.38	0.39	0.13	0.02					3.55
130		0.10	0.42	0.33	0.36	0.10	0.10	0.10	0.01					1.53
140		0.16	0.33	0.42	0.34	0.10	0.04	0.01						1.39
150		0.11	0.25	0.21	0.19	0.09	0.01	0.02						0.88
160		0.07	0.24	0.25	0.14	0.01	0.02	0.01						0.75
170		0.04	0.12	0.08	0.05	0.06	0.01							0.36
180		0.16	0.28	0.17	0.14	0.04	0.01							0.80
190		0.03	0.08	0.08	0.05	0.01								0.25
200		0.05	0.14	0.08	0.10	0.03	0.05	0.01						0.46
210		0.13	0.22	0.15	0.16	0.07	0.02	0.01	0.01					0.76
220		0.08	0.23	0.30	0.19	0.09	0.07	0.03	0.02					1.01
230		0.10	0.35	0.32	0.42	0.25	0.28	0.10	0.04					1.86
240		0.11	0.50	0.63	0.88	0.68	0.77	0.34	0.22	0.01	0.01			4.14
250		0.22	0.89	1.40	1.93	1.53	1.34	0.69	0.34	0.07	0.02			8.43
260		0.16	0.46	1.21	1.79	1.12	1.29	0.92	0.55	0.15	0.02	0.01		7.67
270		0.50	2.32	3.12	4.56	2.89	2.66	1.79	1.25	0.23	0.11	0.01		19.43
280		0.19	0.58	0.94	1.34	0.93	0.90	0.86	0.77	0.19	0.08	0.01		6.77
290		0.12	0.36	0.61	0.62	0.46	0.42	0.48	0.29	0.15	0.03	0.01		3.55
300		0.06	0.20	0.37	0.37	0.19	0.11	0.10	0.08	0.03	0.02			1.53
310		0.04	0.21	0.26	0.22	0.14	0.06	0.03	0.04					0.98
320		0.11	0.34	0.24	0.16	0.07	0.01	0.05	0.01		0.01			1.00
330		0.04	0.08	0.14	0.08	0.08	0.04	0.03		0.02				0.51
340		0.07	0.15	0.09	0.09	0.07	0.07	0.04	0.01	0.02				0.62
350		0.07	0.12	0.08	0.15	0.07	0.07	0.07	0.04	0.06				0.73
360		0.13	0.23	0.28	0.50	0.32	0.41	0.13	0.12	0.02				2.14
TOT.		4.16	14.16	18.05	22.74	14.49	12.65	7.57	4.68	1.09	0.37	0.04		100.00
Tot. cum.		4.16	18.33	36.38	59.12	73.61	86.26	93.83	98.50	99.59	99.96	100.00	100.00	

Tab. 4.5 – Stazione A.M. 506 - Guardivecchia - periodo 1951-1973. Distribuzione percentuale degli eventi anemometrici, per classi di velocità e direzione di provenienza del vento.
INVERNO

DIR (°N)	CLASSI DI VELOCITA' DEL VENTO (kn)													TOT.
	< 1	1 + 3	3 + 6	6 + 10	10 + 16	16 + 21	21 + 27	27 + 33	33 + 40	40 + 47	47 + 55	55 + 63	>= 63	
10		0.05	0.14	0.08	0.17	0.06	0.03	0.03	0.02					0.57
20		0.07	0.29	0.16	0.16	0.21	0.08	0.03	0.04					1.05
30		0.05	0.25	0.25	0.41	0.21	0.20	0.07	0.02					1.46
40		0.07	0.29	0.27	0.37	0.25	0.27	0.03	0.01					1.55
50		0.06	0.25	0.32	0.33	0.23	0.09	0.04						1.32
60		0.12	0.30	0.40	0.48	0.28	0.15	0.02	0.01					1.76
70		0.08	0.36	0.62	0.67	0.25	0.15	0.02	0.01	0.01				2.15
80		0.11	0.30	0.67	0.55	0.23	0.13	0.03						2.03
90		0.51	1.59	1.78	1.34	0.51	0.33	0.05	0.01					6.12
100		0.18	0.59	1.00	1.16	0.54	0.27	0.07	0.01					3.82
110		0.14	0.49	0.86	1.05	0.51	0.37	0.13	0.03	0.01				3.57
120		0.27	0.78	1.42	1.09	0.44	0.45	0.05	0.01	0.01				4.52
130		0.10	0.39	0.32	0.38	0.16	0.15				0.01			1.50
140		0.05	0.34	0.18	0.24	0.11	0.03							0.96
150		0.06	0.10	0.10	0.06	0.03	0.01							0.37
160		0.14	0.13	0.03	0.04	0.03								0.38
170		0.01	0.03	0.01	0.02									0.06
180		0.07	0.12	0.04	0.01		0.01							0.25
190		0.01	0.03	0.02	0.01			0.01						0.07
200		0.02	0.05	0.03	0.01			0.01						0.11
210		0.03	0.06	0.08	0.04	0.01								0.21
220		0.03	0.08	0.06	0.04	0.02	0.06	0.01	0.01					0.31
230		0.07	0.14	0.15	0.14	0.08	0.15	0.06	0.02	0.02				0.82
240		0.09	0.26	0.39	0.53	0.64	0.64	0.23	0.12					2.90
250		0.04	0.46	1.11	2.13	1.73	1.46	0.79	0.23	0.03	0.01			8.00
260		0.12	0.40	1.30	2.81	1.72	1.52	0.74	0.45	0.04	0.05			9.16
270		0.46	3.09	4.82	7.06	4.13	2.76	1.24	0.61	0.11	0.03			24.32
280		0.21	0.70	1.36	2.31	1.25	0.87	0.34	0.22	0.07	0.02	0.01	0.01	7.36
290		0.20	0.49	0.82	1.23	0.64	0.41	0.20	0.09	0.02	0.01	0.01		4.12
300		0.20	0.44	0.62	0.50	0.15	0.09	0.05	0.06		0.01			2.10
310		0.15	0.45	0.59	0.33	0.08	0.03	0.02	0.01	0.01				1.66
320		0.14	0.61	0.49	0.38	0.03		0.01						1.66
330		0.09	0.46	0.40	0.23	0.02	0.01	0.01						1.23
340		0.17	0.33	0.21	0.03	0.01	0.01	0.01						0.76
350		0.20	0.29	0.09	0.07	0.03	0.02		0.01					0.70
360		0.20	0.26	0.15	0.24	0.09	0.07	0.03	0.03	0.01				1.06
TOT.		4.56	15.32	21.20	26.61	14.68	10.81	4.33	2.01	0.33	0.13	0.02	0.01	100.00
Tot. cum.		4.56	19.87	41.07	67.68	82.37	93.18	97.50	99.51	99.85	99.97	99.99	100.00	

Tab. 4.6 – Stazione A.M. 506 - Guardivecchia - periodo 1951-1973. Distribuzione percentuale degli eventi anemometrici, per classi di velocità e direzione di provenienza del vento.
PRIMAVERA

DIR (°N)	CLASSI DI VELOCITA' DEL VENTO (kn)													TOT.
	< 1	1 + 3	3 + 6	6 + 10	10 + 16	16 + 21	21 + 27	27 + 33	33 + 40	40 + 47	47 + 55	55 + 63	>= 63	
10		0.07	0.07	0.06	0.13	0.08	0.03	0.01						0.44
20		0.06	0.14	0.22	0.18	0.06	0.03	0.03	0.01					0.73
30		0.07	0.17	0.33	0.22	0.20	0.05	0.03	0.01	0.01				1.08
40		0.05	0.23	0.26	0.41	0.20	0.15	0.03						1.33
50		0.04	0.22	0.38	0.33	0.19	0.05	0.01	0.02					1.24
60		0.09	0.42	0.50	0.53	0.23	0.09							1.86
70		0.08	0.41	0.65	0.66	0.12	0.03							1.95
80		0.09	0.43	0.87	0.51	0.09	0.02	0.02						2.02
90		0.49	1.86	1.48	1.14	0.11								5.08
100		0.24	0.79	0.94	0.71	0.23	0.07	0.01						2.98
110		0.15	0.71	1.01	0.84	0.15	0.07	0.03						2.95
120		0.22	1.07	1.56	1.49	0.34	0.22	0.03	0.01					4.94
130		0.12	0.51	0.65	0.66	0.21	0.09							2.23
140		0.13	0.30	0.39	0.22	0.03	0.02							1.09
150		0.08	0.20	0.13	0.06	0.04								0.51
160		0.06	0.13	0.11	0.06	0.03	0.02							0.41
170		0.03	0.03	0.03		0.01	0.01							0.11
180		0.07	0.03	0.05	0.02									0.17
190			0.01	0.01										0.02
200		0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01							0.09
210		0.01	0.03	0.02		0.02								0.07
220		0.03	0.09	0.03	0.02	0.01	0.03	0.01				0.01		0.21
230		0.02	0.09	0.07	0.12	0.06	0.13	0.04						0.53
240		0.06	0.14	0.24	0.28	0.24	0.26	0.05	0.01	0.01				1.29
250		0.07	0.42	0.93	1.89	0.98	0.93	0.28	0.04					5.55
260		0.09	0.40	1.20	2.28	1.66	1.06	0.41	0.09	0.03	0.02			7.23
270	0.02	0.52	2.99	5.23	8.15	5.15	3.06	1.29	0.46	0.05	0.02			26.95
280		0.12	0.78	1.58	2.80	1.76	1.42	0.77	0.26	0.03	0.01			9.53
290		0.15	0.77	0.98	1.61	1.17	0.94	0.56	0.14	0.05	0.01			6.37
300		0.21	0.64	0.83	0.81	0.22	0.18	0.16	0.04	0.01				3.11
310		0.10	0.53	0.65	0.55	0.10	0.01		0.02					1.97
320		0.15	0.61	0.70	0.58	0.03	0.01							2.08
330		0.15	0.57	0.56	0.31	0.03								1.62
340		0.10	0.36	0.42	0.11	0.01								1.01
350		0.11	0.26	0.23	0.03	0.01	0.01							0.65
360		0.10	0.17	0.13	0.09	0.03	0.02		0.03					0.58
TOT.	0.02	4.17	16.58	23.43	27.83	13.83	8.98	3.77	1.14	0.19	0.05	0.01		100.00
Tot. cum.		4.19	20.77	44.21	72.03	85.87	94.85	98.62	99.75	99.94	99.99	100.00	100.00	

Tab. 4.7 – Stazione A.M. 506 - Guardivecchia - periodo 1951-1973. Distribuzione percentuale degli eventi anemometrici, per classi di velocità e direzione di provenienza del vento.
ESTATE

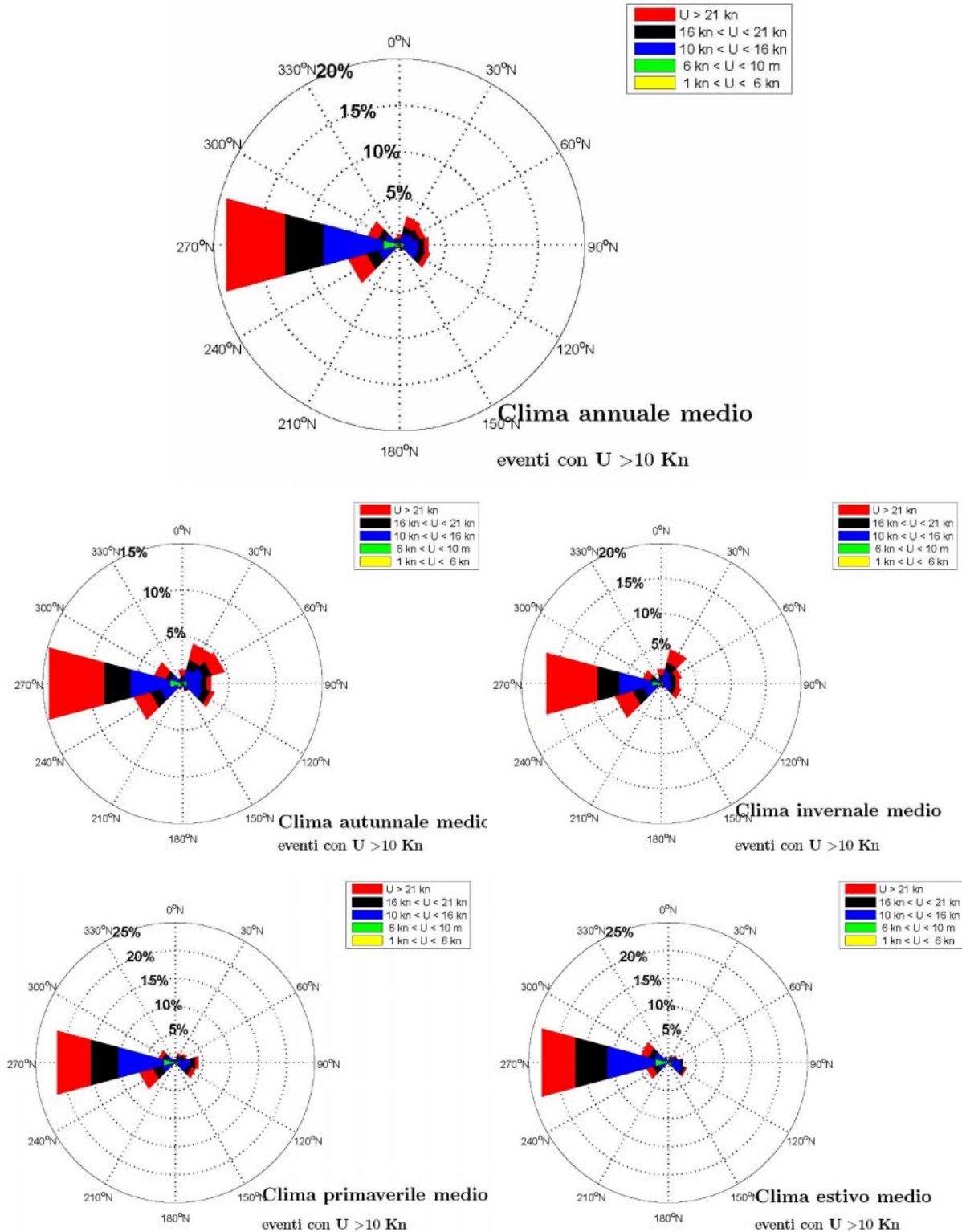


Fig. 4.3 - Distribuzione direzionale della velocità del vento alla Maddalena per eventi con intensità $U > 10$ kn. Stazione A.M. 506 - Guardia Vecchia.

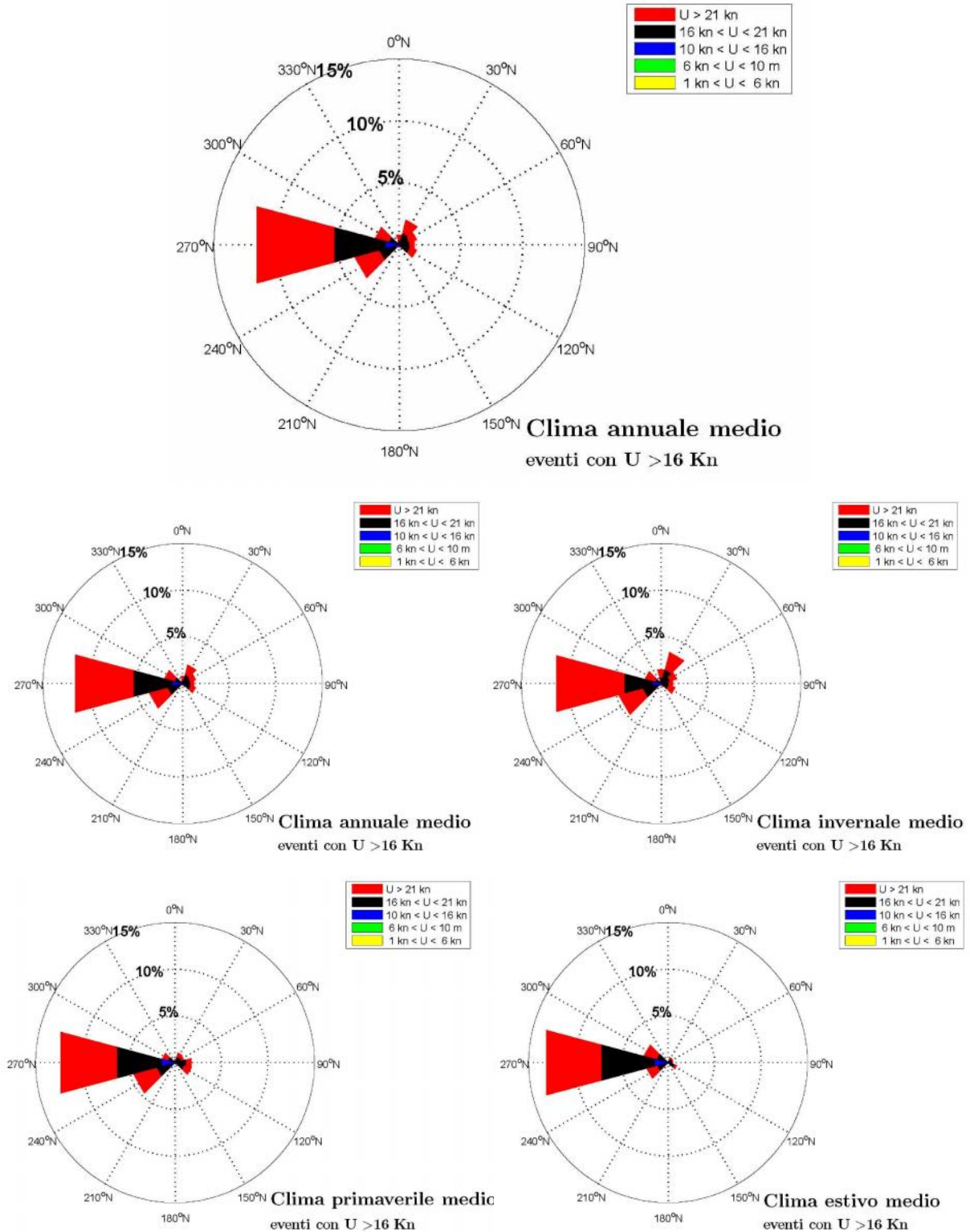


Fig. 4.3 - Distribuzione direzionale della velocità del vento alla Maddalena per eventi con intensità $U > 16$ kn. Stazione A.M. 506 - Guardia Vecchia.

5 ONDAMETRIA

5.1 Dati analizzati

In mancanza di misure dirette di moto ondoso condotte con sistematicità e sufficiente continuità nel tempo, si è ritenuto opportuno ricorrere a un modello numerico di ricostruzione indiretta (hindcasting) del moto ondoso sulla base della serie anemometrica misurata presso la Stazione A.M. 506 - Guardia Vecchia - precedentemente analizzata (par. 4) la quale risulta rappresentativa dell'area di generazione.

Tra i diversi modelli empirico-parametrici basati su relazioni sperimentali tra stati di vento e caratteristiche del moto ondoso da questi generato, si è scelto di utilizzare quello più noto e collaudato, ovvero il metodo SMB, dalle iniziali degli autori Sverdrup-Munk-Bretschneider. Come noto (Appendice 1), tale metodo si basa su un bilancio di tipo energetico, esplicitato da formulazioni che richiedono la preliminare conoscenza della velocità del vento in superficie - eventualmente corretta per tener conto del trasferimento dei dati misurati a quote superiori - nonché la durata e l'estensione della perturbazione. In particolare, il metodo prevede la preliminare caratterizzazione d'insieme della traversia (conformazione e profondità media dell'area di generazione) e il calcolo di dettaglio dei 'fetchs' efficaci, nonché la definizione della correlazione esistente tra la direzione del vento e quella dello stato di mare generato. Sulla base della serie anemometrica disponibile - rappresentativa dell'area di generazione - definiti i termini correttivi per il trasferimento delle velocità del vento nel modello, viene dunque ricostruita la corrispondente serie dei parametri caratterizzanti il moto ondoso (H , T , θ). Ovviamente, tale serie presenterà lo stesso intervallo di campionamento e lo stesso rendimento della serie anemometrica di partenza.

5.2 Caratterizzazione del moto ondoso al largo di Cala Camicia

5.2.1 Definizione dei fetchs geografici, efficaci e della correlazione tra direzioni del vento e dello stato di mare generato

Il punto scelto per la ricostruzione del moto ondoso si trova circa 700 m a sud dell'imboccatura di Cala Camicia (Fig. 5.1) è appare contraddistinto da un settore di traversia geografico delimitato a Nord, Nord-Ovest dall'isola della Maddalena a Est, Sud-Est dall'isola di Caprera e a Ovest, Sud-Ovest dall'isola di Santo Stefano. Un piccolo settore attorno ai 270°N è delimitato dalla costa occidentale della Sardegna presso l'Isola di Coluccia, mentre un piccolo settore (190°N-210°N) è delimitato sempre dalla costa sarda che si estende a Nord del Golfo di Arzachena.

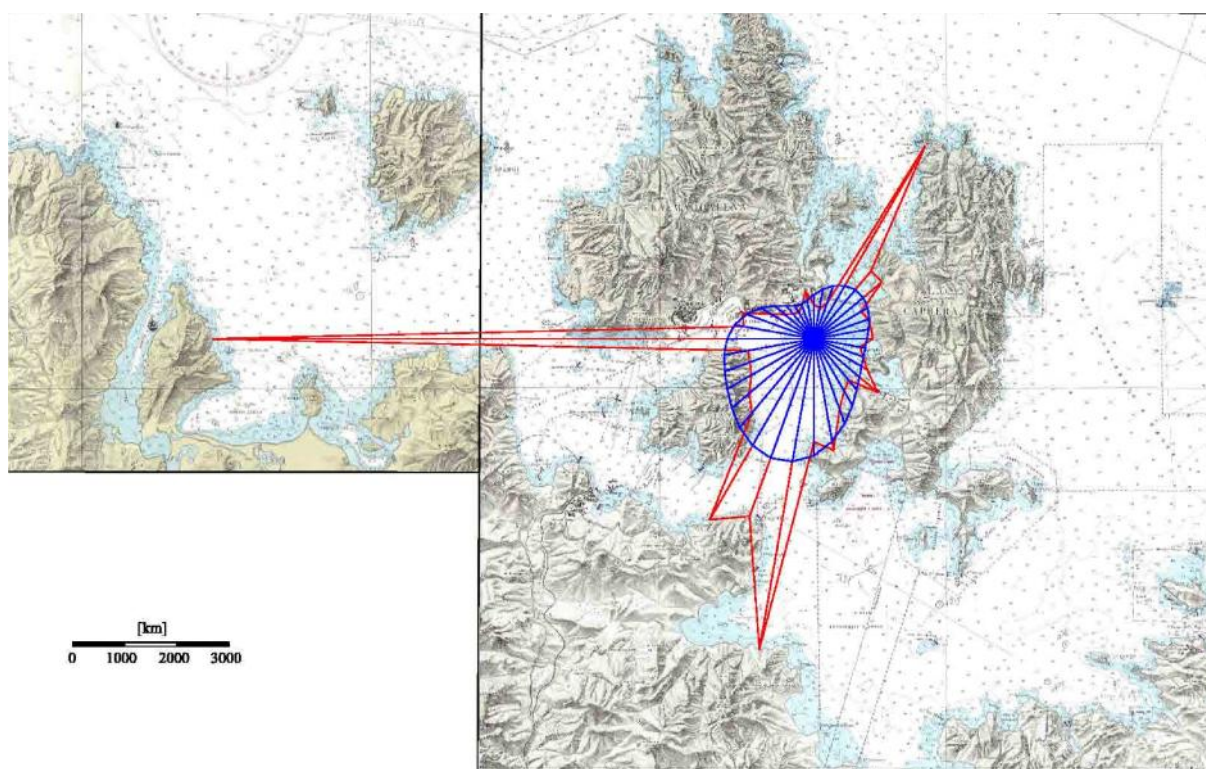


Fig. 5.1 - Fetchs geografici (rosso) ed efficaci (blu) nel punto scelto (circa 700 m a Sud dell'imboccatura di Cala Camicia).

I valori più elevati della lunghezza del fetch geografico si hanno secondo la direzione che riguarda la costa sarda presso l'isola di Coluccia (270°N) per le quali la lunghezza del fetch geografico risulta pari a circa 12 km. Nel diagramma polare di Fig. 5.1 sono indicati

graficamente i valori dei fetches geografici ed efficaci relativi al punto scelto. La Tab. 5.1 riporta gli stessi valori in forma numerica. Si osserva che la tabella anzidetta riporta anche la correlazione tra le direzioni azimutali di provenienza del vento e le direzioni di provenienza del moto ondoso.

Azimuth (°N)	F. GEO. (m)	F. EFF. (m)	Dir. Mare (°N)	Azimuth (°N)	F. GEO. (m)	F. EFF. (m)	Dir. Mare (°N)
0	671.8	852.1	20	180	1980.7	2246.3	189
10	592.4	972.0	26	190	6067.6	2401.8	194
20	731.3	1092.2	32	200	3636.4	2441.8	199
30	4286.9	1187.3	37	210	4018.2	2372.1	204
40	1709.1	1238.5	42	220	1858.3	2230.8	210
50	1705.8	1239.1	48	230	1629.9	2070.6	217
60	1044.9	1197.2	54	240	1394.1	1934.0	225
70	1107.8	1132.0	60	250	1318.0	1836.2	236
80	1119.8	1066.4	68	260	1294.3	1762.1	251
90	1132.0	1019.5	78	270	11601.3	1678.9	261
100	899.2	1001.2	98	280	1375.7	1557.0	269
110	1014.3	1013.3	127	290	1463.1	1388.0	275
120	1178.0	1056.8	150	300	963.2	1189.2	281
130	1597.6	1140.5	160	310	738.4	993.1	286
140	1038.2	1278.9	167	320	631.5	834.0	292
150	1159.7	1480.2	174	330	586.0	737.5	299
160	1437.5	1733.9	179	340	682.5	714.2	306
170	2178.4	2006.3	184	350	937.6	758.3	14

Tab. 5.1 - Fetchs geografici ed efficaci nel punto scelto (circa 700 m a Sud dell'imboccatura di Cala Camicia).

5.2.2 Analisi della serie ricostruita

Si osserva come, a favore di sicurezza, la serie anemometrica misurata alla stazione A.M. 506 - Guardia Vecchia - non è stata oggetto di alcuna correzione per tenere conto della quota, ovvero non si applicata alcuna legge per tenere in conto della riduzione del modulo della velocità del vento nel passaggio tra la quota della stazione (158 m sul l.m.m) e la quota superficiale, assunta nel metodo SMB pari a 10 m sul l.m.m.

5.2.2.1 CLASSIFICAZIONE DEGLI EVENTI DI MOTO ONDOSO IN BASE ALL'ALTEZZA D'ONDA ED ALLA DIREZIONE – CLIMA DI MOTO ONDOSO

Similmente alla analoga analisi degli eventi anemometrici, questo tipo di analisi consiste nel suddividere gli eventi di moto ondoso in base al valore dell'altezza d'onda significativa ed alla direzione di provenienza al fine di individuare la frequenza di accadimento di ogni

singola classe di eventi. E' buona norma eseguire tale analisi sia su tutti gli eventi della serie, sia considerando separatamente gli eventi stagionali.

Per quanto riguarda la suddivisione degli eventi in classi di altezza d'onda significativa si sono considerati due diversi criteri in funzione del tipo di rappresentazione che si intende dare al risultato dell'analisi. Nel caso di rappresentazione in forma tabellare si è adottato il seguente schema:

- per gli eventi caratterizzati da un'altezza d'onda inferiore a 0,5 m si prendono in esame due classi: $0 \div 0,25$ m, $0,25 \div 0,5$ m;
- per gli eventi caratterizzati da un'altezza d'onda superiore a 0,5 m si prendono in esame classi di altezza d'onda aventi un intervallo di ampiezza pari a 0,5 m (ad esempio $0,5 \div 1,0$ m; $1,0 \div 1,5$ m; ...).

Nel caso di rappresentazione grafica invece si è adottato il seguente schema:

- per gli eventi caratterizzati da un'altezza d'onda inferiore a 1,0 m una sola classe: $0,5 \div 1,0$ m;
- per gli eventi caratterizzati da un'altezza d'onda superiore a 1,0 m le seguenti classi: $1,0 \div 2,0$ m; $2,0 \div 3,0$ m; $3,0 \div 4,0$ m; $>4,0$ m.

Per quanto riguarda la suddivisione degli eventi in base alla direzione di provenienza del moto ondoso si sono considerati settori di ampiezza pari a 10° .

Nella Fig. 5.2 sono riportate rispettivamente la rosa annuale e quelle stagionali del clima di moto ondoso. Le tabelle da 5.2 a 5.6 riportano gli stessi risultati in forma numerica.

Dall'analisi dei risultati si evince che di fronte all'imboccatura di Cala Camicia gli stati di mare caratterizzati da altezze d'onda più elevate provengono dal settore di traversia compreso tra i 230 e i 280° N. In particolare emergono le seguenti caratteristiche del clima d'onda annuale:

1. la percentuale degli eventi caratterizzati da un'altezza d'onda inferiore a 0,5 m è pari a circa il 85%;
2. gli eventi caratterizzati da un'altezza d'onda superiore a 0,5 m provengono per il 86% dal settore $200-290^\circ$ N, per il restante 14% dalle altre direzioni;
3. gli eventi caratterizzati da un'altezza d'onda superiore a 1 m provengono per il 95% dei casi dal settore $200-290^\circ$ N;

4. quattro eventi sono risultati superiori ai 2 m, in particolare due provenienti dalla direzione 270°N, uno dalla direzione 250°N e uno dalla direzione 210°N.

Si evidenzia che le caratteristiche climatiche sopra indicate si possono riscontrare anche analizzando gli eventi su base stagionale.

5.2.2.2 CLASSIFICAZIONE DEGLI EVENTI DI MOTO ONDOSI AL LARGO IN BASE ALL'ALTEZZA ED AL PERIODO D'ONDA

Per quanto riguarda la classificazione degli eventi, una prima analisi consiste nel suddividere gli eventi di moto ondoso in base al valore dell'altezza d'onda significativa e del periodo al fine di individuare la frequenza di accadimento di ogni singola classe di eventi. Per quanto riguarda la suddivisione degli eventi in classi di altezza d'onda significativa si è adottato il seguente criterio di riferimento:

- una classe per gli eventi caratterizzati da un'altezza d'onda inferiore a 0,25 m;
- per gli eventi caratterizzati da un'altezza d'onda superiore a 0,25 m classi aventi un intervallo di 0,5 m (ad esempio 0,25÷0,75 m; 0,75÷1,25 m; ...).

Per quanto riguarda la suddivisione degli eventi in base al periodo d'onda si sono considerate classi di ampiezza pari a due secondi (ad esempio 0÷2 s, 2÷4 s, 4÷6 s, ...). Nella Tab. 5.7 è riportata la classificazione percentuale degli eventi in base al periodo di picco ed all'altezza d'onda.

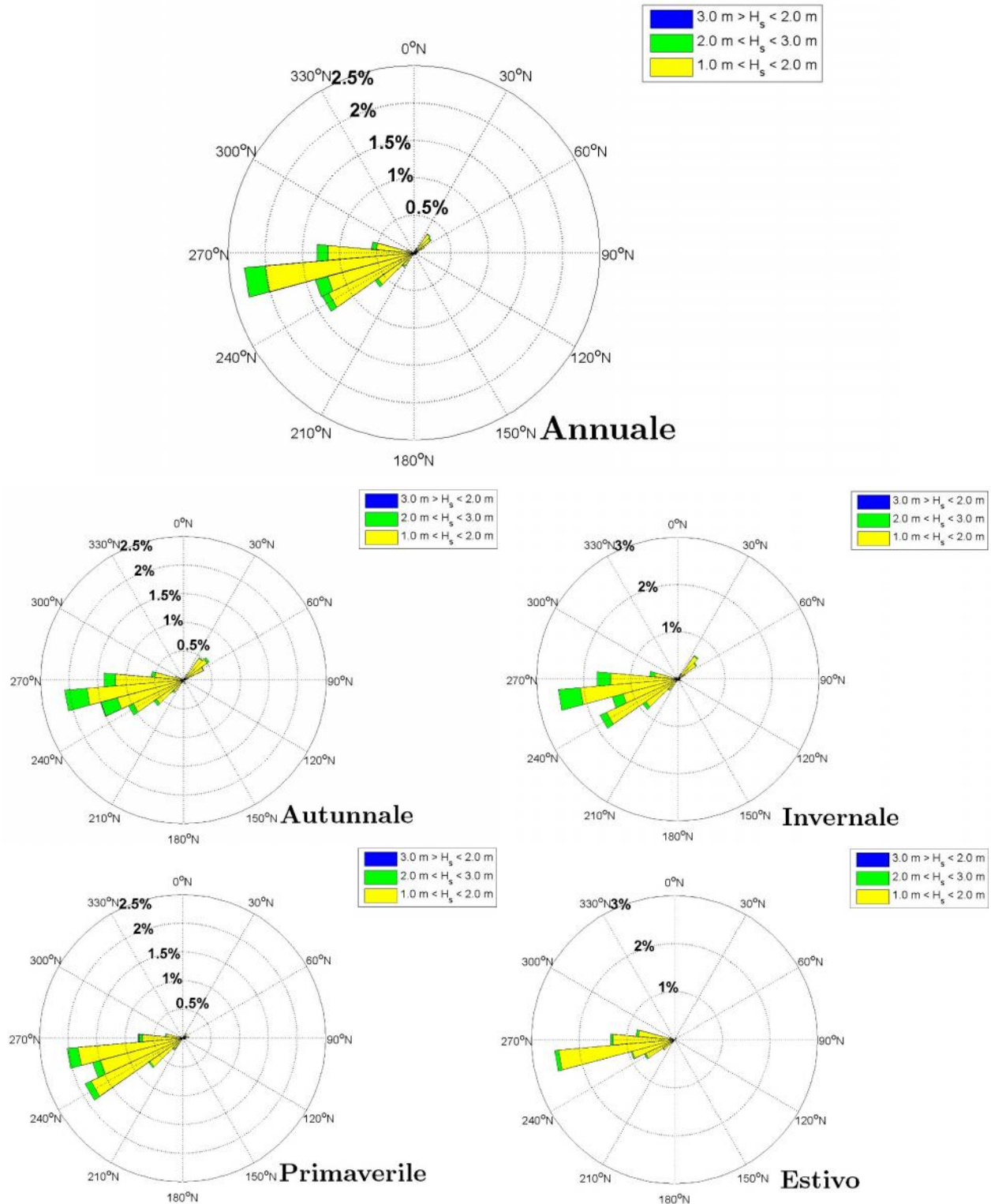


Fig. 5.2 - Distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso alla Maddalena (Cala Camicia) in base alla serie ricostruita a partire dai dati anemometrici registrati alla Stazione A.M. 506 - Guardia Vecchia.

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)														TOT.	
	<25	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																0.76
20	0.56	0.15	0.04													1.07
30	0.55	0.42	0.09	0.01												3.44
40	1.83	1.09	0.51	0.02												5.13
50	3.09	1.57	0.43	0.03												4.17
60	3.11	0.80	0.25	0.00												3.28
70	2.72	0.47	0.09	0.01												4.93
80	4.18	0.67	0.08													2.70
90	2.18	0.48	0.05													1.77
100	1.42	0.30	0.04	0.00												1.72
110	1.38	0.31	0.03													1.44
120	1.12	0.27	0.05	0.00												0.94
130	0.64	0.26	0.04													1.99
140	1.59	0.36	0.04													0.74
150	0.55	0.18	0.02													1.41
160	1.15	0.23	0.04													1.27
170	1.09	0.17	0.02													1.00
180	0.90	0.09	0.01													0.71
190	0.60	0.10	0.01													0.47
200	0.38	0.06	0.03	0.00												0.87
210	0.62	0.18	0.06	0.01		0.00										1.41
220	0.70	0.34	0.34	0.04												3.54
230	1.34	1.18	0.95	0.07	0.00											7.48
240	2.82	2.40	2.09	0.15	0.01											8.29
250	3.30	2.92	1.78	0.26	0.03	0.00										19.11
260	9.58	5.87	3.18	0.44	0.05											8.94
270	3.97	2.77	1.94	0.24	0.01	0.01										5.00
280	2.91	1.18	0.81	0.09	0.01											2.82
290	2.30	0.36	0.17	0.00												2.14
300	2.04	0.07	0.03													0.87
310	0.73	0.11	0.03													0.49
320	0.40	0.06	0.03													0.01
330	0.01	0.01														
340																
350	0.04	0.02	0.01													0.07
360																
TOT.	59.79	25.44	13.28	1.37	0.11	0.01										100.00
Tot. cumu	85.23	98.51	99.88	99.99	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

**Tab. 5.2 – CALA CAMICIA. Serie ricostruita a partire dai dati registrati
 alla Stazione A.M. 506 - Guardivecchia - periodo 1951-1973.
 Distribuzione percentuale degli eventi di moto ondoso,
 per classi di Hs e direzione di provenienza.
 ANNUALE**

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)															TOT.
	<25	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																
20	0.72	0.29	0.09													1.10
30	0.75	0.85	0.17	0.02												1.80
40	2.84	1.85	1.05	0.04												5.78
50	3.58	2.04	0.81	0.04												6.47
60	2.47	0.97	0.32													3.76
70	2.22	0.49	0.12													2.82
80	2.85	0.72	0.10													3.67
90	1.42	0.51	0.08													2.01
100	0.98	0.36	0.09													1.42
110	1.32	0.39	0.04													1.75
120	0.97	0.44	0.14													1.55
130	0.49	0.33	0.09													0.91
140	1.01	0.36	0.10													1.47
150	0.49	0.13	0.05													0.67
160	1.12	0.17	0.04													1.34
170	1.18	0.17	0.02													1.37
180	1.00	0.10	0.01													1.11
190	1.08	0.20	0.02													1.30
200	0.59	0.16	0.04													0.80
210	1.02	0.30	0.13													1.46
220	0.98	0.60	0.47	0.04												2.10
230	1.85	1.83	1.36	0.14												5.19
240	3.44	2.59	2.92	0.26	0.01											9.22
250	3.31	2.34	1.97	0.41	0.01											8.04
260	7.51	4.80	3.55	0.75	0.09											16.50
270	3.16	1.99	2.52	0.50	0.02											8.19
280	1.80	0.87	0.81	0.19	0.01											3.69
290	1.28	0.39	0.13													1.80
300	0.93	0.11	0.03													1.07
310	0.51	0.31	0.11													0.93
320	0.38	0.14	0.10													0.61
330	0.01	0.02														0.03
340																
350	0.04	0.03	0.01													0.09
360																
TOT.	53.30	26.67	17.49	2.40	0.14											100.00
Tot. cum.	79.97	97.46	99.86	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

**Tab. 5.3 – CALA CAMICIA. Serie ricostruita a partire dai dati registrati
 alla Stazione A.M. 506 - Guardiavecchia - periodo 1951-1973.
 Distribuzione percentuale degli eventi di moto ondoso,
 per classi di Hs e direzione di provenienza.
 AUTUNNO**

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)															TOT.
	<25	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																0.77
20	0.67	0.07	0.03													0.62
30	0.44	0.17	0.01													2.08
40	1.26	0.65	0.17													3.24
50	2.16	0.98	0.10													3.32
60	2.76	0.53	0.03													3.19
70	2.55	0.53	0.10	0.01												6.87
80	5.50	1.24	0.14													3.58
90	2.67	0.86	0.06													1.84
100	1.40	0.35	0.08	0.01												2.00
110	1.53	0.41	0.06													1.46
120	1.09	0.31	0.05	0.01												0.96
130	0.70	0.24	0.02													1.90
140	1.45	0.41	0.04													0.68
150	0.50	0.18														1.10
160	0.89	0.21	0.01													0.98
170	0.81	0.17	0.01													0.65
180	0.56	0.09														0.29
190	0.29															0.19
200	0.16	0.02	0.01													0.38
210	0.30	0.06	0.03													0.95
220	0.39	0.13	0.37	0.05												3.31
230	0.90	1.26	1.10	0.05												9.17
240	2.89	3.27	2.83	0.18	0.01											9.80
250	3.57	3.90	2.09	0.23	0.01											20.78
260	11.13	6.59	2.75	0.29	0.03											8.12
270	4.24	2.61	1.15	0.10		0.02										4.66
280	3.24	0.97	0.41	0.01	0.02											2.86
290	2.43	0.30	0.13													2.80
300	2.72	0.06	0.02													0.81
310	0.78	0.03														0.61
320	0.60		0.01													0.01
330	0.01															
340																
350		0.01	0.02													0.03
360																
TOT.	60.57	26.60	11.82	0.93	0.07	0.02										100.00
Tot. cumul.	87.17	98.99	99.91	99.98	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

**Tab. 5.4 – CALA CAMICIA. Serie ricostruita a partire dai dati registrati
 alla Stazione A.M. 506 - Guardiavecchia - periodo 1951-1973.
 Distribuzione percentuale degli eventi di moto ondoso,
 per classi di Hs e direzione di provenienza.
 INVERNO**

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)															TOT.
	<25	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																0.39
20	0.38		0.01													0.45
30	0.36	0.09	0.01													1.89
40	1.36	0.45	0.08													2.90
50	2.21	0.61	0.08													3.77
60	3.28	0.46	0.02													3.19
70	3.03	0.15	0.01													5.14
80	4.91	0.22	0.01													3.12
90	2.91	0.21														1.95
100	1.80	0.15														1.56
110	1.35	0.19	0.02													1.32
120	1.19	0.12	0.01													0.82
130	0.63	0.15	0.04													2.45
140	2.10	0.34	0.01													0.75
150	0.63	0.12														1.45
160	1.23	0.22														0.97
170	0.90	0.07														0.81
180	0.69	0.11	0.01													0.27
190	0.23	0.04														0.18
200	0.15	0.02	0.01													0.21
210	0.16	0.03	0.01			0.01										0.39
220	0.18	0.07	0.15													1.46
230	0.48	0.48	0.48	0.01												4.89
240	1.92	1.85	1.07	0.04	0.01											7.88
250	3.28	3.32	1.23	0.04												24.26
260	12.11	8.34	3.67	0.13	0.01											11.21
270	4.95	4.04	2.14	0.08												7.27
280	3.97	2.01	1.20	0.07	0.01											4.25
290	3.73	0.36	0.16	0.01												3.23
300	3.20	0.03														1.12
310	1.12															0.39
320	0.38	0.01														0.01
330		0.01														
340																
350	0.04	0.01														0.05
360																
TOT.	64.89	24.27	10.43	0.37	0.03	0.01										100.00
Tot. cuml.	89.16	99.59	99.96	99.99	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

**Tab. 5.5 – CALA CAMICIA. Serie ricostruita a partire dai dati registrati
alla Stazione A.M. 506 - Guardivecchia - periodo 1951-1973.
Distribuzione percentuale degli eventi di moto ondoso,
per classi di Hs e direzione di provenienza.
PRIMAVERA**

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)															TOT.
	<25	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																
20	0.49	0.26	0.04													0.79
30	0.68	0.62	0.17													1.48
40	1.94	1.48	0.79	0.03												4.24
50	4.51	2.73	0.79	0.07												8.11
60	3.90	1.27	0.66	0.01												5.85
70	3.04	0.71	0.14	0.01												3.90
80	3.32	0.48	0.08													3.88
90	1.62	0.36	0.05													2.03
100	1.46	0.36	0.01													1.82
110	1.31	0.26														1.58
120	1.22	0.22														1.45
130	0.73	0.34	0.01													1.08
140	1.74	0.35	0.01													2.10
150	0.58	0.29	0.01													0.88
160	1.36	0.31	0.09													1.75
170	1.50	0.26	0.04													1.80
180	1.39	0.07														1.46
190	0.88	0.16	0.01													1.05
200	0.66	0.06	0.04	0.01												0.77
210	1.06	0.34	0.08	0.02												1.50
220	1.28	0.59	0.38	0.05												2.30
230	2.19	1.19	0.91	0.08	0.01											4.38
240	3.11	1.89	1.60	0.15	0.01											6.76
250	3.02	2.03	1.83	0.39	0.11	0.01										7.39
260	7.30	3.75	2.79	0.61	0.07											14.52
270	3.44	2.34	2.01	0.33	0.02											8.14
280	2.51	0.83	0.83	0.11												4.27
290	1.64	0.39	0.25													2.28
300	1.18	0.08	0.07													1.33
310	0.50	0.12														0.62
320	0.23	0.09	0.01													0.34
330																
340																
350	0.07	0.04	0.02													0.13
360																
TOT.	59.87	24.27	13.75	1.88	0.22	0.01										100.00
Tot. cuml.	84.14	97.89	99.77	99.99	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

**Tab. 5.6 – CALA CAMICIA. Serie ricostruita a partire dai dati registrati
 alla Stazione A.M. 506 - Guardivecchia - periodo 1951-1973.
 Distribuzione percentuale degli eventi di moto ondoso,
 per classi di Hs e direzione di provenienza.
 ESTATE**

Hs \ Tp	< 2	2 ÷ 4	4 ÷ 6	6 ÷ 8	8 ÷ 10	10 ÷ 12	12 ÷ 14	14 ÷ 16	Tot
< 0.25	55.07	4.72							59.79
0.25 ÷ 0.75	3.49	32.00	0.00						35.49
0.75 ÷ 1.25		4.24	0.01						4.25
1.25 ÷ 1.75		0.20	0.24						0.44
1.75 ÷ 2.25			0.03						0.03
2.25 ÷ 2.75			0.00						0.00
2.75 ÷ 3.25									
3.25 ÷ 3.75									
3.75 ÷ 4.25									
4.25 ÷ 4.75									
4.75 ÷ 5.25									
5.25 ÷ 5.75									
5.75 ÷ 6.25									
6.25 ÷ 6.75									
6.75 ÷ 7.25									
Tot	58.56	41.18	0.28						100.00

Tab. 5.7 – CALA CAMICIA. Eventi di moto ondoso classificati per Hs e Tp – Distribuzione percentuale

5.3 Caratterizzazione del moto ondoso al largo di Punta Chiara

5.3.1 Definizione dei fetchs geografici, efficaci e della correlazione tra direzioni del vento e dello stato di mare generato

Il punto scelto per la ricostruzione del moto ondoso si colloca nel canale formato dalle isole della Maddalena e di Santo Stefano, in corrispondenza di Punta Chiara (Fig. 5.3) è appare contraddistinto da un settore di traversia geografico delimitato a Nord dall'isola della Maddalena, a Est dall'isola di Caprera, a Sud dall'isola di Santo Stefano e a Ovest, Sud-Ovest dalla costa della Sardegna a settentrione di Palau. In particolare, un piccolo settore attorno ai 270°N è delimitato dalla costa occidentale della Sardegna presso l'Isola di Coluccia.

I valori più elevati della lunghezza del fetch geografico si hanno secondo la direzione che riguarda la costa sarda presso l'isola di Coluccia (270°N) per le quali la lunghezza del fetch geografico risulta pari a circa 9,5 km. Nel diagramma polare di Fig. 5.3 sono indicati graficamente i valori dei fetches geografici ed efficaci relativi al punto scelto. La Tab. 5.8 riporta gli stessi valori in forma numerica. Si osserva che la tabella anzidetta riporta anche

la correlazione tra le direzioni azimutali di provenienza del vento e le direzioni di provenienza del moto ondoso.

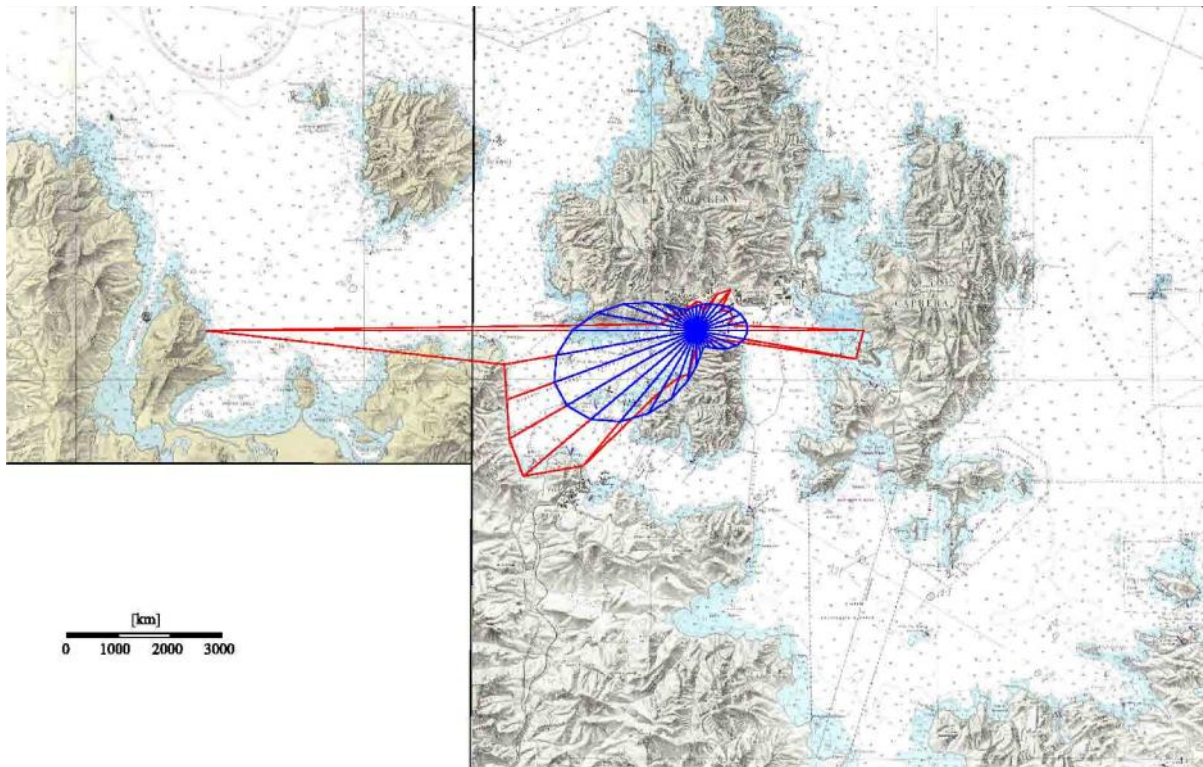


Fig. 5.3 - Fetchs geografici (rosso) ed efficaci (blu) nel punto scelto al largo di Punta Chiara.

Azimuth (°N)	F. GEO. (m)	F. EFF. (m)	Dir. Mare (°N)	Azimuth (°N)	F. GEO. (m)	F. EFF. (m)	Dir. Mare (°N)
0	556.2	475.3	14	180	326.0	689.8	217
10	558.8	507.5	27	190	851.0	998.0	222
20	390.9	545.0	43	200	964.4	1393.4	227
30	817.6	591.5	54	210	1315.7	1844.1	231
40	1029.0	653.8	62	220	3407.5	2293.0	236
50	605.7	735.3	69	230	4370.6	2666.4	240
60	751.0	829.9	74	240	4176.1	2892.4	244
70	753.2	920.4	79	250	3903.9	2922.4	248
80	610.0	983.0	84	260	3774.2	2747.8	252
90	3238.8	995.7	88	270	9490.0	2403.6	256
100	3137.4	946.3	93	280	727.6	1958.8	260
110	490.1	839.0	97	290	582.8	1495.8	265
120	394.7	693.9	101	300	628.7	1086.8	269
130	307.0	543.1	106	310	449.8	776.7	274
140	277.7	421.0	110	320	396.0	577.9	279
150	197.8	356.8	199	330	395.2	476.5	285
160	175.6	371.9	205	340	495.8	444.2	292
170	203.2	480.6	211	350	494.3	451.0	299

Tab. 5.8 - Fetchs geografici ed efficaci nel punto scelto al largo di Punta Chiara.

5.3.2 Analisi della serie ricostruita

Anche in questo caso, a favore di sicurezza, la serie anemometrica misurata alla stazione A.M. 506 - Guardia Vecchia - non è stata oggetto di alcuna correzione per tenere conto della quota, ovvero non si applicata alcuna legge per tenere in conto della riduzione del modulo della velocità del vento nel passaggio tra la quota della stazione (158 m sul l.m.m) e la quota superficiale, assunta nel metodo SMB pari a 10 m sul l.m.m.

5.3.2.1 CLASSIFICAZIONE DEGLI EVENTI DI MOTO ONDOSI IN BASE ALL'ALTEZZA D'ONDA ED ALLA DIREZIONE – CLIMA DI MOTO ONDOSI

Nella Fig. 5.4 sono riportate rispettivamente la rosa annuale e quelle stagionali del clima di moto ondoso. Le tabelle da 5.9 a 5.13 riportano gli stessi risultati in forma numerica. Si osserva che lo schema di suddivisione seguito è analogo a quello utilizzato per il caso del punto al largo di Cala Camicia.

Dall'analisi dei risultati si evince che al largo di Punta Chiara gli stati di mare caratterizzati da altezze d'onda più elevate provengono dal settore di traversia compreso tra i 240 e i 280°N. In particolare emergono le seguenti caratteristiche del clima d'onda annuale:

5. la percentuale degli eventi caratterizzati da un'altezza d'onda inferiore a 0,5 m è pari a circa il 83%;
6. gli eventi caratterizzati da un'altezza d'onda superiore a 0,5 m provengono per il 94% dal settore 240-280°N, per il restante 6% dalle altre direzioni;
7. gli eventi caratterizzati da un'altezza d'onda superiore a 1 m provengono per il 99,8% dei casi dal settore 240-280°N;
8. diciassette eventi sono risultati superiori ai 2 m, in particolare 12 di questi eventi risultano provenienti dalla direzione 260°N e 3 dalla direzione 270°N.

Si evidenzia che le caratteristiche climatiche sopra indicate si possono riscontrare anche analizzando gli eventi su base stagionale.

5.3.2.2 CLASSIFICAZIONE DEGLI EVENTI DI MOTO ONDOSI AL LARGO IN BASE ALL'ALTEZZA ED AL PERIODO D'ONDA

Nella Tab. 5.14 è riportata la classificazione percentuale degli eventi in base al periodo di picco ed all'altezza d'onda.

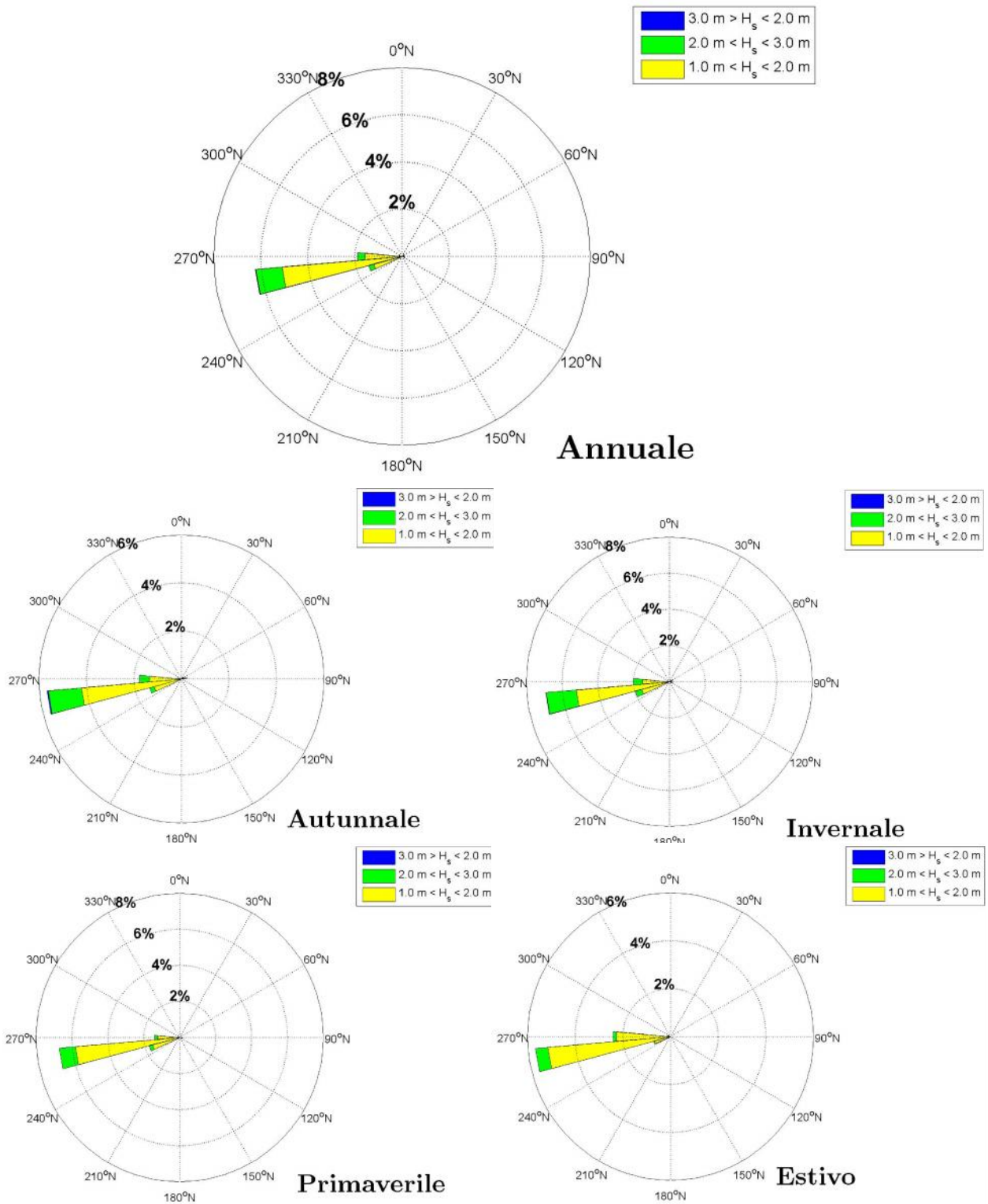


Fig. 5.4 - Distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso alla Maddalena (Punta Chiara) in base alla serie ricostruita a partire dai dati anemometrici registrati alla Stazione A.M. 506 - Guardia Vecchia.

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)														TOT.	
	<25	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																0.76
20	0.56	0.15	0.04													1.07
30	0.55	0.42	0.09	0.01												3.44
40	1.83	1.09	0.51	0.02												5.13
50	3.09	1.57	0.43	0.03												4.17
60	3.11	0.80	0.25	0.00												3.28
70	2.72	0.47	0.09	0.01												4.93
80	4.18	0.67	0.08													2.70
90	2.18	0.48	0.05													1.77
100	1.42	0.30	0.04	0.00												1.72
110	1.38	0.31	0.03													1.44
120	1.12	0.27	0.05	0.00												0.94
130	0.64	0.26	0.04													1.99
140	1.59	0.36	0.04													0.74
150	0.55	0.18	0.02													1.41
160	1.15	0.23	0.04													1.27
170	1.09	0.17	0.02													1.00
180	0.90	0.09	0.01													0.71
190	0.60	0.10	0.01													0.47
200	0.38	0.06	0.03	0.00												0.87
210	0.62	0.18	0.06	0.01		0.00										1.41
220	0.70	0.34	0.34	0.04												3.54
230	1.34	1.18	0.95	0.07	0.00											7.48
240	2.82	2.40	2.09	0.15	0.01											8.29
250	3.30	2.92	1.78	0.26	0.03	0.00										19.11
260	9.58	5.87	3.18	0.44	0.05											8.94
270	3.97	2.77	1.94	0.24	0.01	0.01										5.00
280	2.91	1.18	0.81	0.09	0.01											2.82
290	2.30	0.36	0.17	0.00												2.14
300	2.04	0.07	0.03													0.87
310	0.73	0.11	0.03													0.49
320	0.40	0.06	0.03													0.01
330	0.01	0.01														
340																
350	0.04	0.02	0.01													0.07
360																
TOT.	59.79	25.44	13.28	1.37	0.11	0.01										100.00
Tot. cumu	85.23	98.51	99.88	99.99	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

**Tab. 5.9 – PUNTA CHIARA. Serie ricostruita a partire dai dati registrati
 alla Stazione A.M. 506 - Guardivecchia - periodo 1951-1973.
 Distribuzione percentuale degli eventi di moto ondoso,
 per classi di Hs e direzione di provenienza.
 ANNUALE**

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)															TOT.
	<25	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																1.10
20	0.72	0.29	0.09													1.80
30	0.75	0.85	0.17	0.02												5.78
40	2.84	1.85	1.05	0.04												6.47
50	3.58	2.04	0.81	0.04												3.76
60	2.47	0.97	0.32													2.82
70	2.22	0.49	0.12													3.67
80	2.85	0.72	0.10													2.01
90	1.42	0.51	0.08													1.42
100	0.98	0.36	0.09													1.75
110	1.32	0.39	0.04													1.55
120	0.97	0.44	0.14													0.91
130	0.49	0.33	0.09													1.47
140	1.01	0.36	0.10													0.67
150	0.49	0.13	0.05													1.34
160	1.12	0.17	0.04													1.37
170	1.18	0.17	0.02													1.11
180	1.00	0.10	0.01													1.30
190	1.08	0.20	0.02													0.80
200	0.59	0.16	0.04													1.46
210	1.02	0.30	0.13													2.10
220	0.98	0.60	0.47	0.04												5.19
230	1.85	1.83	1.36	0.14												9.22
240	3.44	2.59	2.92	0.26	0.01											8.04
250	3.31	2.34	1.97	0.41	0.01											16.50
260	7.51	4.80	3.55	0.75	0.09											8.19
270	3.16	1.99	2.52	0.50	0.02											3.69
280	1.80	0.87	0.81	0.19	0.01											1.80
290	1.28	0.39	0.13													1.07
300	0.93	0.11	0.03													0.93
310	0.51	0.31	0.11													0.61
320	0.38	0.14	0.10													0.03
330	0.01	0.02														
340																
350	0.04	0.03	0.01													0.09
360																
TOT.	53.30	26.67	17.49	2.40	0.14											100.00
Tot. cum.		79.97	97.46	99.86	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

**Tab. 5.10 – PUNTA CHIARA. Serie ricostruita a partire dai dati registrati
 alla Stazione A.M. 506 - Guardiavecchia - periodo 1951-1973.
 Distribuzione percentuale degli eventi di moto ondoso,
 per classi di Hs e direzione di provenienza.
 AUTUNNO**

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)															TOT.
	<25	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																0.77
20	0.67	0.07	0.03													0.62
30	0.44	0.17	0.01													2.08
40	1.26	0.65	0.17													3.24
50	2.16	0.98	0.10													3.32
60	2.76	0.53	0.03													3.19
70	2.55	0.53	0.10	0.01												6.87
80	5.50	1.24	0.14													3.58
90	2.67	0.86	0.06													1.84
100	1.40	0.35	0.08	0.01												2.00
110	1.53	0.41	0.06													1.46
120	1.09	0.31	0.05	0.01												0.96
130	0.70	0.24	0.02													1.90
140	1.45	0.41	0.04													0.68
150	0.50	0.18														1.10
160	0.89	0.21	0.01													0.98
170	0.81	0.17	0.01													0.65
180	0.56	0.09														0.29
190	0.29															0.19
200	0.16	0.02	0.01													0.38
210	0.30	0.06	0.03													0.95
220	0.39	0.13	0.37	0.05												3.31
230	0.90	1.26	1.10	0.05												9.17
240	2.89	3.27	2.83	0.18	0.01											9.80
250	3.57	3.90	2.09	0.23	0.01											20.78
260	11.13	6.59	2.75	0.29	0.03											8.12
270	4.24	2.61	1.15	0.10		0.02										4.66
280	3.24	0.97	0.41	0.01	0.02											2.86
290	2.43	0.30	0.13													2.80
300	2.72	0.06	0.02													0.81
310	0.78	0.03														0.61
320	0.60		0.01													0.01
330	0.01															
340																
350		0.01	0.02													0.03
360																
TOT.	60.57	26.60	11.82	0.93	0.07	0.02										100.00
Tot. cumul.	87.17	98.99	99.91	99.98	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

**Tab. 5.11 – PUNTA CHIARA. Serie ricostruita a partire dai dati registrati
 alla Stazione A.M. 506 - Guardiavecchia - periodo 1951-1973.
 Distribuzione percentuale degli eventi di moto ondoso,
 per classi di Hs e direzione di provenienza.
 INVERNO**

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)															TOT.
	<25	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																0.39
20	0.38		0.01													0.45
30	0.36	0.09	0.01													1.89
40	1.36	0.45	0.08													2.90
50	2.21	0.61	0.08													3.77
60	3.28	0.46	0.02													3.19
70	3.03	0.15	0.01													5.14
80	4.91	0.22	0.01													3.12
90	2.91	0.21														1.95
100	1.80	0.15														1.56
110	1.35	0.19	0.02													1.32
120	1.19	0.12	0.01													0.82
130	0.63	0.15	0.04													2.45
140	2.10	0.34	0.01													0.75
150	0.63	0.12														1.45
160	1.23	0.22														0.97
170	0.90	0.07														0.81
180	0.69	0.11	0.01													0.27
190	0.23	0.04														0.18
200	0.15	0.02	0.01													0.21
210	0.16	0.03	0.01			0.01										0.39
220	0.18	0.07	0.15													1.46
230	0.48	0.48	0.48	0.01												4.89
240	1.92	1.85	1.07	0.04	0.01											7.88
250	3.28	3.32	1.23	0.04												24.26
260	12.11	8.34	3.67	0.13	0.01											11.21
270	4.95	4.04	2.14	0.08												7.27
280	3.97	2.01	1.20	0.07	0.01											4.25
290	3.73	0.36	0.16	0.01												3.23
300	3.20	0.03														1.12
310	1.12															0.39
320	0.38	0.01														0.01
330		0.01														
340																
350	0.04	0.01														0.05
360																
TOT.	64.89	24.27	10.43	0.37	0.03	0.01										100.00
Tot. cuml.	89.16	99.59	99.96	99.99	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

**Tab. 5.12 – PUNTA CHIARA. Serie ricostruita a partire dai dati registrati
 alla Stazione A.M. 506 - Guardiavecchia - periodo 1951-1973.
 Distribuzione percentuale degli eventi di moto ondoso,
 per classi di Hs e direzione di provenienza.
 PRIMAVERA**

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)															TOT.
	<25	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																
20	0.49	0.26	0.04													0.79
30	0.68	0.62	0.17													1.48
40	1.94	1.48	0.79	0.03												4.24
50	4.51	2.73	0.79	0.07												8.11
60	3.90	1.27	0.66	0.01												5.85
70	3.04	0.71	0.14	0.01												3.90
80	3.32	0.48	0.08													3.88
90	1.62	0.36	0.05													2.03
100	1.46	0.36	0.01													1.82
110	1.31	0.26														1.58
120	1.22	0.22														1.45
130	0.73	0.34	0.01													1.08
140	1.74	0.35	0.01													2.10
150	0.58	0.29	0.01													0.88
160	1.36	0.31	0.09													1.75
170	1.50	0.26	0.04													1.80
180	1.39	0.07														1.46
190	0.88	0.16	0.01													1.05
200	0.66	0.06	0.04	0.01												0.77
210	1.06	0.34	0.08	0.02												1.50
220	1.28	0.59	0.38	0.05												2.30
230	2.19	1.19	0.91	0.08	0.01											4.38
240	3.11	1.89	1.60	0.15	0.01											6.76
250	3.02	2.03	1.83	0.39	0.11	0.01										7.39
260	7.30	3.75	2.79	0.61	0.07											14.52
270	3.44	2.34	2.01	0.33	0.02											8.14
280	2.51	0.83	0.83	0.11												4.27
290	1.64	0.39	0.25													2.28
300	1.18	0.08	0.07													1.33
310	0.50	0.12														0.62
320	0.23	0.09	0.01													0.34
330																
340																
350	0.07	0.04	0.02													0.13
360																
TOT.	59.87	24.27	13.75	1.88	0.22	0.01										100.00
Tot. cuml.	84.14	97.89	99.77	99.99	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

**Tab. 5.13 – PUNTA CHIARA. Serie ricostruita a partire dai dati registrati
 alla Stazione A.M. 506 - Guardiavecchia - periodo 1951-1973.
 Distribuzione percentuale degli eventi di moto ondoso,
 per classi di Hs e direzione di provenienza.
 ESTATE**

Hs \ Tp	< 2	2 ÷ 4	4 ÷ 6	6 ÷ 8	8 ÷ 10	10 ÷ 12	12 ÷ 14	14 ÷ 16	Tot
< 0.25	55.07	4.72							59.79
0.25 ÷ 0.75	3.49	32.00	0.00						35.49
0.75 ÷ 1.25		4.24	0.01						4.25
1.25 ÷ 1.75		0.20	0.24						0.44
1.75 ÷ 2.25			0.03						0.03
2.25 ÷ 2.75			0.00						0.00
2.75 ÷ 3.25									
3.25 ÷ 3.75									
3.75 ÷ 4.25									
4.25 ÷ 4.75									
4.75 ÷ 5.25									
5.25 ÷ 5.75									
5.75 ÷ 6.25									
6.25 ÷ 6.75									
6.75 ÷ 7.25									
Tot	58.56	41.18	0.28						100.00

Tab. 5.14 – PUNTA CHIARA. Eventi di moto ondoso classificati per Hs e Tp – Distribuzione percentuale

6 ANALISI ESTREMALE DELLE FORZANTI MARINE

6.1 INTRODUZIONE

L'analisi estrema di una variabile casuale x prevede l'individuazione della funzione di distribuzione cumulata (cdf – cumulative distribution function), ovvero della funzione

$$F(x) = \Pr[X \leq x]$$

rappresentante la probabilità di non superamento di un determinato valore, che meglio si adatta al campione disponibile dei valori estremi della variabile casuale considerata.

Il primo problema affrontato nell'analisi estrema è quindi la definizione di tale campione il quale, oltre a essere rappresentativo dei valori estremi di interesse, deve garantire la loro indipendenza e omogeneità. Nel caso delle forzanti marine, ovvero di variabili casuali rappresentative di fenomeni sia direttamente meteorologici sia da questi generati, il campione viene desunto a partire dalle serie storiche misurate (time series), per le quali l'indipendenza nel tempo appare una assunzione irrealistica. Per tali variabili, nell'ipotesi di stazionarietà ⁽¹⁾ della serie storica di partenza, può considerarsi indipendente e omogeneo un campione formato da valori rappresentativi di eventi estremi indipendenti fra loro ma caratterizzati da genesi comune ⁽²⁾.

Come noto, allo scopo di garantire l'indipendenza del campione, l'approccio classico (Gumbel, 1958) consiste nell'estrarre dalla serie storica di partenza i massimi osservati all'interno di intervalli di tempo omologhi, ovvero all'interno di blocchi di uguale lunghezza (block maxima), risultando la lunghezza del blocco generalmente posta pari all'anno (massimi annuali). Si osserva come tale approccio non garantisca a priori l'omogeneità del campione e presupponga che la serie storica di partenza si estenda a un numero di anni sufficiente esteso, risultando una statistica realizzata su pochi dati non significativa. Nel caso di serie storiche poco estese, allo scopo di garantire tale significatività, è possibile far

⁽¹⁾ L'ipotesi di stazionarietà prevede che le variabili della serie storica pur potendo risultare mutuamente dipendenti, abbiano proprietà stocastiche omogenee nel tempo.

⁽²⁾ Ad esempio, dai massimi valori di altezza d'onda - osservati a una qualche distanza l'una dalle altre – attribuibili a mareggiate diverse ma generate da perturbazioni meteorologiche di caratteristiche simili.

ricorso alla modellazione dei massimi di ordine r o delle eccedenze, ovvero alla modellazione dei primi r massimi (r -order statistics) misurati all'interno di blocchi di uguale lunghezza, o alla modellazione dei massimi di blocchi di dati superiori a una soglia prefissata (peack over thereshold). In entrambi casi, scelte specifiche sono necessarie a garantire l'indipendenza ⁽³⁾ e l'omogeneità del campione.

Una volta definito il campione, il secondo problema dell'analisi estemale consiste nell'individuare, tra quelle note, la funzione di distribuzione cumulata che meglio gli si adatta (problema di inferenza).

Se nel caso di un campione di massimi di blocchi di uguale lunghezza,

$$M_n = \max\{X_1, \dots, X_n\}$$

ovvero dei primi r massimi, le funzioni di distribuzione più comunemente utilizzate sono le funzioni del valore estremo del I° (Gumbel, 1959) del II° (Weibul, 1939) e del III° tipo (Frechet, 1927), generalizzabili nella funzione di distribuzione generalizzata dei valori estremi (GEV – Generalized Extreme Value distrubution) -

$$F(x) = \Pr[M_n \leq x] = \exp\left\{-\left[1 + \xi\left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right)^{-\frac{1}{\xi}}\right]\right\}$$

ove ξ , $\sigma (>0)$ e μ sono i parametri rispettivamente di forma, scala e posizione – è possibile dimostrare (Leadbetter e al., 1983, Coles, 2000) che la funzione secondo la quale si distribuisce la popolazione della variabile $Y=X-u$ ($X>u$), nell'ipotesi di soglia u sufficientemente alta (e che la distribuzione dei massimi della variabile X sia del tipo GEV), risulta la funzione di distribuzione generalizzata di Pareto

$$F(y) = \Pr[Y \leq y] = \Pr[X \leq u + y | X > u] = 1 - \left(1 + \xi \frac{y}{\tilde{\sigma}}\right)^{-\frac{1}{\xi}} \quad \tilde{\sigma} = \sigma + \xi(u - \mu)$$

⁽³⁾ L'applicazione del metodo delle eccedenze non garantisce in se l'indipendenza del campione, la quale dipende dalla scelta della soglia.

ove ξ , σ e μ sono i parametri della corrispondente GEV, mentre u è la soglia.

Il problema di interferenza si concretizza quindi nel determinare i parametri di tali funzioni di distribuzioni in grado di realizzare il migliore adattamento al campione dato. Inoltre, tenendo conto che la probabilità cumulata è legata al tempo di ritorno dell'evento dalla relazione

$$Tr(x) = \frac{1}{1 - F(x)}$$

si possono stimare i valori assunti dalla variabile casuale considerata relativamente a precisati tempi di ritorno.

6.2 ANALISI ESTREMALE DEI LIVELLI

Nell'analisi statistica degli estremi di livello sono possibili due approcci (Bortot e Tawn, 1997, Hawkes et al, 2002):

- la modellazione statistica della serie storica originaria, ovvero composta dalla sovrapposizione della sua componente deterministica costituita dalla marea astronomica e della sua componente stocastica costituita dalla marea meteorologica (approccio diretto);
- la decomposizione della serie storica nelle singole componenti deterministica e stocastica, la modellazione statistica della componente stocastica e quindi della dipendenza tra le due componenti (approccio indiretto).

Per quanto l'approccio indiretto, tenendo separate la componente deterministica (per la quale non è necessaria alcuna estrapolazione in quanto esattamente predicibile) da quella stocastica, sia da preferire, esso presenta una qualche difficoltà nella modellazione della dipendenza esistente tra le due componenti. Nel seguito si darà conto dell'applicazione del metodo diretto.

Nell'ipotesi di stazionarietà dell'intera serie storica misurata, ovvero di stazionarietà stagionale ⁽⁴⁾, se l'omogeneità del campione può essere assunta analizzando la serie completa, ovvero le serie storiche stagionali separatamente, la sua indipendenza, data l'esiguità dell'estensione della serie originale, prevede usualmente l'applicazione del metodo delle eccedenze, ovvero l'individuazione di una opportuna soglia (threshold), la definizione di gruppi di dati sopra di essa associabili a eventi indipendenti (clusters) e la individuazione del massimo di ciascun gruppo (peak over threshold). In particolare, è possibile procedere nel seguente modo:

- Nell'ipotesi di stazionarietà dell'intera serie storica misurata, ovvero di stazionarietà stagionale, l'omogeneità del campione viene assunta ipotizzando l'omogeneità della serie storica completa, depurata della media, ovvero considerando quattro serie storiche, ciascuna riferibile a una stagione dell'anno;
- per le serie storiche depurate della media così ottenute, si può scegliere una prima soglia pari a 0.0 m sul l.m.m., definendo - mediante procedura di de-raggruppamento (declustering) - i gruppi (clusters) rappresentativi di eventi indipendenti nell'ipotesi che tra un evento indipendente e l'altro esista una persistenza sotto la soglia pari a circa 12 ore, ovvero ipotizzando un intervallo tra eventi indipendenti pari all'intervallo che separa i due massimi di una marea astronomica a carattere semidiurno (Hawkes e al, 2002);
- utilizzando i campioni dei massimi dei clusters così ottenuti si traccia il grafico di vita residua del valore atteso degli eccessi (mean residual life plot), individuando su di esso la soglia oltre la quale tale valore atteso varia linearmente al variare della soglia stessa (Coles, 2000). Il campione viene quindi definito considerando i soli valori sopra la seconda soglia determinata ⁽⁵⁾.

Sulla base del campione così ottenuto, utilizzando il metodo della massima verosimiglianza (maximum likelihood), si inferisce la distribuzione scelta (distribuzione generalizzata di Pareto), verificando la validità del modello attraverso grafici diagnostici (diagnostic plots) quali il confronto tra le probabilità del modello e le frequenze empiriche

⁽⁴⁾ Nel caso che la serie storica misurata mostri una ciclicità annuale è possibile ipotizzare che le variabili della serie pur risultando mutuamente dipendenti, abbiano proprietà stocastiche stagionalmente omogenee.

⁽⁵⁾ Si osserva che - allo scopo di verificare la validità della scelta della soglia - è possibile verificare la costanza dei parametri della distribuzione scelta per l'inferenza all'aumentare della soglia stessa (Coles, 2000).

(probability plot) tra i quantili della distribuzione considerata e empirici (quantile plot), nonché verificando l'andamento delle funzioni distribuzione di probabilità (return level plot) e densità di probabilità (density plot).

Nelle figure 6.1 e 6.2 e nella tabella 6.1 sono presentati i risultati dell'adattamento della distribuzione generalizzata di Pareto al campione derivato dalla serie storica dei livelli misurati al mareografo di Porto Torres nell'ipotesi di applicazione del metodo diretto. In particolare, nella figura 6.1 sx è possibile osservare la variazione del valore atteso degli eccessi sopra soglia al variare della soglia stessa. L'andamento prossimo al lineare assunto dal valore atteso degli eccessi per valori della soglia $u \geq 0.25$ m indica come il fissare la soglia a 0.25 m possa ritenersi una scelta adeguata. La costanza dei parametri di forma e di scala nell'intervallo di soglie 0.25-0.45 m appare inoltre confermare tale scelta (Fig. 6.1 dx). Nella tabella 6.1 sono indicati i parametri di forma e di scala derivanti dall'adattamento, comprensivi del loro errore standard e dei loro limiti di confidenza. Nella stessa tabella sono anche forniti – unitamente ai loro intervalli di confidenza - i valori corrispondenti a prescritti tempi di ritorno (vedi anche la figura 6.2). Si osserva come al tempo di ritorno di 10 anni sia associato il livello +0.65 m sullo zero idrometrico (+0.51 m sul l.m.m.), ovvero un valore praticamente uguale al massimo valore misurato (0.66 m) nell'ambito della serie storica di undici anni analizzata.

soglia	0.25 m
n. dati campione	173

	valore	Err. Stan.	Int. Confidenza	
scala mod	0.120	0.010	0.098	0.142
forma	-0.232	0.057	-0.343	-0.120

Tr (anni)	LV (m)	IC +/- (m)
2	0.60	0.05
5	0.63	0.06
10	0.65	0.07
20	0.67	0.08
50	0.69	0.09
100	0.70	0.10

Tab. 6.1 – Soglia, parametri della distribuzione ed estremi di livello per il mareografo di Porto Torres. (i livelli estremi sono riferiti allo zero idrometrico del mareografo posto - 0.14 m rispetto al l.m.m.)

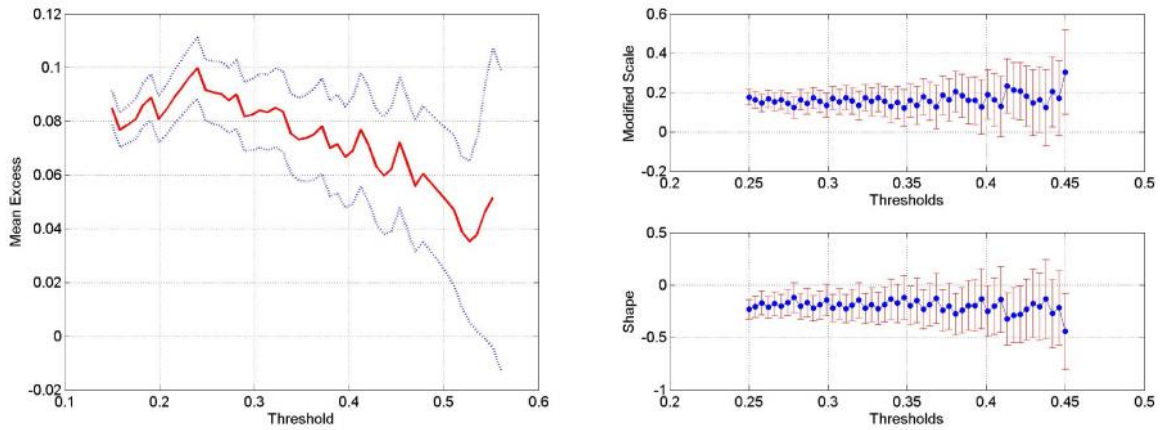


Fig. 6.1 – Analisi estrema dei livelli a Porto Torres: valore atteso degli eccessi (s_x) e parametri della GPD (d_x) al variare della soglia.

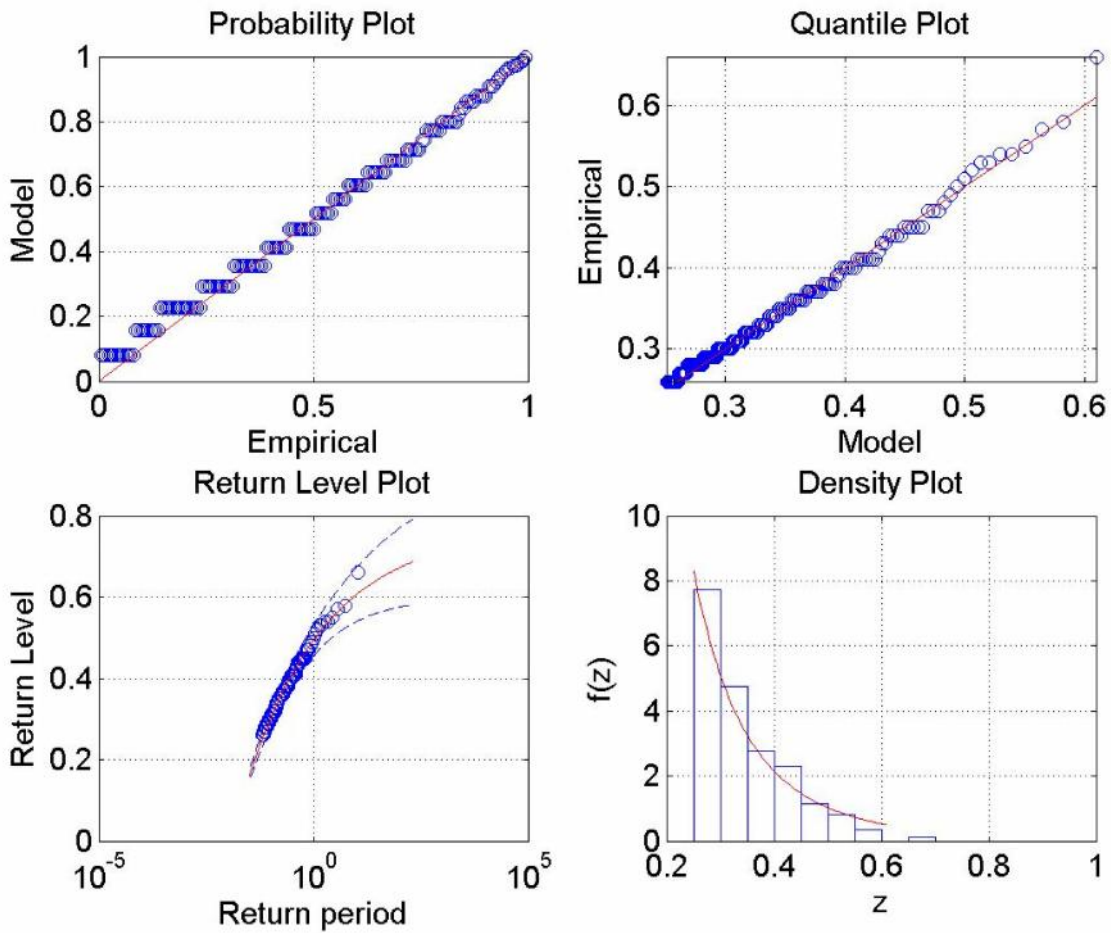


Fig. 6.2 – Analisi estrema dei livelli a Porto Torres: grafici diagnostici per la distribuzione generalizzata di Pareto (GPD).

7 APPENDICE 1 - Presupposti teorici del metodo SMB

Per il calcolo degli stati di mare generati dall'azione diretta del vento sulla superficie marina si fa riferimento alle relazioni, derivate dalla teoria di ricostruzione indiretta del moto ondoso nota come metodo S.M.B. (Sverdrup, Munk e Bretsheneider, 1947) e successivi aggiornamenti (Saville 1954, Seymour 1977, S.P.M. 1984, Smith 1991). E' necessario definire preliminarmente l'estensione e la conformazione dell'area di generazione nonché la profondità dei fondali di detta porzione di mare. Per quanto riguarda l'estensione e la conformazione si deve fare riferimento alla seguente classificazione:

- Restricted Fetches per traversie geografiche delimitate dalla presenza della costa o comunque contraddistinte da distanze inferiori a quelle proprie dell'estensione delle perturbazioni atmosferiche (⁶) responsabili del processo di generazione del moto ondoso;
- Open-Water Fetches per traversie geografiche non limitate da emergenze orografiche e comunque con estensioni superiori a quelle delle perturbazioni atmosferiche.

Per quanto riguarda la profondità dei fondali si deve fare la seguente distinzione:

- Shallow-Water per generazione del moto ondoso in acque basse ove cioè i fenomeni dissipativi per attrito e/o percolazione sul fondale non sono trascurabili (Bretchneider e Reid, 1954);
- Deep-Water per generazione del moto ondoso in aree contraddistinte da profondità superiori a 90 m (300 ft, SPM 1984).

Le equazioni impiegate, nella forma più generale, sono le seguenti:

$$t_{fetch,min} = D \cdot \frac{F^{1-C}}{g^C \cdot U_a^{(1-2 \cdot C)}} \quad (1)$$

⁶ Per il Mediterraneo si è soliti considerare comunque un limite superiore dell'estensione delle perturbazioni atmosferiche pari a 600 km

$$H_{m0} = \frac{U_a^2}{g} \cdot 0.283 \cdot \tanh \left[0.530 \left(\frac{gd}{U_a^2} \right)^{0.75} \right] \cdot \tanh \left\{ \frac{\frac{A}{0.283} \left(\frac{gF}{U_a^2} \right)^{1/2}}{\tanh \left[0.530 \left(\frac{gd}{U_a^2} \right)^{0.75} \right]} \right\} \quad (2)$$

$$T_p = \frac{U_a}{g} \cdot 7.540 \cdot \tanh \left[0.833 \left(\frac{gd}{U_a^2} \right)^{0.375} \right] \cdot \tanh \left\{ \frac{\frac{B}{7.54} \left(\frac{gF}{U_a^2} \right)^C}{\tanh \left[0.833 \left(\frac{gd}{U_a^2} \right)^{0.375} \right]} \right\} \quad (3)$$

ove

- d profondità (m) del fondale (assunto costante) relativo all'area di generazione
- U_a velocità (m/s) del vento "regolarizzata" (adjusted) in funzione delle caratteristiche della stazione di registrazione (quota e posizione geografica) e di un termine (coefficient drag) dovuto alla non linearità del legame esistente tra la velocità del vento e l'azione tangenziale di questo sulla superficie marina
- F estensione della superficie marina lungo la quale si esplica l'azione del vento (fetch)
- g accelerazione di gravità pari a 9.81 m/s^2
- A costante pari a 0.0016 in condizioni di Open-Water e 0.0015 per Restricted Fetch
- B costante pari a 0.2857 in condizioni di Open-Water e 0.3704 per Restricted Fetch
- C costante pari a 0.3333 in condizioni di Open-Water e 0.28 per Restricted Fetch
- D costante pari a 68.80 in condizioni di Open-Water e 51.09 per Restricted Fetch

Per la definizione del termine U_a si fa riferimento alla relazione (SPM, 1984):

$$U_a = 0.71 \cdot U_{10}^{1.23}$$

ove U_{10} esprime la velocità del vento relativa alla quota standard di misura pari a 10 m s.l.m.m.

Il valore della velocità del vento misurato dallo strumento posto alla generica quota z U_z deve essere quindi preliminarmente riferito alla quota standard di riferimento pari a 10 m s.l.m.m.; a tal riguardo si definisce un coefficiente correttivo tramite la relazione:

$$\frac{U_{10}}{U_z} = \frac{1}{\left[1 + 0.1 \ln\left(\frac{z}{10}\right) \right]}$$

Il termine F rappresenta il fetch efficace che viene calcolato preliminarmente, in funzione della conformazione geografica dell'area di generazione, tramite relazioni come quelle classiche di Saville o Seymour:

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

ove:

- ϕ_w direzione media (riferita al nord geografico) di provenienza del vento responsabile del fenomeno di generazione del moto ondoso lungo la traversia
- $\phi_i \leq \phi_w \pm \theta$ direzione i-esima (riferita al nord geografico) relativa ad un settore di $2 \cdot \theta$ considerato nell'intorno della direzione ϕ_w . Il metodo classico di Saville prevede un valore di $\theta=45^\circ$ mentre la metodologia sviluppata da Seymour fa riferimento ad un valore di $\theta=90^\circ$.
- $F_{e,w}$ lunghezza del fetch efficace relativa alla direzione ϕ_w
- F_i lunghezza del fetch geografico relativa alla direzione i-esima ϕ_i (si fa riferimento alla lunghezza calcolata su base cartografica) eventualmente asunta come valore medio relativo ad un settore di 15° nell'intorno della direzione i-esima ϕ_i (metodo proposto dal C.E.R.C. nel software package A.C.E.S.)

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 $n=2$)

8 BIBLIOGRAFIA

1. Bortot, P., e Tawn, J.A. (2000): “The joint probability of waves and water levels: Join-Sea. A rigorous but practical approach “, HR Wallingford - Report SR 537.
2. Cavaleri L. & Bertotti L. (2003). The characteristics of wind and wave fields modelled with different resolutions. Quarterly Journal Of The Royal Meteorological Society, 129 (590): 1647-1662.
3. Cavaleri, L; Bertotti, L (2004). Accuracy of the modelled wind and wave fields in enclosed seas. Tellus Series A-Dynamic Meteorology And Oceanography, 56 (2): 167-175.
4. Coles, S. (2000): “An introduction to statistical modelling of extreme values”, Springer.
5. Corsini, S., Inghilesi, R., Franco, L., Piscopia R. (2004) “ATLAS – Atlante delle onde nei mari italiani”, APAT, 2004.
6. Goda Y., “On the methodology of selecting design wave height”, Proc. 21st Coastal Engineering Conference, Malaga, 1988.
7. Hawkes, P.J., Gouldby, B.P., Tawn, J.A., Owen, M.W. (2002): “The joint probability of waves and water levels in coastal engineering design”, Journal of Hydraulic Research, Vol. 40. n.3.
8. Leenknecht D.A. et altri (1992). Automated Coastal Engineering System – Technical Reference. C.E.R.C. – W.E.S., Vicksburg, Version 1.06.
9. Mathiesen M., “Estimation of wave height duration statistics”, Coastal Engineering, Vol. 23, 1994.
10. Mathiesen M., Goda Y., Hawkes P., Mansard E., Martin M.J., Peltier E., Thompson E. e Van Veddler G., “Recomended practice for extreme wave analysis”, Journal of Hydraulic Research, Vol. 32. n° 6, 1994.
11. Owen M.W., 1988 “Wave prediction in reservoirs comparision of available methods” Owen M.W., 1988 Hydraulics Research Limited, Wallingford – Oxfordshire, Report EX1809 october 1988
12. R.Silvester, J.R.C. Hsu 1997 “Coastal Stabilization” World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, 1997
13. Saville T. et altri, 1962
14. Saville T. et altri, 1962 “Freeboard allowances for waves in inland reservoirs” Saville T. et altri, Journal of the Waterways and Harbours Division, Proc. ASCE, n.18 WW2 may 1962
15. Seymour R.J., 1977 “Estimating wave generation on restricted fetches” Seymour R.J., Journal of the Waterway Port Coastal and Ocean Division, Proc. ASCE, n.103 WW2 may 1977
16. Seymour R.J., 1977, “Estimating wave generation on restricted fetches”, Journal of the Waterway Port Coastal and Ocean Division, Proc. ASCE, n.103 WW2 may 1977
17. Shore Protection manual. C.E.R.C., Washington, fourth edition, 1984
18. Smith, J.M. 1991, “Wind-wave generation on restricted fetches”, Miscellaneous paper CERC-91-2, US Army Engineer Waterways Experiment Station.

19. Van Veddler G., Goda Y., Hawkes P., Mansard E., Martin M.J., Mathiesen M., Peltier E. e Thompson E., “Case studies of extreme wave analysis: a comparative analysis”, Proc. Conf. WAVES 93, New Orleans, U.S.A., 1993.