

Lo stato morfodinamico del litorale di Finale Ligure (Liguria occidentale – Italia)

Gian Camillo Cortemiglia

Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e della Vita (DI.S.T.A.V.) dell'Università degli Studi di Genova

Riassunto

Vengono evidenziate le caratteristiche geologiche e geomorfologiche del tratto costiero a falesia della Liguria orientale compreso tra Punta del Malpasso e la foce del Rio Fine di competenza amministrativa del Comune di Finale Ligure. Questo tratto costiero si presenta fisiograficamente suddivisibile in tre unità fisiografiche rispettivamente comprese, da E verso W, tra Capo Noli e Punta Crena con le *spiagge a tasca* del Malpasso e della *Baia dei Saraceni*, tra Punta Crena e Capo San Donato con le *spiagge a tasca* dei Nudisti, di Varigotti e del Porto, ed infine, tra Capo San Donato e Punta di Caprazoppa con le *spiagge a tasca* di Capo San Donato, di Finalpia e di Finalmarina. Il restante tratto di litorale di Finale Ligure compreso tra Punta di Caprazoppa e la foce del Rio Fine risulta invece appartenere ad una morfologia esterna a queste tre unità fisiografiche. Dopo aver determinato le caratteristiche anemologiche dei campi di vento ed ondometriche della *surf zone* dell'arco morfologico di questo tratto di litorale, si sono ricavati, con l'applicazione di una procedura di *hindcasting*, i parametri ondosi per ciascuna falda di mare, con cui si è potuto stimare una massima lunghezza d'onda alla riva sull'ordine di 100 m per l'Unità fisiografica Punta Noli-Punta Crena, di 85 m per l'Unità fisiografica Punta Crena-Capo di San Donato, di 95 m per l'Unità fisiografica Capo di San Donato-Capo di Caprazoppa e di 100 m per il tratto tra Capo di Caprazoppa e foce del Rio Fine.

Sulla base dei parametri ondosi ricavati dai campi di vento sono stati quindi determinati l'indice di *surf scaling* (\square) di Guza e Imman (1975) e l'*environment parameter* (Ω) di Dean (1973 e di Dalrympler & Thompson (1977), da cui si è potuto ricavare uno *stato morfodinamico modale* di questo tratto di litorale di tipo prevalentemente dissipativo, in cui l'inizio dello *shoaling* delle forti mareggiate si posiziona sulla fascia batimetrica di 110-115 m con la prima linea dei frangenti posta sulla fascia batimetrica di 8-10 m. Questo stato morfodinamico segnala la presenza di onde persistentemente alte, di una predominanza dell'energia di infragravità a larga banda, di un sistema di *rip current* e l'assenza di oscillazioni stazionarie a frequenze subarmoniche. Le caratteristiche tessiturali del sedimento di fondo mobile evidenziano che la dinamica litorale mobilita dimensioni medie che occupano nel diagramma di Rivière (1977) l'area di evoluzione granulometrica modale in facies di maturazione ultraparabolica.

Parole chiave: analisi fisiografica, analisi morfobatimetrica, campi di vento, moto ondoso, analisi sedimentologica, Liguria occidentale.

Abstract

Here we present the geological and geomorphological characteristics of a section of rocky coast of western Liguria between Punta del Malpasso and the mouth of the Rio Fine, in the municipality of Finale Ligure. This coastal tract is physiographically divisible into three units, from east to west, that lying between Capo Noli and Punta Crena with the pocket beaches of Malpasso and Baia dei Saraceni, that between Punta Crena and Capo San Donato with the pocket

beaches of Varigotti and Porto and various surrounding nudist beaches, and that between Capo San Donato and Punta di Caprazoppa with the pocket beaches Capo San Donato, Finalpia and Finalmarina. The rest of the littoral tract of Finale, between Caprazoppa and the mouth of the Rio Fine, belongs to a different morphological setting. Having determined the anemological characteristics of the wind and wave fields of the surf zone of the morphological arc of this tract we determined the wave parameters for each section enabling us to estimate the maximum wave length at the shoreline, in the order of 100 m for the Punta Noli-Punta Crena physiological unit, 85 m for the Punta Crena-Capo di San Donato physiological unit and 95 m for the Capo di San Donato-Capo di Caprazoppa, and 100 m for the tract between Capo di Caprazoppa and the mouth of the Rio Fine with a system of hindcasting.

On the basis of the wave parameters obtained from the wind fields we determined the surf scaling index (\square) of Guza and Imman (1975) and the environmental parameters (Ω) of Dean (1973) and Dalrymple & Thompson (1977), from which it was possible to obtain a modal morphodynamic state of this prevalently dissipative coastal tract in which the shoaling of heavy seas begins at a bathymetry of 100-115 m with the first line of breakers at a bathymetry of 8-10 m. This morphodynamic situation indicates the presence of consistently high waves, the predominance of broad-band infragravity energy.

A system of rip currents and the absence of stationary oscillations with a subharmonic frequency. The textural characteristics of the bottom sediments in movement highlight that the littoral dynamic mobilizes medium dimensions that occupy the area of modal granulometric evolution in ultraparabolic maturation facies in the diagram of Rivière (1977).

Key words: physiographical analysis, morfobathymetric analysis, wind field, wave motion, sedimentological analysis, western Liguria.

Introduzione

Il tratto costiero a falesia (Fig. 1), compreso tra la Punta del Malpasso e la foce del Rio Fine, che risulta di competenza amministrativa del Comune di Finale Ligure, appartiene ad un modellamento costiero a configurazione morfologica rocciosa, geologicamente prodotto dagli effetti dominanti legati agli agenti endogeni dell'evoluzione geologica ligure. Tale impostazione deriva infatti da quel sistema morfogenetico di costa ligure i cui tratti di pareti a *falesia viva*, impostatisi con la fase di sollevamento del Pliocene inferiore secondo una lineazione generale controllata dalle direttrici tettonico-strutturali, si sono poi parzialmente evoluti nell'Olocene, ad opera della dinamica esogena, in aspetti a *falesia stabilizzata* con al piede depositi a falce, più o meno ampi, di spiagge caratterizzabili come *spiagge a tasca* (*pocket beach*), in quanto sono delimitate lungo riva in zone dove la morfologia costiera rocciosa, presentando rientranze delimitate da aggetti a mare, è stata in grado di trattenere la deriva litoranea del materiale, che, proveniente da apporti fluviali o dallo scalzamento alla base delle falesie vive, caratterizza la tessitura di questi arenili.

L'impostazione morfogenetica generale (*processo morfogenetico principale*), in cui gli eventi geodinamici, i lineamenti strutturali ed i vari elementi litologico-stratigrafici, sono stati determinanti e qualificanti per l'impostazione del modellamento costiero ligure (Cortemiglia, 1995), si è quindi evoluta, alla scala regionale, ad opera della dinamica legata ai fattori esogeni, con un carattere morfoclimatico comportante, su questo originario modellamento roccioso, effetti erosivi di trasporto e deposizionali selettivi e localizzati, che hanno dato forma a quel *processo morfogenetico secondario* responsabile dell'assetto fisiografico con *spiagge a tasca* assunto dal litorale ligure. In particolare, nel tratto compreso tra la Punta del Malpasso e la Punta di Caprazoppa, la successione delle *spiagge a tasca* finali si presenta distribuita all'interno di ben delineate *unità morfologiche*, che, delimitate da aggetti a mare costituiti da promontori naturali all'interno dei quali avviene un bilancio sedimentario senza importanti o significativi transiti di materiale di fondo mobile con l'esterno, possono considerarsi, ai fini pratici, come caratterizzate da un comportamento sedimentologico analogo alle cosiddette *unità fisiografiche*, la cui dinamica sedimentaria dipende quindi dalle loro specifiche caratteristiche meteomarine. Sul litorale finalese, infatti, compreso tra Capo Noli e Capo di Caprazoppa, le presenze degli altri due promontori naturali di Punta Crena e di Capo San Donato, che si sviluppano da levante a ponente, concorrono a delimitare, con i loro naturali protendimenti a mare, tre ben distinte unità fisiografiche, per ciascuna delle quali, sulla base di specifici lineamenti morfologici, è possibile determinarne il relativo settore di traversia.

A ponente poi di Punta di Caprazoppa, al di fuori quindi di queste tre unità fisiografiche caratterizzanti il tratto di litorale finalese compreso tra Capo Noli e Capo di Caprazoppa, il territorio del comune di Finale Ligure prosegue ancora sino al Rio Fine con un breve tratto di arenile, ridotto ormai ad una striscia di

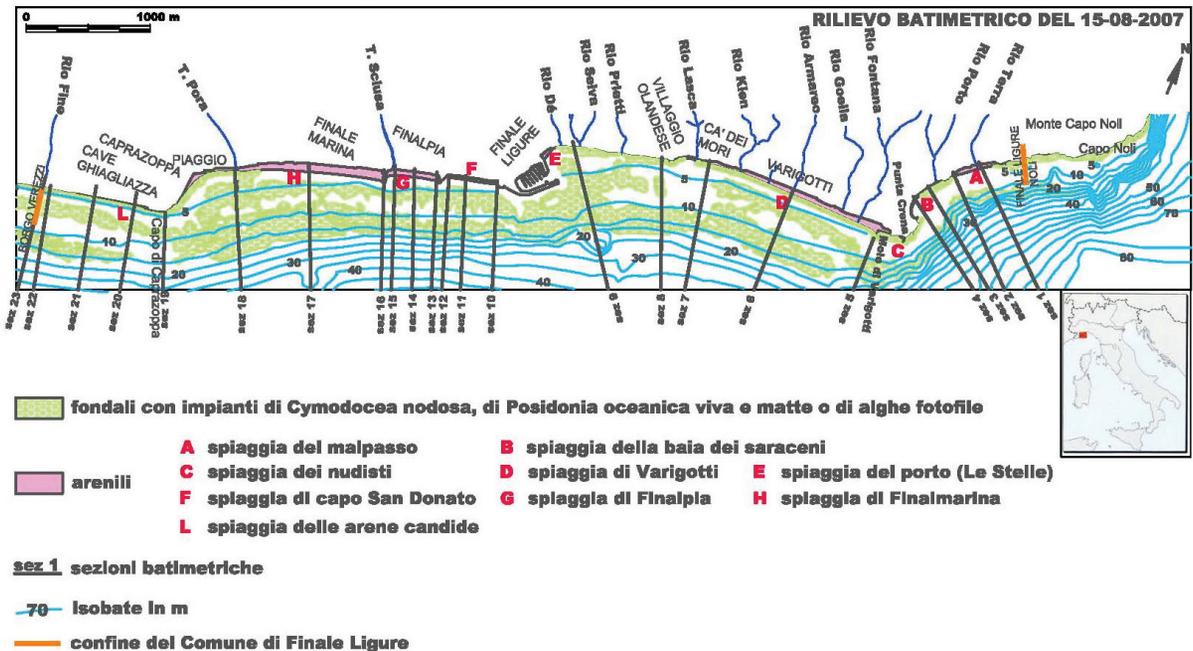


Figura 1 – Litorale di Finale Ligure nella Liguria occidentale con l'ubicazione delle spiagge e delle sezioni batimetriche descritte nel testo.

battigia residuale di modesta ampiezza, denominata *Spiaggia delle Arene Candide*, che, pur facendo parte di un arco litoraneo esteso al di fuori del territorio comunale di Finale Ligure, viene analizzata, con le stesse metodologie, in quanto parte del settore orientale di questa adiacente quarta unità fisiografica. Tutte le spiagge di Finale ligure, ad eccezione quindi della spiaggia delle Arene Candide, che si trova ad occidente del Capo di Caprazoppa, sono pertanto comprese all'interno delle tre unità fisiografiche, rispettivamente rappresentate dai tratti di litorale compresi tra Capo Noli e Punta Crena con la *Spiaggia del Malpasso* e la *Spiaggia della Baia dei Saraceni*, tra Punta Crena e Capo San Donato con la *Spiaggia dei Nudisti*, la *Spiaggia di Varigotti* e la *Spiaggia del Porto* e tra Capo San Donato e Punta di Caprazoppa con la *Spiaggia di Capo San Donato*, la *Spiaggia di Finalpia* e la *Spiaggia di Finalmarina*. La caratterizzazione del bilancio sedimentario di queste spiagge finali va quindi individuata all'interno di ciascuna delle unità fisiografiche di appartenenza, mettendone in evidenza quelle specifiche caratteristiche meteomarine responsabili della loro dinamica litorale. Questa valutazione viene eseguita nell'ambito di ciascuna unità fisiografica, ricostruendo, per ognuno dei rispettivi settori di traversia, le relative caratteristiche anemologiche, che, risultando la principale sorgente dell'energia del moto ondoso, portano alle modificazioni della loro *surf zone* e delle *pocket beach* presenti attraverso processi di trasformazione dell'energia incidente in vari tipi di moto del fluido, rappresentati, oltreché dalle correnti di moto ondoso (*longshore current*, *rip current* e *rip feeder current*), che procurano i più significativi effetti morfologici sulle spiagge, anche dai cosiddetti flussi oscillanti (onde stazionarie, *edge wave*, ecc.). La stima dei campi di vento viene quindi eseguita, per ciascuna unità fisiografica, nel relativo punto di altura, che viene individuato e determinato nelle sue coordinate geografiche in base alle caratteristiche fisiografiche del settore di traversia, ricavando così, per tale punto georeferenziato, un diagramma anemologico, per 16 settori di provenienza e per 5 gradini di velocità, con l'elaborazione di 19722 mappe isobariche bigioraliere (ore 12 GMT ed ore 00 GMT) di superficie dell'area mediterranea, che, edite dal Deutscher Wetterdienst, coprono l'intervallo temporale di 27 anni intercorrente dal 1.1.1984 al 31.12.2010. Pertanto, da ciascuna carta isobarica bigioraliere, con la procedura metodologica descritta da Cortemiglia (2002), è stato ricavato, nel punto di altura georeferenziato di ciascuna unità fisiografica, il valore del vento geostrofico, da cui, con la stima del modello dello strato limite aerodinamico, secondo il procedimento di calcolo descritto da Cortemiglia (2003), si è ottenuto, alla quota di 10 metri sul l.m.m., il cosiddetto vento anemometrico (U_{10}). Questi venti di altura, nel loro avvicinamento alla riva, risentono però l'influenza dell'orografia costiera,

specie in questa area ligure compresa tra Genova e Capo Mele, dove Cicala (1985, pag. 52) verifica, nelle coeve registrazioni anemometriche a terra ed al largo, una netta discordanza, dovuta all'influenza dell'orografia costiera tra venti a componente settentrionale e venti sciroccali. È noto infatti che i dati anemometrici delle stazioni costiere liguri differiscono, anche sensibilmente, dalle condizioni anemologiche al largo, che rappresentano invece il vento generatore delle onde in arrivo sul litorale.

Sono state pertanto ricavate, per ciascuna unità fisiografica e per la spiaggia delle Arene Candide, dal diagramma anemologico del loro punto di altura, le frequenze anemologiche relative alla sola area marina interna a ciascun settore di traversia, con le quali si è calcolato, per i vari settori parziali componenti il settore di traversia di ciascuna unità fisiografica, quelle caratteristiche morfobatimetriche e ondometriche medie della *surf zone* necessarie per la valutazione dello stato morfodinamico del litorale finalese.

Le caratteristiche batimetriche della *surf zone* sono state individuate con l'analisi morfobatimetrica di profili batimetrici, eseguiti in data 15.8.2007 trasversalmente alla riva, applicando la metodologia descritta da Cortemiglia (1991a, 1991b e 1994), con cui si calcola, per ciascuna sezione batimetrica, utilizzando le equazioni di aggiustamento polinomiale di primo, secondo e terzo ordine, rispettivamente la pendenza, la geometria o forma del profilo e la distanza del punto di inflessione dalla battigia, ricavando, in tal modo, quei parametri fisiografici medi del fondale della *surf zone* necessari per la valutazione dello *stato morfodinamico modale* del litorale.

In particolare questo *stato morfodinamico modale* del litorale, viene determinato con i valori giornalieri dell'indice di *surf scaling* (\square) di Guza & Imman (1975), che caratterizza più propriamente, utilizzando i parametri ondometrici (ampiezza delle onde al frangimento a_b e velocità angolare delle onde incidenti \square^2) e morfobatimetrici (pendenza \square della spiaggia-*surf zone*), lo stato morfodinamico dell'avanspiaggia (*foreshore*), e, con i valori giornalieri del *environment parameter* (Ω) di Dean (1973) e di Dalrympler & Thompson (1977), che caratterizza invece, correlando le caratteristiche delle onde al frangimento (altezza H_b e periodo T delle onde al frangimento) con i caratteri tessiturali del sedimento di fondo mobile (velocità di sedimentazione W_s legata al diametro), lo stato morfodinamico della spiaggia sommersa.

Poiché quindi lo stato morfodinamico dipende, oltre che dai caratteri anemologici (diagramma anemologico), dai parametri ondometrici (altezza e periodo delle onde al frangimento) e dagli aspetti fisiografici (pendenza, geometria e punto d'inflessione) della *surf zone*, anche dalle caratteristiche tessiturali (velocità di sedimentazione legata al granulo medio) del sedimento di fondo mobile, sono state valutate, sulla base di analisi granulometriche di campioni appositamente prelevati in data 15.8.2007, anche le caratteristiche sedimentologiche delle spiagge emersa e sottomarina.

La successione temporale pertanto del valore giornaliero degli indici morfodinamici di *surf scaling* (\square) e del *environment parameter* (Ω), che registrano l'azione d'influenza del fondale sull'ondazione d'altura in arrivo alla riva, distribuiti in istogrammi, consentono così di ricavare, sia la classe modale rappresentativa dello *stato morfodinamico modale*, sia i valori critici di separazione tra *stato morfodinamico riflettivo* (R) e *stato morfodinamico dissipativo* (D), che, fornendo lo stato di equilibrio raggiunto dal sedimento di fondo mobile delle spiagge emersa e sommersa, indica se sul litorale sono in atto sequenze di progradazione o di erosione sedimentaria.

Poiché nell'ambito del litorale di Finale Ligure, le spiagge emerse (avanspiaggia o *foreshore* e retrospiaggia o *backshore*) e le *surf zone*, per i loro specifici aspetti morfobatimetrici, presentano comportamenti differenziati al regime ondoso, in quanto l'idrodinamismo costiero provoca sul sedimento di fondo mobile effetti morfologici diversificati nel tempo e nello spazio, la determinazione dello *stato morfodinamico modale* del litorale consente così di mettere in evidenza la correlazione esistente tra processi idrodinamici, processi erosivi, processi deposizionali e processi di ridistribuzione del sedimento di fondo mobile.

Infatti lo stato morfodinamico di un litorale, pur risultando funzione di processi idrodinamici che evolvono nello spazio e nel tempo, tende però a stabilizzarsi nel lungo periodo temporale, acquisendo appunto lo stato morfodinamico che si verifica con maggior frequenza in funzione del regime ondoso e dei fattori ambientali, per cui, dalla successione temporale dei vari stati morfodinamici che il litorale assume, si ricava quello stato modale più ricorrente, indicato appunto come *stato morfodinamico modale*, con cui il litorale si conforma alle caratteristiche modali dei frangenti e del sedimento di fondo mobile.

Nell'ambito pertanto di ciascuna unità fisiografica, al fine di evidenziare tutti questi aspetti generali riguardanti lo studio morfodinamico del litorale di Finale Ligure, sono stati quindi sviluppati, nell'ambito di ogni unità fisiografica, appositi capitoli riguardanti l'analisi fisiografica, l'analisi anemologica e mareometrica, l'analisi morfobatimetrica, l'analisi sedimentologica e l'analisi morfodinamica.

Unità morfologica litorale Capo Noli-Punta Crena

Questa unità fisiografica nell'ambito del litorale finalese, rappresenta l'arco morfologico posto più a levante del territorio comunale e contiene i due tratti di arenile rappresentati dalla *Spiaggia del Malpasso* (Fig.1 lettera A), lunga circa 30 m, e dalla *Spiaggia della Baia dei Saraceni* (Fig.1 lettera B), sviluppata per una lunghezza di circa 250 m. L'arenile di queste due spiagge è morfologicamente posto al piede di una parete rocciosa litoranea, da cui attualmente risulta però separato dalla via Aurelia e dalle sue opere strutturali di sostegno, per cui, rappresentando il risultato nel tempo (*undercliff*) dell'accumulo al piede (fascia di crollo) di materiale proveniente dall'azione demolitrice di scalzamento alla base della parete rocciosa per attacco dell'ondazione poi evolutosi in *piattaforma costrutta*, si caratterizza come un morfotipo di *falesia stabilizzata* con la sua fascia prelitorale di deposito di spiaggia.

L'indagine su questa unità fisiografica di levante viene pertanto sviluppata, ai fini della conoscenza morfologica, per metterne soprattutto in evidenza lo stato di equilibrio dinamico raggiunto dalle sue due *spiagge del Malpasso* e della *Baia dei Saraceni*.

Analisi Fisiografica

Il tratto di costa compreso tra Capo Noli e Punta Crena rappresenta l'unità fisiografica di levante del litorale finalese, il cui sviluppo interno ad arco, con la *Spiaggia del Malpasso* e la *Spiaggia della Baia dei Saraceni*, viene morfologicamente definito dalla secante tracciata congiungendo gli estremi aggetti a mare di questi due promontori naturali, mentre la saetta, tracciata perpendicolarmente alla secante in corrispondenza del punto costiero litoraneo di battaglia più rientrante verso monte, individua sul litorale il punto di vertice del settore di traversia.

Tracciando da questo punto le congiungenti con Capo Noli (azimutale 50°) e con Punta Crena (azimutale 181°) si definisce un settore di traversia che, con un angolo di apertura di 131°, si configura però come un *settore di traversia geografico*, in quanto, a ponente, esistono falde di mare efficaci che, per fenomeni di espansione, convergono i treni d'onda al suo interno, per cui è necessario determinare il *settore di traversia effettivo* di questa unità fisiografica, in modo da tener conto, ai fini della dinamica litorale, anche dei *fetch* efficaci.

Il *settore di traversia effettivo* di questa unità fisiografica presenta pertanto un angolo di 164°, risultando compreso tra l'azimutale di 50° (Capo Noli) e l'azimutale di 214° (Capo Mele), all'interno del quale è contenuto il *settore di traversia geografico* (azimutali 50° – 181°), per cui le falde di mare efficace si presentano quindi soprattutto estese verso ponente, ampliando il *settore di traversia geografico* di 33°, mentre a levante non figurano falde di mare efficace significative per il dinamismo litoraneo. Il *settore di traversia effettivo* di questa unità fisiografica di levante del litorale finalese, in base pertanto alle caratteristiche geografiche dell'area marina, risulta costituito da cinque settori parziali, che sono delimitati dalle azimutali e dalle dimensioni di *fetch* geografico indicate nella Tabella 1.

Tabella 1 – Settore di traversia effettivo dell'unità fisiografica di levante del litorale finalese compreso tra le azimutali 50° di Capo Noli e 214° di capo Mele.

S	Settori parziali	Azimutali di delimitazione	Fetch geografici in km	T
1	Levante -E	50° (Capo Noli) – 128° (Punta Baratti)	180	B
	Scirocco -SE	128° (Punta Baratti) – 145° (Isola Giraglia)	200	
	Scirocco-Ostro -SSE	145° (Isola Giraglia) – 181° (Capo dell'Argentiera)	340	
	Ostro -S	181° (Capo dell'Argentiera) – 191° (Punta Crena)	800	
2	Libeccio -SSW	191° (Punta Crena) – 214° (Capo Mele)	850	A
S = Denominazione dei settori di traversia		1 = Settore di traversia geografico	A = Traversia principale	
T = Denominazione delle traversie		2 = Settore di traversia efficace	B = Traversia secondaria	

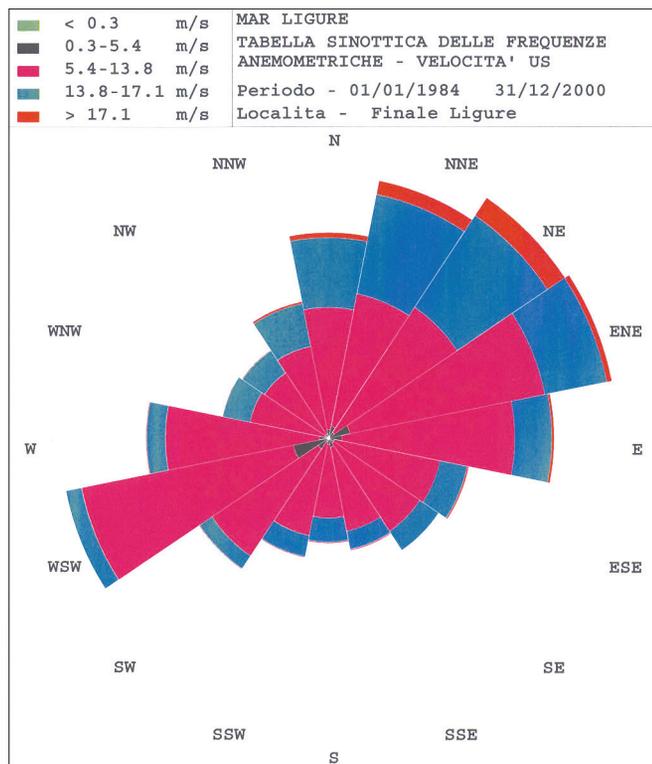
La saetta di azimutale 134°, con cui si è individuato il punto di vertice sulla riva caratterizzante il settore di traversia di questa unità fisiografica di levante del litorale finalese, prolungata verso il mare aperto, interseca, a 3,5 km dalla battaglia, la batimetrica dei 200 metri, determinando un punto di altura, che, con coordinate geografiche di latitudine $\square = 44^{\circ} 9' 54''$ N e di longitudine $\square = 8^{\circ} 26' 24''$ E, può essere preso in considerazione come appartenente ad un'area in cui le varie falde di mare, presentando onde d'altura, possono essere prese in considerazione per stimare le caratteristiche anemologiche ed ondometriche significative di questa unità fisiografica.

Analisi anemologica e mareometrica

La stima dei campi di vento nel punto di altura di competenza di questa unità fisiografica, sviluppata su mappe isobariche bigiornaliere (ore 12 GMT ed ore 00 GMT) di superficie dell'area mediterranea del Deutscher Wetterdienst per l'intervallo temporale di 27 anni intercorrente dal 1.1.1984 al 31.12.2010 e per un totale di 19722 carte, ha fornito le frequenze anemologiche dei venti foranei riportate in Tabella 2.

Tabella 2 – Frequenze anemologiche per l'intervallo temporale dal 1.1.1984 al 31.12.2010 dei venti foranei calcolati, per gradini di velocità e per direzioni azimutali di provenienza, a 10 m sul l.m.m. nel punto di altura di latitudine $\varphi = 44^{\circ} 9' 54''$ N e di longitudine $\lambda = 8^{\circ} 26' 24''$ E caratterizzante l'unità fisiografica di levante del litorale finalese compresa tra le azimutali $50^{\circ} - 214^{\circ}$.

Direzioni di provenienza	Gradini di velocità del vento in m/s					Frequenza settore
	< 0,3	0,3÷5,4	5,4÷13,8	13,8÷17,1	> 17,1	
N	0,31	4,17	2,35	0,18	0,12	7,13
NNE	0,40	4,63	3,46	0,48	0,56	9,53
NE	0,25	5,16	3,75	0,73	0,65	10,56
ENE	0,75	6,93	2,18	0,18	0,19	10,23
E	0,47	6,02	1,28	0,09	0,05	7,90
ESE	0,20	3,75	0,98	0,05	0,03	5,01
SE	0,22	3,61	0,78		0,02	4,63
SSE	0,32	2,92	0,64	0,03	0,04	3,96
S	0,22	2,48	0,82	0,06	0,04	3,62
SSW	0,13	3,29	0,75	0,03	0,03	4,23
SW	0,44	4,41	0,52	0,03	0,02	5,41
WSW	1,25	7,47	0,56			9,27
W	0,32	5,35	0,64	0,03		6,34
WNW	0,10	2,68	0,97	0,02	0,02	3,80
NW	0,13	2,52	0,92	0,02		3,59
NNW	0,15	3,04	1,49	0,07	0,04	4,79
Totali	5,66	68,43	22,09	2,00	1,81	100,00



I venti di altura, riportati nella Tabella 2, forniscono il diagramma anemologico di Figura 2, mentre, distribuendo le frequenze anemologiche con i relativi gradini di velocità nei rispettivi settori parziali componenti il *settore di traversia effettivo* di questa unità fisiografica di levante del litorale finalese, si individuano i caratteri anemologici di Tabella 3 relazionati alle falde di mare di competenza di ciascun settore parziale, in modo da poter così disporre di dati anemologici, che, associati alle dimensionalità dei *fetch* geografici (Tab. 1), consentono di determinare le caratteristiche del moto ondoso al frangimento.

Figura 2 – Diagramma anemologico dei venti foranei nel punto di altura di latitudine $\varphi = 44^{\circ} 9' 54''$ N e di longitudine $\lambda = 8^{\circ} 26' 24''$ E dell'unità fisiografica di levante del litorale di Finale Ligure compreso tra le azimutali $50^{\circ} - 214^{\circ}$.

Tabella 3 – Tabella sinottica delle frequenze anemologiche dei venti foranei calcolati per il settore di traversia effettivo (50° – 214°) e per gradini di velocità del vento nel punto di altura di latitudine $\square = 44^{\circ} 9' 54''$ N e di longitudine $\square = 8^{\circ} 26' 24''$ E individuato in base alle caratteristiche morfologiche dell'unità fisiografica di levante del litorale finalese.

Direzioni di provenienza	Gradini di velocità del vento in m/s					Frequenza settore
	< 0,3	0,3÷5,4	5,4÷13,8	13,8÷17,1	> 17,1	
E	2,42	31,62	9,61	0,75	1,09	45,49
SE	0,54	7,45	1,94	0,12	0,13	10,18
SSE	1,22	15,19	4,72	0,38	0,63	22,14
S	0,30	4,64	1,18	0,13	0,25	6,50
SSW	0,91	10,94	3,09	0,30	0,45	15,69
Totali	5,39	69,84	20,54	1,68	2,55	100,00

La stima dei valori anemologici riportata in Tabella 3 consente di ricavare che i *venti dominanti*, caratterizzanti, con la loro maggiore lunghezza del *fetch*, le falde dei mari dei settori parziali di S (Ostro) e di SSW (Libeccio), rappresentano il 22,19 % del totale, mentre i *venti regnanti*, appartenenti ai settori parziali di E (Levante), di SE (Scirocco) e di SSE (Scirocco-Ostro), per la loro più elevata frequenza annua del 77,82 %, si caratterizzano, oltre che come “*venti regnanti*”, anche come “*venti prevalenti*”, soprattutto per la presenza di venti da levante che raggiungono gradini di velocità >17,1 m/s con una frequenza media annua del 1,85 %. I venti di intensità superiore al 13,8 m/s della “traversia dominante”, con la loro frequenza media annua di 1,13 % rappresentano quindi le più importanti falde di provenienza delle forti mareggiate, mentre complessivamente, in questo settore di traversia dell'unità fisiografica di levante del litorale finalese, la prevalenza dei venti risulta appartenere al primo quadrante. Le caratteristiche anemologiche del settore di traversia, calcolate con la stima del modello dello strato limite aerodinamico (Tab. 2 e 3) ed associate alle dimensionalità dei *fetch* geografici (Tab. 1), consentono, con l'applicazione della procedura di *hindcasting* descritta da Cortemiglia (2003), di ricavare quei parametri ondometrici presenti nella *surf zone*, da cui dipendono lo stato morfodinamico delle spiagge del Malpasso e della *Baia dei Saraceni*.

L'ondazione in arrivo nella *surf zone* delle spiagge del Malpasso e della *Baia dei Saraceni*, presentando il diagramma di variazione del parametro $[g H_s / (U_{10})^2]$ dell'altezza d'onda significativa H_s in funzione del parametro $[g t / U_{10}]$ della durata (t) d'azione continua del vento anemometrico (U_{10}) riportato in Figura 2, consente di calcolare il diagramma di dispersione tra celerità (C_R) delle onde al frangimento e la relativa lunghezza d'onda (L_R) alla riva riportato in Figura 3. Questo diagramma, oltre a mostrare una diretta proporzionalità tra questi due parametri, indica come le massime lunghezze d'onda alla riva risultino sull'ordine di 100 metri.

Analisi morfobatimetrica

Oltre alla determinazione dei parametri ondosi giornalieri succedutisi nell'intervallo temporale dal 1.1.1984 al 31.12.2010, lo sviluppo dell'analisi morfodinamica del litorale finalese richiede altresì la conoscenza delle caratteristiche morfobatimetriche della spiaggia sommersa, dove l'ondazione in arrivo procura varie combinazioni di dissipazione e di riflessione, per cui, a tal fine, si rende necessaria l'applicazione dell'analisi morfobatimetrica su profili trasversali alla riva, posizionati in corrispondenza dei più significativi punti morfologici del litorale finalese, per ricavarne le caratteristiche batimetriche medie generali della *surf zone*.

Sono stati pertanto ricavati, in corrispondenza della *Spiaggia del Malpasso*, i profili batimetrici trasversali alla riva della Sezione 1 (Fig. 4), tracciata all'altezza della Foce del Rio Torre, e della Sezione 2 (Fig. 4), impostata sul tratto occidentale dell'arenile, mentre, per la *Spiaggia della Baia dei Saraceni*, sono state ricavate la Sezione 3 (Fig. 5), tracciata sul lato orientale dell'arenile, e la Sezione 4 (Fig. 5) impostata su quello occidentale. L'analisi morfobatimetrica svolta su questi profili ha consentito di ricavare i parametri riportati nella Tabella 4, da cui si evince che la *surf zone* di questa unità fisiografica presenta una pendenza media in diminuzione da levante a ponente accompagnata da un'evoluzione della forma del profilo da generalmente concava a lineare, mentre la distanza del punto di inflessione, che indica la profondità di ubicazione della rottura di pendenza più significativa del profilo batimetrico, si allontana dalla riva, segnalando così che il suo lato occidentale è stato oggetto nel tempo di trasferimento del materiale di fondo mobile verso il largo.

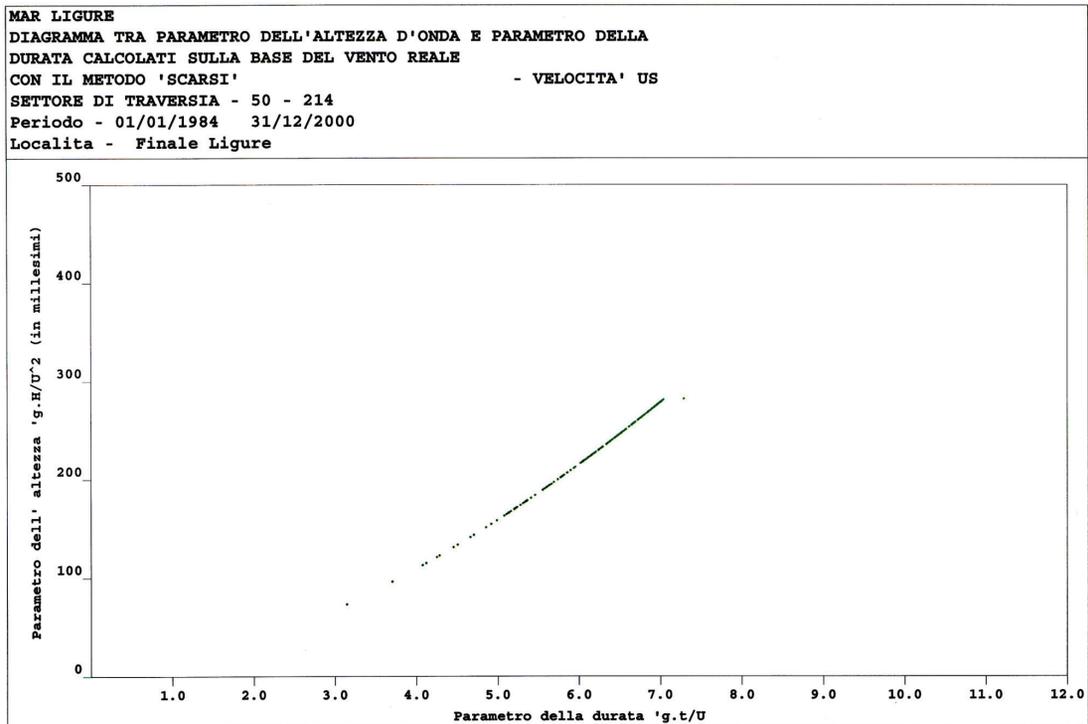


Figura 3 – Curva di variazione del parametro dell'altezza d'onda in funzione della durata dell'azione del vento per il moto ondoso di altura calcolato, sulla base delle carte isobariche di superficie dell'area mediterranea del periodo dal 1.1.1984 al 31.12.2010, nel punto di altura di latitudine $\varphi = 44^{\circ} 9' 54''$ N e di longitudine $\lambda = 8^{\circ} 26' 24''$ E.

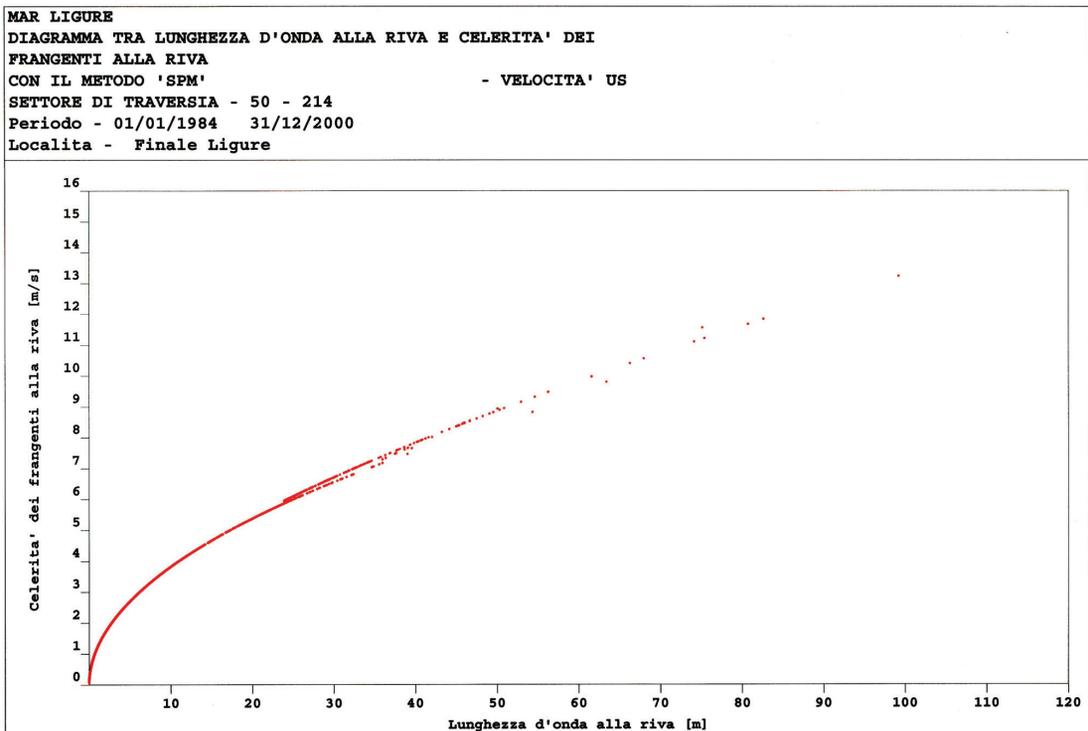


Figura 4 – Diagramma a dispersione tra i parametri della lunghezza d'onda alla riva (L_R) espressa in metri e della celerità dei frangenti alla riva (C_R) calcolati nella *surf zone* delle spiagge del Malpasso e della Baia dei Saraceni per il periodo temporale dal 1.1.1984 al 31.12.2010 sulla base delle caratteristiche anemometriche di Tabella 3.

Tabella 4 – Caratteri morfobatimetrici della *surf zone* delle spiagge del Malpasso e della Baia dei Saraceni.

Profili Batimetrici		Pendenza media in gradi	Geometria del profilo	Distanza in m dalla battigia del punto d'inflessione
Spiaggia Malpasso	Sezione 1	4,6°	Concavo	232
	Sezione 2	4,6°	Concavo	288
Baia dei Saraceni	Sezione 3	4,0°	Concavo	657
	Sezione 4	4,1°	Lineare	470

Pertanto, dall'insieme complessivo delle risultanze emerse dalla ricostruzione dell'andamento giornaliero del moto ondoso ricavato dalle carte isobariche di superficie e dai caratteri generali emersi dall'analisi morfobatimetrica della *surf zone* associata con le dirette osservazioni locali di mareggiate, si ricava, ai fini del calcolo dello *stato morfodinamico modale*, che l'inizio "*shoaling*" delle forti mareggiate può essere valutato in corrispondenza della fascia batimetrica di 110÷115 m, con una prima linea dei frangenti mediamente posizionabile all'altezza della fascia batimetrica degli 8÷10 m.

Analisi sedimentologica

Il riconoscimento, in questa unità fisiografica, della natura di *spiagge a tasca* per gli arenili del Malpasso e della *Baia dei Saraceni*, indica chiaramente come la loro formazione si sia impostata su un sistema morfogenetico litorale di tipo costa rocciosa a falesia viva evolutasi geologicamente nel tempo con un andamento litoraneo della linea di riva, in cui la presenza della rientranza costiera (arco litoraneo), delimitata dagli aggetti morfologici a mare di Punta del Malpasso e di Punta Crena, hanno creato le condizioni fisiografiche naturali per agganciare e trattenere il materiale in deriva litoranea proveniente sia dallo scalzamento alla base delle falesie, sia dal trasporto solido dei bacini idrografici sottesi a questa linea di riva.

Il materiale quindi costituente queste due spiagge emerse del Malpasso e della *Baia dei Saraceni* e quello delle loro *surf zone* proviene sostanzialmente dagli affioramenti rocciosi costieri sottesi all'arco dell'unità fisiografica, geologicamente costituiti dalla copertura meso-cenozoica dell'unità tettonica di pertinenza Paleoeuropea appartenente al "*Dominio Brianzonese Ligure*", che, in litofacies a sequenze calcareo-dolomitiche, affiora, con le cosiddette formazioni dei "Calcarei di Val Tanarello" del Malm e delle "Dolomie di San Pietro dei Monti" del Trias medio, fra "Capo Noli" e "Capo San Donato".

La formazione dei Calcarei di Val Tanarello, costituita da calcari cristallini ceroidi di color grigio azzurrino, talora rosato, in successione di strati dello spessore medio di 10÷15 cm, affiora con continuità in una ristretta fascia litoranea tra Capo Noli e Punta Crena, costituendo gli scogli litoranei affioranti, le pareti rocciose a mare e quelle retrostanti (pareti di falesia) alle spiagge del Malpasso e della *Baia dei Saraceni*, per cui caratterizza il materiale proveniente dalle pareti d'attacco dell'ondazione. Lungo tutto il limite verso terra di questa ristretta fascia litoranea di calcari giurassici affiora, in contatto tettonico, la formazione delle "Dolomie di San Pietro dei Monti", che risulta costituita da dolomie, più o meno calcaree, di color grigio in grosse banche alternate a calcari e calcari dolomitici grigi, la cui successione risulta prevalentemente calcarea nella parte inferiore e dolomitica in quella superiore.

La presenza, inoltre, alla base di questa formazione delle "Dolomie di San Pietro dei Monti", di lembi della formazione scitica delle "Quarziti di Ponte di Nava", affioranti sulla zona litoranea costiera retrostante alla *Spiaggia del Malpasso* ed a Punta Crena, indica, pertanto, come questo affioramento litoraneo, rappresentando la base formazionale, risulti a prevalente litofacies calcarea.

Questa formazione delle "Dolomie di San Pietro dei Monti" mostra anche frequenti intercalazioni decimetriche di peliti siltose, di brecce calcaree e dolomitiche intraformazionali, e, pur presentando nel suo complesso formazionale, litofacies di buona tenacità e compattezza, risulta altresì dotata di un evidente sensibile grado di fratturazione.

Questa formazione poi, affiorando fin oltre Monte Capo Noli, caratterizza pertanto composizionalmente il trasporto solido conferito a mare da tutto il reticolo idrografico sotteso a questa unità fisiografica, in quanto la sua linea di spartiacque risulta impostata unicamente sugli affioramenti di questo complesso formazionale. Il complesso formazionale dei "Calcarei di Val Tanarello" e delle "Dolomie di San Pietro dei Monti", che caratterizza quindi gli apporti solidi agli arenili del Malpasso e della *Baia dei Saraceni* ed alle loro *surf zone*,

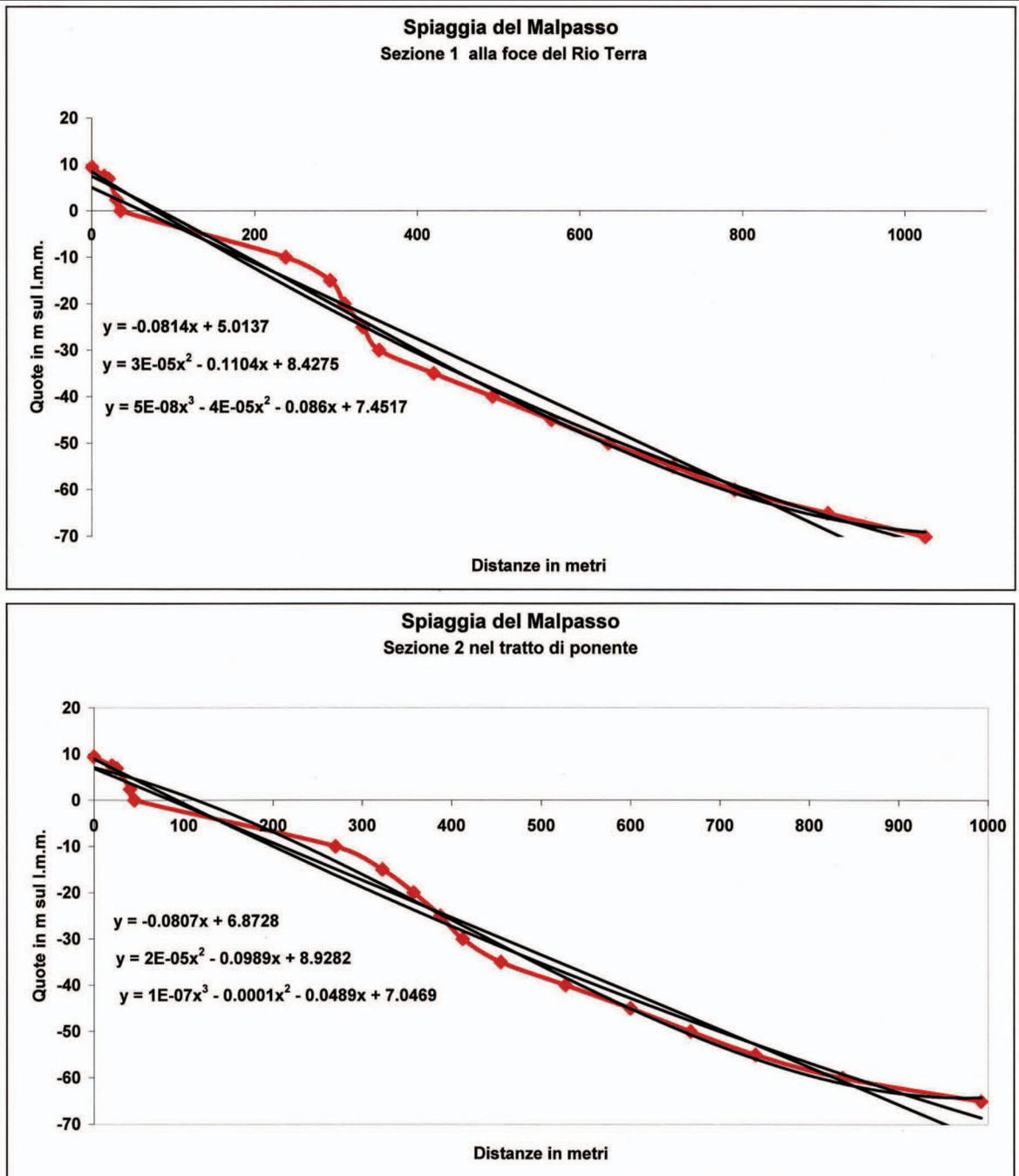


Figura 5 – Profili batimetrici (in rosso) eseguiti sul lato orientale (sezione 1) ed occidentale (sezione 2) della Spiaggia del Malpasso (Fig. 1 lettera A).

pur mostrando elevata tenacità e compattezza, in quanto presenta una morfologia a pareti verticalizzate, dà però luogo, ad opera della degradazione meteorica, per la presenza di un sensibile grado di fatturazione, a materiale detritico prevalentemente costituito da clasti piuttosto eterometrici, che caratterizzano quindi, tessitualmente, nel bilancio sedimentario di questa unità fisiografica, l'apporto solido naturale.

Il materiale pertanto di apporto naturale a queste spiagge ed alle loro *surf zone*, prevalentemente di natura calcareo-dolomitica, è dotato quindi di buona tenacità e con caratteri tessiturali piuttosto grossolani, in quanto le spiagge emerse del Malpasso e della *Baia dei Saraceni*, presentando un granulo medio compreso

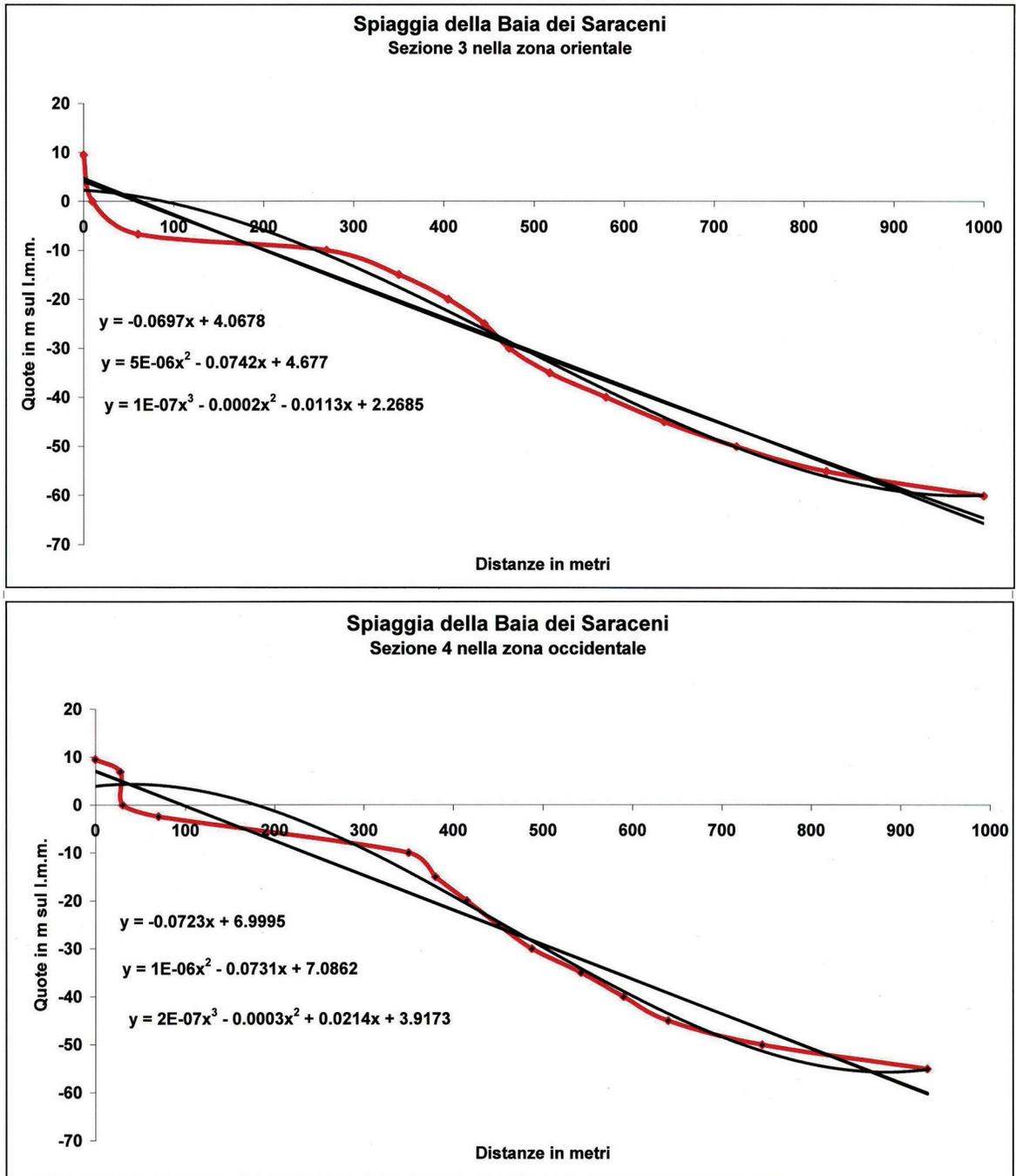


Figura 6 – Profili batimetrici (in rosso) eseguiti sul lato orientale (sezione 3) ed occidentale (sezione 4) della Spiaggia della Baia dei Saraceni (Fig. 1 lettera B).

tra 1 e 2 mm, sono costituite sedimentologicamente da depositi di “sabbia molto grossa” (1÷2 mm) dotati di due cordoni ghiaioso-ciottolosi, uno a tessitura di “granuli e ghiaia”, disposto lungo la cresta della berma ordinaria, e l’altro a tessitura di “ghiaia e ciottoli”, posto lungo la cresta della berma di tempesta. Anche i campioni di fondo mobile raccolti sulla *surf zone* di questa unità fisiografica evidenziano una distribuzione tessiturale sabbiosa del sedimento, che, da “sabbia medio-grossa” (0,250÷1 mm), presente sulla fascia batimetrica prossimale alla riva, passa, nella fascia batimetrica più distale dalla battigia, a “sabbia molto fine e fine” (0,063÷0,125 mm) con impianto di prateria a *Cymodocea nodosa*.

Analisi morfodinamica

La diversa modalità di attuazione dei processi idrodinamici che avvengono sulla *surf zone* e sulle spiagge del Malpasso e della *Baia dei Saraceni* in funzione delle condizioni ambientali messe in evidenza con l'analisi dei caratteri ondametrici e morfobatimetrici, possono essere pertanto valutate individuando, per questo tratto di litorale, il suo *stato morfodinamico modale*.

Tale *stato morfodinamico modale* si ricava analizzando per un lungo periodo temporale la successione degli stati morfodinamici, in quanto l'azione della *surf zone* sull'ondazione in arrivo procura varie combinazioni di dissipazione e di riflessione, che vengono messe in evidenza con la determinazione dei valori giornalieri di *surf scaling* (\square) e del *parametro ambientale* (Ω).

Il calcolo, all'interno di questo settore di traversia (Tab. 1), delle altezze d'onda al frangimento consente quindi di stimare i valori giornalieri, per il periodo considerato dal 1.1.1984 al 31.12.2010, del parametro di *surf scaling* (\square) e del *parametro ambientale* (Ω), ricavandone le distribuzioni di frequenza espresse in classi di ampiezza differenziata riportate in Tabella 5.

La distribuzione di frequenza del parametro *surf scaling* (\square), quasi interamente contenuta (Tab. 5) nello *stato morfodinamico totalmente dissipativo* con moda nella classe 50÷100, segnala l'effetto di onde che si smorzano progressivamente lungo la *surf zone* e raggiungendo la spiaggia emersa si smorzano sulla battigia, dove, dominando il getto di riva, producono un profilo analogo al cosiddetto "profilo invernale" o "profilo di tempesta". La dominanza di valori del parametro di *surf scaling* maggiori di 20 indica inoltre che la dissipazione turbolenta dell'energia delle onde incidenti sulla *surf zone* cresce all'aumentare di \square e che le onde in avvicinamento alla riva generano frangenti di espansione (*spilling breakers* di Galvin (1972).

La distribuzione di frequenza del *parametro ambientale* (Ω), che risulta compreso (Tab. 5) nel campo di variazione tra i valori 1 e 60 con moda nella classe modale 50÷60, ma con distribuzione prevalente ripartita nell'ambito delle classi da 11 a 60, definisce la *surf zone* in uno *stato morfodinamico totalmente dissipativo*, per cui indica che la spiaggia sommersa sta espandendosi al crescere di Ω per la presenza di apporti da *rip current*.

Tabella 5 – Tabella sinottica dei parametri morfodinamici delle spiagge del Malpasso e della Baia dei Saraceni calcolati giornalmente per il periodo dal 1.1.1984 al 31.12.2010.

Surf-Scaling (\square)		Ambientale (Ω)	
Classi	Frequenze	Classi	Frequenze
10÷15	0,03	1÷2	0,21
15÷20	0,18	2÷3	0,24
20÷25	0,09	3÷4	0,51
25÷30	0,27	4÷5	0,45
30÷50	2,86	5÷6	0,75
50÷100	96,57	6÷7	0,98
Totale	100,00	7÷8	1,40
		8÷9	1,19
		9÷10	1,34
		10÷11	1,46
		11÷20	16,19
		20÷30	18,78
		30÷40	15,98
		40÷50	13,89
		50÷60	26,62
		Totale	100,00

Questo stato morfodinamico segnala inoltre la presenza di onde persistentemente alte, per cui indica che nella fascia batimetrica, dove si verifica lo "*sholing*", la dissipazione dell'energia dell'onda per attrito, che com'è noto non è lineare, perché cresce con il cubo dell'altezza d'onda, procura, nella progressiva riduzione dell'altezza d'onda, maggior attenuazione sulle grandi onde e minore su quelle piccole. Tale effetto viene

appunto segnalato dal parametro Ω , in quanto nella sua determinazione figura l'altezza d'onda al frangimento. Inoltre lo stato morfodinamico totalmente dissipativo segnala la presenza in questa *surfzone* di una predominanza dell'energia di infragravità a larga banda e l'assenza di oscillazioni stazionarie a frequenze subarmoniche.

Unità morfologica litorale Punta Crena–Capo San Donato

Questa unità fisiografica, nell'ambito del litorale finalese, rappresenta l'arco morfologico posto al centro dello sviluppo litoraneo del territorio comunale e contiene i due tratti principali di arenile rappresentati dalla "Spiaggia di Varigotti", lunga circa 1700 m, e dalla "Spiaggia del Porto", che, posizionata a ponente della foce del Rio Lasca, risulta suddivisibile (Fig. 1) in due tratte, la prima, posta ad W, rappresentata da una spiaggia emersa, a ridosso del molo di sottoflutto del porto, sviluppata per una lunghezza di circa 150 m localmente indicata come "Spiaggia del Porto" (Fig. 1 lettera E), e la seconda, sita ad E, rappresentata ormai da una modestissima sottile e discontinua fascia di arenile residuale posta sporadicamente solo in battigia, della lunghezza di 900 m, localmente indicata come "Spiaggia delle Stelle" (Cortemiglia G.C. & Fierro G., 1964). È presente anche una piccola spiaggia a tasca, posta sul promontorio di Punta Crena, conosciuta localmente come "Spiaggia dei Nudisti" o "Spiaggia di Punta Crena" (Fig. 1 lettera C).

Anche queste spiagge dell'unità fisiografica centrale del litorale finalese rappresentano l'evoluzione temporale da deposito al piede di falesie vive in piattaforma costruita di falesie stabilizzate, la cui originaria parete di scalamiento alla base da parte dell'ondazione si trova ora arretrata, rispetto alla linea di battigia, in quanto separata dall'Aurelia e dalle sue strutture di contenimento.

L'indagine su questa unità fisiografica viene pertanto sviluppata, ai fini della conoscenza morfologica, per metterne in evidenza lo stato di equilibrio dinamico raggiunto soprattutto dalla "Spiaggia di Varigotti" e dalla "Spiaggia del Porto".

Analisi Fisiografica

Questa unità fisiografica, il cui arco litoraneo risulta compreso tra i promontori di Punta Crena e di Capo San Donato, presenta morfologicamente, congiungendo gli estremi di questi due aggetti in mare, una secante, la cui saetta, tracciata perpendicolarmente in corrispondenza del punto costiero di battigia più rientrante verso monte, individua sul litorale il punto di vertice del suo settore di traversia.

Tracciando da questo punto di vertice le congiungenti con Punta Crena (azimutale 89°) e con Capo San Donato (azimutale 240°) si definisce un settore di traversia con un angolo di apertura di 151°, che, oltre a risultare un *settore di traversia geografico*, può essere altresì considerato anche come *settore di traversia effettivo*, in quanto non sono presenti estensioni a levante ed a ponente di falde di mare in grado di poter convergere significativi treni d'onda al suo interno.

Il settore di traversia di questa unità fisiografica con l'angolo di apertura di 151° delimitato dalle azimutali di 89° (Punta Crena) e di 240° (Capo San Donato), in base alle caratteristiche geografiche dell'area marina, risulta pertanto costituito da cinque settori parziali, le cui delimitazioni azimutali con le relative dimensioni di *fetch* geografico sono riportate nella Tabella 6.

Tabella 6 – Settore di traversia dell'unità fisiografica centrale del litorale finalese compresa tra le azimutale 89° di Punta Crena e 240° di Capo San Donato.

S	Settori parziali	Azimutali di delimitazione	Fetch geografici in km	T
1	Levante -E	89° (Punta Crena) – 129° (Punta Baratti)	160	B
	Scirocco -SE	129° (Punta Baratti) – 145° (Isola Giraglia)	200	
	Scirocco-Ostro -SSE	145° (Isola Giraglia) – 181° (Capo dell'Argentiera)	240	
	Ostro-Libeccio -SSW	181° (Capo dell'Argentiera) – 214° (Capo Mele)	960	
	Libeccio -SW	214° (Capo Mele) – 240° (Capo San Donato)	800	A
S = Denominazione dei settori di traversia		1 = Settore di traversia geografico		A = Traversia principale
T = Denominazione delle traversie		2 = Settore di traversia efficace		B = Traversia secondaria

La saetta di azimutale 166° con cui è stato individuato sulla riva il punto di vertice di questo settore di traversia, prolungata verso il mare aperto, interseca, a 4150 m dalla battigia, la batimetrica dei 200 metri, determinando così il punto di altura di questa unità fisiografica, le cui coordinate geografiche di latitudine $\square = 44^{\circ} 8' 36''$ N e di longitudine $\square = 8^{\circ} 23' 54''$ E, possono essere prese come punto georeferenziato per stimarne le caratteristiche anemologiche ed ondametrische.

Analisi anemologica e mareometrica

La stima dei campi di vento nel punto di altura di questa unità fisiografica, sviluppata sulle mappe isobariche bigiornaliere (ore 12 GMT ed ore 00 GMT) di superficie dell'area mediterranea edite dal Deutscher Wetterdienst e relative all'intervallo temporale dal 1.1.1984 al 31.12.2010, ha fornito le frequenze anemologiche dei venti foranei riportate nella Tabella 7.

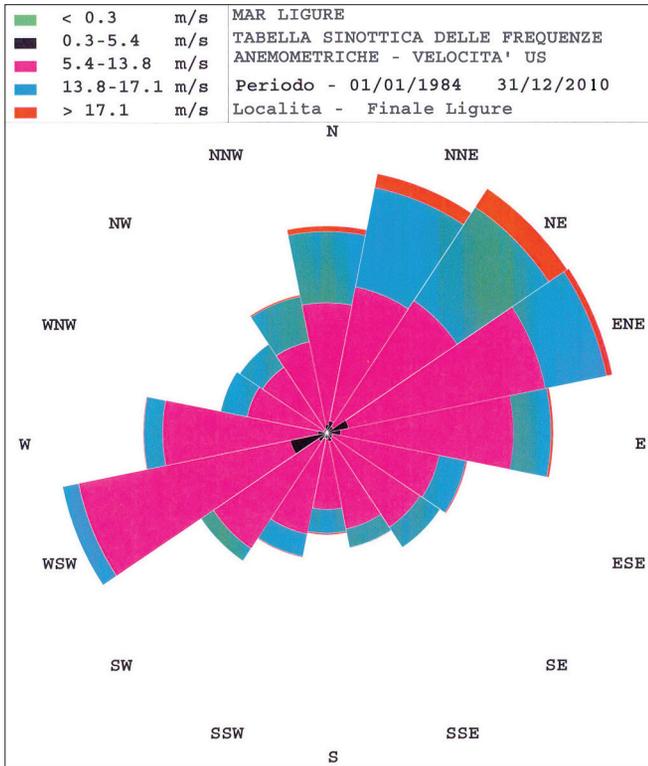
Le frequenze anemologiche con i relativi gradini di velocità dei venti di altura di Tabella 7 distribuite nei rispettivi settori parziali di questa unità fisiografica consentono di individuare i caratteri anemologici associati alla dimensionalità dei *fetch* geografici riportati nella Tabella 8, necessari per la determinazione delle caratteristiche del moto ondoso al frangimento ai fini del calcolo dello stato morfodinamico medio.

Le frequenze dei venti di altura della Tabella 7 consentono di ricavare il diagramma anemologico di Figura 6, mentre la stima dei valori anemologici di Tabella 8 permette di evidenziare che i *venti dominanti*, qualificanti per la maggiore lunghezza del *fetch* le falde dei settori parziali di S (Ostro) e di SSW (Libeccio), rappresentano il 40,15% del totale, mentre i *venti regnanti*, appartenenti ai settori parziali di E (Levante), di SE (Scirocco) e di SSE (Scirocco-Ostro), si caratterizzano, oltre che per la più elevata frequenza annua del 59,85% , come *venti prevalenti*, in quanto raggiungono gradini di velocità > 17,1 m/s con frequenza media annua del 1,32 %.

Queste caratteristiche anemologiche, calcolate con la stima del modello aerodinamico ed associate alla dimensionalità dei *fetch* geografici dei vari settori parziali (Tab. 8) in cui risulta suddiviso il settore di traversia di questa unità fisiografica, consentono, sulla base dell'applicazione della procedura di *hindcasting* descritta da Cortemiglia (2003), di determinare i parametri ondametrischi della *surf zone* necessari per valutare lo stato morfodinamico delle spiagge di questo tratto di litorale.

Tabella 7 – Frequenze anemologiche per l'intervallo temporale dal 1.1.1984 al 31.12.2010 dei venti foranei calcolati, per gradini di velocità e per direzioni azimutali di provenienza, a 10 m sul l.m.m. nel punto di altura di latitudine 44° 8' 36" N e di longitudine 8° 23' 54" E caratterizzante l'unità fisiografica, compresa tra le azimutali 89°-240°, posta al centro del litorale finalese.

Direzioni di provenienza	Gradini di velocità del vento in m/s					Frequenza settore
	< 0,3	0,3÷5,4	5,4÷13,8	13,8÷17,1	> 17,1	
N	0,29	4,13	2,42	0,19	0,13	7,15
NNE	0,41	4,63	3,43	0,48	0,56	9,52
NE	0,26	5,13	3,82	0,75	0,64	10,60
ENE	0,77	6,91	2,14	0,20	0,17	10,19
E	0,47	5,96	1,29	0,08	0,06	7,86
ESE	0,19	3,75	0,94	0,05	0,03	4,96
SE	0,23	3,63	0,82	0,02	-	4,70
SSE	0,31	3,02	0,64	0,03	0,05	4,05
S	0,19	2,40	0,81	0,06	0,04	3,51
SSW	0,20	3,31	0,77	0,04	0,03	4,35
SW	0,36	4,36	0,51	0,02	0,03	5,28
WSW	1,30	7,44	0,56	-	-	9,29
W	0,31	5,36	0,64	0,03	-	6,34
WNW	0,12	2,67	0,93	0,02	0,02	3,77
NW	0,11	2,55	0,94	0,02	-	3,63
NNW	0,14	3,01	1,56	0,06	0,04	4,81
Totali	5,66	68,26	22,22	2,05	1,80	100,00



L'elaborazione dei dati anemologici ricava che l'ondazione in arrivo sulla *surf zone* di questa unità fisiografica presenta nel diagramma di variazione (Fig. 8) del parametro $[g H_s / (U_{10})^2]$ dell'altezza d'onda significativa H_s in funzione del parametro $[g t / U_{10}]$ della durata (t) d'azione continua del vento anemometrico (U_{10}) una diretta proporzionalità tra queste due variabili, mentre il diagramma di dispersione tra celerità (C_R) delle onde al frangimento e la relativa lunghezza d'onda (L_R) alla riva (Fig. 8) rivela come le massime lunghezze d'onda alla riva risultino sull'ordine di 85 metri con celerità C_R dei frangenti alla riva sui 12 m/s.

Figura 7 - Diagramma anemologico dei venti foranei nel punto di altura di latitudine $\square = 44^\circ 8' 36''$ N e di longitudine $\square = 8^\circ 23' 54''$ E dell'unità fisiografica centrale del litorale di Finale Ligure compresa tra le azimuthali 89° - 240° di Punta Crena e Capo San Donato.

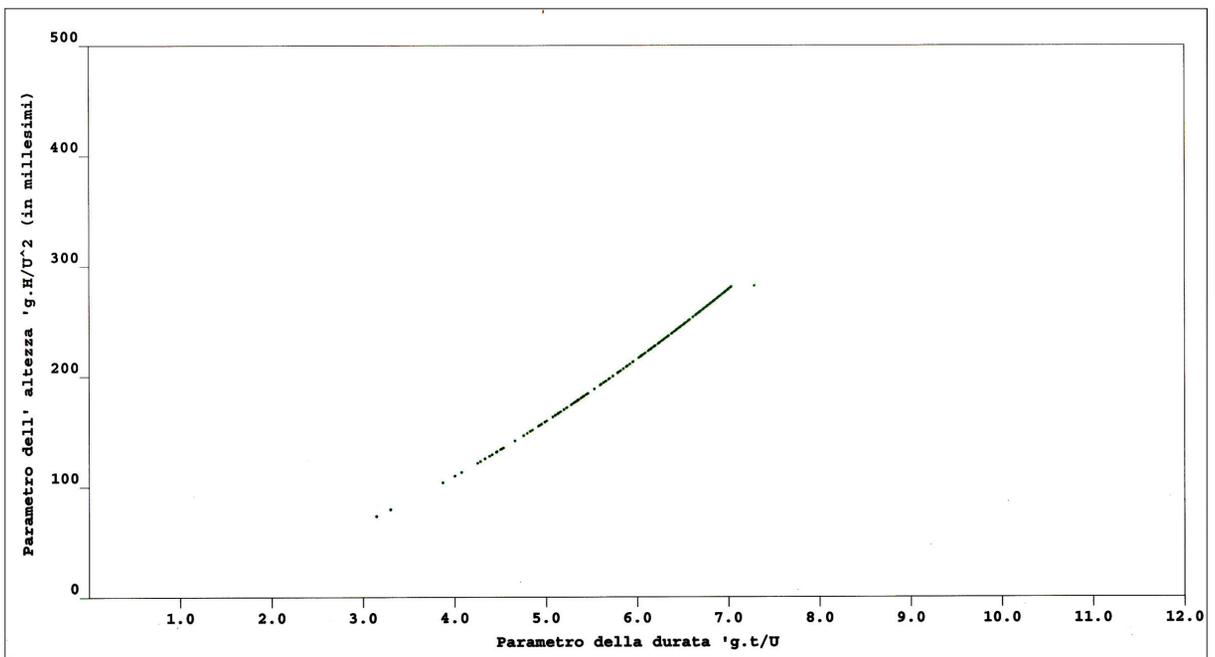


Figura 8 - Curva di variazione del parametro dell'altezza d'onda in funzione della durata dell'azione del vento per il moto ondosio di altura calcolato sulla base delle carte isobariche di superficie dell'area mediterranea del periodo intercorrente dal 1.1.1984 al 31.12.2010 nel punto di altura di latitudine $\square = 44^\circ 8' 36''$ N e di longitudine $\square = 8^\circ 23' 54''$ E.

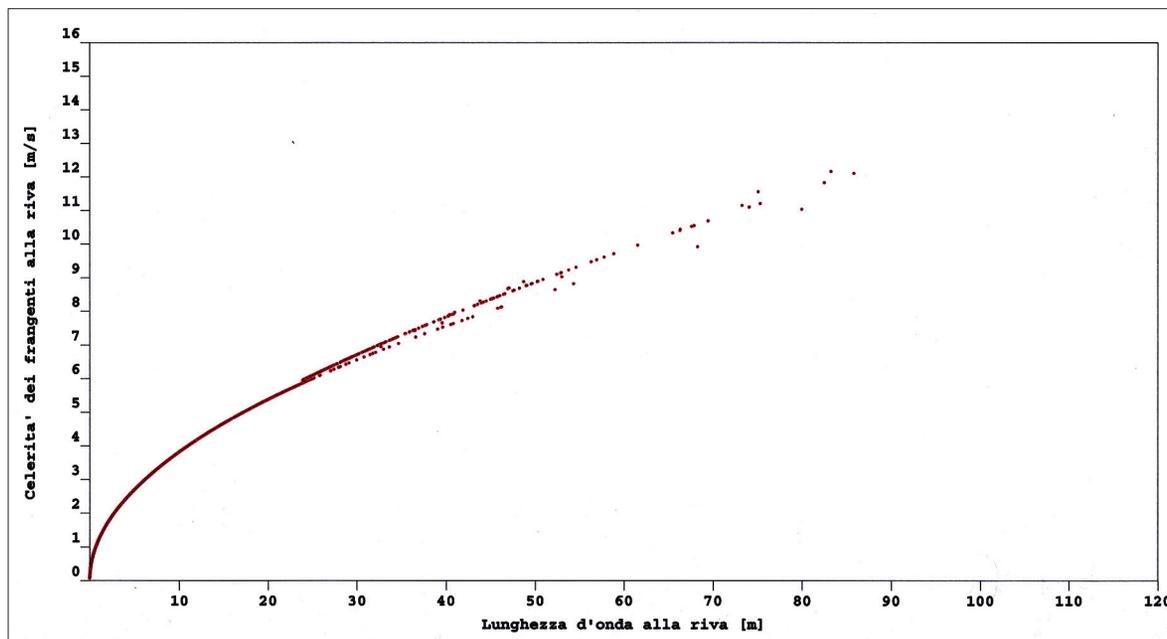


Figura 9 – Diagramma a dispersione tra i parametri della lunghezza d'onda alla riva (L_R) espressa in metri e della celerità dei frangenti alla riva (C_R) calcolati nella *surf zone* della spiaggia di Varigotti e della Spiaggia del Porto per il periodo temporale dal 1.1.1984 al 31.12.2010 sulla base delle caratteristiche anemometriche di Tabella 8.

Tabella 8 – Tabella sinottica delle frequenze anemologiche dei venti foranei calcolati per il settore di traversia effettivo ($89^\circ - 240^\circ$) e per gradini di velocità del vento nel punto di altura di latitudine $\varphi = 44^\circ 8' 36''$ N e di longitudine $\lambda = 8^\circ 23' 54''$ E individuato in base alle caratteristiche morfologiche dell'unità fisiografica, che, posta al centro del litorale finalese, è compresa tra le azimutali $89^\circ - 240^\circ$.

Direzioni di provenienza	Gradini di velocità del vento in m/s					Frequenza settore
	< 0,3	0,3÷5,4	5,4÷13,8	13,8÷17,1	> 17,1	
E	1,57	17,93	5,21	0,45	0,45	25,61
SE	0,62	7,45	1,91	0,13	0,14	10,25
SSE	1,25	16,56	5,09	0,36	0,73	24,00
S	1,31	16,64	4,67	0,54	0,76	23,92
SSW	1,13	11,79	2,80	0,28	0,22	16,23
Totali	5,88	70,37	19,68	1,76	2,30	100,00

Analisi morfobatimetrica

Le caratteristiche morfobatimetriche della *surf zone* di questa unità fisiografica sottesa alla spiaggia di Varigotti ed alla spiaggia del Porto, dove l'ondazione in arrivo, procurando le varie combinazioni di dissipazione e di riflessione dell'energia, condiziona il profilo del sedimento di fondo mobile e mette in moto il sistema delle correnti da moto ondoso (*longshore current*, *rip current*, *rip feeder current*), sono state individuate con l'analisi morfobatimetrica di cinque profili batimetrici condotti trasversalmente alla riva in corrispondenza del Molo di Varigotti (Fig. 9 Sezione 5), della foce del torrente Armareo (Fig. 11 Sezione 6), del fondale antistante Ca' dei Mori (Fig. 11 Sezione 7), del Villaggio Olandese (Fig. 11 Sezione 8) e del fondale in località Le Stelle (Fig. 11 Sezione 9).

L'analisi morfobatimetrica condotta su questi profili, che interessano tutto lo sviluppo dell'arco litoraneo dell'unità fisiografica, ha consentito di ricavare i parametri morfologici riportati in Tabella 9, da cui si evince come la pendenza media della *surf zone* risulta più elevata sul fondale della spiaggia di Varigotti rispetto a quello della spiaggia del Porto.

Tabella 9 – Caratteri morfobatimetrici della surf zone della “Spiaggia di Varigotti” e della “Spiaggia del Porto”.

Profili Batimetrici		Pendenza media In gradi	Geometria del profilo	Distanza in m dalla battigia del punto d'inflessione
Spiaggia di Varigotti	Sezione 5	3,1°	Concavo	213
	Sezione 6	2,0°	Convesso	283
	Sezione 7	2,3°	Convesso	321
Spiaggia del Porto	Sezione 8	1,8°	Lineare	232
	Sezione 9	1,9°	Convesso	1157

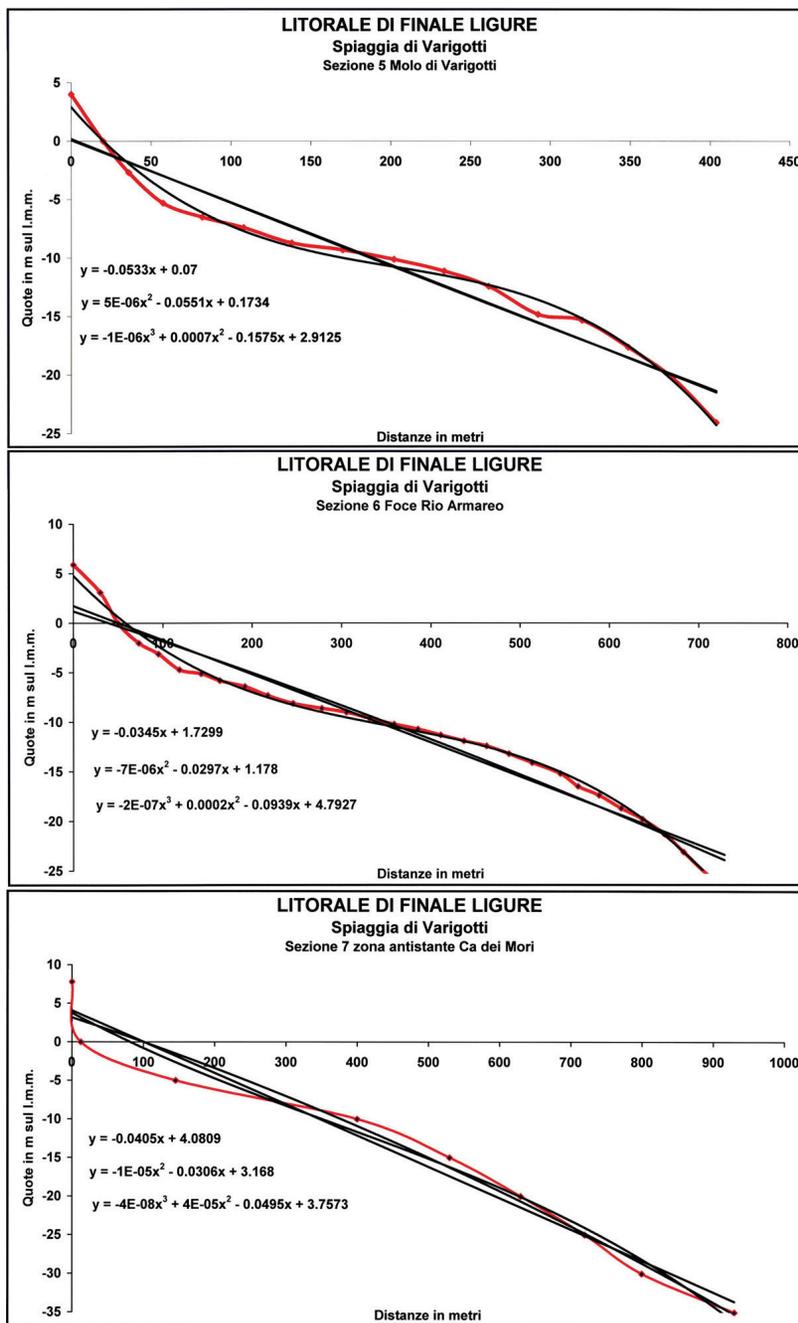


Figura 10 - Profili batimetrici (in rosso) eseguiti sul lato occidentale (sezione 5), centrale (sezione 6) ed orientale (sezione 7) della Spiaggia di Varigotti.

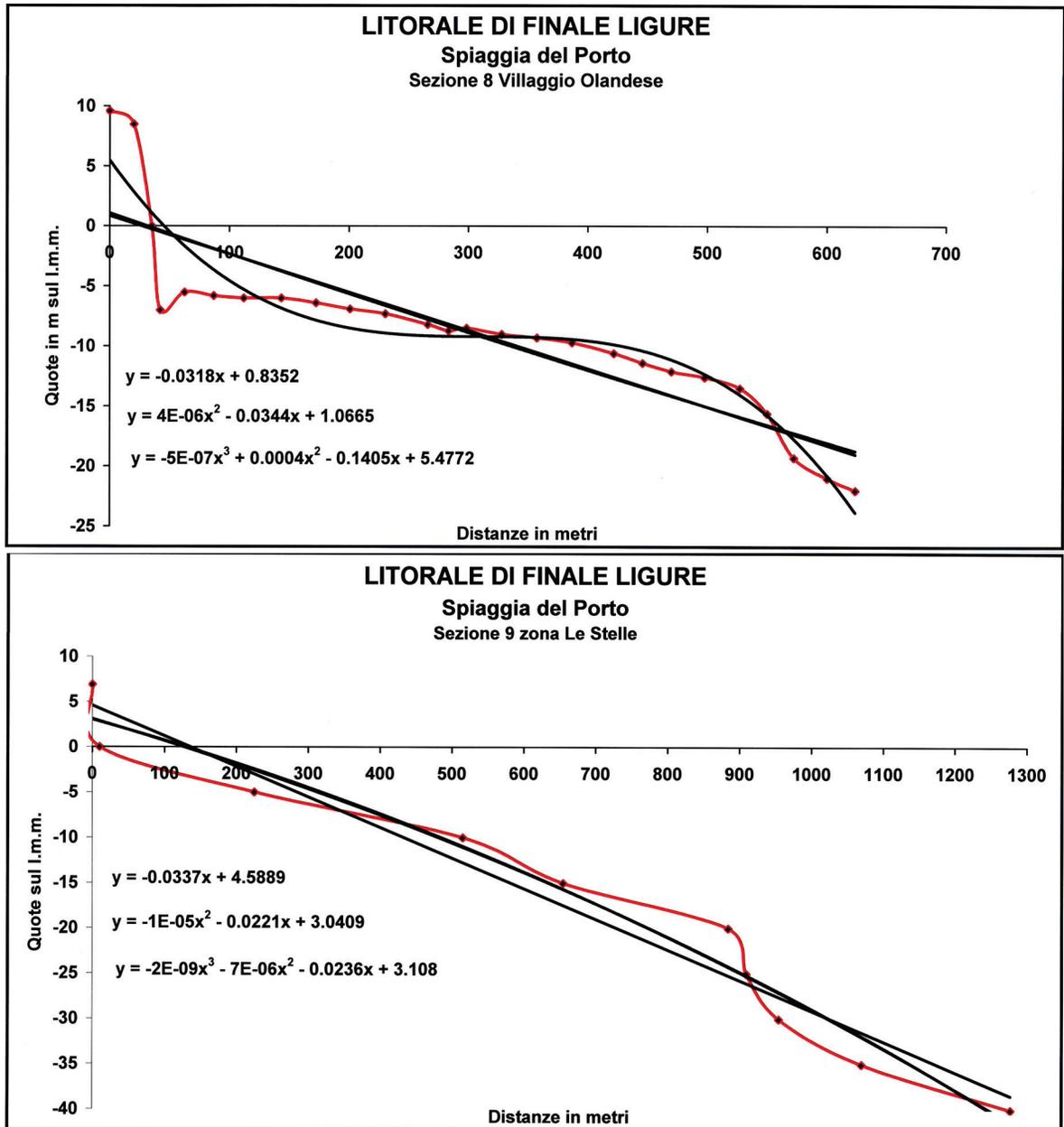


Figura 11 – Profili batimetrici (in rosso) eseguiti sul lato occidentale (sezione 8) ed orientale (sezione 9) della Spiaggia del Porto.

Tale risultanza si accompagna ad una forma del profilo della spiaggia sommersa di Varigotti che da concavo, sul suo lato orientale, passa a convesso, nella sua area centro orientale, mentre la spiaggia sommersa posta ad W della foce del Rio Lasca, che si estende dall'area denominata "Le Stelle" al molo di sottoflutto portuale, presenta una forma del profilo che da lineare, nella suo lato orientale antistante la zona rivolta al Villaggio Olandese, passa a convesso nella zona antistante la spiaggia del Porto.

Le caratteristiche della geometria dei profili batimetrici di questa *surfzone* si accompagna, per tutta l'ampiezza dell'arco litoraneo compreso tra il Molo di Varigotti (Fig. 10 Sezione 5) e la zona del Villaggio Olandese (Fig. 11 Sezione 8), alla esistenza di una distanza media di 262 m dalla linea di battigia del punto di inflessione, che, indicando la profondità di ubicazione della rottura di pendenza più significativa del profilo batimetrico, si allontana dalla riva, nella zona occidentale della *surfzone*, che rappresenta la parte sommersa della

Spiaggia del Porto (Fig. 11 Sezione 9), sino alla distanza massima di 1157 m, segnalando così la presenza, su questa area dell'unità fisiografica, di un'avvenuta mobilitazione del materiale di fondo mobile con il suo allontanamento verso il largo ad opera di correnti da moto ondoso.

L'assenza poi di barre sommitali isolate od in successione ritmica lungo i profili batimetrici delle spiagge sommerse di questa *surfzone* segnala l'attuale presenza di un equilibrio nella dinamica sedimentaria con tendenza allo sviluppo di una generale fase erosiva nella morfodinamica del paraggio.

Analisi sedimentologica

Questa unità fisiografica, compresa tra Punta Crena e Capo San Donato, presenta, nell'entroterra sotteso a questo arco litorale, affioramenti della formazione delle "Dolomie di San Pietro dei Monti" del Trias medio, nella parte a levante della foce del Rio Lasca e retrostante la Spiaggia di Varigotti, ed affioramenti della formazione degli "Scisti di Gorra" del Permocarbonifero, a ponente della foce del Rio Lasca e retrostante la Spiaggia del Porto. Nell'area limitata del Bric Briga la formazione degli "Scisti di Gora" presenta al tetto una copertura, in successione formazionale, di affioramenti della "Formazione di Monte Pianosa" del Verrucano brianzonese, dei "Calcari di Val Tanarello del Malm e della "Formazione di Caprauna" cretaceo-eocenica.

A monte quindi della Spiaggia di Varigotti il materiale di apporto naturale del reticolo idrografico (Rio Fontana, Rio Goella, Rio Armareo, Rio Kien, Rio Lasca) proviene soprattutto dalla degradazione meteorica delle "Dolomie di San Pietro dei Monti", la cui base, al contatto con la piana di Varigotti, presenta inoltre piccoli lembi quarziticci della formazione delle "Quarziti di Ponte di Nava" e lembi carbonatici della formazione dei "Calcari di Val Tanarello", per cui il deposito di spiaggia emersa risulta prevalentemente a litofacies calcareo-dolomitica ed a carattere tessiturale piuttosto grossolano. Infatti i litotipi di queste formazioni geologiche, per il loro grado di fratturazione, risultano alterabili in detriti a clasti spigolosi ed eterometrici.

A monte invece della "Spiaggia del Porto", posta a ponente della foce del Rio Lasca, la presenza dell'affioramento litoraneo degli "Scisti di Gorra", costituito da sequenze di litofacies quarzo-filladiche di scisti sericitico-cloritici, di scisti quarzo-sericitici, di quarziti, di quarzoscisti e di arenarie e micro conglomerati quarzo-feldspatici, fornisce, per la loro elevata alterabilità, una ponderale componente quarzosa fine di facies filladico-scistosa.

L'arenile della "Spiaggia di Varigotti", a prevalente natura calcareo-dolomitica, mostra una spiaggia emersa con presenza, su una pendenza media di 1,7°-1,8°, di due berme, una ordinaria, con linea di cresta generalmente segnata da un cordone di granuli e piccoli ciottoli e l'altra, dovuta alle onde di tempesta, con la cresta segnata da un cordone ciottoloso. Lungo la cresta di berma ordinaria, estesa per tutto il suo sviluppo di circa 1600 m tra la foce del Rio Lasca ed il Molo di Varigotti, sono stati prelevati, con un interasse di circa 180 m, otto campioni, che, sottoposti ad analisi granulometrica per setacciatura, hanno fornito un valore del granulo medio, valutato come *mean size* di McCammon (1962), compreso tra 0,947 mm e 8,472 mm. Il diagramma in coordinate semilogaritmiche delle curve cumulate di questi campioni fornisce il fuso granulometrico (Fig. 11), che indica, con il carattere prevalentemente omometrico della distribuzione, la presenza di una modestissima coda verso le parti diametriche più fini. La rappresentazione in ordinate di probabilità di questi stessi campioni mostra un diagramma (Fig. 12) di Visher (1969), che, risultando praticamente privo di significative rotture di pendenza, indica un trasporto a denti di sega per "getto di riva" del materiale di cresta della berma ordinaria.

Questi campioni prelevati lungo la berma ordinaria (Fig. 12), fornendo valori del granulo medio compresi tra 1 e 2 mm, indicano che il complesso della spiaggia emersa di Varigotti si caratterizza come un deposito di "sabbia molto grossa",

L'arenile che, posto a ponente della foce del Rio Lasca, si presenta come spiaggia emersa solo nella zona della "Spiaggia del Porto", comparando invece sul lato denominato Le Stelle unicamente come modestissima sottile e discontinua fascia di battigia, si è preminentemente formato con gli apporti dei reticoli idrografici dei rii Dé, Selva, Prietti e Lasca, impostati prevalentemente sulle formazioni a litofacies quarzo-filladiche. Questo arenile dalla pendenza media di 5° nella sua parte emersa (spiaggia del Porto) presenta pertanto, oltre alla componente calcareo-dolomitica, anche quella più fine quarzo-scistosa, mostrando un granulo medio di 9,059 mm nel suo tratto residuale a ponente dello "Scoglio della Fiorita" ed antistante il "Villaggio Olande-

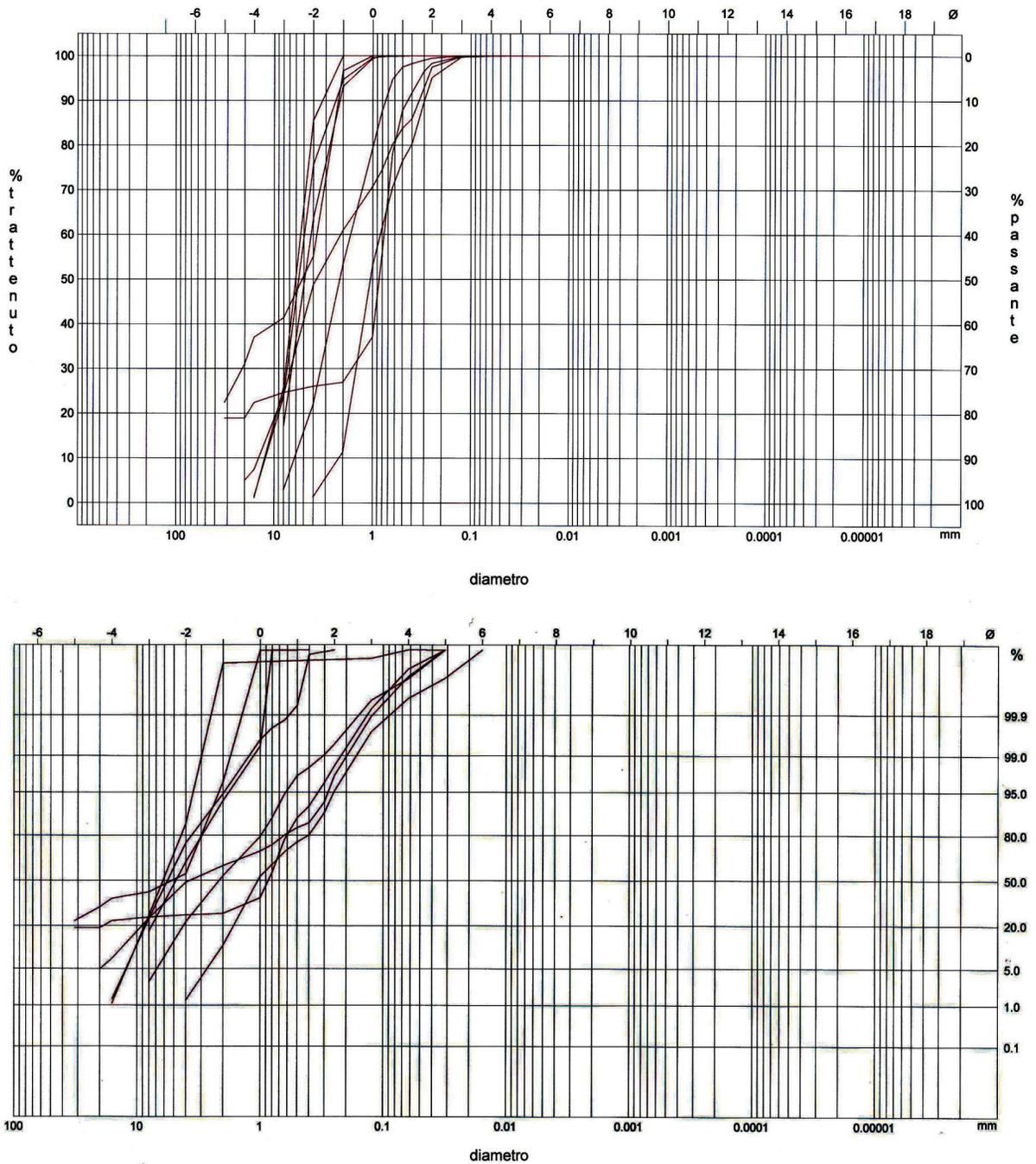


Figura 12 – Fuso granulometrico in alto e diagramma di Visher in basso dei campioni raccolti sulla spiaggia emersa di Variogotti lungo lo sviluppo della cresta di berma ordinaria.

se”, ed un granulo medio compreso tra 0,125 e 0,5 mm sulla Spiaggia del Porto. Questa spiaggia emersa si caratterizza pertanto come un deposito di “sabbia medio-fine”.

L'estensione poi nell'entroterra del massiccio roccioso delle “Dolomie di San Pietro dei Monti”, facilmente carsificabile nella sua componente carbonatica, perché interessato da un sistema pervasivo di fratturazione, ha dato luogo ad un carsismo ipogeo, le cui acque di percolazione, ricche in bicarbonato di calcio, giungendo con i loro punti di scaturigine sulla riva ed in mare, soprattutto nell'area litoranea compresa tra la foce

del Rio Lasca e Capo San Donato, hanno prodotto, per precipitazione chimica, in questo deposito sciolto litoraneo della Spiaggia del Porto e dell'area denominata "le Stelle", la formazione di una panchina (*beach rock*) estesa sulla battigia e sulla spiaggia sommersa sino all'isobata di 3÷5 m (Cortemiglia & Fierro, 1965). Nell'ambito di questa unità fisiografica, la *surf zone* della Spiaggia di Varigotti e della Spiaggia del Porto, analizzata con un prelevamento di campioni lungo i transetti delle sezioni 5, 6, 7, 8 e 9 (Fig. 10 e 11), consente di verificare, entro la fascia batimetrica dei 25 m, le caratteristiche della zonazione sedimentaria, che, valutata come distribuzione del granulo medio di McCammon (1962), indica che il sedimento di fondo mobile della spiaggia sommersa di Varigotti è costituito da "sabbia fine" (0,125÷0,250 mm) per tutta la fascia batimetrica compresa tra la linea di battigia e l'isobata dei 25 m, mentre nell'area antistante la spiaggia del Porto la prosecuzione di questa fascia batimetrica prossimale alla riva di "sabbia fine" si presenta in forma più ristretta, contenuta tra la linea di battigia e l'isobata dei 10 m.

Il materiale di fondo mobile, al di là di questa fascia (0÷10m) di "sabbia fine" (0,125÷0,250 mm) e sino all'isobata di 25 m, è costituito da "sabbia media" (0,250–0,500 mm). Sulla fascia batimetrica (0÷25 m) di "sabbia fine" della spiaggia sommersa di Varigotti sono inoltre presenti due modeste aree a granulometria più grossolana, una di "sabbia grossa" (0,5÷1 mm) all'altezza del "Molo di Varigotti", tra le isobate di 5 e 10 m, e l'altra di "granuli" (2÷4 mm) alla foce del Rio Armareo, tra la battigia e l'isobata di 5 metri.

I campioni di fondo mobile della *surf zone*, raccolti lungo le Sezioni 5, 6, 7, 8 e 9 (Fig. 10 e 11), indicano che il granulo medio, determinato come *mean size* di McCammon (1962), della fascia di "sabbia fine" prossimale alla riva risulta compreso tra 0,134 mm e 0,237 mm, mentre quello della "sabbia grossa" presenta un campo di variabilità compreso tra 0,574 mm e 0,890 mm. Il fuso granulometrico (Fig. 13 in alto) in scala semilogaritmica di questi campioni di fondo mobile, raccolti sulla spiaggia sommersa sino all'isobata di 20 m, mostra il prevalente carattere omometrico della distribuzione con code di modesta frequenza percentuale, prevalentemente rivolte verso i diametri fini.

La rappresentazione invece (Fig. 13 in basso) delle distribuzioni granulometriche di questi campioni in scala di ordinate di probabilità (diagramma di Visher, 1969), mettendo in evidenza la presenza di diversi punti di troncatura con i relativi tratti rettilinei, indica che la dinamica litorale di questa unità fisiografica è interessata da subpopolazioni lognormali con modi di trasporto differenziato, in quanto le loro variazioni granulometriche, rispetto ad una distribuzione gaussiana, sono realmente dovute al mescolamento.

Il diagramma di Rivière (1977), che rappresenta la variazione di N (parametro dell'energia) al variare della dimensione media (X media parametro della grossolanità), conferma questa caratteristica della dinamica sedimentaria, segnalando (Fig. 14) inoltre, come carattere prevalente del sedimento di fondo mobile, la sua evoluzione granulometrica anormale in facies di maturazione ultraparabolica, che caratterizza depositi di levigazione ed, in particolare, di trazione con trasporto per rotolamento e saltazione corta, in cui si verifica un'ablazione, più o meno marcata, delle frazioni fini. Il sedimento pertanto di fondo mobile della *surf zone*, presentando un parametro dell'energia $N > 0,8$ ed un parametro della grossolanità X -Media $> 0,1$ mm, si caratterizza per un deposito in cui le correnti da moto ondoso hanno realizzato un processo di levigazione delle frazioni più fini.

Analisi morfodinamica

I risultati delle analisi dei caratteri ondometrici e morfobatimetrici della *surf zone* di questa unità fisiografica, il cui tratto di litorale contiene la Spiaggia dei Nudisti, la spiaggia di Varigotti e la Spiaggia del Porto, consentono, unitamente alle caratteristiche tessiturali del sedimento di fondo mobile, di metterne in evidenza lo *stato morfodinamico modale* attraverso la successione temporale degli stati morfodinamici giornalieri determinati con il calcolo del parametro di *surf scaling* (\square) e del *parametro ambiente* (Ω).

Il calcolo, all'interno del relativo settore di traversia di Tabella 6, delle altezze d'onda al frangimento consente infatti di stimare i valori giornalieri per il periodo considerato dal 1.1.1984 al 31.12.2010 del parametro di *surf scaling* (\square) e del *parametro ambiente* (Ω), le cui distribuzioni di frequenza, espresse in classi di ampiezza differenziata, sono state riportate nella Tabella 10.

La distribuzione di frequenza del parametro di *surf scaling* (\square), che caratterizza lo stato morfodinamico dell'avanspiaggia (*foreshore*), risulta completamente contenuta (Tabella 10) all'interno dello *stato totalmente dissipativo* con moda nella classe 350÷500.

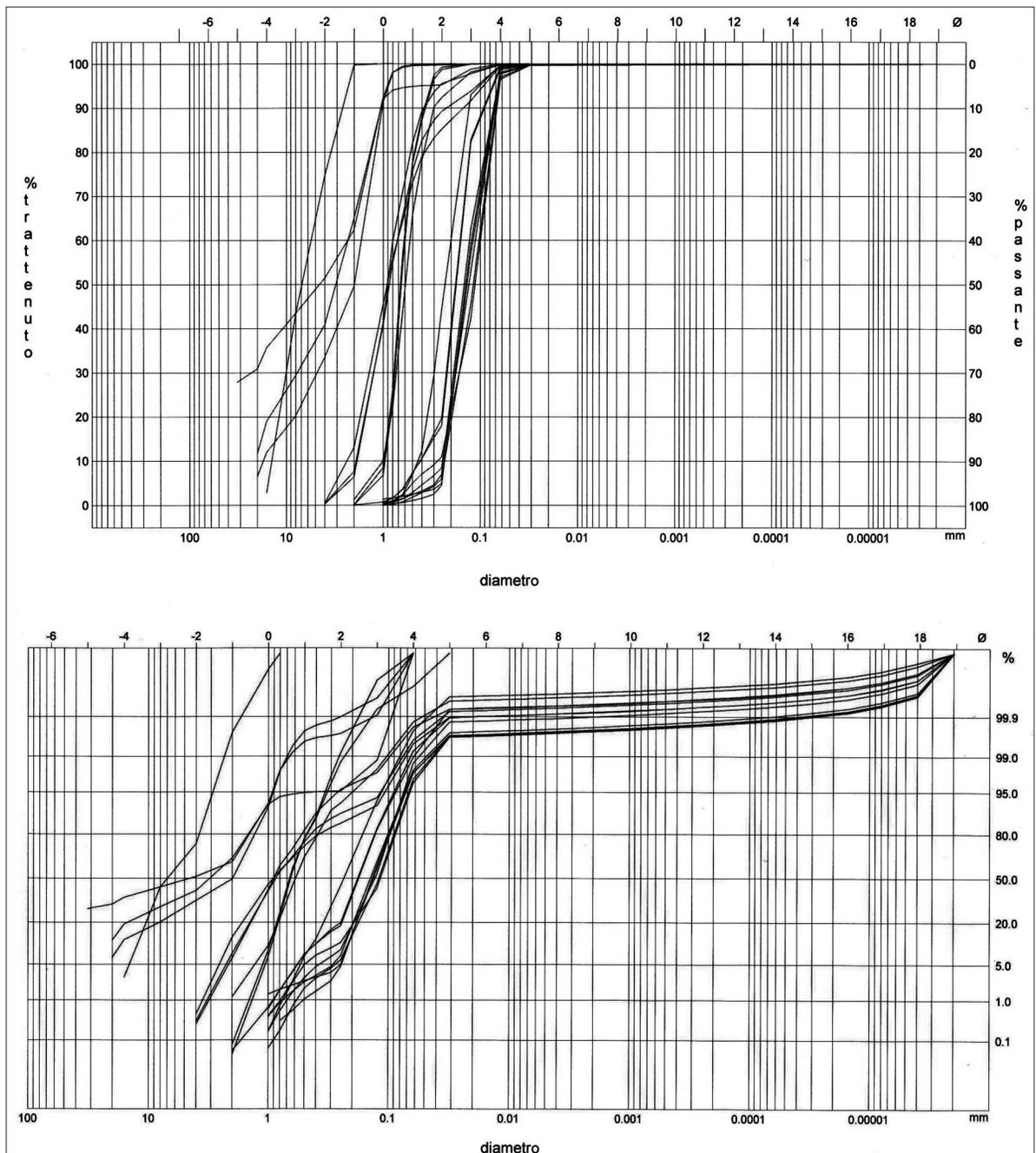


Figura 13 – Fuso granulometrico in alto e diagramma di Visher in basso di campioni di fondo mobile raccolti sulla *surf zone* della spiaggia sommersa di Varigotti nella fascia batimetrica compresa tra la battigia e l'isobata di 20 m.

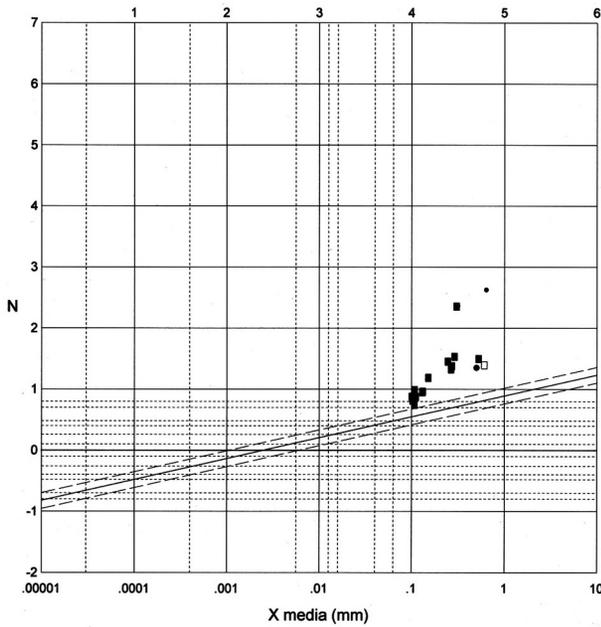


TABELLA DELLE FACIES SEDIMENTOLOGICHE

Evoluzione granulometrica	Facies di maturazione	Num. campioni
NORMALE	Facies ultraparaboliche	
	Facies paraboliche	
	Facies sublogaritmiche	
	Facies iperboliche	
	Facies infraiperboliche	
TOTALE		
ANORMALE	Facies ultraparaboliche	19
	Facies infraparaboliche	
	Facies paraboliche s.l.	
	Facies sublogaritmiche s.l.	
	Facies iperboliche s.l.	
	Facies ultraiperboliche	
TOTALE		19
Facies non classificabili		

Legenda prelievamento campioni

- 1 prelevati sulla battigia
- 0 prelevati tra le isobate 0 m e 1 m
- 1 prelevati tra le isobate 1 m e 3 m
- 2 prelevati tra le isobate 3 m e 5 m
- 15 prelevati tra le isobate 5 m e 40 m
- + 0 prelevati oltre l'isobata 40 m

Figura 14 – Diagramma degli indici di evoluzione granulometrica di Riviere dei campioni di fondo mobile raccolti sulla surf zone della spiaggia di Varigotti e della spiaggia del Porto.

Tabella 10 – Tabella sinottica dei parametri morfodinamici della spiaggia di Varigotti e della Spiaggia del Porto calcolati giornalmente per il periodo dal 1.1.1984 al 31.12.2010.

Surf-scaling (\square)		Ambientale (Ω)	
Classi	Frequenze	Classi	Frequenze
50÷100	0,54	1÷2	0,35
100÷150	1,64	2÷3	0,47
150÷200	2,58	3÷4	0,57
200÷250	3,55	4÷5	1,19
250÷350	14,47	5÷6	1,69
350÷500	77,22	6÷7	1,51
Totale	100.00	7÷8	1,91
		8÷9	2,31
		9÷10	1,54
		10÷11	2,23
		11÷20	22,68
		20÷30	19,58
		30÷40	17,10
		40÷50	14,91
		50÷60	11,96
		Totale	100,00

Questo stato morfodinamico dissipativo estremo indica che su questa surf zone le forti mareggiate sono accompagnate da importanti e significative correnti di risucchio (*rip current*) e l'ondazione produce un accentuato getto di riva, mentre sono praticamente assenti le oscillazioni stazionarie a frequenze subarmoniche. La presenza di questi valori elevati ($\square > 50$) del parametro di *surf-scaling* indica che la dissipazione turbolenta dell'energia delle onde incidenti è elevata, in quanto cresce al crescere di \square , mentre l'ondazione dà luogo a frangenti di espansione (*spilling breakers*), che provocano, per la prevalente presenza di una circolazione a *rip current*, un ampliamento della surf zone.

Questa *surf zone* nello stato morfodinamico totalmente dissipativo si caratterizza inoltre per la presenza di un predominio di energia di infragravità a larga banda nella zona corrispondente a 100÷200 secondi di periodo (*edge wave*).

La distribuzione di frequenza del *parametro ambientale* (Ω), che mette in evidenza il rapporto intercorrente tra altezza e periodo dell'onda al frangimento con le caratteristiche tessiturali della surf zone, risulta prevalentemente estesa (Tabella 10) a valori del parametro adimensionale $\Omega > 6$ con classe modale nell'intervallo 11÷20. Questa distribuzione di frequenza, oltre a mostrare chiaramente come il parametro Ω abbia già ampiamente superato i valori critici dello *stato morfodinamico riflettivo* ($\Omega < 1$) e dello *stato morfodinamico intermedio* ($\Omega > 6$), evidenzia altresì la sua decisa tendenza a crescere ulteriormente per raggiungere valori sempre più elevati sino all'attuale raggiungimento della classe 50÷60. Tale predominanza di valori elevati del parametro adimensionale Ω conferma che in questa *surf zone* totalmente dissipativa predomina energia di infragravità a larga banda e mancano le oscillazioni stazionarie a frequenze subarmoniche. Inoltre la tendenza a crescere di questo parametro adimensionale Ω , superando ormai il valore 11 con una frequenza del 86,23 %, segnala che la *surf zone* sta ampliandosi per apporti legati alla circolazione di *rip current* generate da moto ondoso.

Unità morfologica litorale Capo San Donato–Capo di Caprazoppa

Questa unità fisiografica, nell'ambito del litorale finalese, rappresenta l'arco morfologico posto a ponente dello sviluppo litoraneo del territorio comunale e contiene gli arenili della "Spiaggia di San Donato" (Fig. 1 lettera F) lunga circa 420 m, della "Spiaggia di Finalpia" (Fig. 1 lettera G) estesa in lunghezza per circa 410 m e della "Spiaggia di Finalmarina" (Fig. 1 lettera H) sviluppata per una lunghezza di circa 1175 m.

Anche queste spiagge dell'unità fisiografica orientale del litorale finalese rappresentano morfologicamente l'evoluzione temporale, da deposito al piede di falesie vive, in piattaforma costruita di falesie stabilizzate, la cui originaria parete di scalzamento alla base da parte dell'ondazione si trova ora arretrata, rispetto alla linea di battigia, in quanto separata dall'Aurelia e dalle sue strutture di contenimento.

L'indagine su questa unità fisiografica del tratto più a ponente del litorale finalese viene pertanto sviluppata, ai fini della conoscenza morfologica, per metterne soprattutto in evidenza lo stato di equilibrio dinamico raggiunto dalle sue spiagge.

Analisi Fisiografica

Il tratto di litorale finalese compreso tra Capo San Donato e Capo di Caprazoppa presenta uno sviluppo ad arco la cui secante, ottenuta con la linea di congiungimento di questi due promontori naturali, mostra una saetta che, tracciata in corrispondenza al punto costiero litoraneo di battigia più rientrante verso monte rappresentato dalla foce del Pora, indica il punto di vertice del settore di traversia di questa unità fisiografica.

Tracciando pertanto da questo punto sul litorale le congiungenti con Capo San Donato (azimutale 72°) e con Capo di Caprazoppa (azimutale 214°), si configura un *settore di traversia geografico* che, con un angolo di apertura di 172°, risulta costituito, in base alle caratteristiche geografiche dell'area marina, da quattro settori parziali rispettivamente delimitati dalla azimutali e dalle dimensioni di *fetch* indicate nella Tabella 11. Questo *settore di traversia geografico* può essere altresì considerato anche come un *settore di traversia effettivo*, in quanto non sono presenti estensioni di falde di mare a levante ed a ponente in grado di poter convergere significativi treni d'onde al suo interno.

La saetta di azimutale 154°, con cui è stato individuato il punto di vertice del *settore di traversia geografico* di Tabella 11, prolungata verso il mare aperto interseca a 2,5 km dalla battigia l'isobata dei 200 metri, determinando così un punto di altura che, con coordinate geografiche di latitudine $\square = 44^\circ 8' 48''$ N e di longitudine $\square = 8^\circ 21' 12''$ E, può essere ritenuto come appartenente ad un'area in cui le varie falde di mare presentano onde d'altura per la stima delle caratteristiche ondamiche ed anemologiche di questa unità fisiografica.

Analisi anemologica e mareometrica

La stima dei campi di vento nel punto di altura di questa unità fisiografica è stata sviluppata su carte isobariche bigiornaliere (ore 12 GMT ed ore 00 GMT) di superficie dell'area mediterranea edite dal Deutscher

Wetterdienst per l'intervallo temporale dal 1.1.1984 al 31.12.2010 utilizzando la metodologia descritta da Cortemiglia (2002), che ha fornito le frequenze anemologiche con i relativi gradini di velocità dei venti foranei riportate in Tabella 12 ed il diagramma anemologico di Figura 15.

Distribuendo le frequenze anemologiche con i relativi gradini di velocità dei venti foranei di Tabella 11 nei rispettivi settori parziali componenti il *settore di traversia geografico* di questa unità fisiografica si individuano i caratteri delle frequenze anemologiche di Tabella 13 relazionate alle falde di mare di ciascun settore parziale, in modo che, associate alle dimensionalità dei loro *fetch* geografici, consentono di poter effettuare una stima delle caratteristiche del moto ondoso al frangimento.

Tabella 11 – Settore di traversia dell'unità fisiografica di ponente del litorale finalese compresa tra l'azimutale 72° di Capo San Donato e l'azimutale 214° di Capo Caprazoppa.

S	Settori parziali	Azimutali di delimitazione	Fetch geografici in km	T
1	Levante - E	72° (Capo San Donato) – 128° (Punta Baratti)	160	B
	Scirocco - SE	128° (Punta Baratti) – 146° (Isola Giraglia)	200	
	Scirocco-Ostro - SSE	146° (Isola Giraglia) – 183° (Capo dell'Argentiera)	180	
	Ostro-Libeccio - SSW	183° (Capo dell'Argentiera) – 214° (Capo di Caprazoppa)	940	A
S = Denominazione dei settori di traversia		1 = Settore di traversia geografico	A = Traversia principale	
T = Denominazione delle traversie		2 = Settore di traversia efficace	B = Traversia secondaria	

La stima dei valori di frequenza anemologica della Tabella 13 consente di evidenziare che in questo settore di traversia i *venti dominanti*, cui sono relazionate per la maggior lunghezza del *fetch* le falde di mare del settore parziale di S (Ostro), rappresentano il 23,53 % del totale, mentre i *venti regnanti*, appartenenti ai settori parziali di E (Levante), di SE (Scirocco) e di SSE (Scirocco-Ostro), per la loro più elevata frequenza media annua del 76,47 % e per la frequenza del 1,67 % con cui raggiungono gradini di velocità >17,1 m/s, si caratterizzano anche come *venti prevalenti*.

Tabella 12 – Frequenze anemologiche per l'intervallo temporale dal 1.1.1984 al 31.12.2010 dei venti foranei calcolati, per gradini di velocità e per direzioni azimutali di provenienza, a 10 m sul l.m.m. nel punto di altura di latitudine 44° 8' 48" N e di longitudine 8° 21' 12" E caratterizzante l'unità fisiografica, compresa tra le azimutali 72°-214°, posta a ponente del litorale finalese.

Direzioni di provenienza	Gradini di velocità del vento in m/s					Frequenza settore
	< 0,3	0,3÷5,4	5,4÷13,8	13,8÷17,1	> 17,1	
N	0,31	4,13	2,51	0,18	0,13	7,25
NNE	0,39	4,73	3,38	0,50	0,58	9,58
NE	0,24	5,04	3,82	0,75	0,63	10,47
ENE	0,76	7,07	2,13	0,20	0,18	10,33
E	0,51	5,79	1,27	0,06	0,06	7,69
ESE	0,18	3,70	0,91	0,04	0,02	4,85
SE	0,22	3,70	0,81	-	0,02	4,75
SSE	0,30	3,14	0,66	0,04	0,05	4,19
S	0,21	2,32	0,85	0,06	0,04	3,47
SSW	0,15	3,41	0,77	0,03	0,03	4,40
SW	0,42	4,24	0,54	0,02	0,03	5,25
WSW	1,24	7,43	0,56	-	-	9,23
W	0,34	5,25	0,66	0,03	-	6,28
WNW	0,10	2,68	0,94	0,02	0,02	3,77
NW	0,15	2,51	0,97	0,02	-	3,64
NNW	0,12	2,97	1,63	0,08	0,03	4,83
Totali	5,64	68,11	22,41	2,03	1,82	100,00

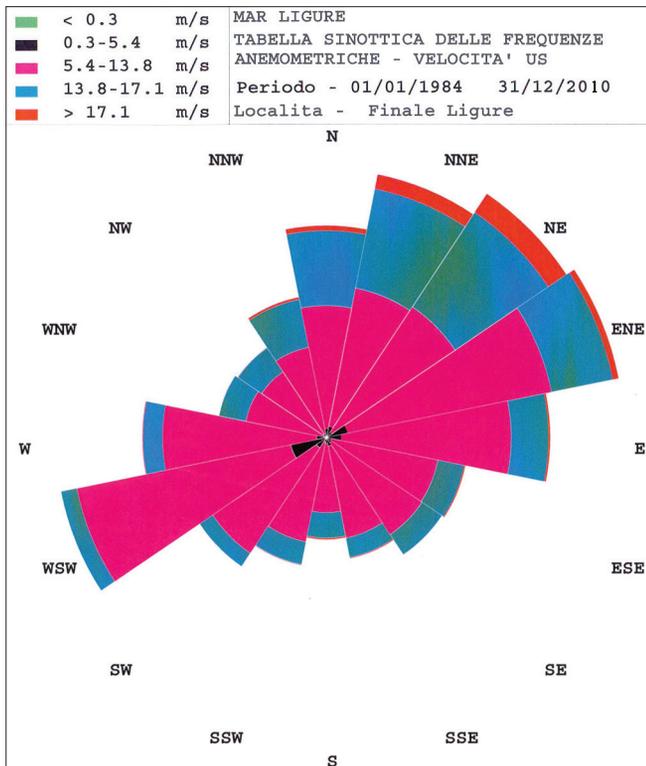


Fig. 15 - Diagramma anemologico dei venti foranei nel punto di altura di latitudine $\square = 44^{\circ} 8' 48''$ N e di longitudine $\square = 8^{\circ} 21' 12''$ E dell'unità fisiografica occidentale del litorale di Finale Ligure compresa tra le azimutali 72° - 214° .

Tabella 13 – Tabella sinottica delle frequenze anemologiche dei venti foranei calcolati per il settore di traversia effettivo (72° – 214°) e per gradini di velocità del vento nel punto di altura di latitudine $\square = 44^{\circ} 8' 48''$ N e di longitudine $\square = 8^{\circ} 21' 12''$ E individuato in base alle caratteristiche morfologiche dell'unità fisiografica, compresa tra le azimutali 72° - 214° , posta a ponente del litorale finalese.

Direzioni di provenienza	Gradini di velocità del vento in m/s					Frequenza settore
	< 0,3	0,3÷5,4	5,4÷13,8	13,8÷17,1	> 17,1	
E	2,09	26,79	7,84	0,64	0,69	38,05
SE	0,68	8,81	2,20	0,16	0,19	12,04
SSE	1,45	18,14	5,58	0,42	0,79	26,38
S	1,33	16,38	4,46	0,56	0,80	23,53
Totali	5,55	70,12	20,08	1,78	2,47	100,00

Le caratteristiche anemologiche della Tabella 13, ottenute con la stima del modello aerodinamico ed associate alle dimensionalità dei fece geografici relativi ai vari settori parziali (Tabella 11) in cui risulta suddiviso il settore di traversia geografico di questa unità fisiografica, consentono, sulla base della procedura di *hindcasting* descritta da Cortemiglia (2003), di determinare i parametri ondamentrici necessari per la valutazione dello stato morfodinamico modale della *surf zone*.

L'elaborazione dei dati anemologici di Tabella 13 indica che l'ondazione in arrivo sulla *surf zone* di questa unità fisiografica presenta una diretta proporzionalità nel diagramma di variazione (fig.16) tra parametro $[g H_s / (U_{10})^2]$ dell'altezza d'onda significativa H_s in funzione del parametro $[g t / U_{10}]$ della durata (t) d'azione continua del vento anemometrico (U_{10}) e mostra lunghezze d'onda massimali alla riva di 95 m nel diagramma a dispersione (Fig. 17) tra celerità (C_R) delle onde al frangimento e relativa lunghezza d'onda (LR) alla riva.

Analisi morfobatimetrica

In questa unità fisiografica le caratteristiche morfobatimetriche della *surf zone* sottesa alle spiagge di San Donato, di Finalpia e di Finalmarina, sono state individuate analizzando 10 profili batimetrici condotti trasversalmente alla riva in corrispondenza degli estremi e del centro della Spiaggia di San Donato (Fig. 18

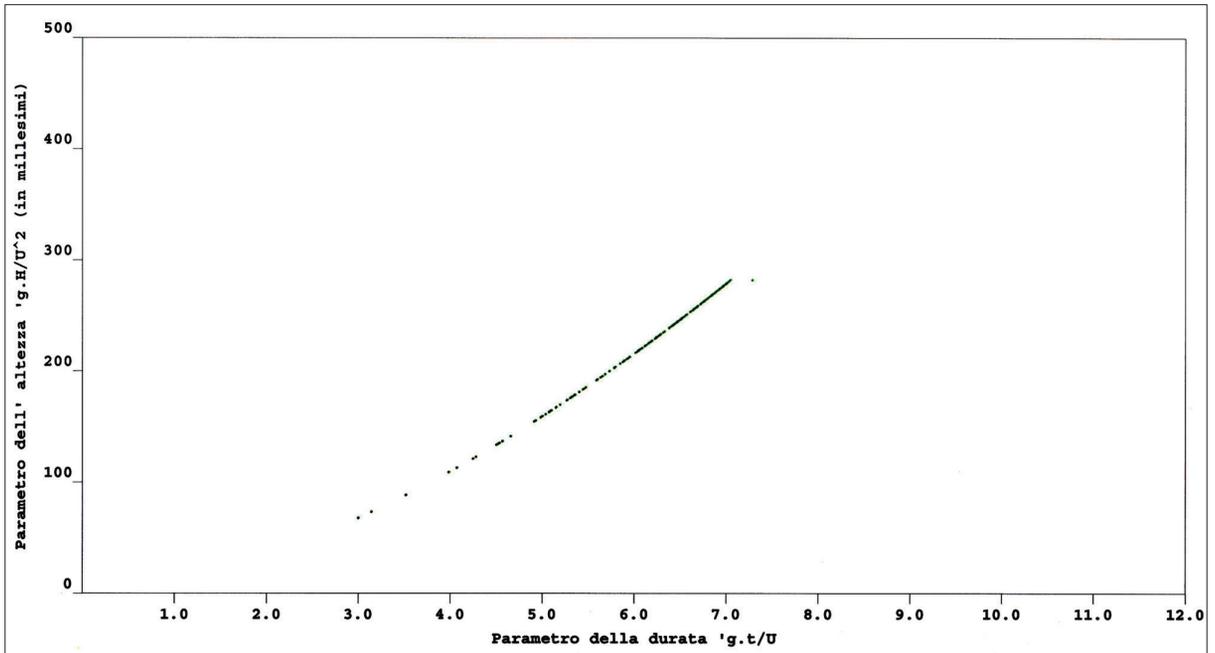


Figura 16 – Curva di variazione del parametro dell'altezza d'onda in funzione della durata dell'azione del vento per il moto ondoso di altura calcolato sulla base delle carte isobariche di superficie dell'area mediterranea del periodo dal 1.1.1984 al 31.12.2000 nel punto di altura di latitudine $\square = 44^{\circ} 8' 48''$ N e di longitudine $\square = 8^{\circ} 21' 12''$ E.

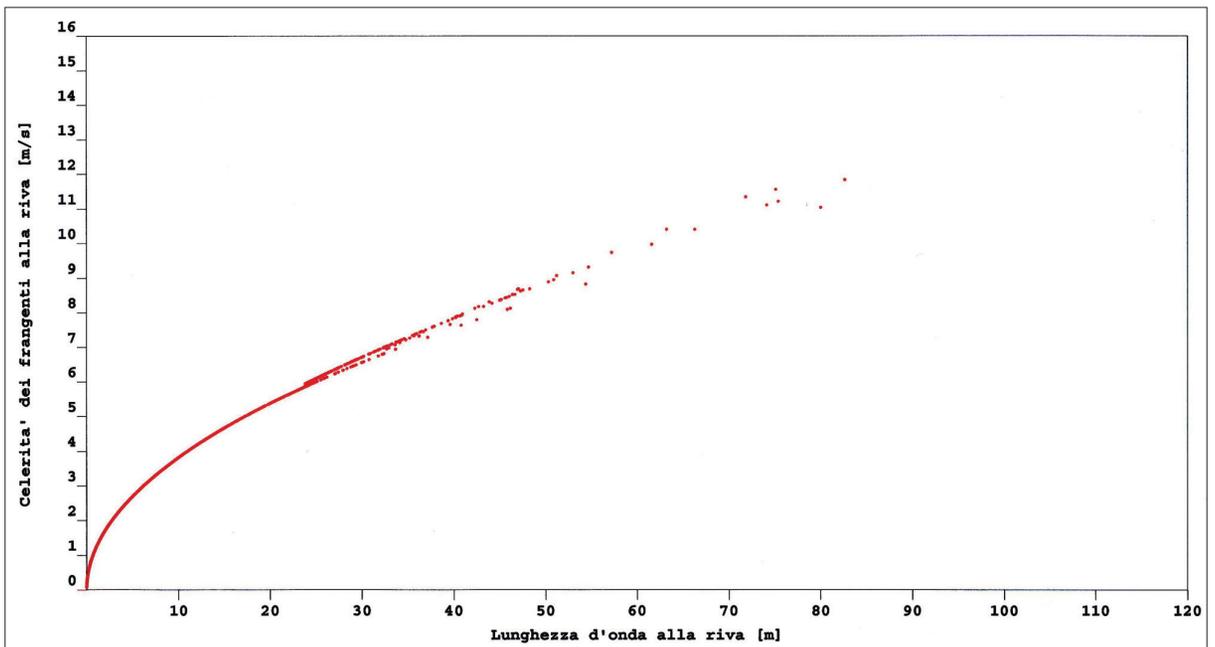


Figura 17 – Diagramma a dispersione tra i parametri della lunghezza d'onda alla riva (L_R) espressa in metri e della celerità dei frangenti alla riva (C_R) calcolati nella *surfzone* della Spiaggia di Capo San Donato, della Spiaggia di Finalpia e della Spiaggia di Finalmarina, per il periodo temporale dal 1.1.1984 al 31.12.2010 sulla base delle caratteristiche anemometriche di Tabella 13.

Sezioni 10, 11 e 12), della Spiaggia di Finalpia (Fig. 19 Sezioni 13, 14 e 15) e della spiaggia di Finalmarina (Fig. 20 Sezioni 16, 17 e 18) ed in corrispondenza del Capo di Caprazoppa (Fig. 20 Sezione 19). L'analisi morfobatimetrica condotta su questi profili batimetrici utilizzando le equazioni di aggiustamento polinomiale di primo, secondo e terzo ordine, ha permesso di ricavare i parametri morfologici riportati nella

Tabella 14, da cui si evince come la pendenza media di questa *surf zone* risulti più elevata sull'arco di levante in corrispondenza delle spiagge di San Donato e di Finalpia.

Tabella 14 – Caratteri morfobatimetrici della *surf zone* della “Spiaggia di San Donato”, “Spiaggia di Finalpia” e “Spiaggia di Finalmarina”.

Profili Batimetrici		Pendenza media In gradi	Geometria del profilo	Distanza in m dalla battigia del punto d'inflessione
Spiaggia di San Donato	Sezione 10	3,0°	Convesso	500
	Sezione 11	3,1°	Convesso	550
	Sezione 12	3,1°	Convesso	1000
Spiaggia di Finalpia	Sezione 13	3,2°	Convesso	166
	Sezione 14	3,2°	Convesso	1667
	Sezione 15	3,1°	Convesso	778
Spiaggia di Finalmarina	Sezione 16	2,3°	Convesso	222
	Sezione 17	1,8°	Convesso	333
	Sezione 18	1,7°	Convesso	375
	Sezione 19	2,2°	Concavo	333

La geometria dei profili della *surf zone* per tutta l'ampiezza sottesa allo sviluppo delle spiagge risulta convessa, mentre è solo in corrispondenza del Capo di Caprazoppa che il profilo si presenta concavo, per cui si segnala la presenza, su queste spiagge sommerse, di significativi effetti dovuti ad apporti da *rip current*.

Le caratteristiche geometriche di questi profili si accompagna all'esistenza di una diminuzione della distanza dalla linea di battigia del punto di inflessione sul lato occidentale, in corrispondenza della spiaggia di Finalmarina, ed un suo allontanamento dalla riva invece, in corrispondenza della spiaggia di Finalpia, indicando così, su questa parte della *surf zone*, la presenza di una più efficace azione delle correnti di risucchio (*rip current*) nell'allontanamento del materiale verso il largo.

Analisi sedimentologica

Questa unità fisiografica, compresa tra Capo San Donato e Capo di Caprazoppa, presenta un arco di litorale sotteso ad un entroterra costituito, a levante della foce del torrente Pora, dalla prosecuzione dell'affioramento degli “Scisti di Gorra” del Bric Briga, mostranti alla base, in contatto tettonico, una sottile striscia litoranea della formazione delle “Dolomie di San Pietro”. A ponente, invece, della foce del torrente Pora affiora, sul suo versante orografico destro, la formazione delle “Dolomie di San Pietro”, che, al tetto, nella Punta di Caprazoppa, presentano in copertura la formazione dei “Calcarei di Val Tanarello” del Malm. Entrambe queste due formazioni sono ricoperte nella zona di Finalborgo dalla formazione del “Calcario di Finale ligure”, utilizzato come pietra ornamentale, nelle sue varietà più pregiate di color bianco-rosato, col nome di “Pietra di Finale”. Oltre al torrente Pora (bacino idrografico 59 km²) anche il torrente Sciusa, che sfocia all'altezza del Molo di Finalpia, presenta un bacino idrografico (30 km²) che, nella sua parte più distale dal litorale, incide rocce appartenenti alle formazioni dei Porfiroidi del Melogno e della pietra di Finale.

Il tratto di litorale a levante della foce del torrente Pora riceve pertanto apporti solidi di bacini idrografici impostati prevalentemente su litofacies calcareo-dolomitiche e quarzoso-filladiche, mentre il tratto posto a ponente della foce del Pora riceve in prevalenza apporti solidi di bacini idrografici provenienti dalla formazione dei “Calcarei di Val Tanarello”.

Le spiagge poste sul litorale di questa unità fisiografica sono pertanto costituite da arenili composti prevalentemente da litofacies calcaree e calcareo-dolomitiche

La presenza nei bacini idrografici del torrente Pora e Sciusa anche di affioramenti della Pietra di Finale, prevalentemente costituita da calcari bioclastici, più o meno vacuolari, di età miocenica, a cemento calcitico talora con presenza più o meno frequente di frazione terrigena (biocalcirudite e biosparudite) e di abbondanti associazioni fossilifere di ambiente marino di acqua bassa (coralli, codiacee, balanidi, briozoi, molluschi, ecc.), oltre a procurare agli apporti solidi del Pora e del Sciusa una detritazione di natura carbonatica di varia pezzatura, hanno dato luogo, per il loro carattere prevalentemente carbonatico, ad una morfologia carsica

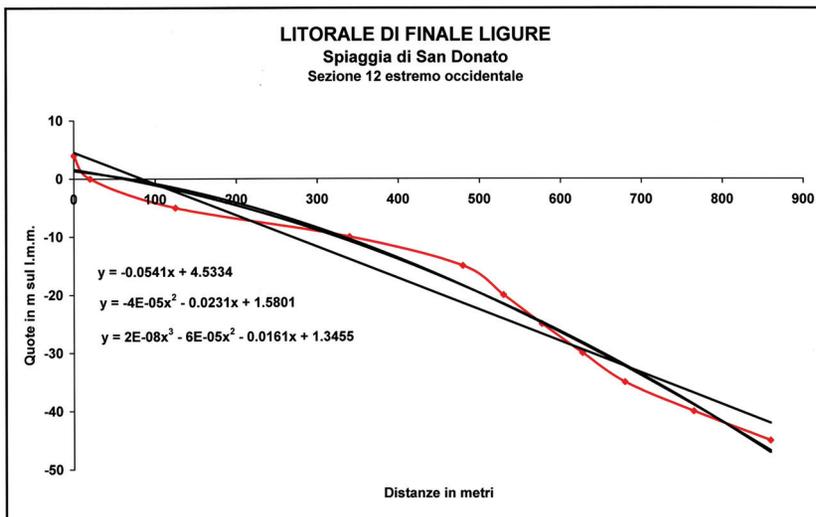
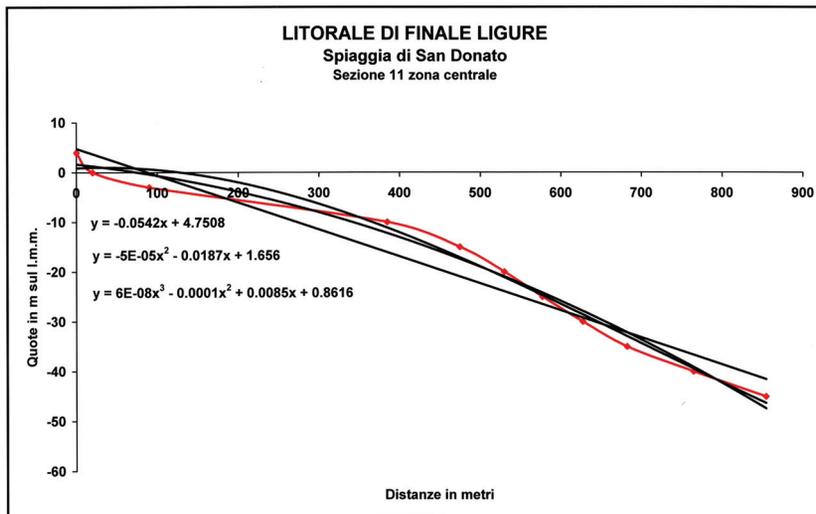
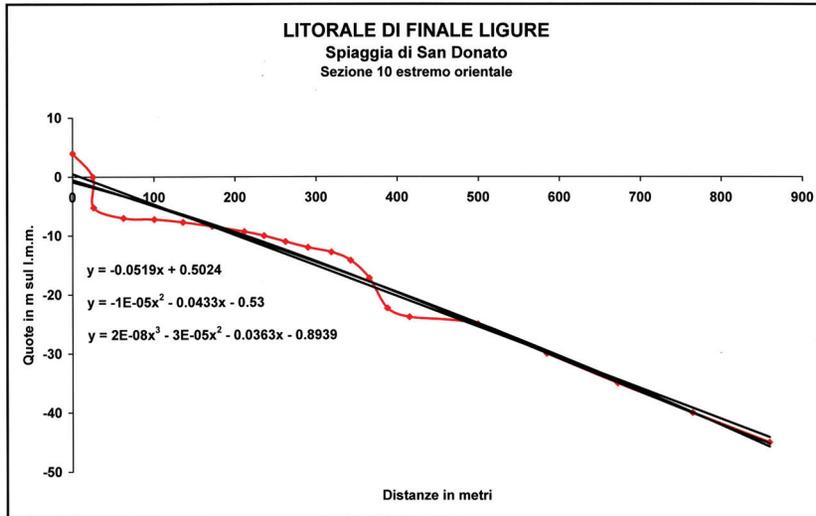


Figura 18 – Andamento del profilo batimetrico (in rosso) e delle curve di aggiustamento polinomiale (in nero) per la determinazione della pendenza, della geometria e della distanza dalla riva del punto di inflessione.

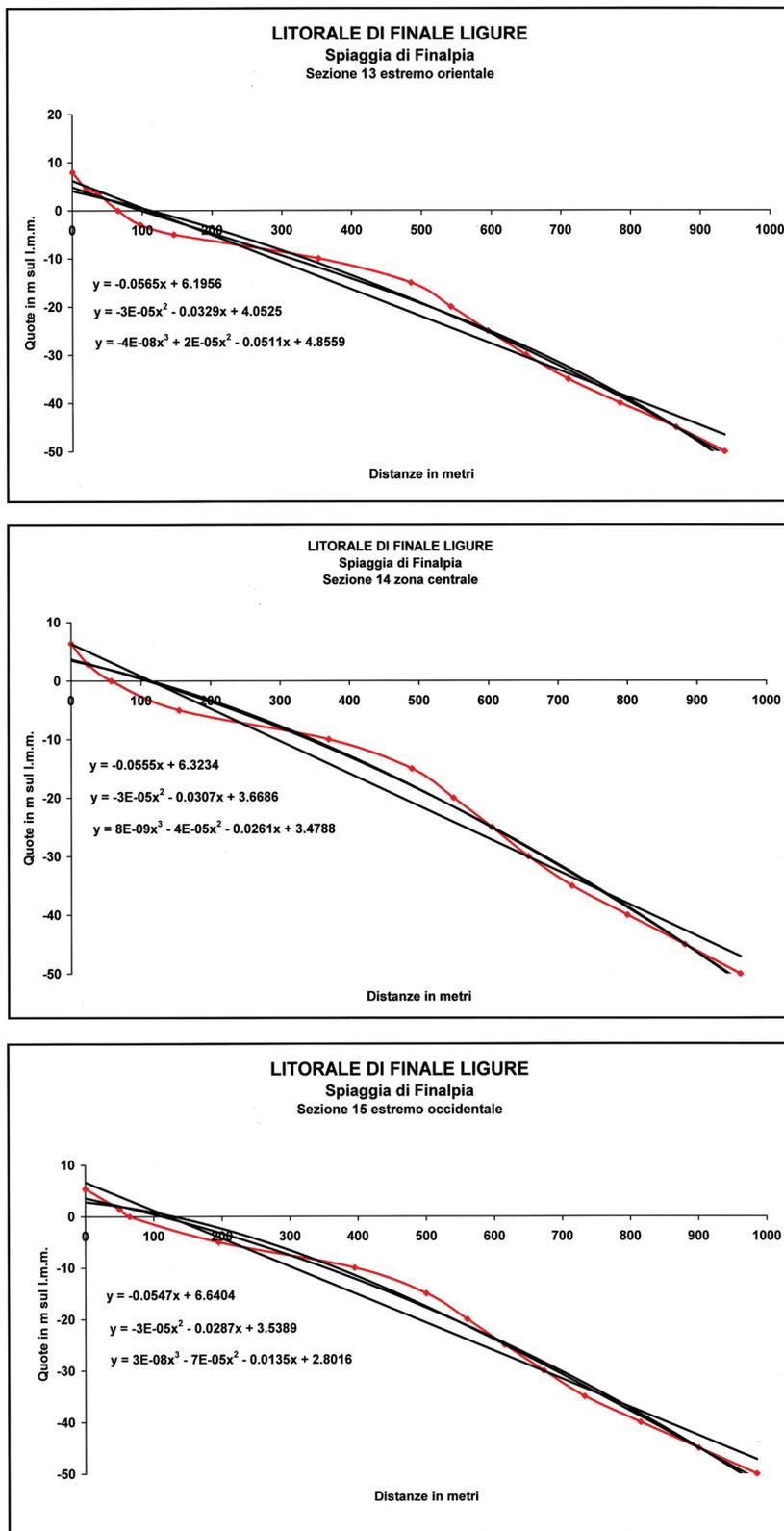


Figura 19 – Andamento del profilo batimetrico (in rosso) e delle curve di aggiustamento polinomiale (in nero) per la determinazione della pendenza, della geometria e della distanza dalla riva del punto di inflessione.

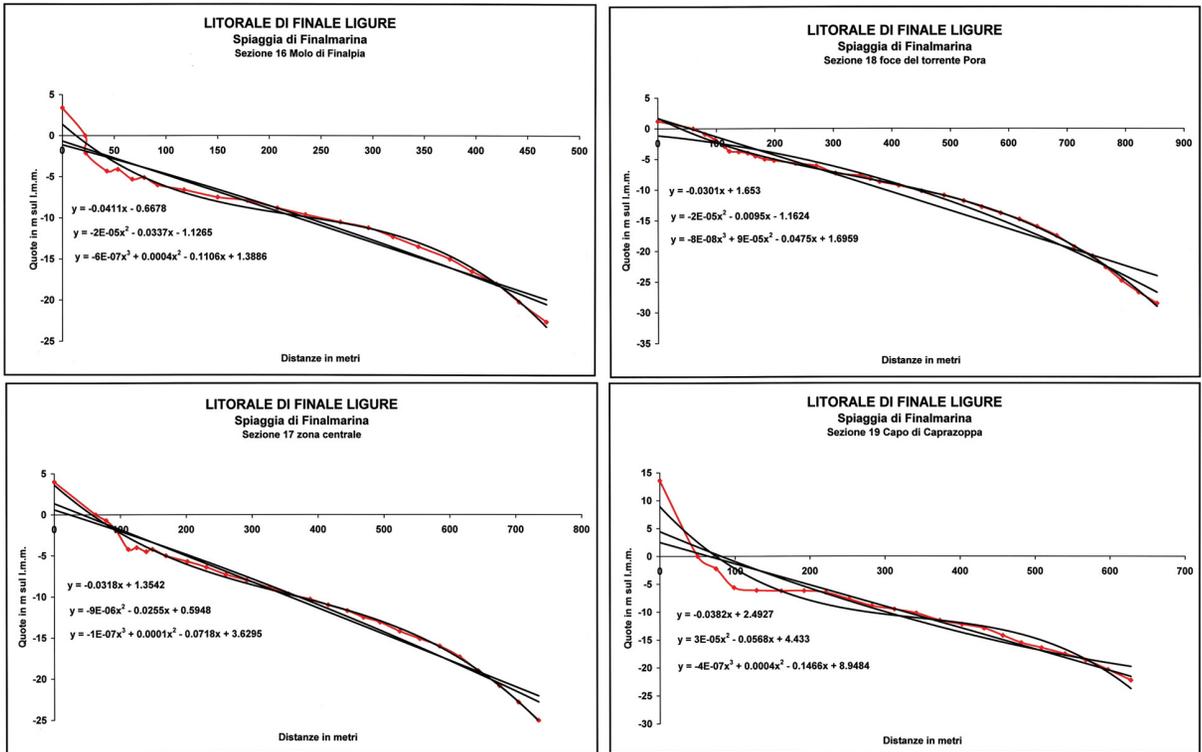


Figura 20 – Andamento del profilo batimetrico (in rosso) e delle curve di aggiustamento polinomiale (in nero) per la determinazione della pendenza, della geometria e della distanza dalla riva del punto di inflessione.

ipogea ed epigea. Le acque di questa circolazione carsica ipogea, pervenute con i loro punti di scaturigine sul litorale, hanno formato, per precipitazione chimica, affioramenti litorali di “panchina” (*beach rock*) soprattutto sulla battigia e sull’avanspiaggia della Spiaggia di San Donato.

Il tratto di litorale compreso tra la foce del torrente Pora ed il Capo San Donato, per la costruzione di due pennelli trasversali, uno, realizzato nel 1933, sito in zona “Il Castelletto” e l’altro, realizzato nel 1851, ma successivamente più volte prolungato, denominato “Molo di Finalpia”, presenta la successione, da levante a ponente, della “Spiaggia di San Donato”, delimitata fra Capo San Donato e “Il Castelletto”, della “Spiaggia di Finalpia”, delimitata tra “Il Castelletto” ed il “Molo di Finalpia”, e della “Spiaggia di Finalmarina”, estesa tra il “Molo di Finalpia” e la foce del torrente Pora.

Spiaggia di San Donato

La spiaggia di San Donato, della lunghezza di circa 420 m, si presenta, con un’inclinazione media di 5,7°, come una striscia di arenile, a linea di battigia piuttosto rettilinea, dell’ampiezza media di circa 30 m. I campioni raccolti sulla spiaggia emersa presentano curve granulometriche cumulate di tipo eterometrico plurimodale (da 2 a 3 mode) ed un granulo medio oscillante da 1 mm a 1.8 mm, mentre i campioni raccolti lungo la battigia rivelano un granulo medio da 1,7 mm a 2,2 mm con valori della classazione da mediamente classato a ben classato. La spiaggia sommersa, come mostra la Tabella 14, presenta un leggero aumento della pendenza che da 3,0° sul lato di levante passa a 3,1° su quello di ponente.

I campioni di fondo mobile raccolti a varie profondità lungo sezioni batimetriche trasversali alla riva (Fig. 18, Sezioni 10, 11 e 12), forniscono, all’analisi granulometrica per setacciatura, curve granulometriche cumulate da cui si ricavano parametri della tendenza centrale indicanti una distribuzione del granulo medio, che, calcolato come *mean size* di McCammon (1962), indica la presenza di una fascia batimetrica di “sabbia media” (0,250÷0,500 mm), estesa, sulla “sezione 10” posta a levante, tra la battigia e l’isobata di 7,2 m, e, sulla sezione 12 posta a ponente, tra la battigia e l’isobata di 4,5 m. Al largo di questa fascia batimetrica, la cui ampiezza diminuisce quindi da levante a ponente, tutta la spiaggia sommersa sino alla

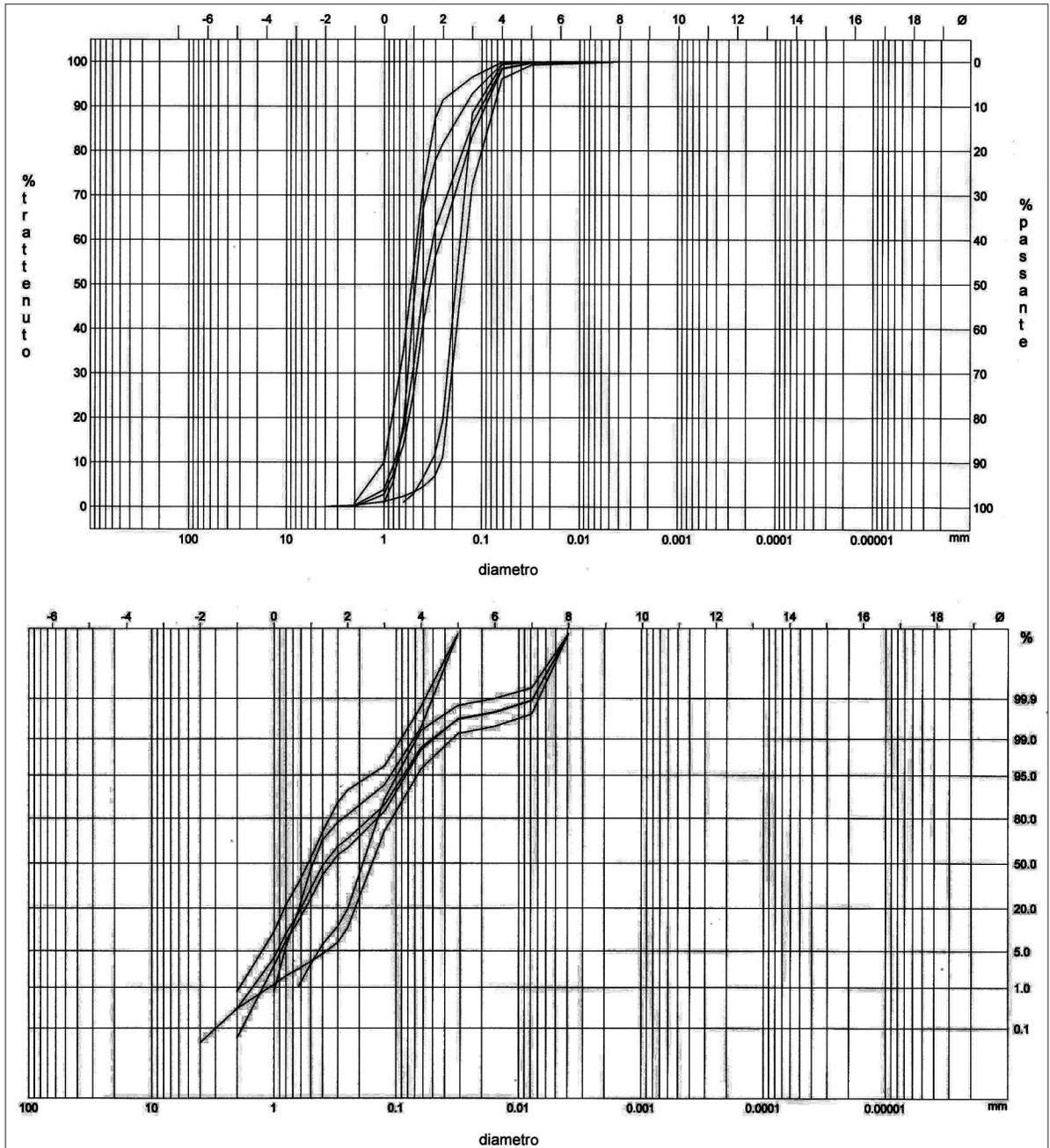


Figura 21 – Fuso granulometrico in alto e diagramma di Visher in basso di campioni di fondo mobile raccolti sulla *surf zone* della spiaggia sommersa di San Donato nella fascia batimetrica compresa tra la battigia e l'isobata di 20 m.

batimetrica di 25 m presenta un fondo mobile costituito da “sabbia molto fine” (0,063÷0,125 mm). Il fuso granulometrico, realizzato in scala semilogaritmica (Fig. 21 in alto), di questi campioni di fondo mobile raccolti sulla spiaggia sommersa sino all'isobata di 20 m mostra il prevalente carattere omometrico della distribuzione con code di modesta frequenza percentuale prevalentemente rivolte verso i diametri fini. La rappresentazione di queste stesse distribuzioni granulometriche realizzate invece in scala di ordinate di probabilità (Fig. 21 in basso) fornisce il diagramma di Visher (1969), che mostra la presenza di diversi punti di troncatura con i relativi tratti rettilinei. Il punto di troncatura, situato verso 0,01 mm, indica l'esistenza di una subpopolazione in sospensione inferiore a 0,1 % del sedimento, mentre gli altri due punti di troncatura

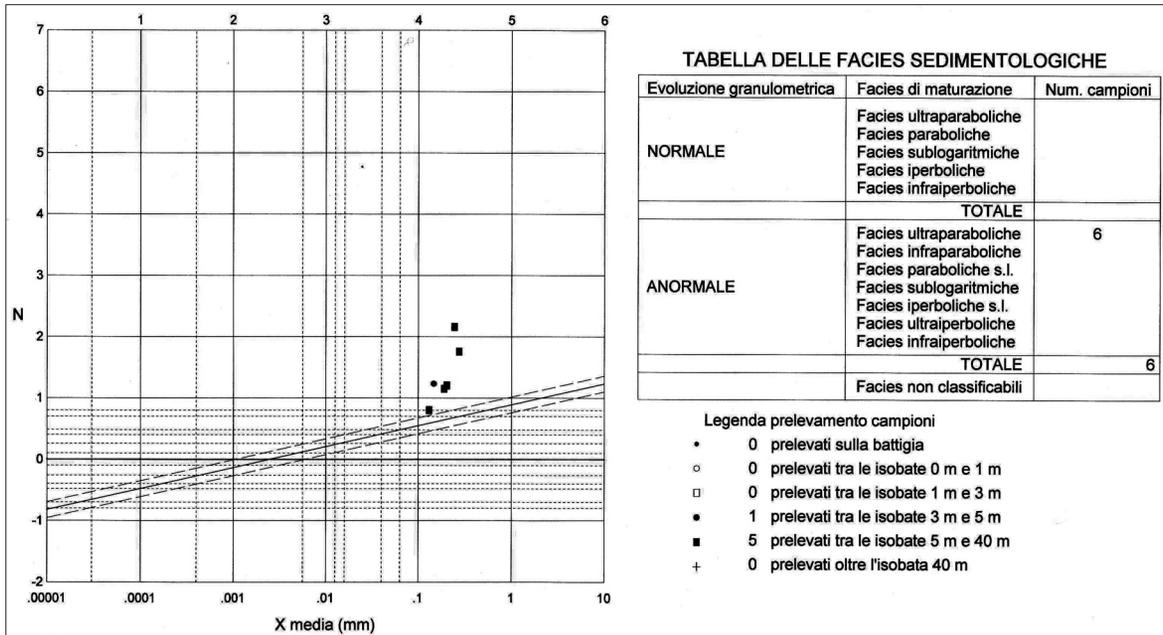


Figura 22 – Diagramma degli indici di evoluzione granulometrica di Riviere dei campioni di fondo mobile raccolti sulla surf zone della spiaggia di San Donato.

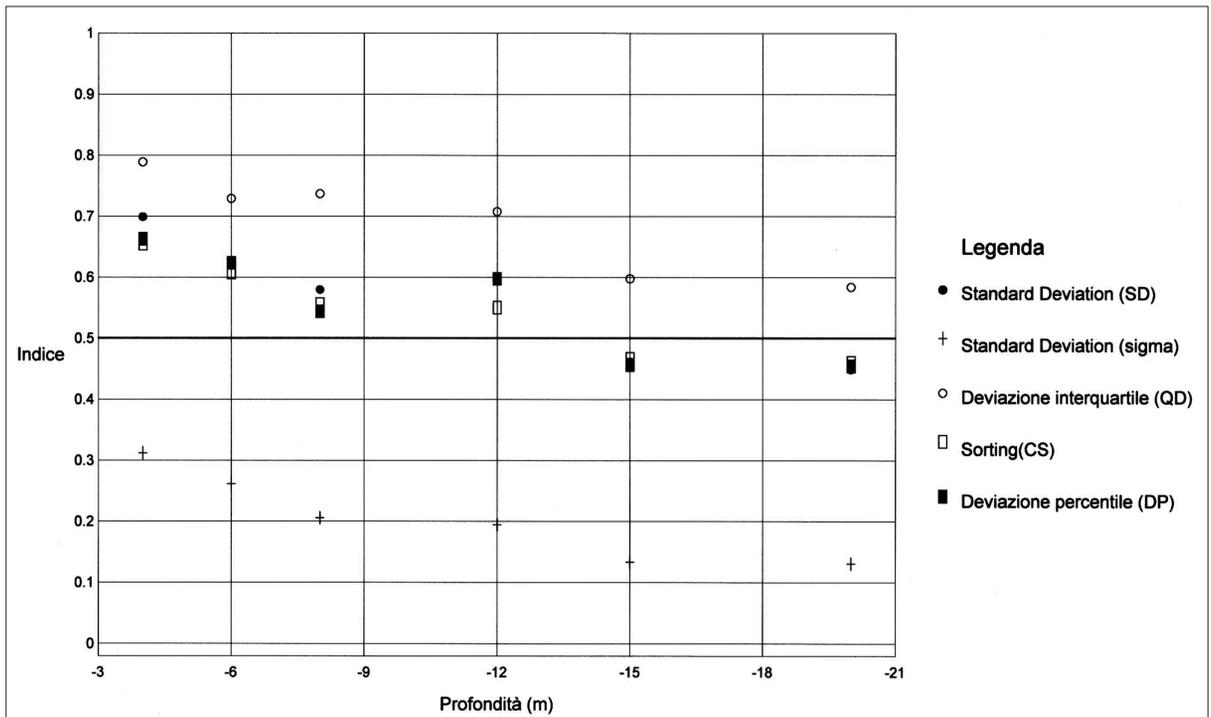


Figura 23 – Andamento con la profondità degli indici di classazione del sedimento di fondo mobile della surf zone della Spiaggia di San Donato.

posizionati tra 0,2 e 0,3 mm mostrano come il complesso del sedimento di fondo mobile (oltre il 50%) corrisponda a due subpopolazioni log-normali trasportate per saltazione. L'analisi dinamica tessiturale, condotta sulle curve cumulative di distribuzione granulometrica di ciascun campione per determinarne le curve equivalente e fittizia, ha consentito inoltre di ricavare i parametri di-

namici del sedimento di fondo mobile necessari per realizzare il diagramma di Rivière (1977), che, rappresentando la variazione di N (parametro dell'energia) al variare della dimensione media (X media parametro della grossolanità), individua la facies di maturazione sedimentaria del deposito di fondo mobile di questa spiaggia sommersa. Questo diagramma (Fig. 22) conferma che la dinamica sedimentaria di questa spiaggia sommersa ha subito un'evoluzione granulometrica anormale in facies di maturazione ultraparabolica, che si caratterizza come un processo ad opera di correnti di levigazione delle parti fini.

Tale mobilizzazione sedimentaria emerge altresì nel grafico (Fig. 23) dell'andamento con la profondità dei vari indici di classazione utilizzati in letteratura, che, espressi tutti in millimetri, rivelano una chiara tendenza alla diminuzione del valore in millimetri degli indici di classazione col crescere delle batimetrie.

Spiaggia di Finalpia

La spiaggia di Finalpia, della lunghezza di circa 410 m, compresa tra il Castelletto ed il molo di Finalpia, presenta una striscia di arenile dell'ampiezza media di 50 m con pendenza media di $5,3^\circ$ e con andamento rettilineo della linea di battigia. I campioni raccolti sulla battigia di questa spiaggia presentano curve granulometriche cumulate di tipo eterometrico plurimodale (da 2 a 3 mode) ed un granulo medio con campo di variabilità da 2,765 mm a 7,004 mm, mentre i valori della classazione (Inclusive Graphic Standard Deviation di Folk & Ward) risultano da "mediocrementemente classati" a "mediamente classati".

I campioni di fondo mobile raccolti a varie profondità sino all'isobata di 20 metri lungo i profili batimetrici delle sezioni 13, 14 e 15 (Fig. 19), mostrano all'analisi granulometrica per setacciatura, curve granulometriche cumulate da cui si ricavano parametri della tendenza centrale che consentono di evidenziare sulla *surf zone* una distribuzione del granulo medio, calcolato come *mean size* di McCammon (1962), mostrante la presenza di una fascia batimetrica di sabbia media ($0,250 \div 0,500$ mm) tra la battigia e l'isobata di 7,5 m, al di là della quale il deposito di fondo mobile risulta costituito, sino all'isobata di 20 m, di "sabbia molto fine" ($0,063 \div 0,125$ mm).

Il fuso granulometrico (Fig. 24) di questi campioni di fondo mobile della spiaggia sommersa di Finalpia realizzato in scala semilogaritmica mostra un carattere prevalentemente omometrico della distribuzione con presenza di modestissima coda verso le parti diametriche più fini.

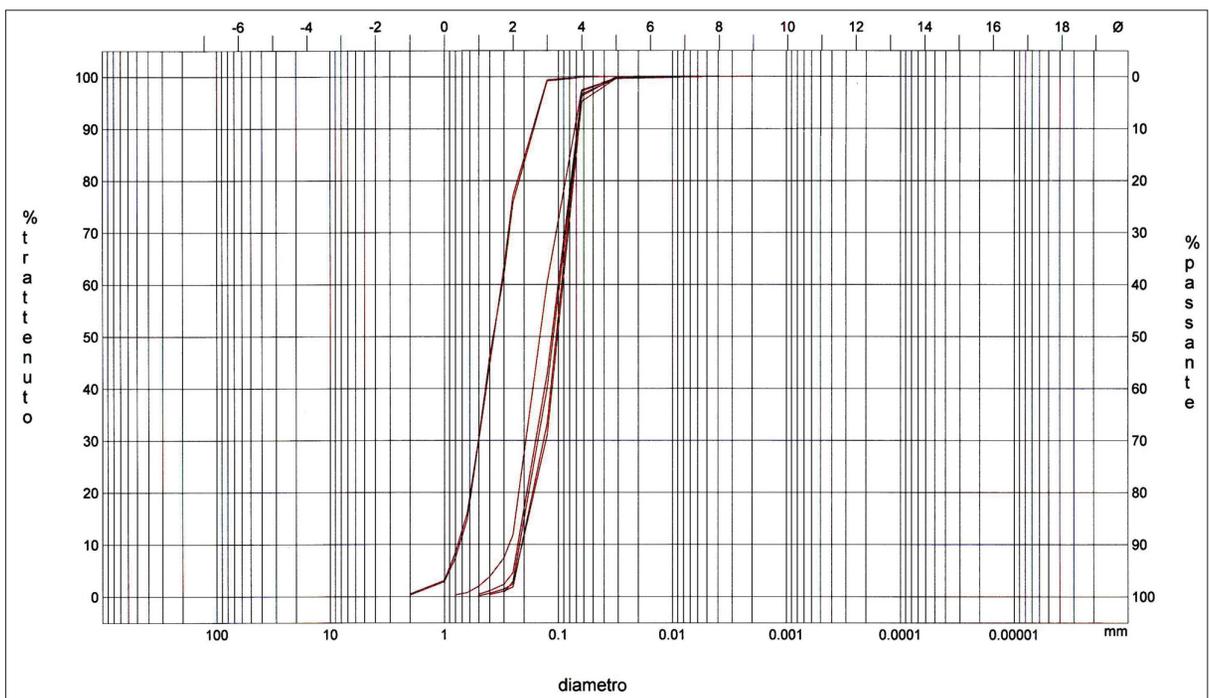


Fig. 24 – Fuso granulometrica in scala semilogaritmica dei campioni di fondo mobile raccolti sulla spiaggia sommersa di Finalpia lungo i profili batimetrici delle sezioni 13, 14 e 15.

Le curve granulometriche cumulative degli stessi campioni (Fig. 24) realizzate in ordinate di probabilità mostrano (Fig.25) il diagramma di Visher (1969), in cui si evidenzia chiaramente la presenza di tre rotture di pendenza che, in corrispondenza rispettivamente del diametro 0,008 mm, del diametro di 0,03 mm e del diametro di 0,120 mm, con i relativi tratti rettilinei segnalano la presenza sulla *surf zone* di una dinamica litorale interessata da subpopolazioni lognormali a trasporto differenziato.

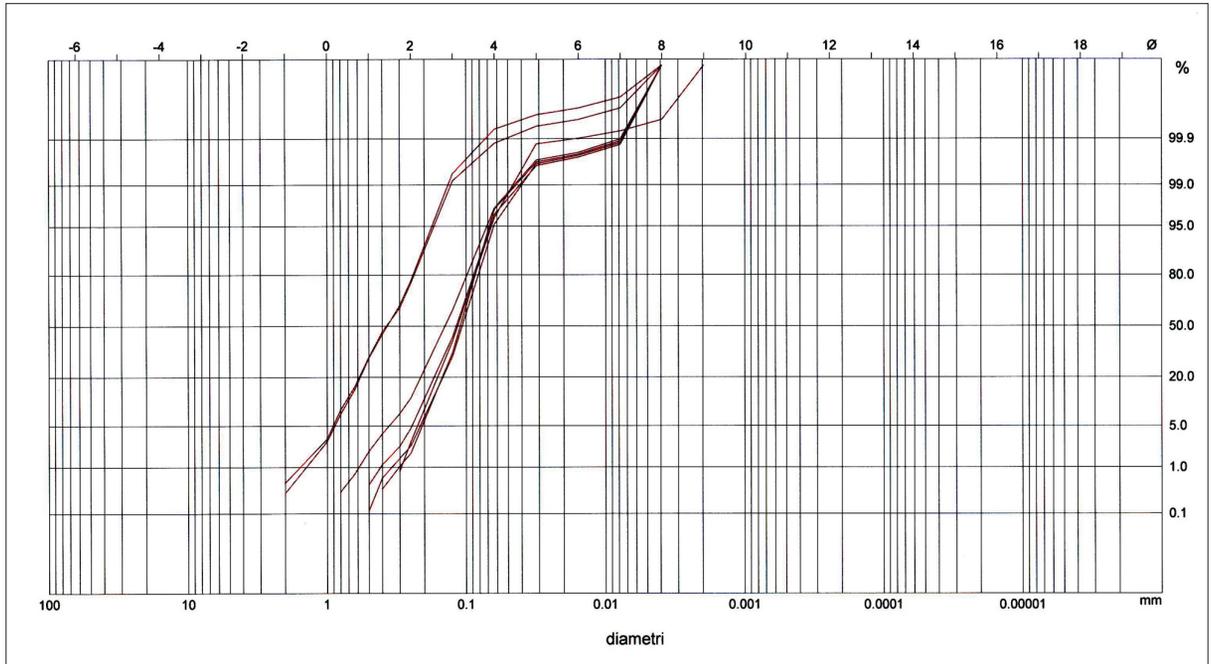


Figura 25 – Diagramma di Visher ottenuto dai campioni di cui alla fig. 23 raccolti sulla spiaggia sommersa di Finalpia lungo i profili batimetrici di cui alle sezioni 13, 14 e 15.

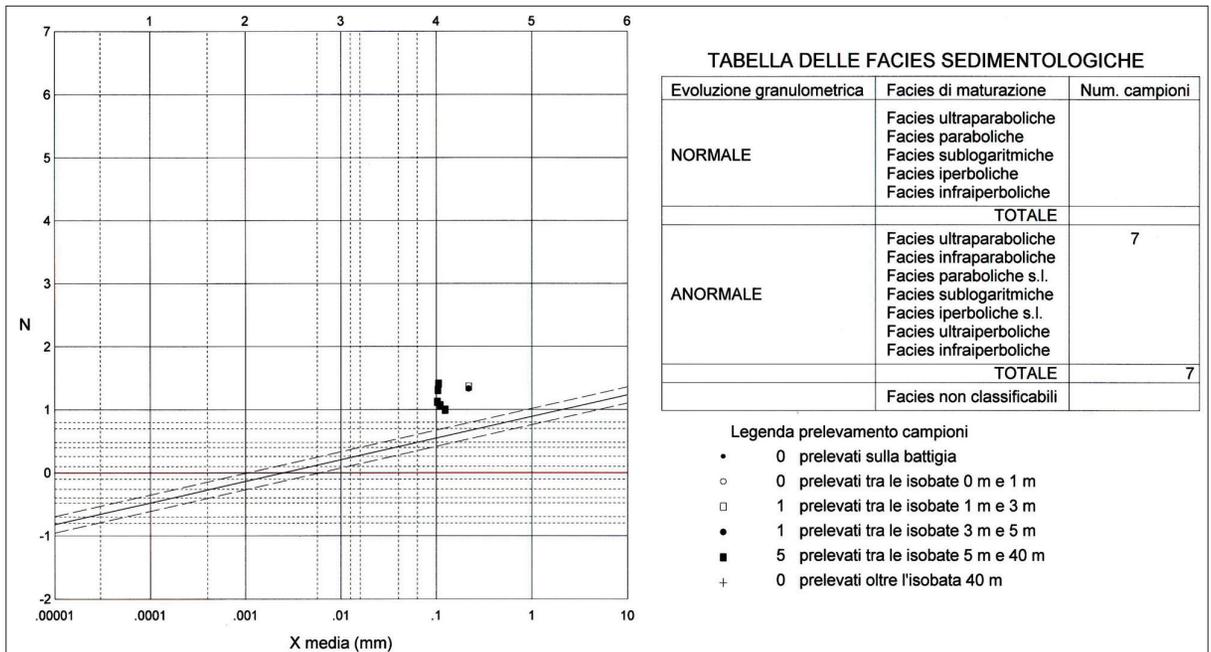


Figura 26 – Diagramma degli indici di evoluzione granulometrica di Rivière dei campioni di fondo mobile raccolti sulla spiaggia sommersa di Finalpia lungo i profili batimetrici delle sezioni 13, 14 e 15 (Fig.19).

Il diagramma di Rivière (1977), che rappresenta la variazione di N (parametro dell'energia) al variare della dimensione media (X media parametro della grossolanità), conferma questa caratteristica della dinamica sedimentaria (Fig. 26), indicando che il sedimento di fondo mobile ha completato la sua evoluzione granulometrica anormale in facies di maturazione ultraparabolica, caratteristica dei depositi di levigazione e di trazione con trasporto per rotolamento e saltazione corta, dove si verifica un'ablazione, più o meno marcata, delle frazioni fini.

Il sedimento di fondo mobile della spiaggia sommersa di Finalpia si caratterizza pertanto come un deposito dove un sistema di correnti da moto ondoso ha provocato un processo di levigazione delle frazioni più fini che vengono distribuite al largo ad opera di *rip current* (correnti di risucchio).

Spiaggia di Finalmarina

La spiaggia di Finalmarina, della lunghezza di circa 1175 m, presenta un andamento rettilineo della linea di battigia ed un'ampiezza media di 80 m sul lato del molo di Finalpia e di 50 m nella zona della foce del Pora. La pendenza media della spiaggia emersa, che al centro del suo sviluppo è di $3,1^\circ$, presenta pendenze, a ridosso del molo di Finalpia, di $3,4^\circ$, ed, alla foce del Pora, di $2,5^\circ$, per cui l'inclinazione della spiaggia va diminuendo da levante a ponente.

I campioni raccolti sulla battigia, ad interasse di 130 m, lungo tutto lo sviluppo di questa spiaggia, rivelano (Fig. 27) una distribuzione del granulo medio, che, calcolato come *mean size* di McCammon (1962), presenta un campo di variabilità da 0,528 mm a 5,460 mm, mentre lo sviluppo del fuso (Fig.27) delle loro curve cumulative presenta un andamento piuttosto verticalizzato, caratteristico delle mescolanze omometriche, solo nei campioni raccolti nella zona di levante ed alla foce del Pora, mentre, per i campioni prelevati nella zona centrale ed orientale della spiaggia, le curve si presentano piuttosto eterometriche ed il materiale risulta mal classato.

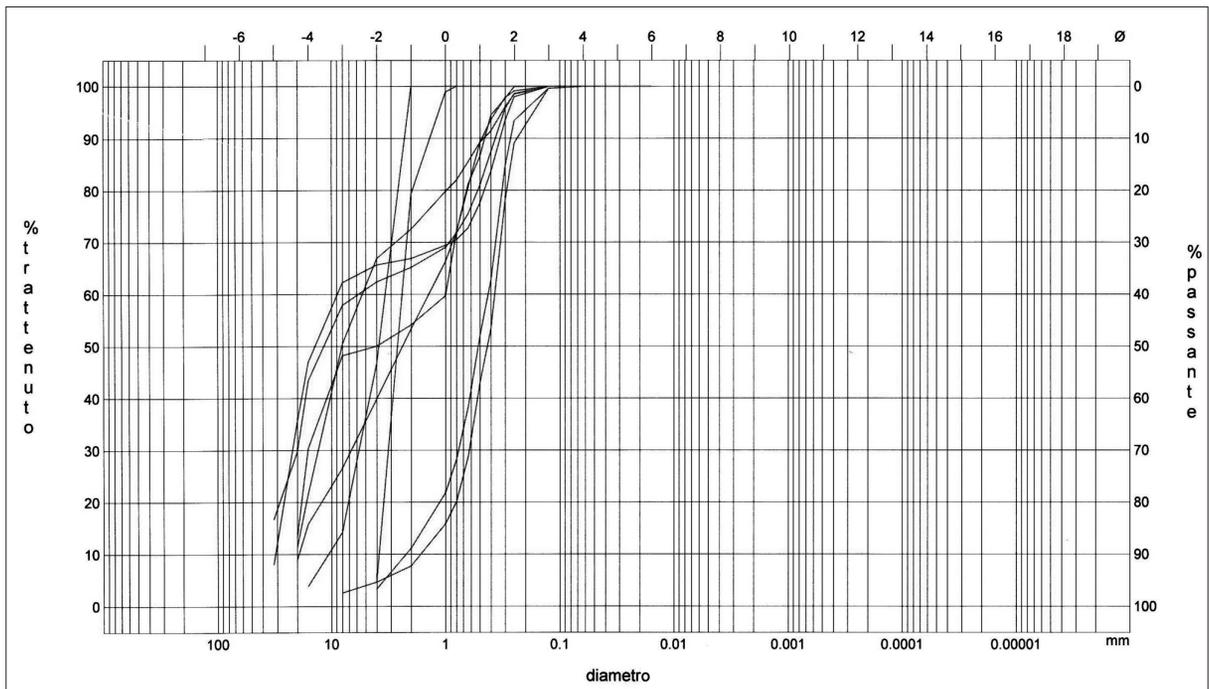


Figura 27 - Fuso granulometrico in scala semilogaritmica dei campioni prelevati sulla spiaggia di Finalmarina ad interasse di 130 m lungo tutto lo sviluppo della battigia.

I campioni di fondo mobile raccolti a varie profondità lungo i profili batimetrici trasversali alla riva delle sezioni 16, 17, 18 e 19 (Fig. 20), forniscono, all'analisi granulometrica per setacciatura, curve cumulative (Fig. 28) i cui parametri della tendenza centrale indicano una distribuzione sulla spiaggia sommersa del granulo medio, che, calcolato come *mean size* di McCammon (1962), evidenzia la presenza di una fascia batimetrica

prossimale alla riva, compresa tra la linea di battigia e l'isobata dei 4 m, di "sabbia grossa" ($0,250 \div 0,500$ mm), al di là della quale il deposito di fondo mobile risulta prevalentemente costituito sino all'isobata di 25 m da "sabbia molto fine" ($0,063 \div 0,125$ mm). In particolare la fascia prossimale di "sabbia grossa" rivela un diametro medio variabile da 0,210 mm a 0,348 mm, mentre nella fascia oltre la batimetrica dei 4 m il diametro medio varia da 0,089 mm a 0,167 mm.

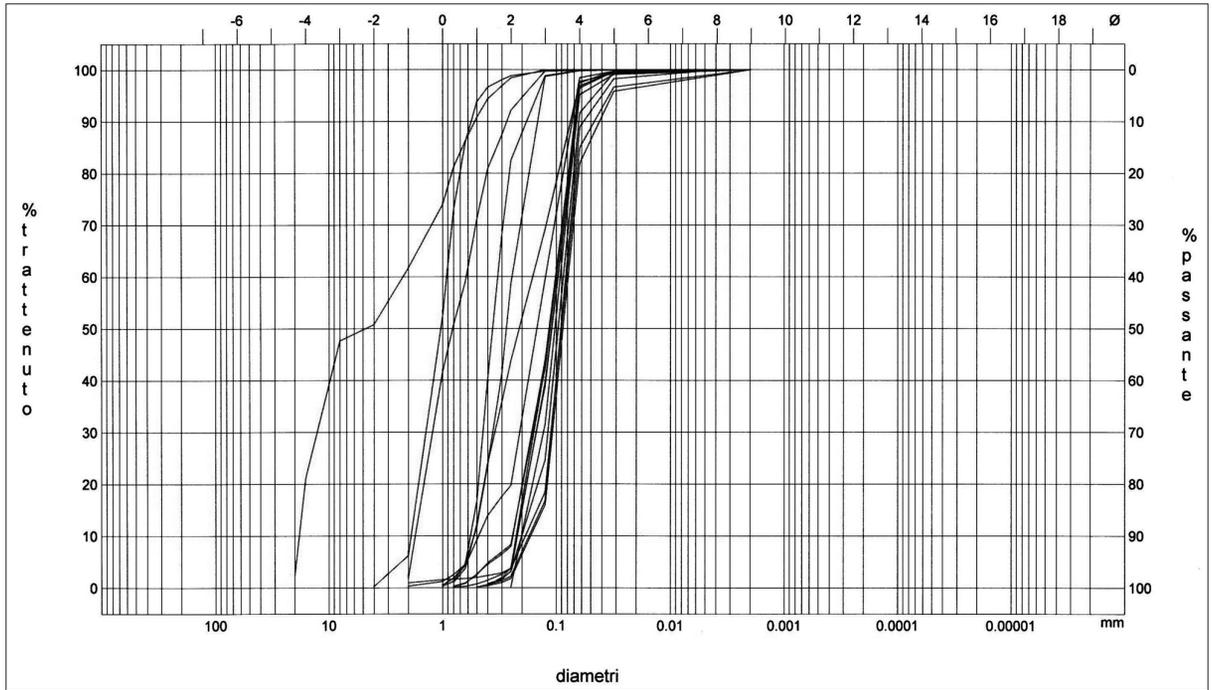


Figura 28 – Fuso granulometrico in scala semilogaritmica di campioni di fondo mobile raccolti lungo i profili batimetrici trasversali delle sezioni 16, 17, 18 e 19 (Fig. 20).

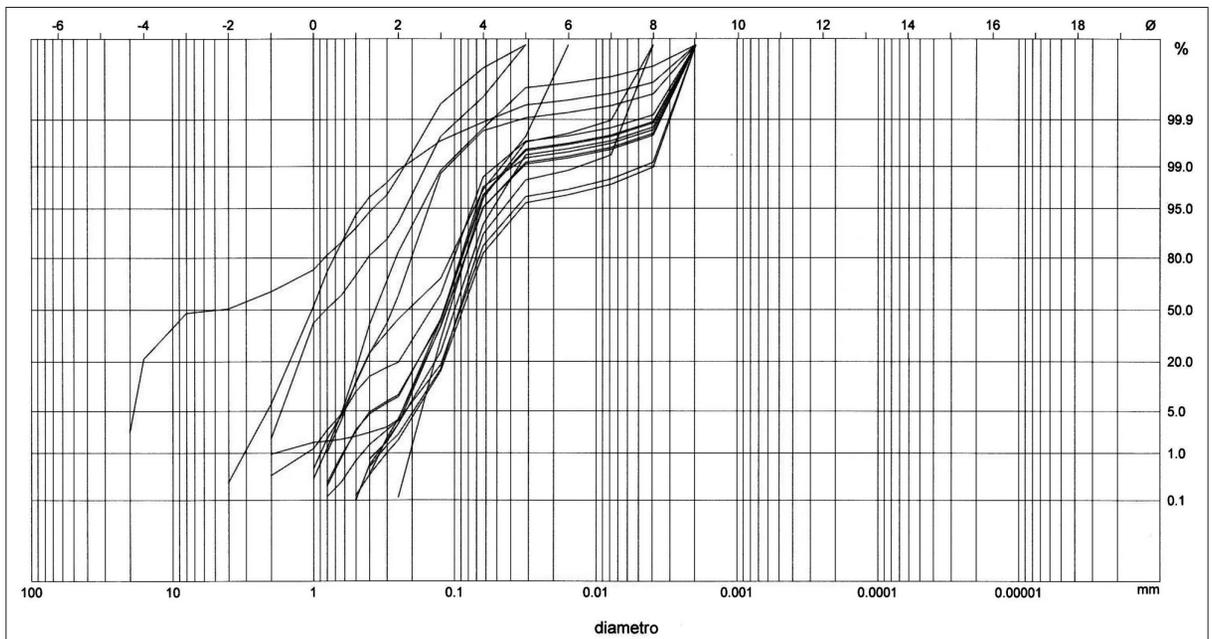


Figura 29 – Diagramma di Visher G.S. (1969) ottenuto dai campioni di fondo mobile della fig. 27 raccolti lungo i profili batimetrici trasversali alla riva delle sezioni 16, 17, 18 e 19 (Fig. 20).

Il fuso granulometrico (Fig. 28) di questi campioni, realizzato in scala semilogaritmica, mostra una prevalente distribuzione omometrica del deposito di fondo mobile con modestissima coda verso le dimensionalità fini, mentre, le stesse curve cumulate, riportate in scala di probabilità (Fig. 29), evidenziano la netta presenza di due troncature, una compresa tra 0,003 e 0,06 mm e l'altra compresa tra 0,120 e 0,300 mm, i cui tratti rettilinei indicano la presenza di subpopolazioni lognormali interessate da mobilizzazione e trasporto differenziati. Il diagramma di Rivière (1977), che rappresenta (Fig. 30) la variazione di N (parametro dell'energia) al variare della dimensione media (parametro della grossolanità), confermando questa caratteristica della dinamica sedimentaria, indica come l'evoluzione granulometrica di questo sedimento di fondo mobile abbia raggiunto una facies di maturazione ultraparabolica conseguente al processo di levigazione delle parti fini operato dalle correnti da moto ondoso con trasporto per rotolamento e saltazione corta.

I valori di $N > 0,8$ caratterizzano quindi un sedimento di questa *surf zone* soggetto a ripetute azioni di levigazione nel tempo con asporto delle frazioni più fini ad opera di *rip current*.

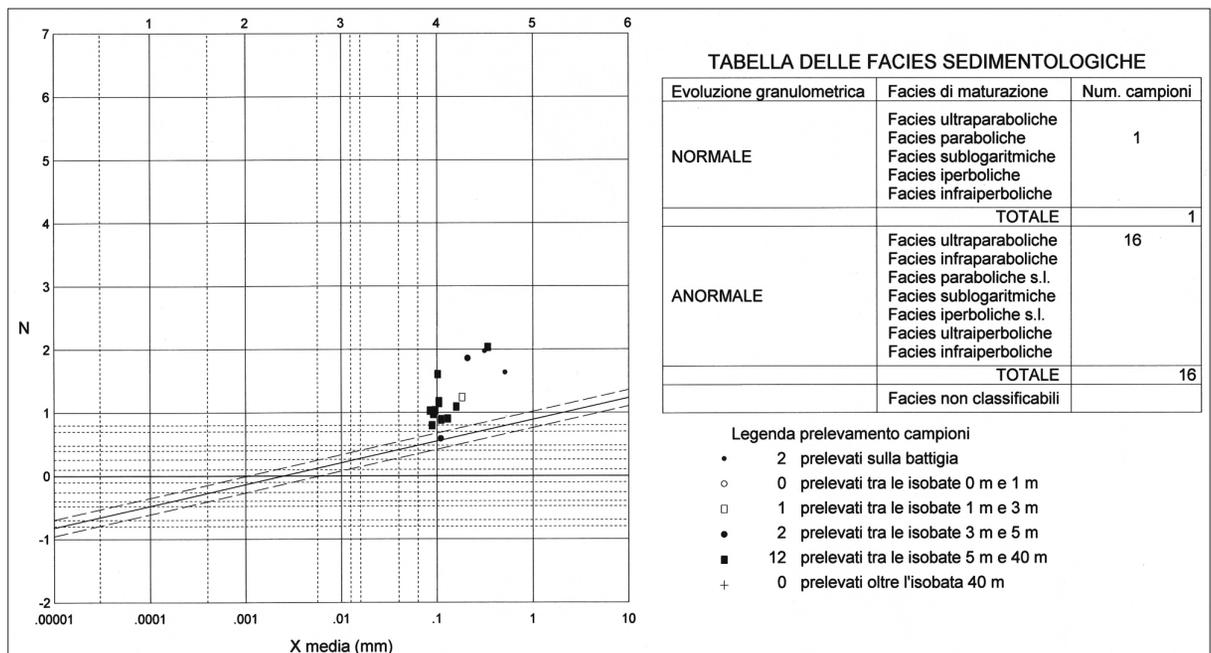


Figura 30 – Diagramma degli indici di evoluzione di Rivière ottenuti con l'analisi dinamica dei campioni di fondo mobile raccolti lungo i profili batimetrici delle sezioni 16, 17, 18 e 19 (Fig. 20).

Analisi morfodinamica

I processi idrodinamici messi in evidenza dai risultati dei caratteri anemologici ed ondometrici di questa unità fisiografica e le caratteristiche sedimentologiche del sedimento di fondo mobile possono essere correlate con gli aspetti morfobatimetrici del fondale attraverso la determinazione dello *stato morfodinamico modale*, che caratterizza questa *surf zone*, determinando, per un lungo intervallo temporale, i parametri giornalieri di *surf scaling* (\square) e di *environment parameter* (Ω), in quanto sono in grado di mettere in evidenza, nel lungo periodo, le varie combinazioni di dissipazione e di riflessione che la *surf zone* procura sull'ondazione in arrivo nel settore di traversia.

Il calcolo all'interno del settore di traversia (Tabella 11) di questa unità fisiografica delle altezze d'onda al frangimento per il periodo dal 1.1.1984 al 31.12.2010 consente di stimare i valori giornalieri del parametro di *surf scaling* (\square) e del *parametro ambiente* (Ω), ricavandone la distribuzione di frequenza, espressa in classi d'ampiezza differenziata, riportata in Tabella 15.

La distribuzione di frequenza del parametro di *surf scaling* (\square) risulta prevalentemente contenuta nell'intervallo dimensionale di valori compresi tra 50 e 250, con moda di frequenza, pari ad 89,52 %, nella classe modale 200÷250. Il superamento del valore critico $\square > 30$, che definisce la separazione tra lo "*stato morfo-*

dinamico intermedio” e quello “dissipativo”, indica che questa *surf zone* si presenta nello *stato morfodinamico modale* “totalmente dissipativo”, in cui le onde producono sulla *surf zone* frangenti di espansione (*spilling breakers*) e presentano un rapporto (\square) pressoché costante tra altezza d’onda al frangimento (H_b) e profondità locale (h). Inoltre la crescita di questo parametro verso valori sempre più elevati e maggiori di 100, segnala la tendenza dell’ampiezza della *surf zone* a crescere ed una dominanza del getto di riva sulla spiaggia emersa.

Tabella 15 – Tabella sinottica dei parametri morfodinamici della “Spiaggia di San Donato”, “Spiaggia di Finalpia” e “Spiaggia di Finalmarina”, calcolati giornalmente per il periodo dal 1.1.1984 al 31.12.2010.

Surf-scaling (\square)		Ambientale (Ω)	
Classi	Frequenze	Classi	Frequenze
30÷50	0,17	0÷1	0,14
50÷100	1,24	1÷2	0,34
100÷150	3,73	2÷3	0,79
150÷200	5,34	3÷4	1,33
200÷250	89,52	4÷5	1,95
Totale	100,00	5÷6	2,21
		6÷7	2,83
		7÷8	2,15
		8÷9	2,54
		9÷10	3,70
		10÷11	3,28
		11÷20	27,31
		20÷30	24,91
		30÷40	21,01
		40÷50	5,51
		Totale	100,00

La distribuzione di frequenza (Tab. 15) del *parametro ambientale* (Ω) presenta, per una frequenza del 93,24 %, valori di $\Omega > 6$ con moda nella classe 11-20, per cui questa *surf zone* risulta nello *stato morfodinamico modale* “totalmente dissipativo” e, considerata la tendenza di questo parametro adimensionale non solo a crescere, occupando le classi superiori sino all’intervallo di classe 40-50, ma anche a rimanere stabilmente confinata in questo stato, dove, al crescere di Ω , corrisponde un’espansione della spiaggia sommersa e predomina energia di infragravità a larga banda, mentre mancano le oscillazioni stazionarie a frequenze subarmoniche.

Caratteri morfologici generali della Spiaggia delle Arene Candide

La spiaggia delle Arene Candide, posta sul tratto di litorale finalese compreso tra il Capo di Caprazoppa e la foce del Rio Fine (Fig. 1), che segna il confine amministrativo tra il comune di Finale ligure e quello di BORGIO VEREZZI, si presenta contenuta all’interno di un’unità fisiografica, il cui arco di litorale ligure risulta delimitato dal Capo di Caprazoppa a levante e dal Capo Lena a ponente.

Analisi Fisiografica

La linea di congiungimento tra il Capo di Caprazoppa ed il Capo Lena definisce la secante di questo arco naturale, la cui saetta, tracciata perpendicolarmente in corrispondenza del punto costiero litoraneo più rientrante verso terra, rappresentato dalla zona posta a levante del porto di Loano, individua sulla battigia il punto di vertice del settore di traversia di questa unità fisiografica.

Tracciando quindi da questo punto le congiungenti con Capo di Caprazoppa (azimutale 63°) e con Capo Lena (azimutale 196°) si configura un *settore di traversia geografico*, che, con un angolo di apertura di 130°, non contiene però tutte le falde di mare efficace, per cui è necessario determinare il *settore di traversia effettivo* di questa unità fisiografica, in modo da tener debitamente conto anche dei *fetch* efficaci delle falde di mare provenienti dall’area posta tra il Golfo del Leone e le Isole Baleari.

Il *settore di traversia effettivo* di questa unità fisiografica presenta pertanto un angolo di apertura di 167°, risul-

tando compreso tra l'azimutale di 63° (Capo di Caprazoppa) e l'azimutale di 230° (Isole Hyères), all'interno del quale risulta pertanto contenuto il *settore di traversia geografico* (azimutali 63° – 196°), per cui le falde di mare efficace più significative per il dinamismo litoraneo si ritrovano estese verso ponente. Questo *settore di traversia effettivo*, in base alle caratteristiche geografiche dell'area marina, risulta costituito da sei settori parziali, delimitati dalle azimutali e dalle dimensioni di *fetch* geografico indicate nella Tabella 16.

Tabella 16 – Settore di traversia effettivo dell'unità fisiografica del litorale finalese compreso tra le azimutali 63° di Capo di Caprazoppa e 193° dell'Isola di Gallinara.

S	Settori parziali	Azimutali di delimitazione	Fetch geografici in km	T
1	Levante - ENE	63° (Capo di Caprazoppa) – 77° (Punta di Portofino)	70	B
	Scirocco - SE	77° (Punta Baratti) – 141° (Isola Giraglia)	230	
	Scirocco-Ostro - SSE	141° (Isola Giraglia) – 181° (Capo dell'Argentiera)	320	
	Ostro - S	181° (Capo dell'Argentiera) – 196° (Capo Lena)	760	
2	Libeccio - SSW	196° (Capo Lena) – 212° (Isola di Minorca)	960	A
	Libeccio - SW	212° (Isola di Minorca) – 230° (Isole Hyères)	860	
S = Denominazione dei settori di traversia		1 = Settore di traversia geografico	A = Traversia principale	
T = Denominazione delle traversie		2 = Settore di traversia efficace	B = Traversia secondaria	

Analisi anemologica e mareometrica

La saetta di azimutale 123° con cui si è individuato il punto di vertice del settore di traversia di questa unità fisiografica, prolungata verso il mare aperto, interseca la batimetrica di 200 m a 5 km dalla riva, delimitando un punto di altura, che, con coordinate geografiche di latitudine $\square = 44^\circ 6' 33''$ e di longitudine $\square = 8^\circ 19' 6''$, può ritenersi caratteristico di un'area, in cui le varie falde di mare presentano onde d'altura idonee per stimare le caratteristiche anemologiche ed ondamiche di questa unità fisiografica.

La stima dei campi di vento nel punto d'altura di questa unità fisiografica è stata svolta sviluppando, su mappe isobariche bigiornaliere di superficie (ore 12 GMT e ore 00 GMT) dell'area mediterranea del Deutscher Wetterdienst relative all'intervallo temporale dal 1.1.1984 al 31.12.2010, la procedura metodologica descritta da Cortemiglia (2002 e 2003), che, con l'applicazione del modello dello strato limite aerodinamico, ha consentito di ricavare le frequenze anemologiche del cosiddetto vento anemometrico (U_{10}) riportate in Tabella 17.

Le frequenze anemologiche di Tabella 17, relative ai venti foranei nel punto di altura di questa unità fisiografica, consentono di ricavare il diagramma anemologico (Fig. 31), mentre la loro distribuzione per gradini di velocità all'interno del *settore di traversia effettivo* individua i caratteri anemologici di Tabella 18. La stima dei valori anemologici relativi al *settore di traversia effettivo* di questa unità fisiografica indica che i *venti dominanti*, cui corrispondono i maggiori *fetch* geografici, rappresentano in media il 17,25 % del totale annuo, mentre i *venti regnanti*, che risultano particolarmente intensi, mostrando frequenze nei gradini di velocità $>13,1$ m/s, presentano una frequenza media annua del 82,75 %, prevalentemente relazionata al settore parziale di SE compreso tra le azimutali di 77° e di 141°.

La stima dei valori anemologici di Tabella 18, calcolate con il modello dello strato limite aerodinamico e relazionate alla dimensionalità del *fetch* geografico delle falde di mare di ciascun settore parziale, permettono di determinare le caratteristiche del moto ondoso al frangimento necessarie per sviluppare l'analisi morfodinamica della *surf zone*.

Questa analisi ondometrica consente di ricavare, per la *surf zone* di questa unità fisiografica, il diagramma di variazione (Fig. 32) del parametro $[g H_s / (U_{10})^2]$ dell'altezza d'onda in funzione del parametro $[g t / U_{10}]$ della durata (t) dell'azione continua del vento anemometrico (U_{10}), da cui si evince la loro diretta proporzionalità.

L'analisi ondometrica consente altresì di ricavare per questa *surf zone* il diagramma di dispersione tra celerità (C_R) delle onde al frangimento e la relativa lunghezza d'onda (L_R) alla riva (Fig. 33), da cui si ricava una diretta proporzionalità tra questo due parametri solo per valori di celerità $C_R > 3$ e di lunghezze d'onda alla riva $L_R > 10$ m e la presenza sulla spiaggia sommersa delle Arene Candide di lunghezze d'onda alla riva del valore massimale di circa 100 m.

Tabella 17 – Frequenze anemologiche per l'intervallo temporale dal 1.1.1984 al 31.12.2000 dei venti foranei calcolati, per gradini di velocità e per direzioni azimutali di provenienza, a 10 m sul l.m.m. nel punto di altura di latitudine 44° 6' 33" N e di longitudine 8° 19' 6" E caratterizzante l'unità fisiografica, compresa tra le azimutali 63° di Capo di Caprazoppa e 196° di Capo Lena, posta a ponente del litorale finalese.

Direzioni di provenienza	Gradini di velocità del vento in m/s					Frequenza settore
	< 0,3	0,3÷5,4	5,4÷13,8	13,8÷17,1	> 17,1	
N	0,07	1,41	0,22	0,02	-	1,72
NNE	0,05	5,29	0,28	-	-	5,62
NE	0,02	11,57	0,93	-	-	12,52
ENE	0,04	9,75	2,30	-	-	12,09
E	0,05	15,58	2,46	0,02	-	18,10
ESE	0,02	10,99	0,85	-	-	11,86
SE	-	4,65	0,32	-	-	4,98
SSE	0,02	1,15	0,36	-	-	1,54
S	0,05	1,30	0,38	-	-	1,72
SSW	0,03	1,49	0,41	-	-	1,94
SW	0,10	2,80	0,52	-	0,02	3,43
WSW	0,17	4,79	1,38	0,19	0,11	6,64
W	0,29	6,64	2,22	0,24	0,18	9,56
WNW	0,10	3,58	0,74	0,05	0,02	4,48
NW	0,09	2,02	0,44	0,02	-	2,59
NNW	0,07	0,92	0,20	-	-	1,19
Totali	5,64	68,11	22,41	2,03	1,82	100,00

Tabella 18 – Tabella sinottica delle frequenze anemologiche dei venti foranei calcolati per ciascun settore parziale del settore di traversia effettivo (63° – 230°) e per gradini di velocità del vento nel punto di altura di latitudine $\square = 44^\circ 6' 33''$ N e di longitudine $\square = 8^\circ 19' 6''$ E individuato in base alle caratteristiche morfologiche dell'unità fisiografica che, compresa tra le azimutali 63° di Capo di Caprazoppa e 196° di Capo Lena, si estende a ponente del litorale finalese.

Direzioni di provenienza	Gradini di velocità del vento in m/s					Frequenza settore
	< 0,3	0,3÷5,4	5,4÷13,8	13,8÷17,1	> 17,1	
ENE	0,02	13,61	2,02	0,02	-	15,68
SE	0,34	44,98	6,53	0,09	0,06	52,00
SSE	0,30	12,93	1,73	0,06	0,06	15,17
S	0,05	3,64	0,59	0,01	0,03	4,32
SSW	0,13	5,66	0,95	0,09	0,05	6,87
SW	0,13	4,94	0,77	0,14	0,09	6,06
Totali	0,97	70,12	20,08	1,78	2,47	100,00

Analisi morfobatimetrica

Le caratteristiche morfobatimetriche della spiaggia sommersa delle Arene Candide, dove l'ondazione in arrivo procura le diverse combinazioni di dissipazione e di riflessione che caratterizzano la *surf zone* di questa unità fisiografica, sono state individuate con l'analisi di profili batimetrici trasversali alla riva realizzati in corrispondenza della zona antistante "Capra Zoppa" (Fig. 34 Sezione 20), della zona di ingresso delle "Cave Ghigliazza" (Fig. 34 Sezione 21), della zona antistante "Monte Capra Zoppa" (Fig. 34 Sezione 22) e della zona antistante la foce del Rio Fine (Fig. 34 Sezione 23).

L'analisi morfobatimetrica svolta su questi profili condotti sino a raggiungere l'isobata dei 25 metri ha consentito di ricavare i parametri riportati nella Tabella 19, da cui si evince la presenza di una pendenza della spiaggia sommersa in leggera diminuzione da levante a ponente associata ad una forma del profilo di tipo "convesso", cui si relaziona una distanza del punto di inflessione, che indica una profondità di ubicazione della rottura di pendenza più significativa del profilo batimetrico piuttosto stabilizzata su valori medi di 345 metri, quindi piuttosto prossimale alla riva.

L'insieme complessivo delle risultanze emerse dalle caratteristiche ondamiche e morfobatimetriche indica

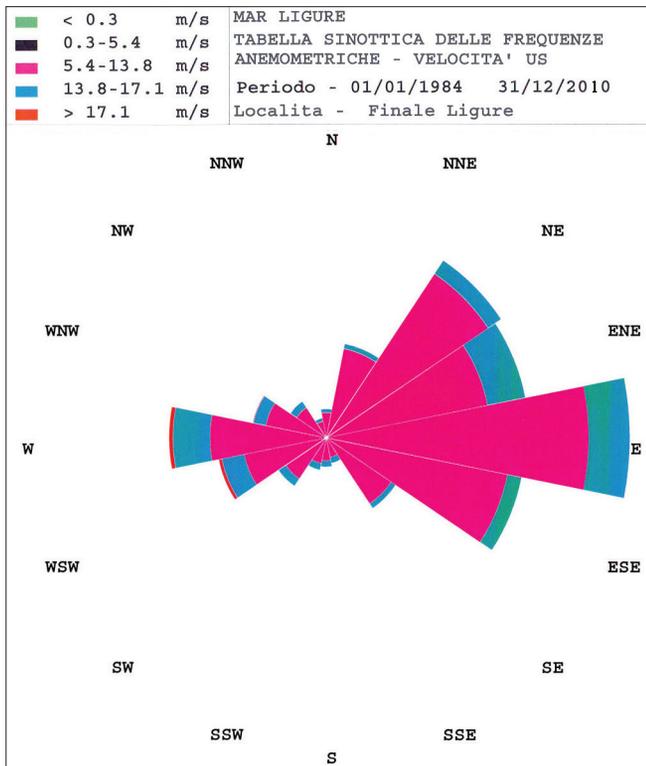


Figura 31 – Diagramma anemologico dei venti foranei nel punto di altezza di latitudine $\square = 44^{\circ} 6' 33''$ N e di longitudine $\square = 8^{\circ} 19' 6''$ E dell'unità fisiografica compresa tra le azimutali 63° (Capo di Caprazoppa) e 196° (Capo Lena).

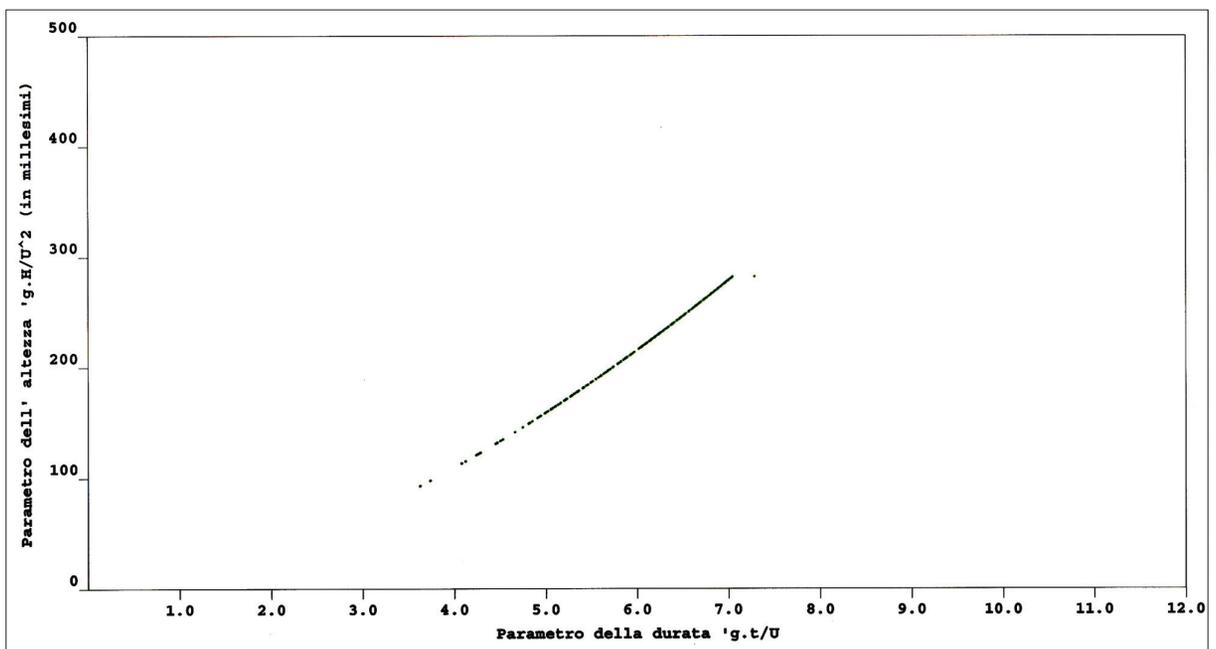


Figura 32 – Curva di variazione del parametro dell'altezza d'onda in funzione della durata dell'azione del vento per il moto ondoso di altura calcolato, sulla base delle carte isobariche di superficie dell'area mediterranea relative al periodo dal 1.1.1984 al 31.12.2010, nel punto di latitudine $\square = 44^{\circ} 6' 33''$ N e di longitudine $\square = 8^{\circ} 19' 6''$ E.

che l'inizio dello "shoaling" sulla *surf zone* di questa unità fisiografica può essere stimato in corrispondenza della fascia batimetrica di $110 \div 120$ metri con una prima linea dei frangenti mediamente posizionata all'altezza della fascia batimetrica di $8 \div 10$ metri.

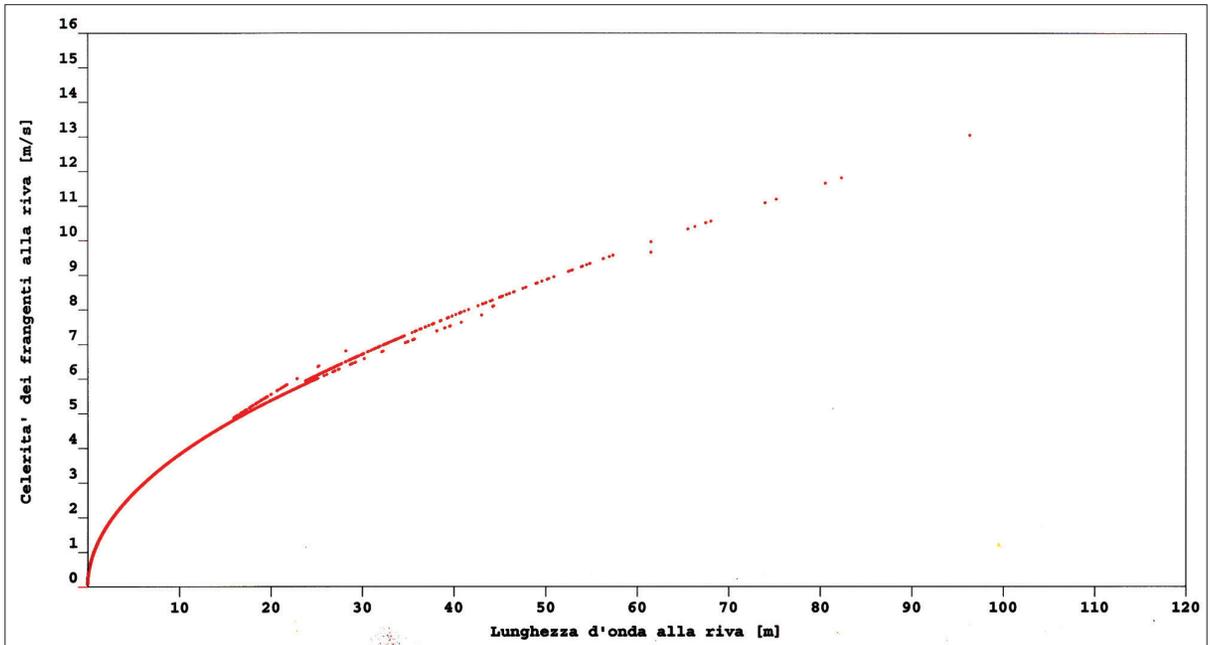


Figura 33 – Diagramma a dispersione tra lunghezza d’onda alla riva (L_R) espressa in metri e celerità dei frangenti alla riva (C_R) espressa in m/s ottenuto dalle caratteristiche ondamiche calcolate con la procedura di hindcasting descritta da Cortemiglia (2003) per il periodo temporale dal 1.1.1984 al 31.12.2010 sulla base delle caratteristiche amnologiche di Tabella 18 per l’unità fisiografica compresa tra le azimuthali 63° di Capo di Caprazoppa e 196° di Capo Lena.

Analisi sedimentologica

La spiaggia delle Arene Candide, che ancora nel 1986 si presentava estesa dal Capo di Caprazoppa sino alla foce del Rio Fine per una lunghezza di circa 1000 metri e con un’ampiezza di 25 metri sul lato di levante e di 80 m sul lato di ponente, risulta attualmente solo presente come tratti residuali di battigia di sottile arenile in corrispondenza dell’ingresso della “Cava Ghigliazza”.

Tabella 19 – Caratteri morfobatimetrici della surfzone della “Spiaggia delle Arene Candide”.

Profili Batimetrici		Pendenza media In gradi	Geometria del profilo	Distanza in m dalla battigia del punto d’inflessione
Spiaggia Delle Arene Candide	Sezione 20	2,4°	Convesso	333
	Sezione 21	2,2°	Convesso	333
	Sezione 22	2,2°	Convesso	333
	Sezione 23	2,0°	Convesso	375

Il materiale eterometrico grossolano di questi tratti di sottile arenile di battigia posizionati a ridosso del muro di difesa della massciata stradale dell’Aurelia proviene dagli apporti solidi del Rio Fine prevalentemente impostato, col suo bacino idrografico, sulla formazione dei Calcari della Val Tanarello, che costituiscono il complesso roccioso della Caprazoppa, per cui sono prevalentemente costituiti di litofacies calcaree e calcareo-dolomitiche. Al fine di verificare le caratteristiche tessiturali del deposito di fondo mobile di questa spiaggia sommersa sono stati raccolti alcuni campioni lungo il profilo batimetrico della Sezione 23 (Fig.34) posta alla foce del Rio Fine fino alla profondità di 20 metri.

I campioni prelevati sulla battigia e sull’isobata di 2 metri rivelano, all’analisi granulometrica per setacciatura, una distribuzione (Fig. 35) tendenzialmente eterometrica con granulo medio, calcolato come mean size di McCammon (1962), rispettivamente di 5,523 mm e di 4,319 mm, mentre i campioni della spiaggia sommersa, raccolti tra le batimetriche di 4 e 20 metri, evidenziano (Fig.35) una distribuzione più

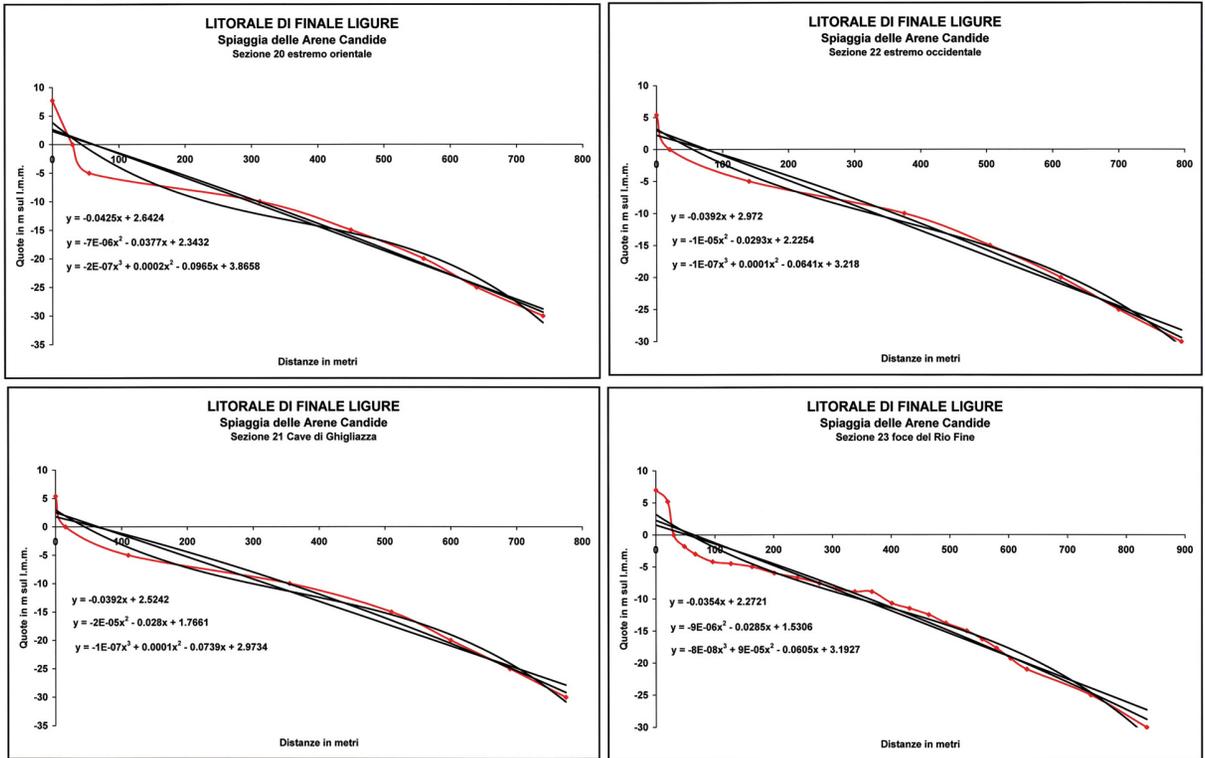


Figura 34 – Andamento del profilo batimetrico (in rosso) e delle curve di aggiustamento polinomiale (in nero).

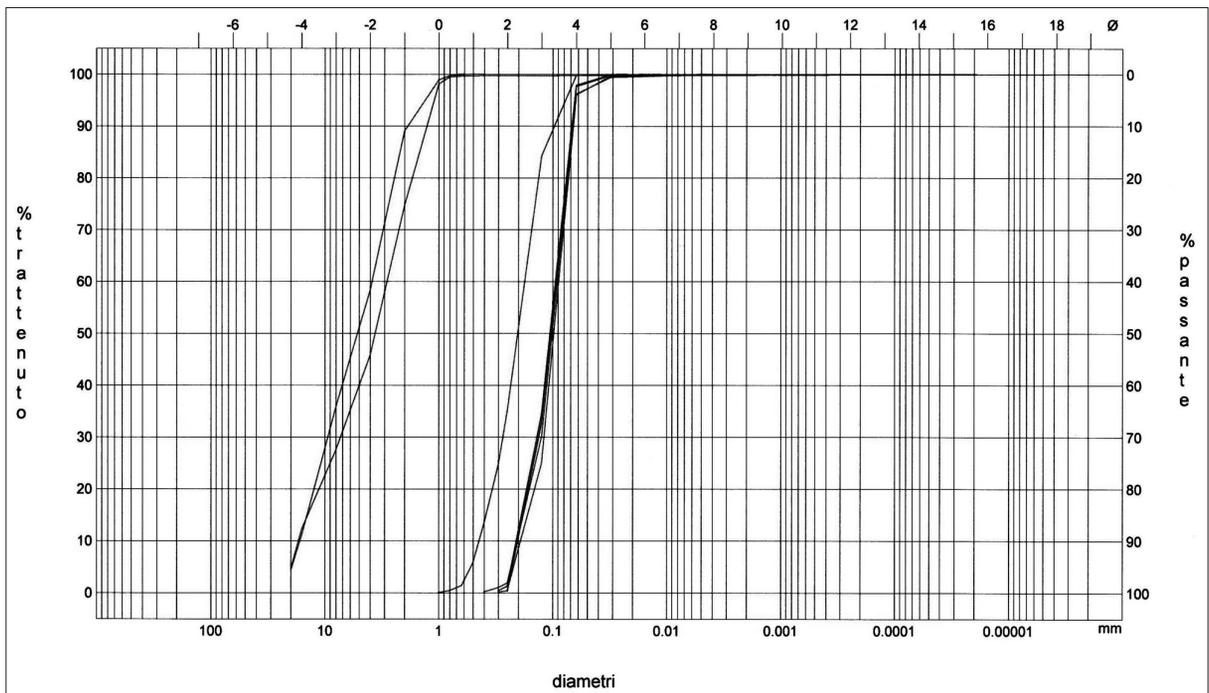


Figura 35 – Fuso granulometrico dei campioni di fondo mobile raccolti sulla spiaggia sottomarina delle Arenas Candide lungo il profilo batimetrico della Sezione 23 in cui si distinguono nettamente i campioni sulla sinistra raccolti nella fascia batimetrica prossimale (0÷2 m di profondità) alla riva da quelli sulla destra prelevati nella fascia batimetrica compresa tra le isobate di 4 e 20 metri.

omometrica con granulo medio passante da 0,211 mm (profondità - 4 m) a 0,107 mm (profondità - 20 m), per cui la spiaggia sommersa delle Arene Candide presenta una fascia prossimale alla riva, compresa tra la battigia e 3 metri di profondità, costituita da un deposito grossolano di “granuli” e “ghiaia”, al di là della quale, sino all’isobata di 20 metri, il sedimento di fondo mobile risulta costituito da “sabbia molto fine”.

L’analisi dinamica tessiturale svolta sulle curve cumulate della distribuzione granulometrica di ciascun campione di cui alla Figura 35 ha consentito di ricavare i parametri dinamici necessari per realizzare il diagramma di Rivière (1977) da cui si ricava per il sedimento di fondo mobile un’evoluzione granulometrica anormale in facies di maturazione ultraparabolica (Fig. 36), che indica un avvenuto processo di levigazione delle parti fini ad opera di *rip current*.

Analisi morfodinamica

La diversa modalità di attuazione dei processi idrodinamici che avvengono in questa spiaggia sommersa delle Arene Candide, appartenente alla *surf zone* dell’unità fisiografica compresa tra Capo di Caprazoppa e Capo Lena, possono essere valutate utilizzando i risultati dell’analisi sedimentologica ed ondometrica, relativa al lungo periodo temporale compreso tra il 1.1.1984 ed il 31.12.2010, attraverso la determinazione dello suo *stato morfodinamico modale*, calcolando i parametri giornalieri di *surf scaling* (\square) ed ambientale (Ω).

La determinazione giornaliera del *parametro di surf scaling* (\square) e del *parametro ambientale* (Ω) in funzione delle caratteristiche del moto ondoso per questo lungo periodo (27 anni) ha consentito di ricavarne la distribuzione di frequenza, espressa per le classi di ampiezza variabile, riportate nella Tabella 20.

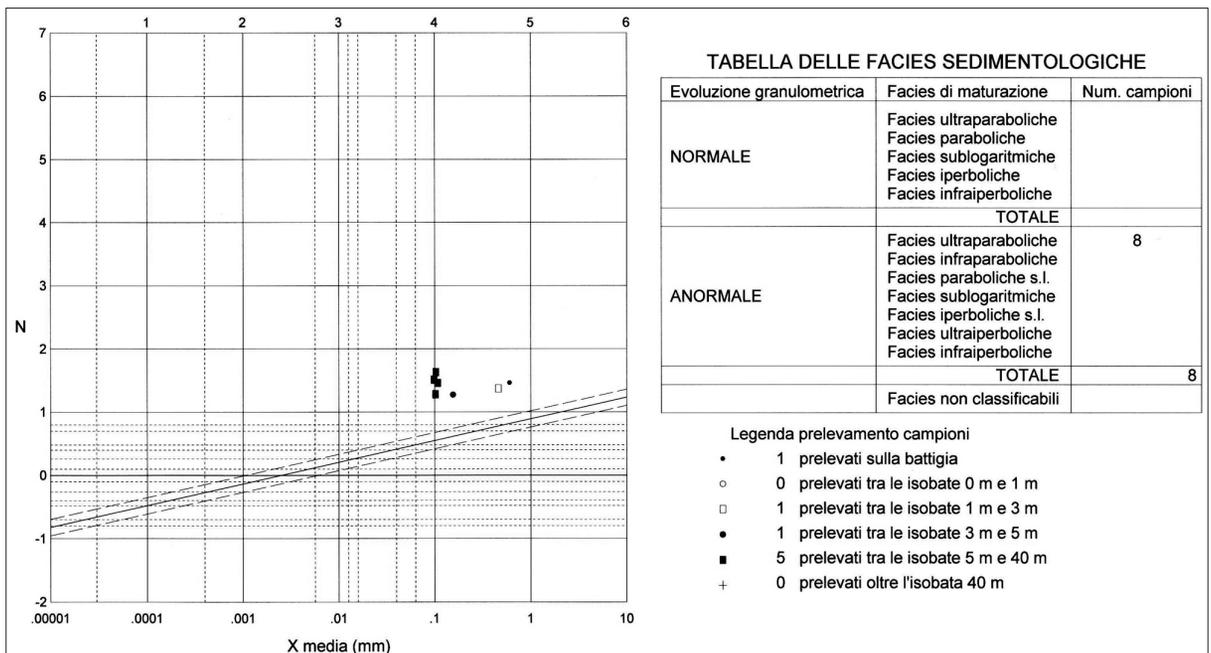


Figura 36 – Diagramma di Rivière A. (1977) ottenuto con l’analisi dinamica dei campioni di fondo mobile della figura 35 mostra una distribuzione che, in questo grafico di variazione tra il parametro dell’energia N e quello della grossolanità (dimensione media), occupa l’area di evoluzione granulometrica anormale in facies di maturazione ultraparabolica.

Tabella 20 – Tabella sinottica dei parametri morfodinamici della spiaggia delle Arene Candide calcolati giornalmente per il periodo dal 1.1.1984 al 31.12.2010.

Surf-Scaling (\square)		Ambientale (Ω)	
Classi	Frequenze	Classi	Frequenze
30÷50	0,02	1÷2	0,15
50÷100	0,31	2÷3	0,11
100÷150	1,09	3÷4	0,15
150÷200	1,79	4÷5	0,35
200÷250	3,21	5÷6	0,24
250÷350	11,98	6÷7	0,46
350÷500	81,61	7÷8	0,52
Totale	100,00	8÷9	0,59
		9÷10	0,83
		10÷11	0,76
		11÷20	10,54
		20÷30	16,69
		30÷40	13,00
		40÷50	12,26
		50÷60	43,35
		Totale	100,00

La distribuzione di frequenza del parametro di *surf scaling* (\square), presentando un complesso di valori superiori al limite critico di separazione tra “*stato morfodinamico intermedio*” e “*stato morfodinamico dissipativo*”, indica che la *surf zone* di questa unità fisiografica smorza progressivamente le onde in arrivo, producendo frangenti di espansione (*spilling breakers*), in cui si verifica un rapporto (\square) costante tra altezza d’onda al frangimento (H_b) e profondità locale (h). La presenza di elevate frequenze per valori di \square con netta tendenza alla crescita sino a dominare (81,61 %) nella classe modale 350÷500, indica che la *surf zone* si trova in uno *stato morfodinamico modale totalmente dissipativo* con tendenza della sua ampiezza a crescere per la presenza di apporti dovuti a *rip current* del sistema litorale delle correnti da moto ondoso.

La distribuzione di frequenza del *parametro ambiente* (Ω), con prevalenti valori (99 %) di $\Omega > 6$ superiori ad 11 con massimo (43,35 %) nella classe modale 50÷60, conferma uno stabile stato di crescita dell’ampiezza di questa *surf zone* e la presenza di onde persistentemente alte, per cui, nella zona di *shoaling*, si verifica maggior attenuazione sulle grandi onde e minore su quelle più piccole. La distribuzione di frequenza del *parametro ambiente* (Ω) di Tabella 20 indica inoltre che su questa *surf zone* totalmente dissipativa predomina energia di infragravità a larga banda, mentre mancano le oscillazioni stazionarie a frequenze subarmoniche.

Conclusioni

La descritta analisi morfodinamica del tratto di falesia stabilizzata con *spiagge a tasca* svolta sul litorale di Finale Ligure compreso tra Capo Noli e la foce del Rio Fine (Fig. 1) nella Liguria occidentale ha messo in evidenza come la ricostruzione dei campi di vento foranei e delle relative caratteristiche mareometriche indichi nei settori di S e di SSW compresi tra le azimutali 181°–214° la traversia dominante interessata dalle più forti mareggiate che posizionano l’inizio dello *shoaling* nella fascia batimetrica tra 110 m e 115 m e la prima linea dei frangenti in quella tra 8 m e 10 m, con arrivo di massime lunghezza d’onda alla battigia comprese tra 85 m e 100 m e con celerità di frangimento sull’ordine di 12 m/s. Inoltre l’ondazione in avvicinamento alla riva si segnala per la presenza di onde persistentemente alte, che generano frangenti di espansione (*spilling breakers*) e predominanza di energia di infragravità a larga banda nella zona corrispondente a 100÷200 secondi di periodo, mentre risultano assenti le oscillazioni stazionarie a frequenze subarmoniche.

Nel complesso la *surf zone* delle unità fisiografiche presenti risulta interessata, da levante a ponente, da profili batimetrici con tendenza, a diminuire la pendenza, a passare da forma generalmente concava a lineare od a

convessa e ad allontanare il punto d'inflessione del profilo dalla battigia. Evidenziano inoltre la presenza di intense *rip current* che trasferiscono il materiale litoraneo verso il largo, procurando così un'espansione verso il largo delle spiagge sommerse.

Il materiale di fondo mobile della *surf zone*, di natura sabbioso grossolana in prossimità della riva e di tessitura sabbioso fine e molto fine oltre la batimetrica di 5-8 m, presenta un'evoluzione granulometrica anormale in facies di maturazione ultraparabolica, per cui si caratterizza sedimentologicamente come un deposito di levigazione per asporto delle particelle più fini operato dalle correnti del moto ondoso.

La *surf zone* di questo tratto di litorale finalese, caratterizzandosi quindi per presentare uno *stato morfodinamico modale* totalmente dissipativo, indica che sul sedimento di fondo mobile sono in atto sequenze di progradazione verso il largo conseguenti all'erosione provocata dal trasporto del materiale ad opera del sistema correntizio delle *rip current*.

Bibliografia

- Cicala A., (1985) – *Aspetti di meteorologia applicata nella progettazione di approdi marittimi*. Atti Convegno Roma, ENEA-SIMA, Roma, 41-62.
- Cortemiglia G.C. & Fierro G. (1965) – *Observations sur le role de defence joué par la plage submergée de la Spiaggia delle Stelle (Riviera ligure occidentale)*. Cahiers Océanographiques, XVII, 10, 715-726.
- Cortemiglia G.C., (1989) – *Impatto ambientale delle strutture a mare sulla costa ligure*. Mari e coste italiane, UMAR 1, Edit. Pàtron, Padova, 79-89.
- Cortemiglia G.C., (1991a) – *Inquadramento morfogenetico generale della costa ligure e lineamenti morfologici principali del tratto tra Finale Ligure e Spotorno*. Studi e Ricerche di Geogr., XIV, 2, 138-154.
- Cortemiglia G.C., (1991b) – *Ristrutturazione morfologica per ripascimento della Spiaggia dei Ronchi (Litorale apuano) quale tecnica di difesa dagli effetti erosivi*. Centro Culturale R. Consani, 1, 7-58.
- Cortemiglia G.C., (1992) – *Morphodynamic features of the Apuan coastal belt between the mouths of the Magliano and of the river Cinquale (Tuscany, Italy)*. Boll. Oceanol. Teor. Appl., X, 2-3-4, 205-210.
- Cortemiglia G.C., (1994) – *Aspetti generali della morfologia costiera quali basi di riferimento per l'impostazione di una legenda di rilevamento dei relativi morfotipi*. Studi Geogr. In onore D. Ruocco, 1, Geogr. Fis., 93-116.
- Cortemiglia G.C., (1995) – *Proposta di inquadramento morfodescrittivo delle coste rocciose*. Mem. Accad. Lunigianese Sc. G. Capellini, LXIV-LXV (1994-1995), 107-129.
- Cortemiglia G.C., (1996) – *Morfodinamica del litorale di Terracina nell'intervallo temporale 1981-1993*. Atti Ass. Ital. Oceanol. Limnol. (AIOL), 11, 501-522.
- Cortemiglia G.C., (2002) – *Ricostruzione da carte isobariche di superficie dei campi di vento sull'area mediterranea*. Atti Ass. Ital. Oceanologia e Limnologia (AIOL), 15, 133-145.
- Cortemiglia G.C., (2003) – *Determinazione automatica del moto ondoso al largo da carte isobariche per la stima delle condizioni morfodinamiche di un paraggio*. Atti Ass. Ital. Oceanologia e Limnologia (AIOL), 16, 203-225.
- Cortemiglia G.C. & Fierro G., (1964) – *Dati preliminari sulla conservazione di una spiaggia della Liguria occidentale*. Rap. Proc. Verb. Réunions C.I.E.S.M.M., Monaco Principoté, XVIII, f. II, 925-926.
- Cortemiglia G.C. & Torre F., (2007) – *La dinamica litorale nel Golfo di S. Vito lo Capo, Sicilia nord occidentale*. Atti Terzo Forum Nazionale Pianificazione e tutela del territorio costiero. Questioni, metodi, esperienze a confronto, Regione Emilia Romagna, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna, 229-251.
- Dalrympler R.A. & Thompson W.W., (1977) – *Study of equilibrium beach profiles*. Proc. Int. Conf. Coastal Eng., 15 th, Honolulu, Ch. 75, 1277-1296.
- Dean R.G., (1973) – *Heuristic models of sand transport in the surf zone*. Proc. Its. Austr. Coastal Engr. Conf. Inst. Engrs. Austral., Sydney, 208-214.
- Galvin C.J., (1972) – *Wave breaking in shallow water*. In Meyer R.W. (editor), Waves on Beaches and Resulting Sediment Transport, Academic Press, New York, 413-456.
- Guza R.T. & Imman D.L., (1975) – *Edgewaves and beach cups*. Journal Geophys. Res., 80, 21, 2997-3012.
- McCammon R.B., (1962) – *Efficiencies of percentile measures for describing the mean size and sorting of sedimentary particles*. Journ. Geol., 70, 4, 453-465.

- Rivière A. (1977) – *Méthodes granulométriques*. Techniques et interpretation. Masson Editeur, 1-170.
- Vanossi M. (1991) – *Alpi Liguri 11 Itinerari*. Guide Geol. Regionali, a cura della Soc. Geol. Ital., Edit. Bema, 1-295.
- Visher G.S., (1969) – *Grain size distributions depositional processes*. Journ. Sed. Petr., 39, 3, 1074-1106.
- Wright L.D., Chappel J., Thom B.G., Bradshaw M.P., Cowell P., (1979) – *Morphodinamics of reflective and dissipative beach and inshore systems: southeastern Australia*. Mar. Geol., 32, 105-140.
- Wright L.D., Short A.D., Nielsen P., (1982) – *Morphodinamics of higt energy beaches and surf zones : a brief synthesis*. Coastal Studies Unit Technical Report n.82/5, 1-64.

Ricevuto il 08/01/2014, accettato il 12/06/2014.