COMUNE DI GENOVA

aster
AZIENDA SERVIZI TERRITORIALI COMUNE DI GENOVA

TITOLO: **PROGETTAZIONE DEFINITIVA PER L'AMPLIAMENTO E LA REALIZZAZIONE DI NUOVE SPIAGGE TRA IL CONFINE OCCIDENTALE DI GENOVA E CAPO CREVARI**

LIVELLO DI PROGETTAZIONE: **PROGETTO DEFINITIVO**

REV.	DATA	DESCRIZIONE DELLA REVISIONE	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO
00	Ott. 2003	PRIMA EMISSIONE	Prof.Fierro-Dott.Ferrari	Ing. P. Bellingeri	Arch. A. Airenti

AMMINISTRAZIONE PROPONENTE:
COMUNE DI GENOVA

OGGETTO:
RELAZIONE SEDIMENTOLOGICA

Allegato alla nota P.G. 8504
del 24 FEB. 2004
Il Dirigente dell'Ufficio

R 07

SCALA:
-

RESP. UNICO DI PROCEDIMENTO:
Ing. Stefano Pinasco

RESP. UFFICIO PROGETTAZIONE:
Arch. Annamaria Airenti

COORDINATORE PROGETTO:
Ing. Paolo Bellingeri

GRUPPO DI PROGETTO:
Ing. P. Bellingeri
Ing. G. Berriolo
Ing. P. Bocca
Ing. S. Giordano

COLLABORATORI:
Tec. Cad. Gigliola Genta
Ing. R. Pioli

CONSULENZA GEOLOGICA:
Dott. Geol. G. Andreola

REDAZIONE MODELLO MATEMATICO E FISICO
Prof. P. Aminti - Università Firenze

STUDI SEDIMENTOLOGICI E GRANULOMETRICI
Prof. Fierro-Dott. Ferrari -DIPTERIS

RILIEVO BATIMETRICO
Nuova Idrocart

COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:
Ing. R. Burlando

NOME FILE:	NOME LAYOUT:	FILE STAMPA:
EC46-Rel Sedimentologica.doc	-	EC46. ctb

CODICE COMMESSA	DOC.N.	SCALA DI STAMPA	FORMATO	FOGLIO
0 0 E C 0 4 6	D C R 0 7	-	-	FOGLIO - DI -

ASTER

Azienda Servizi Territoriali del Comune di Genova

DIP.TE.RIS.

Dipartimento per lo Studio del Territorio e delle sue Risorse

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI GENOVA

"Studio sedimentologico del litorale tra il confine occidentale del Comune di Genova e Capo Crevari, esecuzione delle analisi granulometriche sui relativi campioni e formulazione di considerazioni riguardo al reperimento di materiale idoneo da utilizzare per il ripascimento delle spiagge in progettazione"

FASE 2
INDAGINE SEDIMENTOLOGICA

Il Responsabile Scientifico
(Prof. Giuliano Fierro)

ASTER

Azienda Servizi Territoriali del Comune di Genova

DIP.TE.RIS

Dipartimento per lo Studio del Territorio e delle sue Risorse

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI GENOVA

"Studio sedimentologico del litorale tra il confine occidentale del Comune di Genova e Capo Crevari, esecuzione delle analisi granulometriche sui relativi campioni e formulazione di considerazioni riguardo al reperimento di materiale idoneo da utilizzare per il ripascimento delle spiagge in progettazione"

FASE 2
INDAGINE SEDIMENTOLOGICA

Il Responsabile Scientifico
(Prof. Giuliano Fierro)

1. Premessa

L'Azienda Servizi Territoriali del Comune di Genova (A.S.Ter.), ha dato incarico a questo Dipartimento[1] di svolgere uno studio sedimentologico del tratto di litorale di Vesima, compreso tra il limite occidentale del comune stesso e lo Scoglio Nave. Lo scopo dell'indagine è quello di definire gli aspetti dinamico sedimentari dell'area in relazione all'intervento di ricostruzione del litorale mediante ripascimento protetto.
A tale scopo il lavoro è stato suddiviso in due fasi distinte ma complementari tra loro: la prima indirizzata alla caratterizzazione dell'assetto costiero, allo scopo di analizzare gli aspetti dinamici del litorale ed individuarne gli squilibri morfologico – sedimentari anche alla luce dell'inserimento delle nuove strutture; la seconda mirata alla determinazione delle caratteristiche tessiturali del materiale più idoneo da utilizzare per il ripascimento, ed indicazioni per la stima dei quantitativi necessari al ripascimento.

2. Metodologia d'indagine

2.1. Indagini di campagna

Le indagini batimetriche ed i prelievi di sedimento della spiaggia emersa e sommersa, sono stati realizzati da Idrocart, e forniti da A.S.Ter.; le analisi granulometriche dei campioni sono state eseguite nei laboratori di questo Dipartimento.

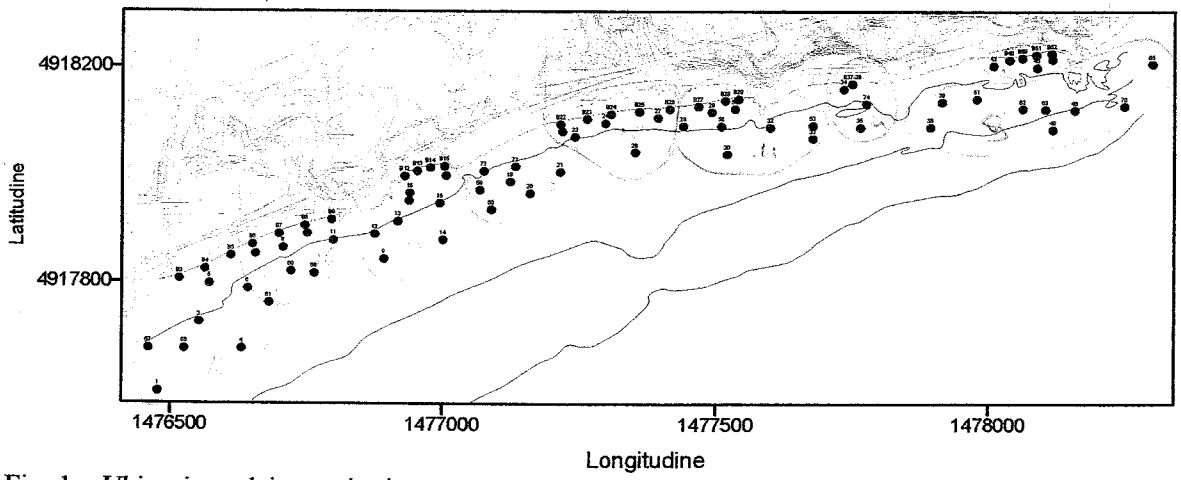


Fig. 1 – Ubicazione dei campioni

2.2. Indagine sedimentologica della spiaggia

Le indagini dei sedimenti di spiaggia sono state condotte su campioni di materiale prelevati in corrispondenza della battigia e nella spiaggia sommersa fino alla profondità massima di circa 12 metri.
Sono state eseguite le analisi granulometriche tramite setacciatura a secco, utilizzando la scala di Wenworth a ½φ allo scopo di determinare le caratteristiche dimensionali ed i parametri statistici sedimentologici. Sulla base delle risultanze sono state realizzate le carte di distribuzione dei

[1] Alla realizzazione dello studio hanno collaborato: Dott. Marco Ferrari, Dott.ssa Alessandra Martini, Dott. A. Botta e Sig. A. Demergasso.

parametri statistici dimensionali principali (media, classazione e skewness) e delle classi modali più siginificative.

2.3. Determinazione dei vettori di trasporto

La determinazione dei vettori di trasporto è stata realizzata mediante la cosiddetta tecnica del "down drift finning" applicata al parametro "media", secondo la quale s'ipotizza un processo di riduzione nelle dimensioni dei sedimenti in direzione del trasporto. Analogamente, per le distribuzioni percentuali delle classi granulometriche è stata applicata la tecnica adottata da Cortemiglia (1982), che suppone una diminuzione della percentuale relativa ad una data classe presente nei sedimenti, nella direzione del trasporto. In realtà questa procedura non è sempre corretta, infatti, si possono presentare casi dove la direzione di trasporto è associabile ad un aumento percentuale della classe dimensionale; quindi se la direzione del trasporto è sempre corretta talvolta il verso può essere contrario. Conseguentemente, ogni singolo caso è stato valutato con attenzione e all'uopo corretto. Infine i risultati ottenuti sono stati messi a confronto con la metodologia di Gao & Collins (1992) basata sulle variazioni spaziali dei parametri statistici dimensionali Media, Classazione e Skewness.

2.4. Determinazione del profilo d'equilibrio

La determinazione teorica del profilo trasversale d'equilibrio di una spiaggia è stata effettuata utilizzando il metodo di Dean. Questa soluzione, comunemente adottata negli studi d'ingegneria idraulica, approssima in modo più o meno corretto il profilo reale, anche in funzione della situazione morfo – sedimentaria contingente. Essa è infatti studiata per litorali oceanici costituiti da sabbie medio – fini e completamente esposti al moto ondoso.

L'algoritmo matematico utilizzato per l'ottenimento del profilo è basato sulla semplice relazione tra la distanza da costa (off-shore) e la profondità del fondale:

$d=Ax^m$ in cui: $m=\frac{2}{3}$

Il parametro A (dimensionalmente legato al fattore m per fare assumere a *d* il valore di una distanza) è funzione delle caratteristiche del sedimento (diametro medio) e và ad agire sulla forma del profilo di equilibrio. Il suo modulo risulta compreso tra 0.079 e 0.398.

Risulta evidente che tale metodologia, appunto per i suoi caratteri generali, presenti sostanzialmente una approssimazione del problema, inoltre essa è basata su presupposti teorici limitativi (onda monocromatica, indice di frangimento costante, piani d'onda paralleli alla costa ecc.) è quindi utile ricordare le affermazioni fatte da Pilkei et al. (1993). La trasposizione dei dati desunti dalla modellizzazione dei profili di equilibrio della shoreface nella realtà, devono tenere conto di diversi assunti di base sui profili di equilibrio che talvolta non vengono riscontrati in situazioni reali. Non sempre:

1. il movimento dei sedimenti è guidato solo dalla diffusione legata all'energia delle onde, attraverso la shoreface
2. la shoreface presenta una coltre di sedimenti tanto abbondante da rendere la struttura geologica di fondo totalmente ininfluente sulla forma del profilo.

Questa metodologia risulta particolarmente utile nella determinazione della granulometria più idonea alla ricostruzione del litorale e nel calcolo delle quantità di materiale da versare. Infatti, una volta stabilito l'avanzamento che si vuole effettuare è possibile, mantenendo o modificando le dimensioni del diametro mediano e conseguentemente del parametro A, calcolare il profilo che

andrebbe ad assumere il litorale e, successivamente, determinare la profondità d'intersezione del profilo teorico con quello reale nonché la quantità di materiale necessario alla ricostruzione, espresso in metri cubi per metro lineare.
Comunque citando anche in questo caso le enunciazioni di Pilkei relative alla modelizzazione, si può affermare che i profili descritti dalle equazioni di equilibrio nascono e servono per permettere un'utile approssimazione della reale forma della shoreface da usare per i progetti di ingegneria costiera.
Per i motivi sopra esposti, il profilo calcolato con questa tecnica, è stato validato attraverso il confronto sia con i profili realmente misurati sul litorale sia con i risultati ottenuti attraverso le prove fisiche, eseguite presso il Dipartimento d'Ingegneria civile dell'Università degli Studi di Firenze.
Nello studio in oggetto i risultati ottenuti sembrano indicare una buona corrispondenza con la situazione reale, ma i profili risultano generalmente più acclivi che nella realtà. Quindi sarà opportuno in fase di realizzazione inserire un coefficiente di riempimento superiore a quello calcolato.
Bisogna comunque ribadire che tutte queste considerazioni vogliono fornire una base di partenza per la stima approssimativa dei volumi necessari al ripascimento ma non devono essere considerate come determinazioni assolutamente esatte della tessitura dei sedimenti e dei volumi in gioco.

3. Risultati

3.1. Sedimentologia della spiaggia emersa

L'analisi tessiturale dei campioni prelevati in corrispondenza della battigia, lungo l'intero tratto di litorale oggetto di studio, permette di classificare i sedimenti, secondo Folk & Ward (mod.), come ghiaie sabbiose e subordinatamente ghiaie (Fig. 2).

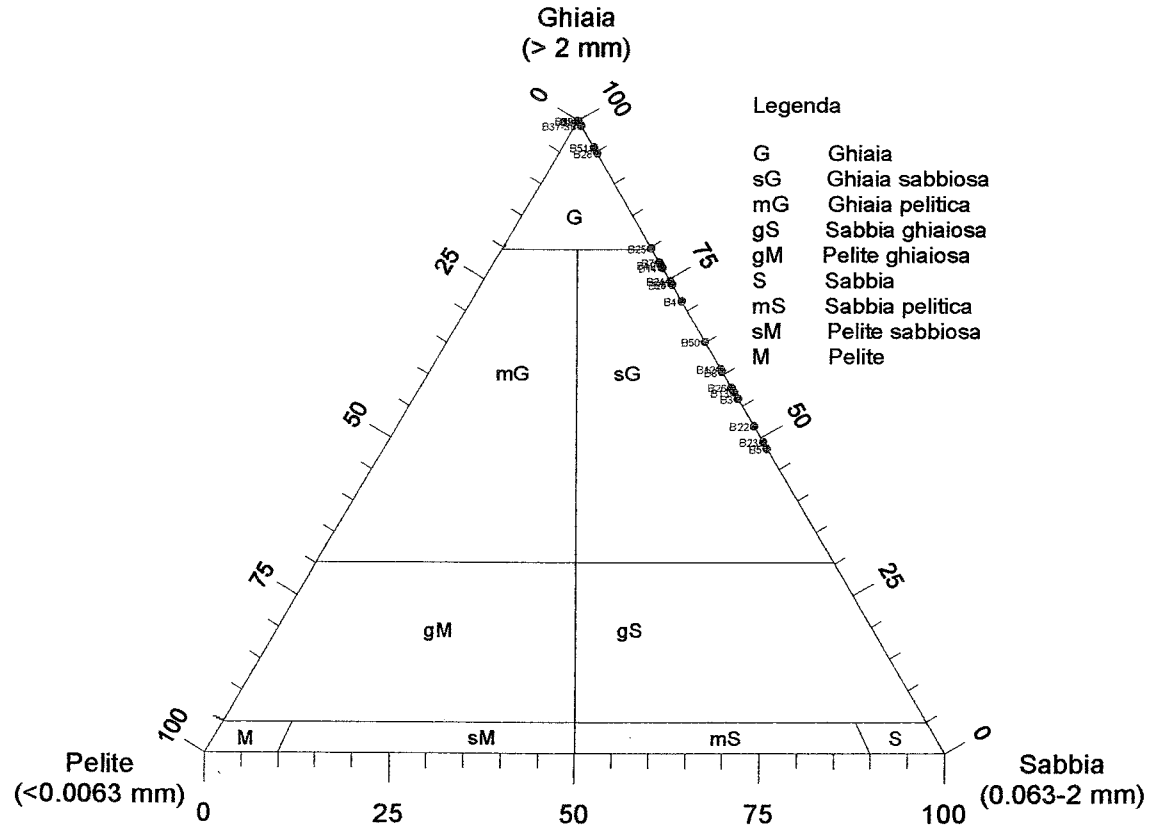


Fig. 2 – Classificazione (Folk & Ward modificata) dei sedimenti della spiaggia emersa

In generale, le dimensioni medie dei sedimenti della spiaggia emersa (Fig. 3) mostrano un andamento piuttosto omogeneo, caratterizzato da oscillazioni comprese nel range dimensionale 2 – 8 mm; fanno eccezione i campioni B9, B15, decisamente più grossolani (rispettivamente 22.8 e 24.3 mm) e, in minor misura, B52 (11.4 mm), tutti ubicati nell'estremo orientale dei singoli tratti di spiaggia il quale risulta maggiormente esposto alle ondazioni dominanti di Libeccio e anche soggetto a fenomeni riflessivi, incentivati dalle difese rigide aderenti sviluppate lungo il litorale.

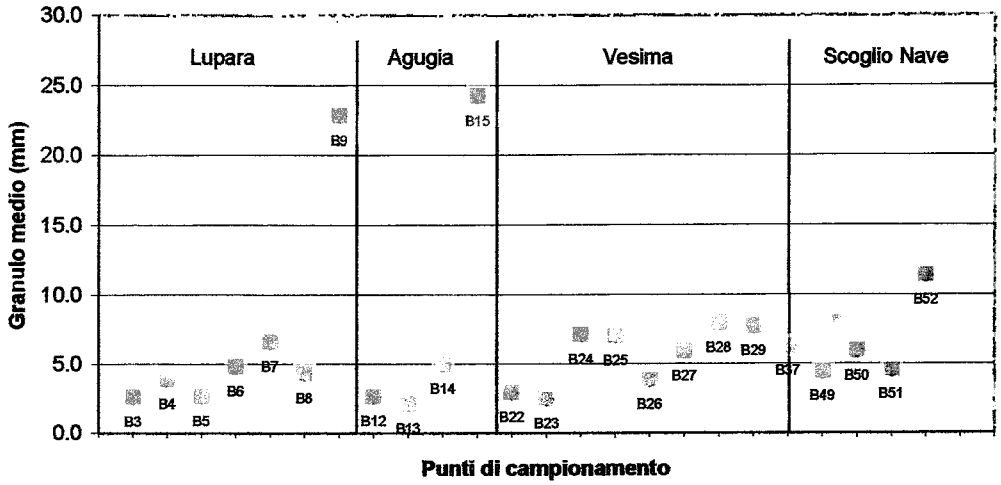


Fig. 3 – Distribuzione del parametro media alla battigia

La distribuzione dello stesso parametro all'interno di ciascun settore, se si esclude il limite orientale sopra citato, presenta l'andamento tipico delle poket beach, con granulometrie leggermente maggiori nella porzione centrale della falcata e minori agli estremi; un caso a parte va invece considerata la spiaggia di Vesima stazione, dove i sedimenti risultano ancora fortemente condizionati dal ripascimento eseguito nell'anno 2000, presumibilmente non completamente elaborato dalla dinamica litorale, come confermano, di seguito, gli andamenti degli altri parametri statistici.
La classazione è il parametro che ancora meglio evidenzia quanto già messo in risalto dalla distribuzione del granulo medio. Essa varia, nell'ambito dell'intero tratto costiero, tra un valore massimo di 2.5, corrispondente ad un sedimento scarsissimamente selezionato, e un valore minimo di 0.4, indicativo di un sedimento ben classato (Fig. 4).

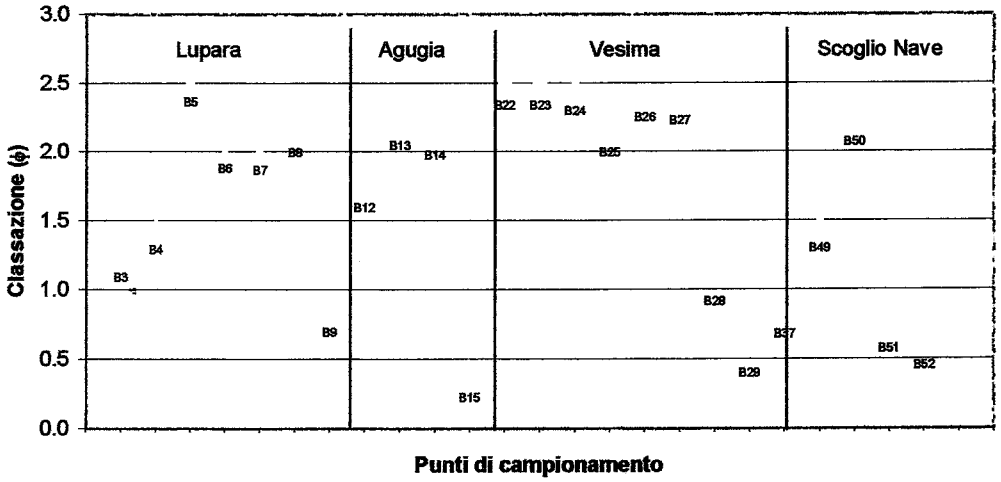


Fig. 4– Distribuzione del parametro classazione alla battigia

Analizzando l'andamento del parametro all'interno di ciascuna spiaggia si nota come i sedimenti meno selezionati caratterizzino le parti centrali delle singole falcate mentre agli estremi il materiale raggiunga un maggior grado di selezione, come si può osservare nel caso esemplificativo di fig. 5;

questa situazione potrebbe essere indotta dalla presenza di fenomeni di riflessione nelle parti di spiaggia adiacenti a corpi rigidi; i sedimenti distinti dal miglior grado di classazione sono reperibili essenzialmente in corrispondenza del limite orientale di ciascun tratto deposito, dove presumibilmente il sedimento fine è allontanato dall'azione riflessiva di cui si è parlato precedentemente.

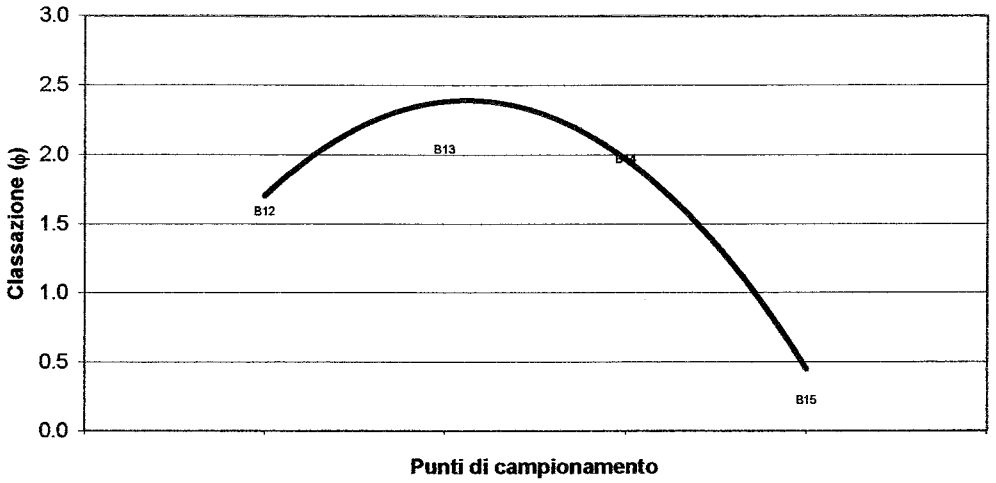


Fig. 5 – Distribuzione del parametro classazione alla battigia nella spiaggia dell'Agugia.

La spiaggia di Vesima si distingue ancora dagli altri tre settori, essendo costituita da sedimenti scarsissimamente selezionati per tutta la sua lunghezza, con la sola eccezione dei due campioni dell'estremo di levante (Fig. 6). Questo andamento conferma l'influenza del ripascimento e dell'attività antropica su questo tratto di litorale.

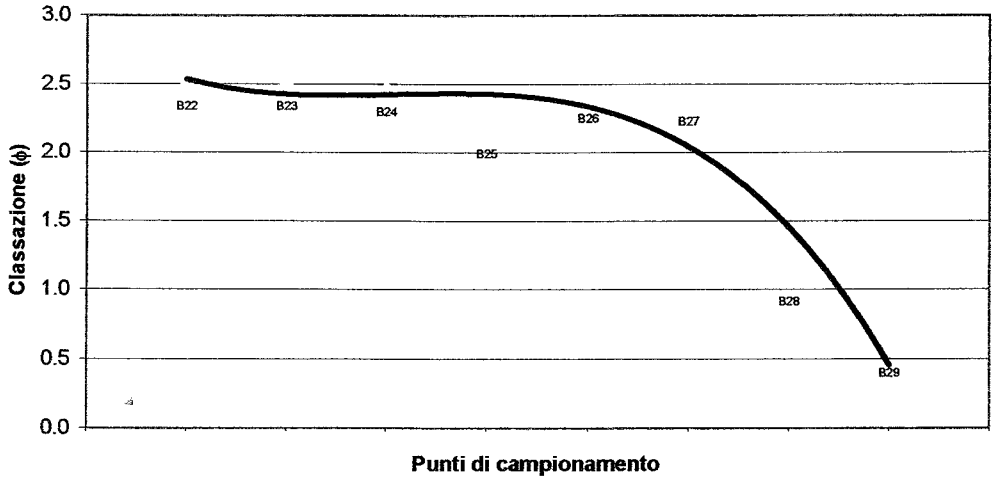


Fig. 6 – Distribuzione del parametro classazione alla battigia nella spiaggia di Vesima.

L'andamento del percentile nei due settori occidentali (Figg. 7 e 8) mostra come, in queste spiagge, le porzioni centrale e di levante risultino esposte ad una maggiore energia del moto ondoso rispetto alla parte occidentale che risente della protezione da parte di Punta Lupara e Capo S. Martino.

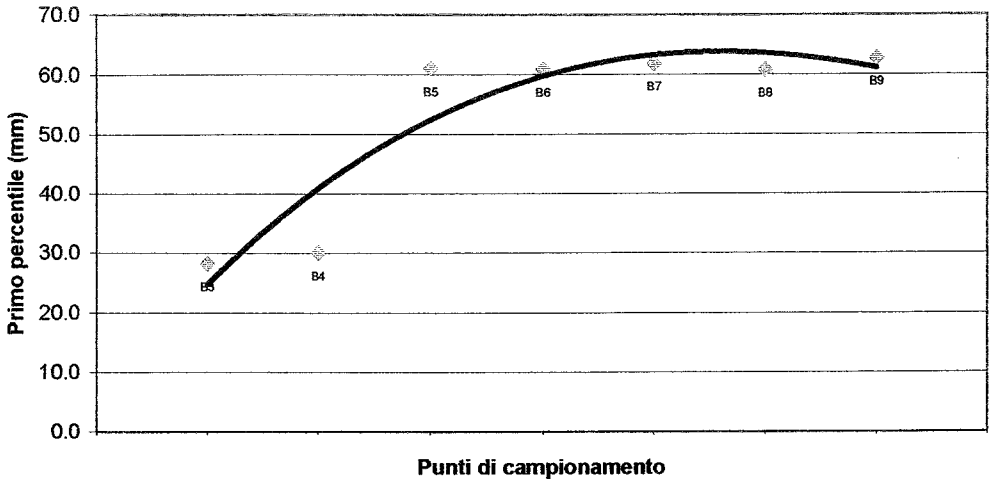


Fig. 7 – Distribuzione del primo percentile alla battigia nella spiaggia di Lupara.

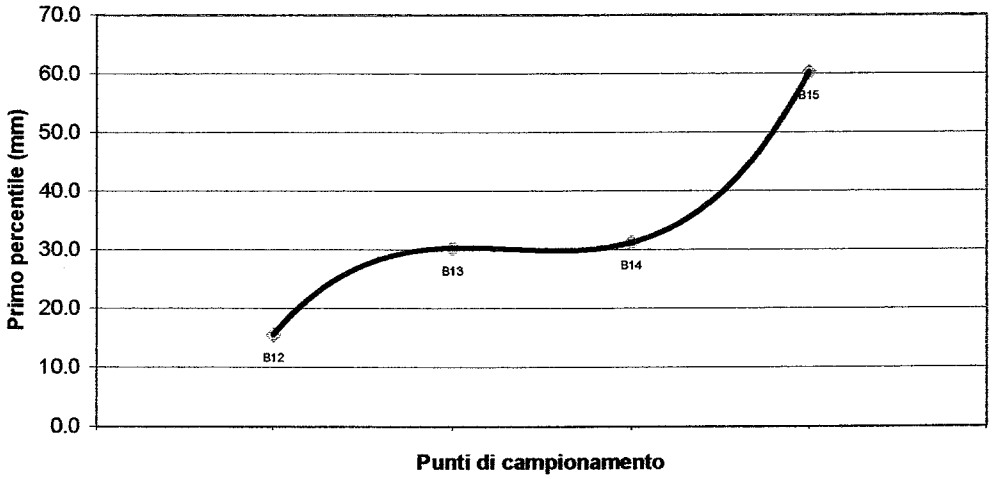


Fig. 8 – Distribuzione del primo percentile alla battigia nella spiaggia dell'Agugia.

Per quanto riguarda i restanti tratti depositi, la spiaggia di Vesima stazione (Fig. 9) appare interamente esposta alle ondazioni, con energie massime nella sua parte occidentale, anche se non si può prescindere dall'influenza esercitata dall'intervento di ripascimento sulla distribuzione dei parametri mentre la spiaggia di Scoglio Nave mostra un tipico andamento di poket beach, con la massima esposizione nella parte centrale (Fig 10).

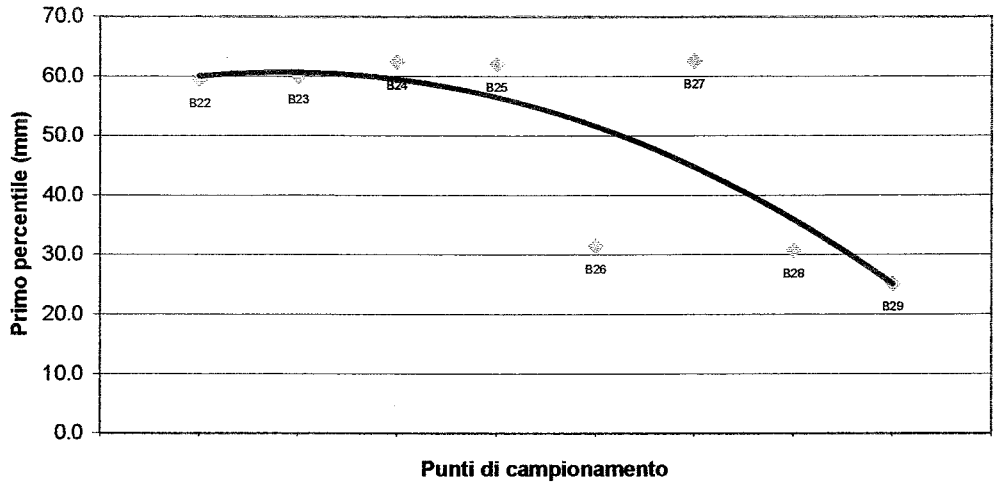


Fig. 9 – Distribuzione del primo percentile alla battigia nella spiaggia di Vesima.

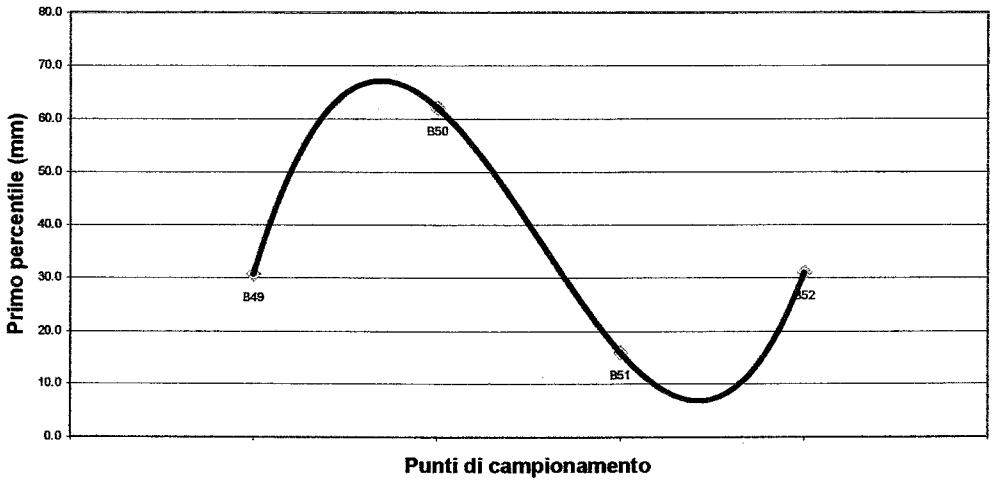


Fig. 10 – Distribuzione del primo percentile alla battigia nella spiaggia di Scoglio Nave.

La distribuzione del parametro skewness sulla battigia (Fig. 11) mostra una predominanza dei valori negativi o prossimi allo zero, indicante un impoverimento della frazione sabbiosa fine che potrebbe testimoniare una situazione d'instabilità del litorale. I valori fortemente positivi caratterizzano unicamente la spiaggetta dell'Agugia e il centro della falcata della spiaggia di Vesima stazione: la prima (Fig. 12) sembra infatti essere quella più stabile, con l'eccezione del già citato campione B15 dell'estremo orientale, caratterizzato da uno skewness leggermente negativo, presumibilmente legato alla corrente di risucchio, già evidenziata in questo punto; la situazione della spiaggia di Vesima è ancora una volta presumibilmente riconducibile al ripascimento effettuato nel 2000. I restanti settori presentano una generale condizione di instabilità.

Dip. Te.Ris. Università degli Studi di Genova

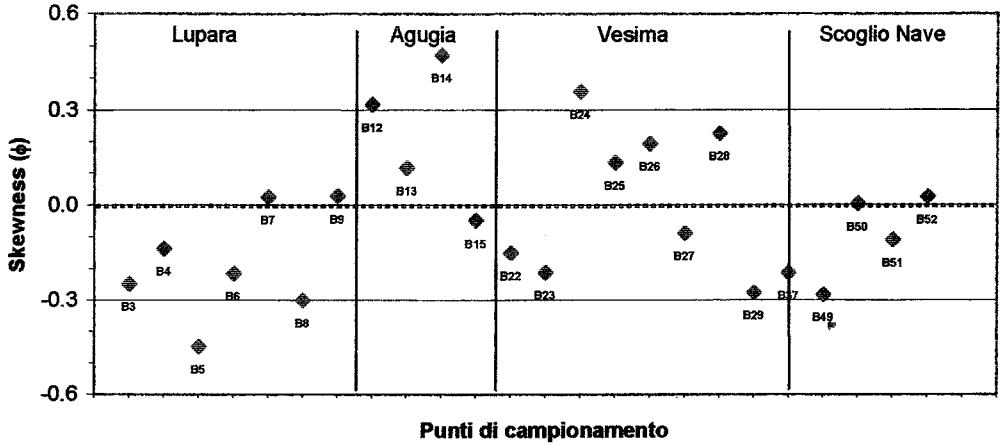


Fig. 11– Distribuzione del parametro skewness alla battigia

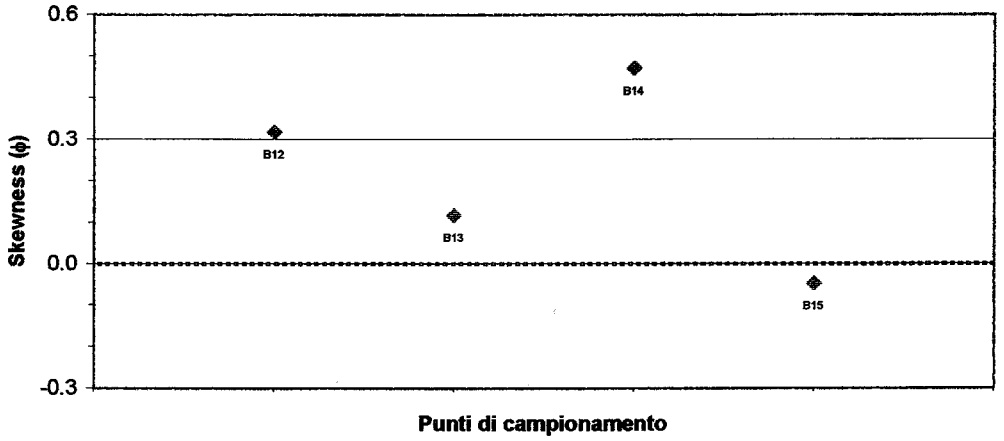


Fig. 12 – Distribuzione del parametro skewness alla battigia nella spiaggia dell'Agugia

3.2. Sedimentologia della spiaggia sommersa

I sedimenti analizzati risultano riferibili, secondo la classificazione di Folk & Ward modificata (Fig. 13), essenzialmente alle ghiaie o alle sabbie, con l'eccezione di pochi campioni appartenenti ai campi intermedi (ghiaie sabbiose e sabbie ghiaiose); la frazione pelitica è risultata pari a zero nei campioni ghiaiosi più prossimi alla linea di riva e non supera il 7% in quelli sabbiosi delle batimetrie maggiori; fa eccezione solo il campione 8 classificato come pelite sabbiosa, prelevato ad una profondità minore di 4 metri nella zona di Lupara e presumibilmente legato alla presenza di piccoli accumuli di sedimento fine proveniente dalla discarica, intrappolato fra gli scogli circostanti.

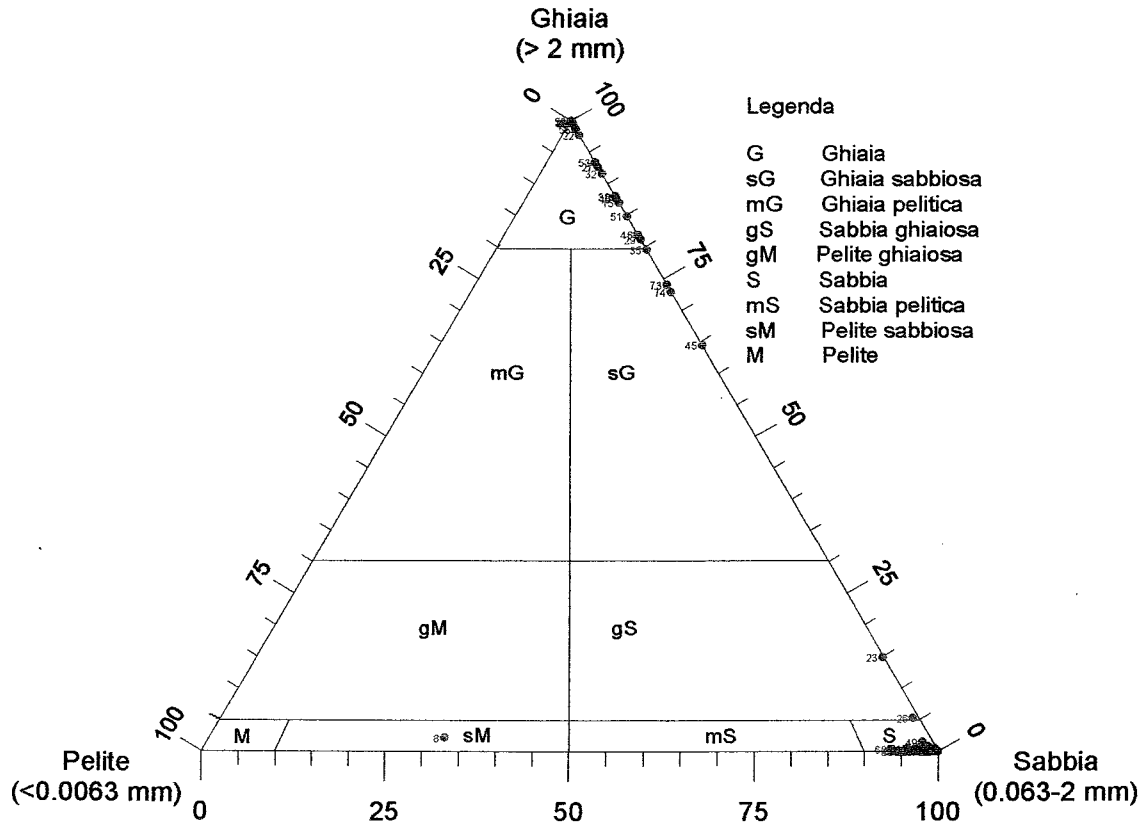


Fig. 13 – Classificazione (Folk & Ward mod.) dei sedimenti della spiaggia sommersa

La consueta correlazione inversa fra dimensioni medie dei sedimenti e profondità viene rispettata solo in parte (Fig. 14) in quanto sui fondali si ritrovano spesso accumuli di materiale grossolano portato dalle correnti trasversali. Questa situazione è evidenziata anche dalla distribuzione del parametro media (Fig. 15) in cui si nota la presenza di una fascia grossolana, più o meno articolata, che, nella parte occidentale e centrale del litorale indagato, si sviluppa entro la batimetrica dei 3 metri superando solo localmente i 5 metri mentre nella zona orientale, all'altezza della scogliera di Falconara, inizia ad approfondirsi sino a raggiungere la batimetrica dei 10 m in prossimità di Scoglio Nave. Al largo della fascia ghiaiosa si estende un fondale sabbioso ed omogeneo da un punto di vista granulometrico, come è confermato dalla distribuzione del parametro classazione.

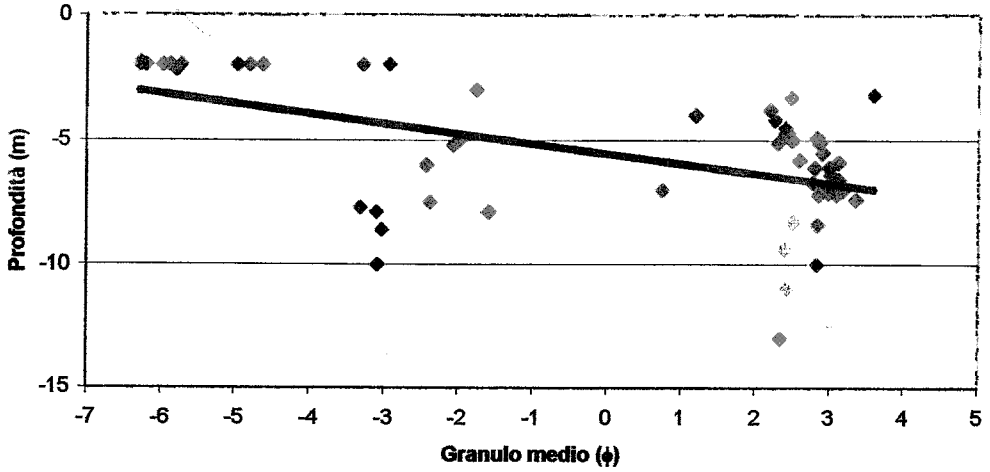


Fig. 14 – Confronto fra le dimensioni medie dei sedimenti e profondità di campionamento.

Infatti, in figura 16 è possibile osservare come il grado di selezione migliori muovendosi verso il largo dove si ritrovano sedimenti fini ben classati, mentre la fascia più prossima alla battigia sia caratterizzata da sedimenti da poco a scarsissimamente classati. La spiaggia sottomarina antistante Falconara e Scoglio Nave si distingue ancora presentando il minor grado di selezione dei sedimenti, fino ad una profondità di 10 m. Questa situazione è presumibilmente legata alla presenza di materiale residuale costituito da clasti grossolani e dimensionalmente eterogenei.

Nella zona orientale, anche la distribuzione del primo percentile (Fig. 17) testimonia una maggiore azione del moto ondoso in questo settore.
Infine, la distribuzione del parametro skewness evidenzia alcuni punti critici, dove il litorale è sottoposto a fenomeni riflessivi che si sviluppano in corrispondenza delle difese aderenti e dei salienti che delimitano la spiaggia di Vesima, dove presumibilmente è in atto il depauperamento della componente fine del materiale di ripascimento. Valori fortemente negativi sono riscontrabili nell'estremo ponente del tratto di litorale oggetto di studio, immediatamente ad E di Punta Lupara, dove è probabile un depauperamento della frazione fine sabbiosa ad opera del drift litoraneo, inadeguatamente compensato dagli apporti provenienti da ponente, per la presenza del pennello del Pizzo (Fig. 18).

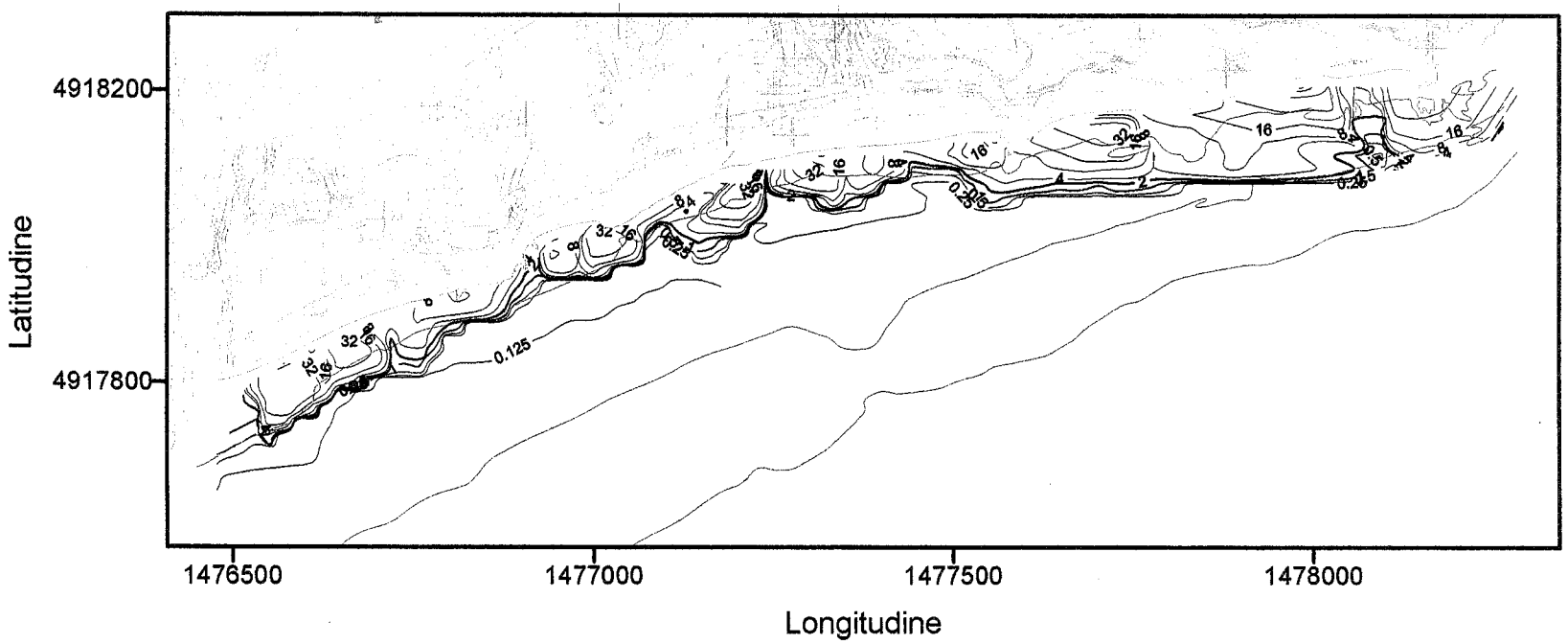


Fig.15 – Distribuzione del parametro media (mm) nella spiaggia sottomarina.

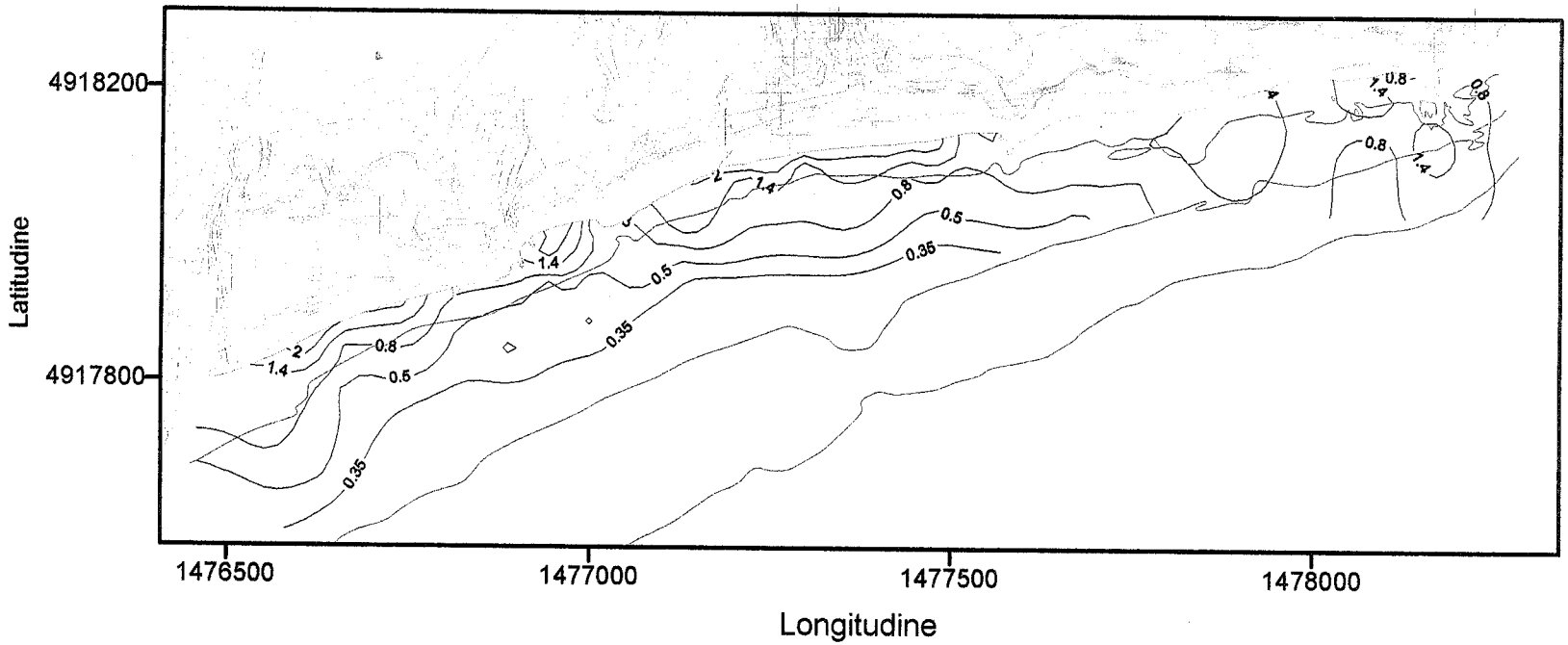


Fig. 16 – Distribuzione del parametro classazione (ϕ) nella spiaggia sottomarina.

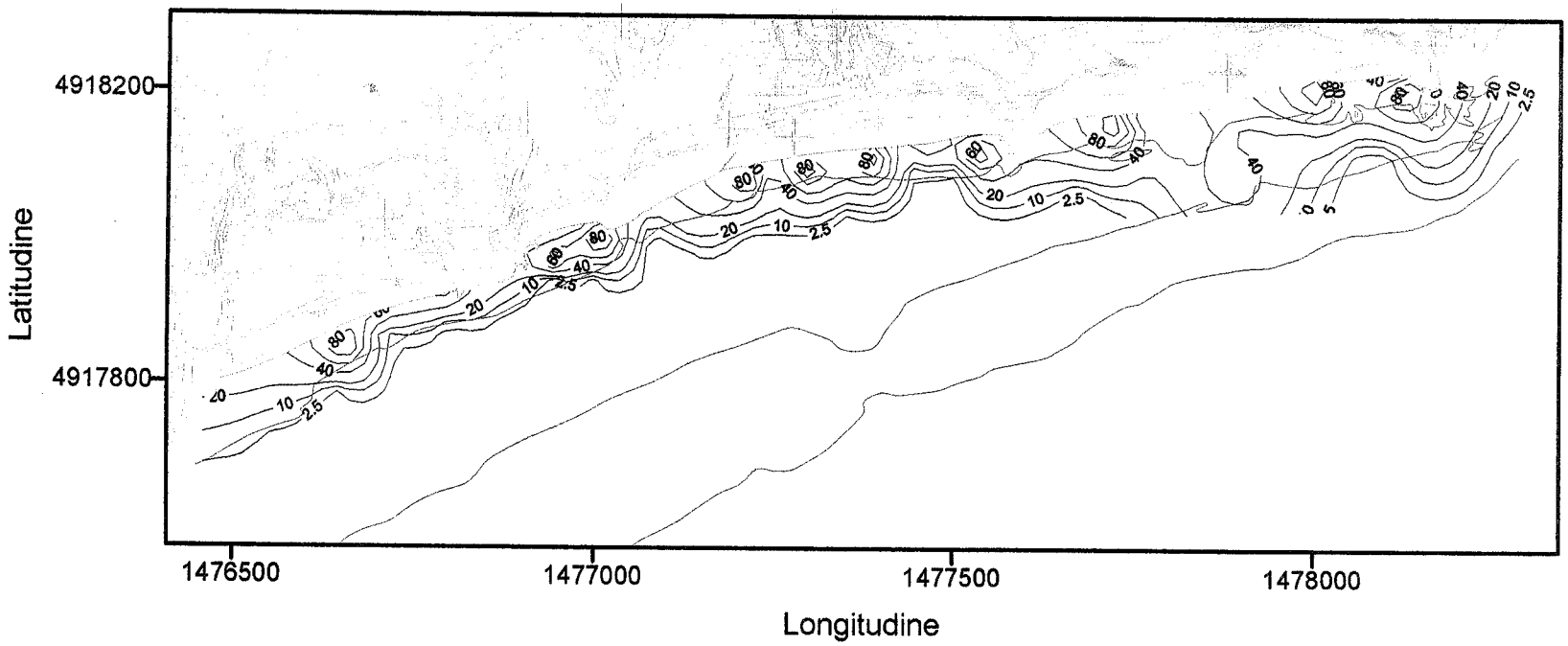


Fig. 17 – Distribuzione del primo percentile (mm) nella spiaggia sottomarina.

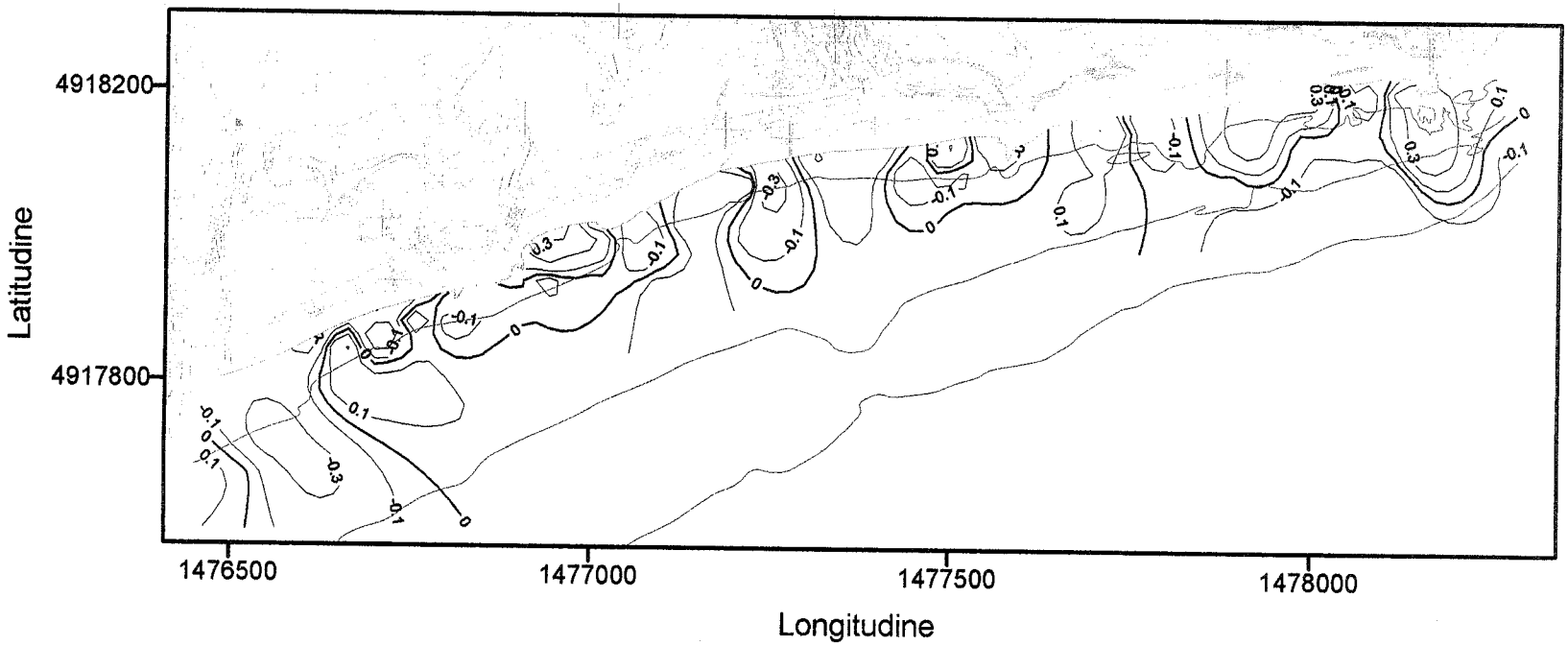


Fig. 18 – distribuzione del parametro skewness.

Un aiuto per comprendere la dinamica sedimentaria dell'area sottoposta all'indagine viene offerto dalle distribuzioni delle classi modali, espresse in percentuale. A tal proposito, si sono ritenute significative le distribuzioni relative alle classi 0.063 mm, 0.125 mm, 2 mm e 16 mm che hanno permesso di formulare le considerazioni esposte di seguito. In generale, sia le distribuzioni delle classi minori, sia quelle riferite al sedimento grossolano confermano quanto già evidenziato dall'analisi dei parametri statistici, indicando un aumento della granulometria dei sedimenti della spiaggia sommersa procedendo verso il settore orientale; in questa zona, come si evince in modo particolare dalle distribuzioni delle classi 2 mm e 16 mm (Figg. 19 e 20), la movimentazione del materiale più grossolano avviene fino ad una profondità di oltre 10 m, mentre nella restante parte del litorale indagato essa riguarda essenzialmente la fascia compresa entro la batimetrica dei 5 metri.

L'analisi delle suddette distribuzioni, non offre evidenze sedimentologiche indicanti il drift litoraneo verso Est, sicuramente presente data l'esposizione del tratto di costa ed il regime meteo – marino dell'area di indagine. Sono, al contrario, molto chiari i fenomeni di dispersione verso il largo che si esplicano lungo il litorale. In particolare, le già citate distribuzioni delle classi maggiori mettono in evidenza le forti correnti trasversali che si sviluppano in prossimità di Scoglio Nave ed i fenomeni riflessivi in corrispondenza della scogliera di Falconara, le quali movimentano verso il largo anche i sedimenti grossolani; l'osservazione delle distribuzioni delle classi minori (Figg. 21 e 22) permette di individuare fenomeni riflessivi di minore entità in corrispondenza dei salienti presenti agli estremi della spiaggia di Vesima, responsabili del trasporto verso il largo dei sedimenti più fini e della movimentazione verso E delle sabbie medio – fini nell'estremo settore occidentale del litorale studiato, ad opera del drift litoraneo.

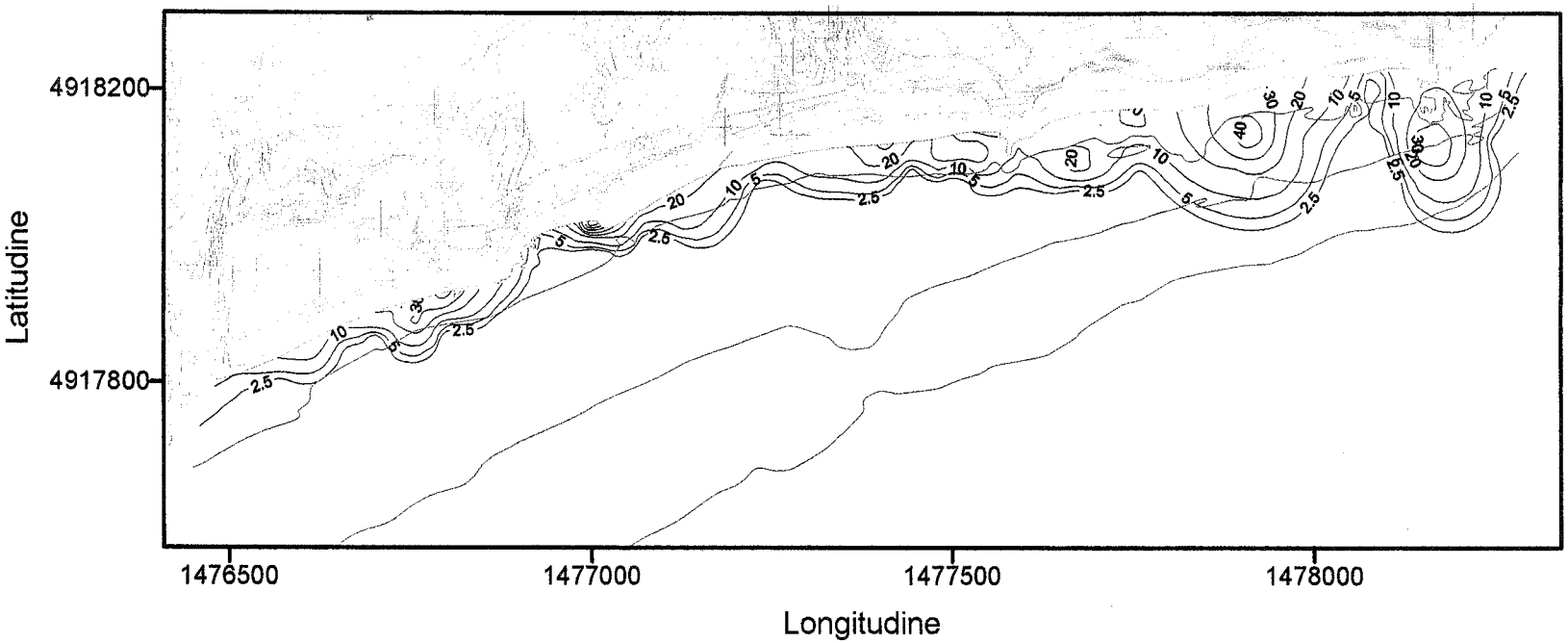


Fig. 19 – Distribuzione della classe modale 16 mm.

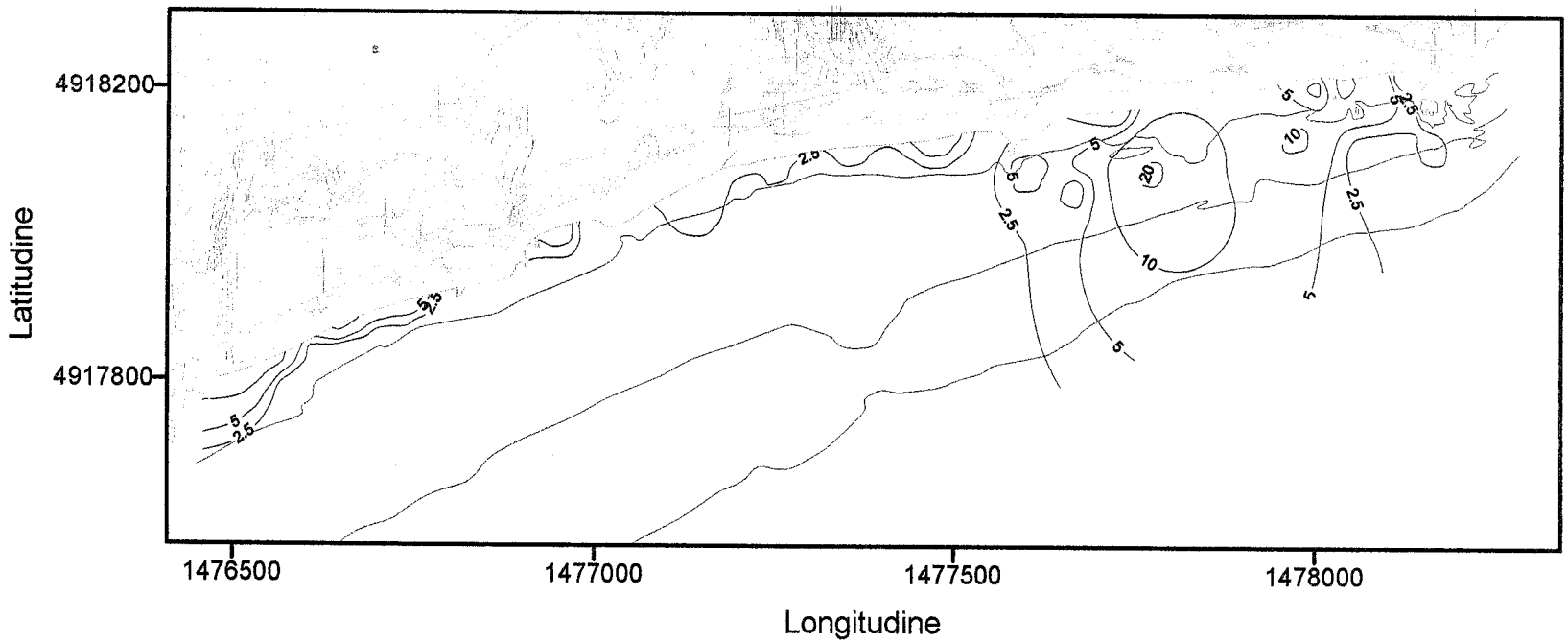


Fig. 20 – Distribuzione della classe modale 2 mm.

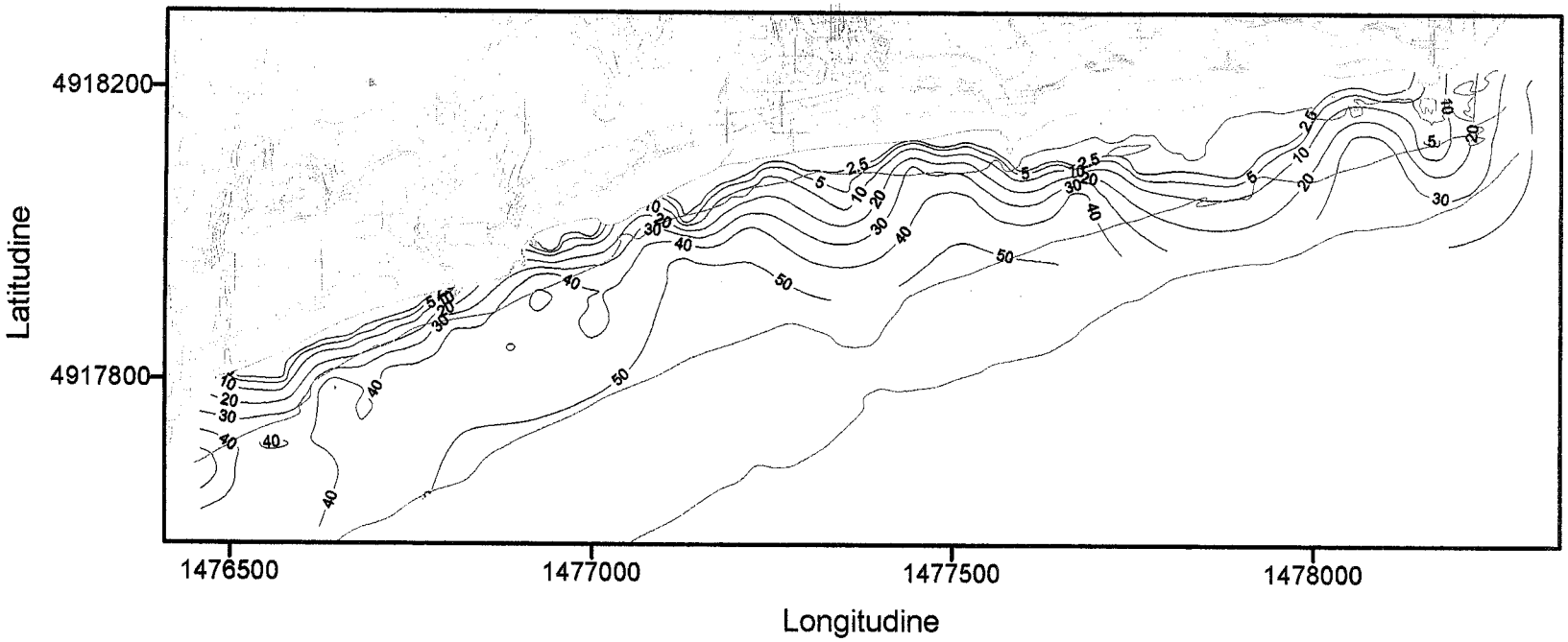


Fig. 21 – Distribuzione della classe modale 0.125 mm.

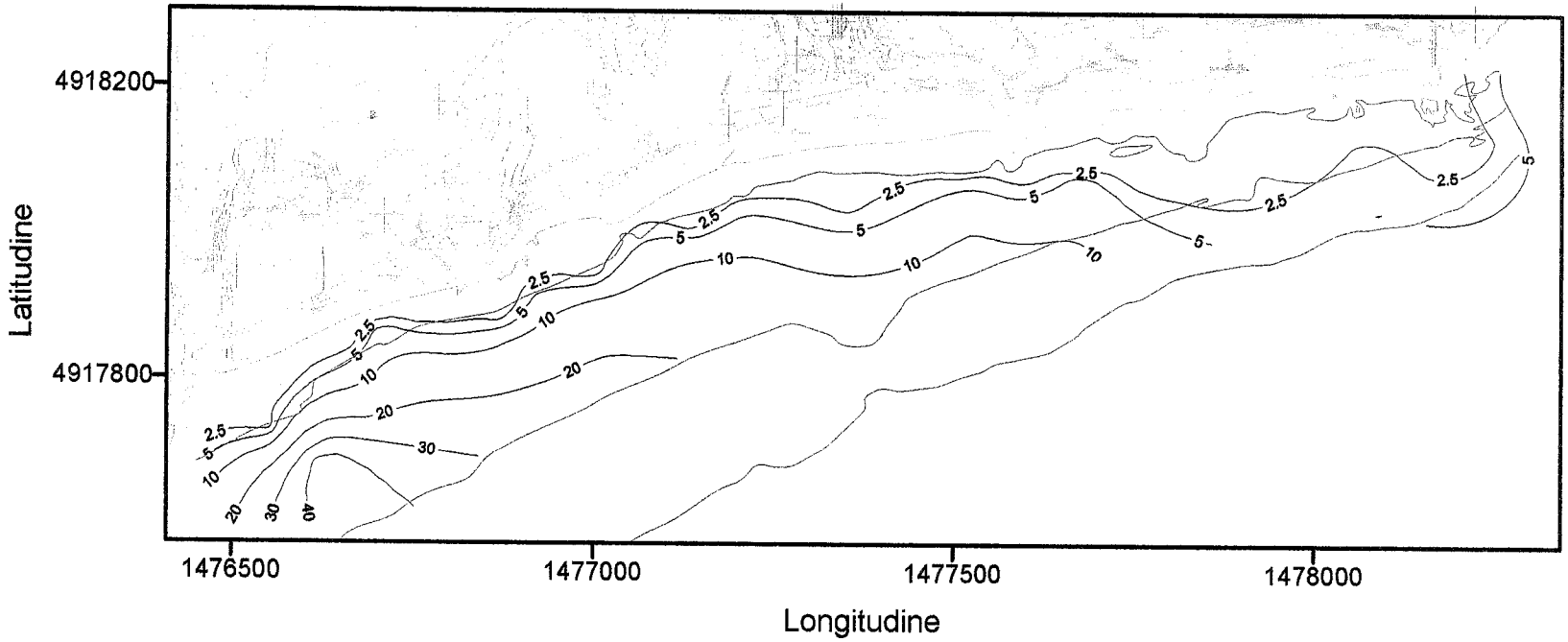


Fig. 22 – Distribuzione della classe modale 0.063 mm.

3.3. Vettori di trasporto

Al fine di definire con maggiore precisione i principali vettori di trasporto sviluppati lungo il litorale studiato, si è effettuato un confronto contemporaneo tra i parametri media, classazione e skewness, secondo il metodo elaborato da Gao e Collins (op. cit.); tale comparazione dovrebbe offrire risultati più affidabili di quelli che si basano sull'analisi del singolo parametro. L'elaborazione che ne è risultata offre nuove informazioni riguardo alla dinamica del litorale, definita con le altre metodologie, e conferma quanto già evidenziato dalla discussione esposta precedentemente.
La distribuzione dei vettori (Fig. 23) conferma l'esistenza di forti fenomeni di dispersione verso il largo specie nel settore orientale; mette ancora una volta in evidenza la presenza di una corrente trasversale in coincidenza di scoglio Nave che causa una dispersione dei sedimenti fino ad una profondità di circa 12 metri e che successivamente vengono sospinti ad est ad opera del drift litoraneo principale. Emerge anche la presenza di un drift secondario con andamento opposto al principale che sembra movimentare i sedimenti relativi alle sabbie medio – fini presenti nel settore occidentale entro la batimetrica dei 7 metri. L'assenza di vettori di trasporto indicanti il drift litoraneo principale è presumibilmente dovuta alla prevalenza negli ultimi anni di agitazioni provenienti dal I° e II° quadrante; anche se la discreta correlazione tra dimensioni medie dei sedimenti e profondità potrebbe obliterare le evidenze sedimentologiche della deriva litoranea.
In conclusione è presumibile che la dinamica sedimentaria dell'area sia condizionata in primo luogo dalle ondazioni provenienti dal terzo quadrante. In particolare, si può supporre una deriva principale che agisce anche sulle ghiaie fino alla profondità di circa 5 metri, nei settori occidentale e centrale e si spinge oltre i 10 m nella parte orientale dell'area di indagine. I sedimenti riferibili alle sabbie e anche quelli più grossolani sono, in diversi punti, deviati verso gli alti fondali e sottratti alla dinamica litoranea, per opera di azioni di riflesso operate dalle imponenti strutture rigide poste lungo il litorale. Questi fenomeni sembrano influenzare fortemente la dinamica dei sedimenti lungo l'intero tratto di litorale ma raggiungono la massima importanza nel settore orientale, in corrispondenza della scogliera di Falconara e di Scoglio Nave, dove materiale, anche di grosse dimensioni, viene sospinto verso il largo e verso E; è ipotizzabile un'azione delle agitazioni interessante le frazioni minori di sedimento, fino ad una profondità di circa 12 – 15 metri.

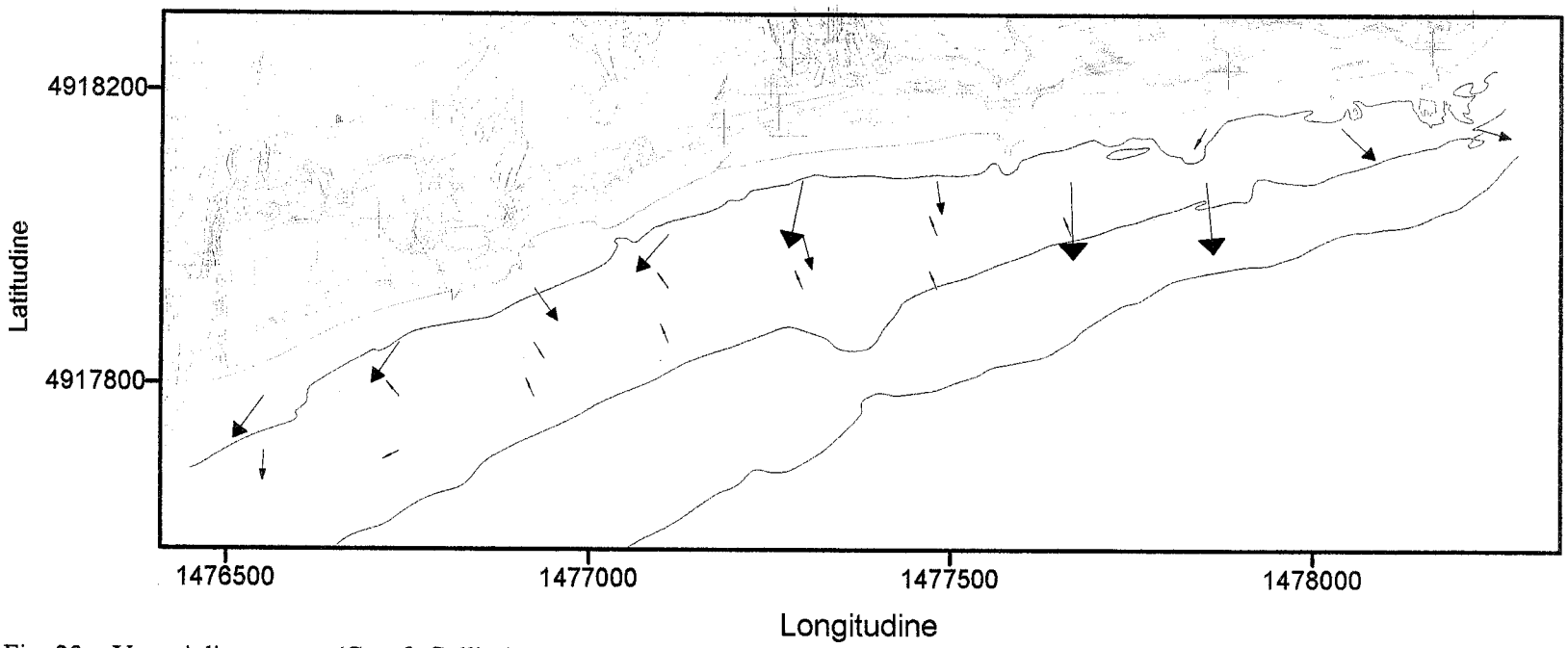


Fig. 23 – Vettori di trasporto (Gao & Collins)

3.4. Considerazioni finali

Il presente studio sedimentologico permette di trarre alcune considerazioni anche in relazione alle opere di difesa previste in progetto:

- le caratteristiche morfo – sedimentarie del litorale assumono maggiore criticità procedendo verso levante;
- sono osservabili nel settore orientale importanti fenomeni di riflessione causati dalle strutture rigide presenti lungo il litorale che determinano una dispersione verso il largo dei sedimenti;
- fenomeni di riflessione non sembrano invece essere presenti in coincidenza delle strutture rigide di P.ta Lastroni;
- analoghi fenomeni di dispersione verso il largo, riconducibili a correnti trasversali, sono presenti in coincidenza di P.ta Bonetti e, decisamente in maggior misura, a Scoglio nave;

Sulla base di queste considerazioni risulta opportuna la forma arrotondata e leggermente arcuata che dovrebbe assumere la testata del pennello di Scoglio Nave al fine di compensare l'azione di dispersione verso il largo dei sedimenti; risulta altresì consigliabile il prolungamento del setto sommerso almeno fino alla profondità di 15 metri, allo scopo d'intercettare le sabbie medio fini sospinte verso oriente dal drift litoraneo. Mentre non sembra necessaria la realizzazione della scogliera Lupara in quanto non sono presenti evidenze sedimentologiche da far credere all'esistenza di azioni di riflesso ad opera di P.ta Lastroni.

4. Profili d'equilibrio

4.1. Premessa

La metodologia proposta da Dean e presentata precedentemente è stata applicata in tre sezioni rappresentative dell'area oggetto d'indagine (fig. 24). In particolare, procedendo da ponente verso levante, la sezione A è stata ubicata nella parte centrale della spiaggia antistante il campeggio; la seconda, anch'essa nella porzione centrale, in coincidenza della spiaggia di Vesima stazione ed infine l'ultima nella spiaggia di Scoglio Nave.
L'obiettivo che s'intende perseguire con questa analisi è di individuare granulometrie stabili sul litorale oggetto di studio e che possibilmente presentino tessiture inferiori a quelle determinate sperimentalmente con le prove in canale che per limiti oggettivi del sistema non si è potuto testare. A tale proposito questa metodologia è stata prima sottoposta a verifica e successivamente applicata.

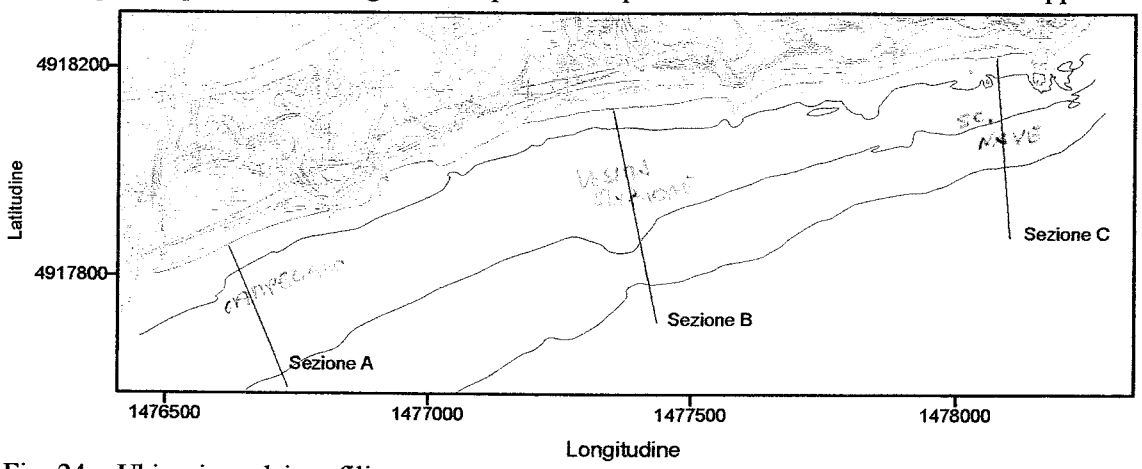


Fig. 24 – Ubicazione dei profili

4.2. Verifica della metodologia

La verifica della metodologia è stata effettuata in tre fasi: la prima ha riguardato l'applicazione da un profilo reale della spiaggia sottomarina di Spotorno, che presenta caratteristiche analoghe al litorale di Vesima; la seconda fase ha previsto il confronto delle tre sezioni reali precedentemente dette; infine la metodologia è stata applicata con gli stessi parametri adottati nelle prove in canale.
Il litorale di Spotorno, che sulla base dello studio meteomarino presenta un'esposizione simile a quella del litorale oggetto di studio, ha diametro medio (D_{50}) pari a circa 3 mm, l'applicazione dell'equazione di Dean mostra un profilo che ben si accorda con quello reale specie fino alla profondità di 4 metri, nel tratto successivo invece risulta leggermente più inclinato (Fig. 25).

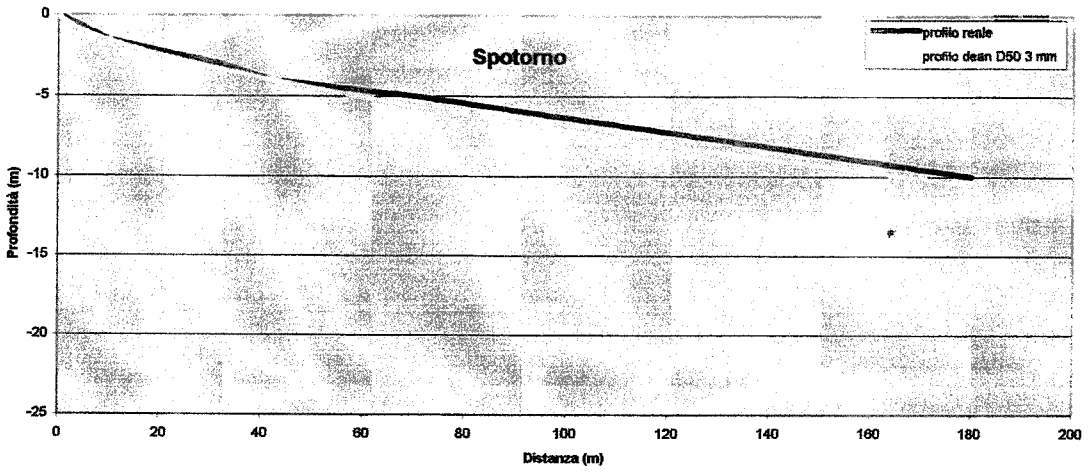


Fig. 25 – confronto tra profilo reale e teorico nella sezione della spiaggia sommersa di Spotorno

Per quanto riguarda l'area d'indagine, nel profilo A è stato adottato nell'algoritmo un diametro medio anch'esso corrispondente a 3 mm; esso è stato desunto come media relativa ai D_{50} di tutti i campioni della spiaggia emersa e sommersa di questo tratto di litorale. Come si può osservare dalla figura 26, il profilo sperimentale ben si accorda con quello reale specie nel primo tratto dove il fondale presenta le maggiori pendenze, cioè fino alla profondità di 6 metri. In questo tratto le differenze massime tra i due profili sono nell'ordine dei 60 centimetri e σ = 20 cm. Nel tratto successivo della spiaggia sommersa, di scarsa importanza per questo studio, il profilo teorico procede con una pendenza decisamente maggiore discostandosi progressivamente da quello reale.

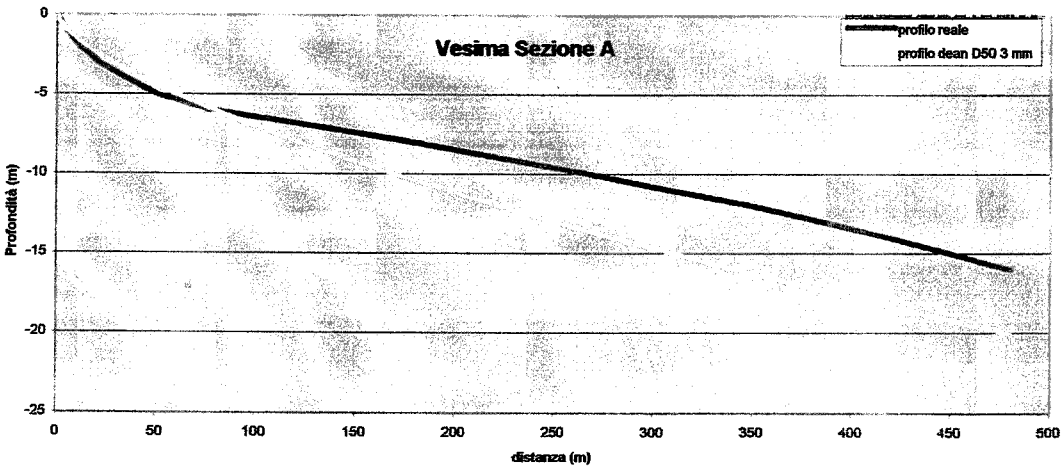


Fig. 26 – confronto tra profilo reale e teorico nella spiaggia sommersa della sezione A

Per la sezione centrale, così come per la successiva, il D_{50} adottato, ed ottenuto con procedimento analogo a quanto visto precedentemente, ha valori pari a 8 mm. Anche per questa sezione (Fig. 27) il profilo calcolato ben si accorda per il primo tratto a pendenza maggiore con differenze massime di 60 centimetri e σ = 30 cm. Analogamente a quanto visto precedentemente il successivo sviluppo risulta invece meno attendibile.

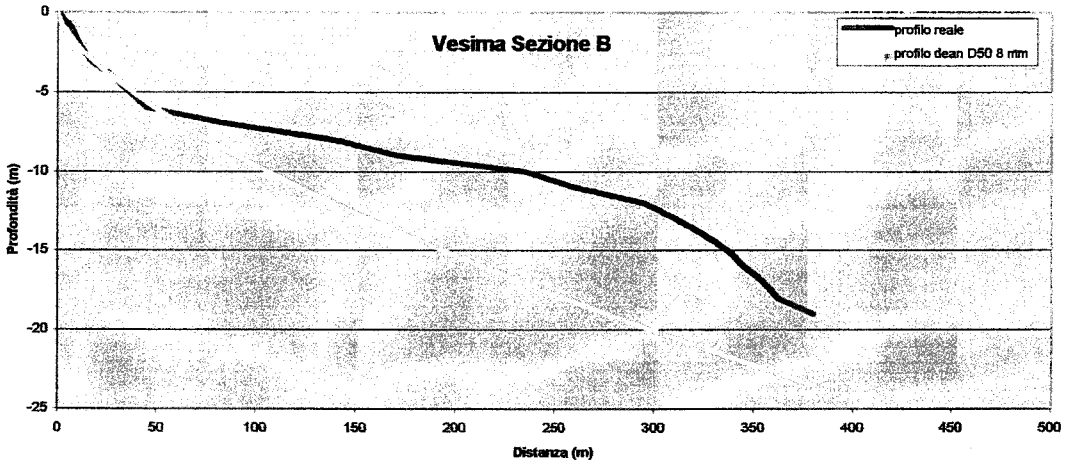


Fig. 27 – confronto tra profilo reale e teorico nella spiaggia sommersa della sezione B

Infine la sezione C (Fig. 28), mostra un'ottima correlazione per tutto il suo sviluppo ed in special modo ancora una volta nel primo tratto a maggiore pendenza. In particolare si segnalano differenze massime di 40 centimetri fino alla profondità di circa 8.5 metri, mentre successivamente i valori aumentano fino a 110 centimetri; per quanto riguarda σ esso è rispettivamente di 20 e 60 centimetri.

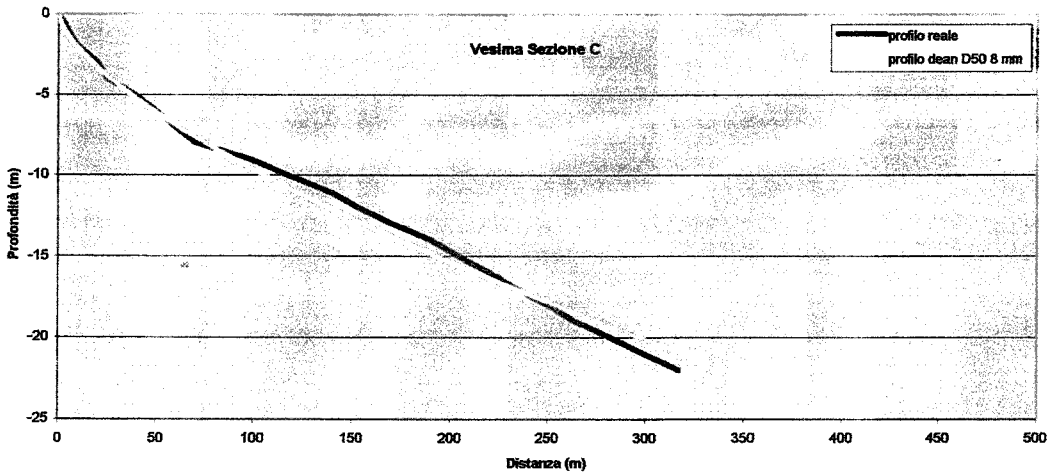


Fig. 28 – confronto tra profilo reale e teorico nella spiaggia sommersa della sezione C

Il profilo C è stato utilizzato anche per il confronto con le risultanze della prova in canale. Le quattro configurazioni sono state simulate adottando però alcuni accorgimenti:

- gli avanzamenti ottenuti sono stati impostati in base alle risultanze della prova fisica;
- il profilo della spiaggia emersa, non elaborabile con questa metodologia, è stato assunto simile a quello determinato dalla prova in canale;
- la configurazione 3 è stata simulata aggiungendo materiale con D50 pari a 36 mm;
- la configurazione 4 è stata simulata immettendo materiale con D50 pari a 51 mm;
- poiché il profilo teorico si sviluppa con andamento esponenziale, la pendenza è stata determinata tra la batimetrica zero e la profondità d'intersezione della curva con il profilo reale.

I risultati ottenuti, riassunti in tabella 1, mostrano anche in questo caso una buona correlazione specie per quanto riguarda sia i volumi in gioco sia le pendenze. Infatti per la configurazione 1 si ottiene una differenza volumetrica di circa 30 m^3 ed una differenza nella pendenza inferiore al 4%. La configurazione 2, che risulta la più attendibile mostra una variazione volumetrica di 2 m^3 e pendenze che si discostano di circa 3.5%. Infine le ultime due configurazioni che presentavano le maggiori imposizioni risultano comunque soddisfacenti, specie la configurazione 3, con differenze volumetriche rispettivamente di 8 e 23 m^3 e di discordanze pari al 2 e 8.5 % per quanto attiene le pendenze.

Profilo teorico Dean					Profilo modello fisico				
D_{50}	Vol.	Avanz.to (imposto)	Pend.za	Prof. d'inter.ne	D_{50}	Vol.	Avanz.to (determinato)	Pend.za	Prof. d'int.ne
mm	m^3/m	m	%	m	mm	m^3/m	m	%	m
D_{50} = 60	108.56	29.00	28.70	4.6	D_{50} = 60	138	29.00	25	4.5
D_{50} = 60	101.93	27.00	30.00	4.2	D_{50} = 60	100	27.00	23.5	4
D_{50} = 60 + 36	145.37	31.00	19.50	6.5	D_{50} = 60 + 30	100 + 38	31.00	17.3	5.2
D_{50} = 51	114.98	32.00	24.50	5.4	D_{50} = 60 + 30	100 + 38	32.00	16.1	5

Tabella 1 – confronto tra il profilo teorico ed il profilo ottenuto con il modello fisico

4.3. Applicazione della metodologia

L'equazione di Dean è stata applicata sulle tre sezioni utilizzate precedentemente, ipotizzando in generale un avanzamento medio di 20 metri. Sono stati attribuiti a partire da un D_{50} pari a 2 mm diametri crescenti. Sulla base dei risultati sono stati successivamente determinate la profondità d'intersezione con il profilo reale e la pendenza media del profilo sommerso (calcolata come in precedenza).

Sezione A

Il profilo naturale relativo alla sezione A presentava le inclinazioni minori e quindi tutti i diametri medi si sono rivelati idonei all'utilizzo. In tabella 2 sono riportati i valori della pendenza e della profondità d'intersezione in relazione con il sedimento utilizzato; si può osservare che con valori pari a 2 mm del D50 si ottiene un valore della pendenza decisamente inferiore rispetto agli altri diametri e profondità d'intersezione elevata, conseguentemente risulterebbe necessario un notevole quantitativo di materiale per il ripascimento. I valori più idonei sono osservabili per i diametri compresi tra 5 e 20 mm dove si osservano pendenze comprese tra 8.6 e 16.9 % con profondità d'intersezione variabili tra 6.4 e 4.9 metri. I diametri superiori registrano incrementi decisamente contenuti e porterebbero dei vantaggi poco apprezzabili specie se messi in relazione con il deciso incremento della granulometrie.

Profilo A			
D_{50} utilizzati	Avanzamento (impostato)	Pendenza	Profondità d'intersezione
mm	m	%	m
D_{50} = 2	20.00	5.60	7.6
D_{50} = 5	20.00	8.60	6.4
D_{50} = 10	20.00	12.20	5.6
D_{50} = 15	20.00	15.10	5.3
D_{50} = 20	20.00	16.90	4.9
D_{50} = 25	20.00	20.00	4.6
D_{50} = 30	20.00	22.00	4.4
D_{50} = 40	20.00	25.60	4.1

Tabella 2 – parametri ottenuti con il profilo teorico applicato nella sezione A

La situazione ora descritta è ben rappresentata graficamente in figura 29, dove si osserva la netta differenza volumetrica tra il profilo relativo al diametro 2 mm con gli altri; è inoltre osservabile lo scarso incremento che si registra nell'evoluzione dei profili con dimensioni maggiori di 20 mm.

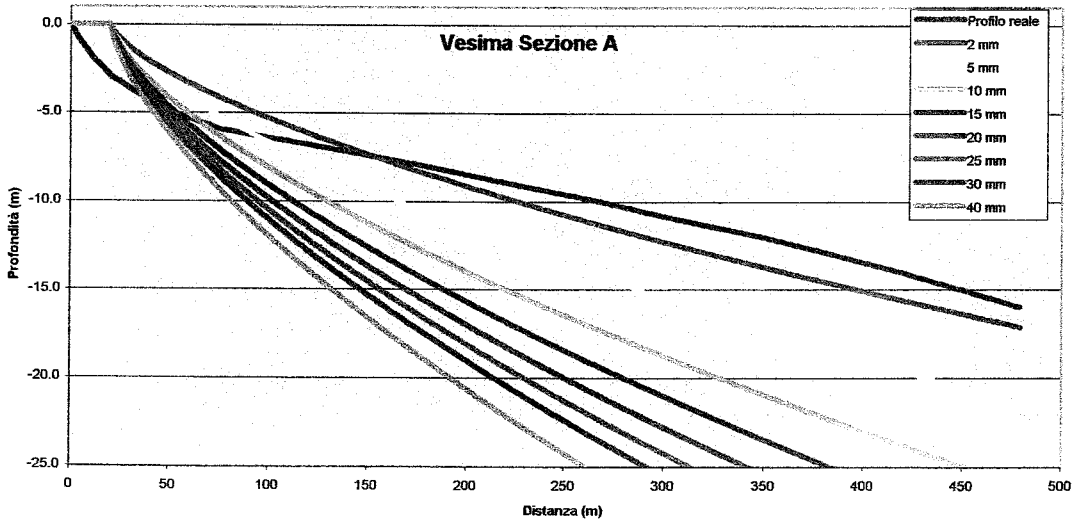


Fig. 29 – Profili d'equilibrio nella sezione A

Sezione B

La sezione B mostra un profilo leggermente più acclive del precedente, tuttavia pure in questo caso tutti i diametri medi prodotti si sono dimostrati compatibili anche se prossimi al limite nel caso delle tessiture minori. Risulta infatti evidente in tabella 3 la debole pendenza e la conseguente notevole profondità d'intersezione che si registrano con sedimenti di 2 mm. Anche in questo caso le granulometrie migliori sembrano essere comprese tra i 5 – 20 mm; con diametri maggiori i miglioramenti non sembrano apprezzabili.

Profilo A			
D_{50} utilizzati	Avanzamento (impostato)	Pendenza	Profondità d'intersezione
mm	m	%	m
D_{50} = 2	20.00	5.60	7.6
D_{50} = 5	20.00	8.60	6.4
D_{50} = 10	20.00	12.20	5.6
D_{50} = 15	20.00	15.10	5.3
D_{50} = 20	20.00	16.90	4.9
D_{50} = 25	20.00	20.00	4.6
D_{50} = 30	20.00	22.00	4.4
D_{50} = 40	20.00	25.60	4.1

Tabella 2 – parametri ottenuti con il profilo teorico applicato nella sezione A

La situazione ora descritta è ben rappresentata graficamente in figura 29, dove si osserva la netta differenza volumetrica tra il profilo relativo al diametro 2 mm con gli altri; è inoltre osservabile lo scarso incremento che si registra nell'evoluzione dei profili con dimensioni maggiori di 20 mm.

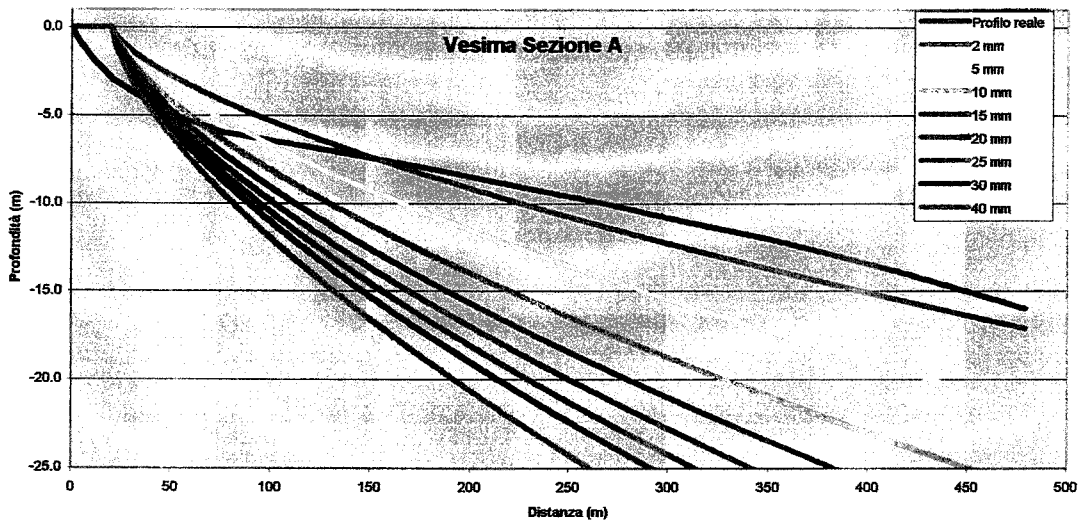


Fig. 29 – Profili d'equilibrio nella sezione A

Sezione B

La sezione B mostra un profilo leggermente più acclive del precedente, tuttavia pure in questo caso tutti i diametri medi prodotti si sono dimostrati compatibili anche se prossimi al limite nel caso delle tessiture minori. Risulta infatti evidente in tabella 3 la debole pendenza e la conseguente notevole profondità d'intersezione che si registrano con sedimenti di 2 mm. Anche in questo caso le granulometrie migliori sembrano essere comprese tra i 5 – 20 mm; con diametri maggiori i miglioramenti non sembrano apprezzabili.

Profilo B			
D_{50} utilizzati	Avanzamento (impostato)	Pendenza	Profondità d'intersezione
mm	m	%	m
D_{50} = 2	20.00	4.90	9.8
D_{50} = 5	20.00	7.80	7.6
D_{50} = 10	20.00	10.90	7.0
D_{50} = 15	20.00	13.40	6.7
D_{50} = 20	20.00	15.20	6.4
D_{50} = 25	20.00	16.80	6.4
D_{50} = 30	20.00	18.50	6.3
D_{50} = 40	20.00	21.00	6.1

Tabella 3 – parametri ottenuti con il profilo teorico applicato nella sezione B

La soluzione grafica proposta (Fig. 30) mostra appunto la situazione appena descritta. In particolare non si può escludere per il profilo con D_{50} = 2mm la perdita di sedimenti verso il largo anche a causa del cambio di pendenza del profilo a partire dalla batimetria dei 12 metri. I profili dei diametri 25, 30 e 40 mm confermano quanto detto precedentemente mostrando una sostanziale uniformità.

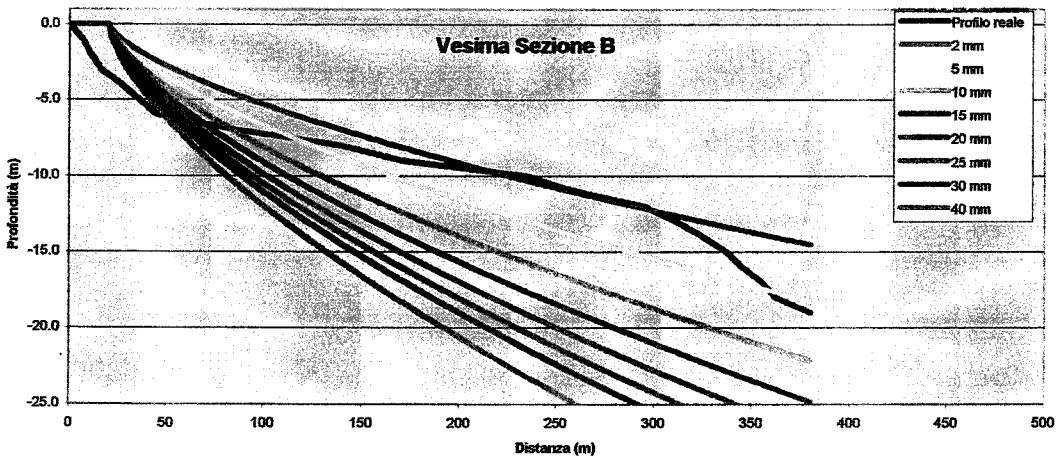


Fig. 30 – Profili d'equilibrio nella sezione B

Sezione C

Questo profilo, utilizzato anche per la taratura della metodologia, è quello che presenta le caratteristiche più critiche per la stabilità del materiale versato. Infatti come si evince dalla tabella 4 risultano non utilizzabili materiali con diametri inferiori ai 10 mm. Gli stessi profili determinati con i diametri 10 e 15 mm pur con pendenze simili alle sezioni precedenti, presentano una profondità di intersezione superiore ai 9 metri. Quindi lungo questa sezione le granulometrie che risultano più soddisfacenti sono quelle comprese tra i 10 ed i 40 mm senza escludere anche diametri maggiori.

Sezione C			
D_{50} utilizzati	Avanzamento (impostato)	Pendenza	Profondità d'intersezione
mm	m	%	m (negativo)
$D_{50} = 2$	20.00	N.D.	N.D.
$D_{50} = 5$	20.00	N.D.	N.D.
$D_{50} = 10$	20.00	10.60	9.8
$D_{50} = 15$	20.00	11.30	9.3
$D_{50} = 20$	20.00	13.20	8.6
$D_{50} = 25$	20.00	14.80	8.3
$D_{50} = 30$	20.00	16.70	7.7
$D_{50} = 40$	20.00	21.90	5.7

Tabella 4 – parametri ottenuti con il profilo teorico applicato nella sezione C

La rappresentazione grafica (Fig. 31) conferma quanto emerso dalla discussione dei parametri, evidenziando una sostanziale differenza tra i profili con diametro medio 10 e 15 mm ed i successivi; inoltre non si può escludere per questi una dispersione del materiale verso il largo a causa della notevole acclività della spiaggia sommersa.

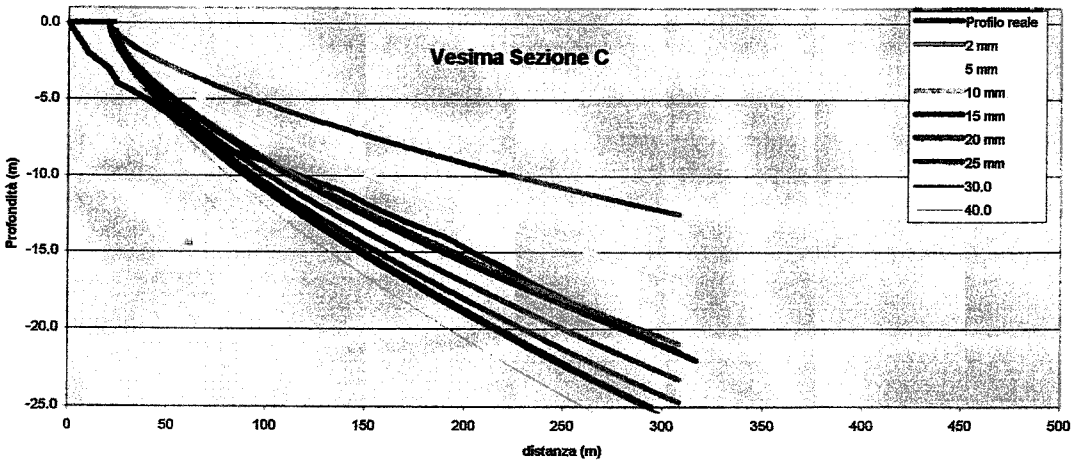


Fig. 31 – Profili d'equilibrio nella sezione C

4.4. Considerazioni finali

Un primo quadro di sintesi dello studio dei profili d'equilibrio è così schematizzabile:

- l'applicazione della metodologia proposta da Dean sembra fornire risultati coerenti se confrontati con l'attuale situazione e con i risultati della prova fisica;
- l'applicazione di quest'ultima, su tre profili tipo del tratto di litorale oggetto di studio, dimostra la stabilità di granulometrie decisamente inferiori a quelle utilizzate durante la prova fisica;
- I risultati indicano un'aumento della criticità del profilo procedendo verso oriente, confermando quanto emerso dagli studi propedeutici;
- nel tratto occidentale risultano efficaci granulometrie comprese tra 2 e 20 mm mentre ad oriente risultano stabili sedimenti con diametri maggiori di 10 mm;
- questo si traduce nella necessità d'intervenire con granulometrie più rilevanti nel settore orientale (indicativamente D_{50} compresi tra 40 e 60 mm), almeno nella prima fase dei lavori, allo scopo di operare un rapido miglioramento del profilo bagnato;
- successivamente potrà essere utilizzato sedimento caratterizzato da D_{50} compresi tra 5 e 20 mm, senza escludere la presenza di tessiture inferiori che andranno comunque ad alimentare i settori più distali della spiaggia sommersa.

4.5. Determinazione del fuso granulometrico

Gli studi effettuati nei paragrafi precedenti sono sempre riferiti a diametri medi, cioè esprimono un valore medio riferito ad una ideale curva granulometrica. Nella realtà risulta impossibile individuare sedimento con tali caratteristiche tessiturali. Conseguentemente si è preferito ricercare tra le analisi dimensionali effettuate sui campioni prelevati in quest'area due curve granulometriche che determinassero un fuso granulometrico soddisfacente i requisiti visti precedentemente, ovvero con D_{50} compresi tra 5 e 20 mm idonei al ripascimento finale.
I campioni individuati, entrambi di battigia, sono rispettivamente il prelievo B51 ubicato in prossimità di scoglio Nave ed il B15 situato nei pressi dello scoglio dell'Aguglia. Il primo presenta valori del D_{50} pari a 4.5 mm mentre il secondo mostra un granulo medio di 24.7 mmm; la classazione è invece compresa tra 0.4 e 0.7 cioè corrispondente ad un sedimento discretamente classato. In figura 32 è rappresentato il fuso granulometrico definito da essi ed a cui bisognerà fare riferimento nella determinazione delle caratteristiche tessiturali del materiale da ripascimento utile al secondo intervento.

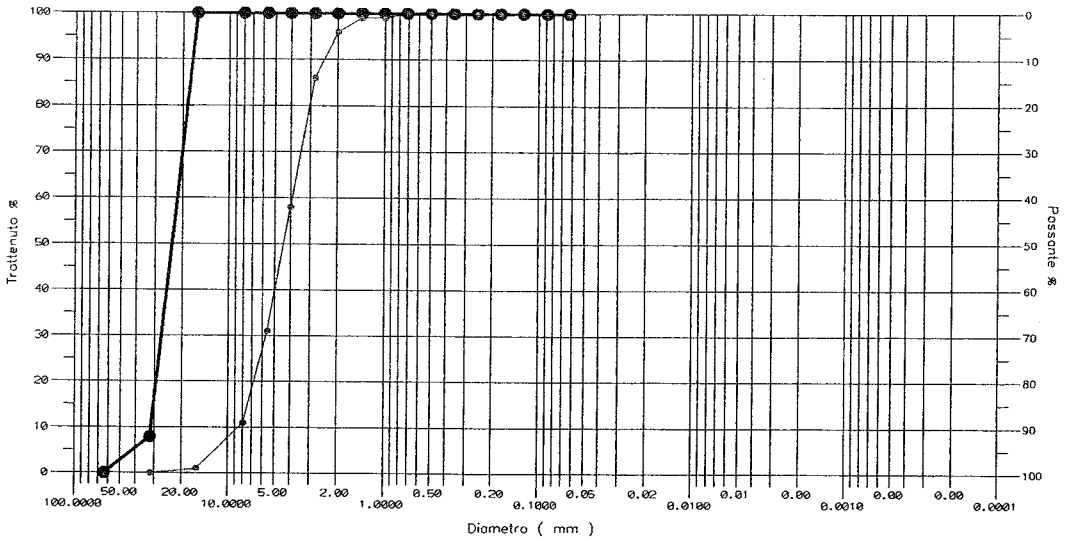


Fig. 32 – Fuso granulometrico determinato

4.6. Stima dei volumi necessari

La determinazione dei profili d'equilibrio, oltre a determinare le caratteristiche tessiturali del sedimento idoneo al ripascimento permette di effettuare anche una stima volumetrica del materiale necessario al ripascimento. A tale scopo verranno forniti in allegato i profili calcolati secondo la metodologia di Dean relativi ai diametri 5 – 40 mm. La loro applicazione lungo tutto il settore d'indagine permetterà di quantificare il materiale necessario per quanto attiene la spiaggia sommersa. Ovviamente a questo dovrà essere sommato il materiale necessario per la spiaggia emersa in relazione all'estensione che dovrà essere raggiunta in ogni tratto.

Prof. Giuliano Fierro

Genova, 29.07.2003

6. BIBLIOGRAFIA

Bruun, P. (1954) - "Coastal erosion and development of beach profiles." *U.S. Army Beach Erosion Board Tech. Memo. No. 44*, Beach Erosion Board, U.S. Army Corps of Engrs., Washington, D.C.

G.C. Cortemiglia: I fattori dinamici dell'erosione sulla spiaggia di Cavi di Lavagna (Liguria orientale). "Atti del Convegno nazionale per la difesa del litorale di Chiavari Lavagna e Sestri Levante dall' erosione marina: Cavi di Lavagna 18-19 maggio 1979" Progetto Finalizzato Conservazione del suolo, C.N.R., Litocoop, Tortona pp. 103-116.

Dean, R.G. (1976) - Beach Erosion: Causes, processes and Remedial Measures. CRC Critical Review of Envir. Control 6 (3): 259-296.

Dean, R.G. (1977) - "Equilibrium beach profiles: U.S. Atlantic and Gulf Coasts." Oc. Engrg. Rep. No. 12, Dept of Civ. Engrg, Univ. Of Delaware, Newark, Del..

Dean, R.G. (1987) - Coastal Sediment Processes: Characteristics and Application. Journal of Coastal Reserch 7: 53-84.

Folk, R.L. e Ward, W.C. (1957) – brazos river bar: a study in the significance of the grain size parameters. J. Sed. Petrol. , 27: 3 – 28.

Gao S., Collins M. (1992) – Net sediment transport patterns inferred from grain – size trends, based upon definition of "transport vectors". Sedim. Geol., 81: 47 – 60.
Kriebel, D.L., Kraus N.C. and Larson M. (1991) - Engineering methods for predicting beach profile response. Amer.Soc.Civil Eng. Coastal Sediments '91, Seattle, WA Vol. 1, pp. 557-571.

Pilkei, O.H., Young, R.S., Riggs, S.R. Smith, A.W., Wu. H.and Pilkei, W.D. (1993). The concept of shoreface profile of equilibrium: A critical review. J. Coastal Res., 9:255-278.

Work, P.A. and Dean R.G. (1991) Effect of Varying Sediment Size on Equilibrium Beach Profiles. Coastal Sediments '91, Amer. Soc. Civil Eng., pp.890-904.

Zeidler, R., (1982). Profile of equilibrium. In: M.L. Schwartz (Editor). The Encyclopedia of Beaches and Coastal Environments. Hutchinson Ross, Stroudsburg, pp. 660-661.