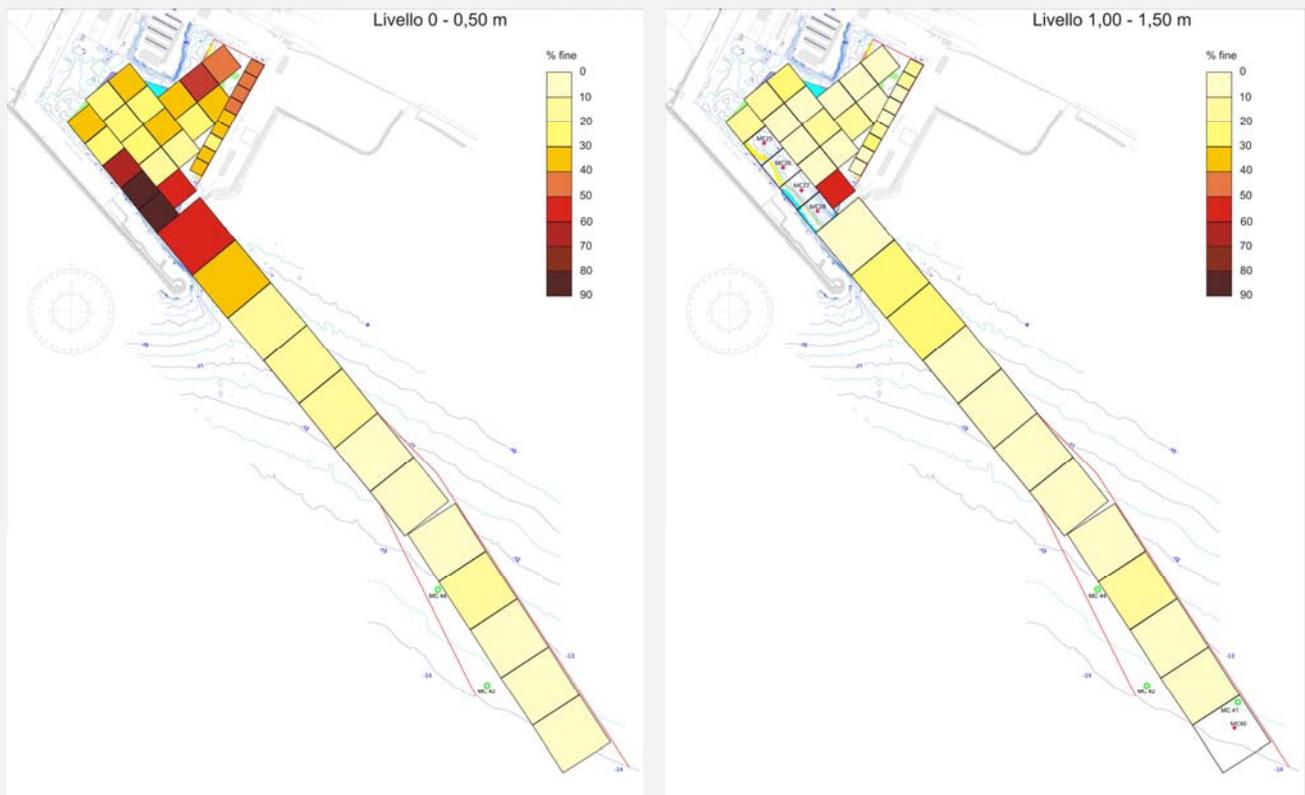


Autorità Portuale Marina di Carrara
Dipartimento di Scienze della Terra
Dell'Università di Firenze

Valutazione della compatibilità sedimentologica fra i materiali da dragare e quelli presenti nell'area di ripascimento ed il monitoraggio del litorale di Marina di Massa a seguito del ripascimento per la valutazione dell'efficacia dell'intervento



Rapporto di progresso n. 2

Maggio 2015

In sintesi

- Il dragaggio del porto e del canale di accesso renderà disponibili circa 1.900.000 m³ di sedimenti, di cui circa 1.700.000 m³ di sabbia.
- Questi sedimenti fanno parte dello stock sedimentario della sottocella litoranea Bocca di Magra – Marina di Pietrasanta e dovrebbero rimanere in questa area per non acuire i processi erosivi in atto.
- Questa sabbia ha caratteristiche granulometriche simili, e in certi casi migliori, di quelle dei sedimenti presenti sulla spiaggia sommersa nella zone prevista per il versamento.
- Questo versamento determinerà un innalzamento dei fondali e quindi una maggiore dissipazione dell'energia delle onde, con effetto di riduzione dell'energia in arrivo sulla costa e conseguente riduzione dei processi erosivi.
- Parte dei sedimenti versati si muoverà verso riva e la componente più grossolana potrebbe depositarsi anche sulla spiaggia emersa, favorendone la stabilità.
- Le sabbie più fini sono stabili solo sulla spiaggia sommersa ma potrebbero in parte depositarsi anche vicino a riva e sulla spiaggia emersa nei tratti del litorale meno esposti, contribuendo ad una sua espansione a spese però delle dimensioni medie dei sedimenti.
- La componente siltosa ed argillosa verrà in parte persa nelle fasi di versamento e successivamente, in modo graduale, con il processo di selezione operato dal moto ondoso, determinando occasionali fenomeni di intorbidamento delle acque costiere.
- Le sabbie versate si muoveranno anche lungo riva, ed in prevalenza verso sud, tanto che le ricadute positive dell'intervento interesseranno un tratto di litorale assai più esteso di quello inizialmente coinvolto.
- Il monitoraggio morfologico e sedimentologico di un tratto di costa lungo 7 km consentirà di verificare le previsioni ed eventualmente di definire nuovi criteri di ripascimento per eventuali interventi di dragaggio che si dovessero effettuare in futuro.

1. Premessa

Il presente Rapporto di Progresso è redatto nell'ambito della convenzione in atto fra l'Autorità Portuale Marina di Carrara e il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Firenze per la "Valutazione della compatibilità sedimentologica fra i materiali da dragare e quelli presenti nell'area di ripascimento ed il monitoraggio del litorale di Marina di Massa a seguito del ripascimento per la valutazione dell'efficacia dell'intervento".

La convenzione prevede che in una prima fase venga valutata la compatibilità sedimentologica dei sedimenti da dragare con quelli *in situ* nella zona di ripascimento e vengano indicate le posizioni in cui prelevare campioni durante le successive fasi del monitoraggio; cosa quest'ultima fatta nel precedente rapporto in cui si definivano i protocolli di raccolta ed analisi dei dati per la fase di impostazione del progetto di dragaggio/ripascimento.

I dati su cui basare la valutazione sono stati forniti dall'Autorità Portuale e prodotti dal Laboratorio di Sedimentologia e Geologia marina dell'Università di Genova, per quanto riguarda i sedimenti da dragare, e dalla Geocoste s.n.c. di Firenze, per quanto riguarda i sedimenti presenti nell'area identificata in via preliminare per il ripascimento dei fondali.

Lo studio consiste in una descrizione dei materiali presenti nelle due zone e nella valutazione della stabilità di quelli da dragare nell'ipotesi di un loro collocamento sulla spiaggia sommersa nel tratto di mare posto a sud del porto e del canale di accesso. A ciò si aggiunge la determinazione del colore dei sedimenti nativi e di quelli da dragare, nonché la valutazione della loro compatibilità colorimetrica.

Una particolare attenzione è stata posta nell'analisi della frequenza della frazione fine (<63 μm ; limi e argille) nei materiali da dragare; ciò, alla luce sia dello stesso valore nei sedimenti nativi, sia dell'immissione di tali materiali da parte dei corsi d'acqua che sfociano nel paraggio.

Viene inoltre analizzata la distribuzione granulometrica di questi materiali nel range 4 phi ÷ 10 phi, che potrà essere di interesse per le valutazioni dell'impatto del ripascimento sull'ambiente marino.

2. I sedimenti da dragare

I sedimenti da dragare nel bacino portuale e nel canale di accesso sono stati caratterizzati sulla base di campioni prelevati ogni 50 cm da carote estratte secondo la maglia rappresentata in Figura 2.1. In aderenza alla Banchina Fiorillo la maglia è di 50mx50m (Carote MC1 ÷ MC9), in tutta la rimanente parte del bacino portuale la maglia è di 100mx100m (Carote MC10 ÷ MC28), mentre nel canale di accesso essa è di 200mx200m (Carote MC29 ÷ MC40). A queste sono state aggiunte altre carote per una più accurata descrizione dei materiali presenti in corrispondenza del canale di accesso (Carote MC41 ÷ MC51).

I campioni che descrivono i sedimenti del porto sono stati analizzati con setacciatura meccanica a secco, con intervallo di $\frac{1}{2}$ phi, previa asportazione e quantificazione della frazione fine ($< 63 \mu\text{m} = 4 \text{ phi}$). Quando questa superava il 15%, essa è stata analizzata con un sedigrafo in modo da avere una chiara conoscenza delle percentuali specifiche di ciascuna classe granulometrica fino ad 10 phi ($1 \mu\text{m}$).

Nei campioni prelevati la percentuale di frazione fine varia dal 5,41% del campione 50G all'80,53% del campione 27Fondo. In genere i valori più alti si ritrovano all'interno dell'area portuale, ma essi si riferiscono quasi sempre al solo strato superficiale, mostrando una notevole variabilità verticale con i campioni dei livelli sottostanti, che hanno spesso percentuali di frazione fine inferiori al 10% (Figg. 2.1 – 2.7).

Facendo la media pesata per l'area di riferimento di ciascun campione, compresi quelli di "fondo scavo", si ottiene una percentuale di frazione fine pari al 14,36%.

I dati ottenuti dal sedigrafo indicano comunque che in molti campioni un'apprezzabile parte della frazione fine ha dimensioni superiori a $16 \mu\text{m}$ (6 phi; Figg. 2.8, 2.9), il che determina un comportamento idrodinamico ben di verso da quello che hanno le particelle ancora più fini ed è prevedibile che una buona parte di questi vada ad incrementare lo stock sedimentario della zona di versamento. Vedremo infatti che i limi costituiscono una quota importante dei sedimenti della spiaggia attiva. A questo proposito si deve tenere conto del fatto che il Fiume Magra, secondo uno studio fatto da Delf Hydraulics (2006) per conto del Ministero dell'Ambiente, ha un trasporto solido di circa $500.000 \text{ m}^3/\text{anno}$, di cui il 75 - 90% di materiale in sospensione, ossia di elementi a granulometria fine ($< 63 \mu\text{m}$). A questi devono aggiungersi quelli portati dal T. Carrione e dal F. Frigido. Dato il regime idrologico di questi corsi d'acqua, le portate sono concentrate in pochissimi giorni all'anno, cosa che spiega la torbidità delle acqua che si osserva nel paraggio, in particolare nella stagione autunnale ed invernale.

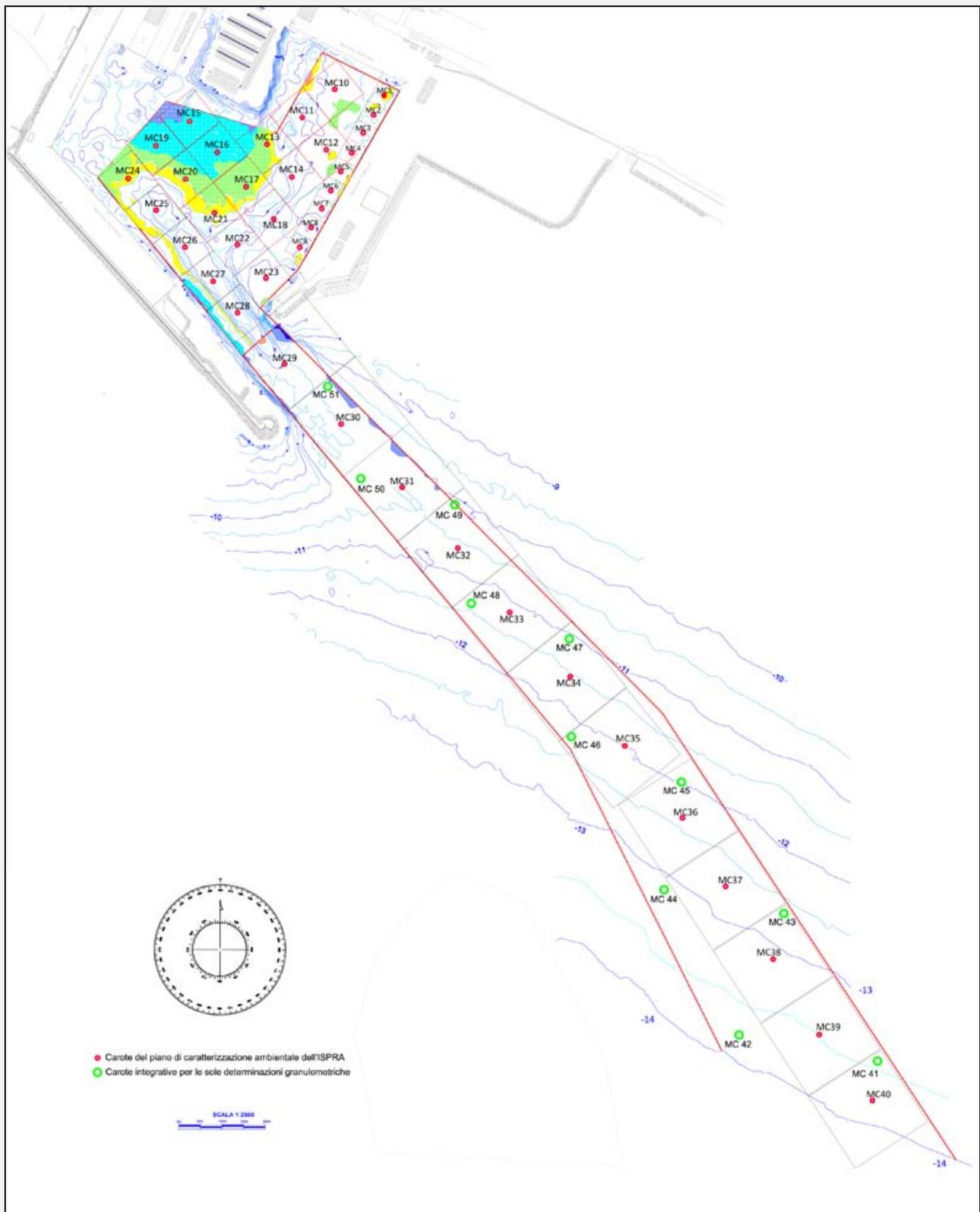
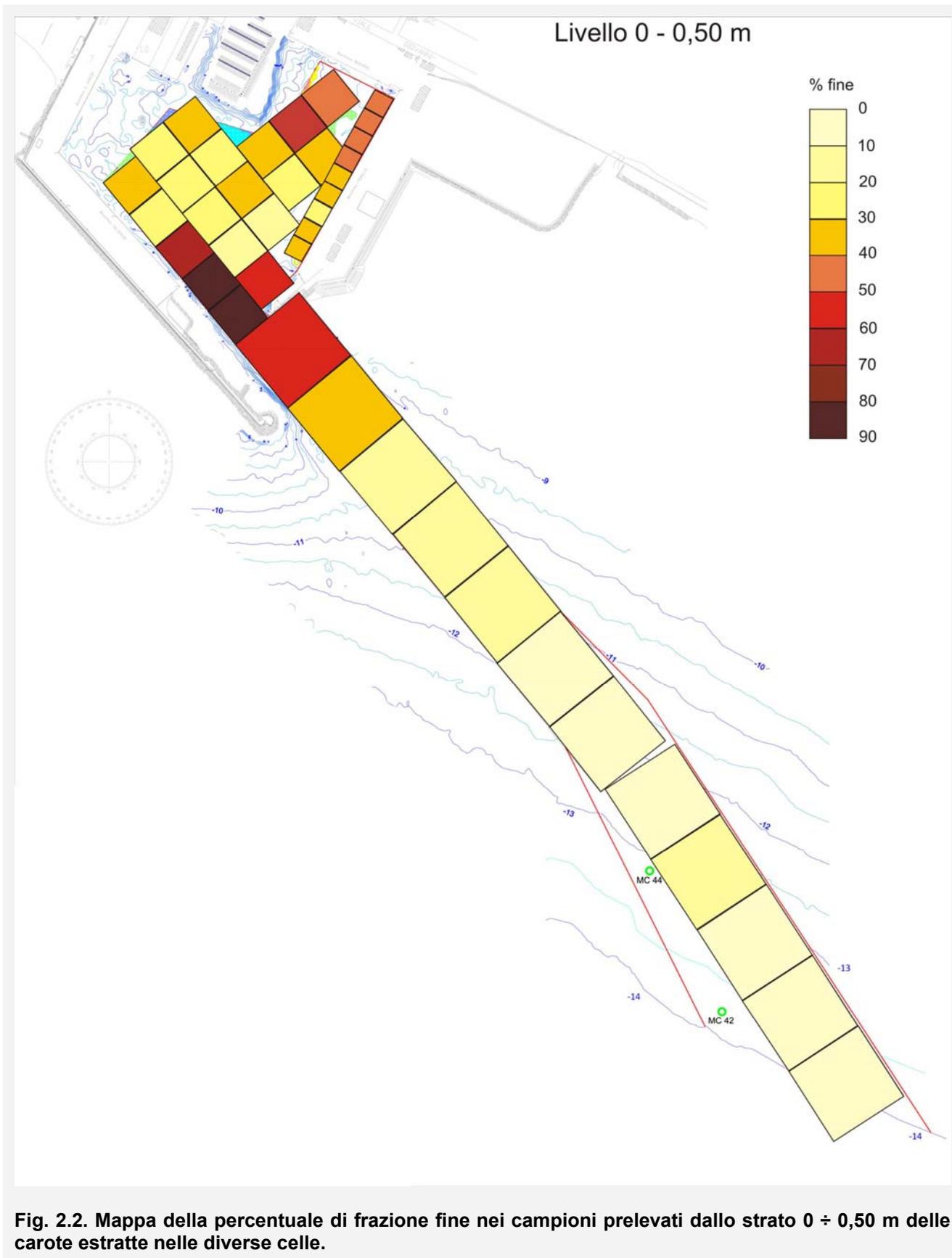


Fig. 2.1. Posizione delle carote nel piano di caratterizzazione dei sedimenti da dragare (Batimetria: Geocoste s.n.c.; Piano di caratterizzazione: ISPRA).



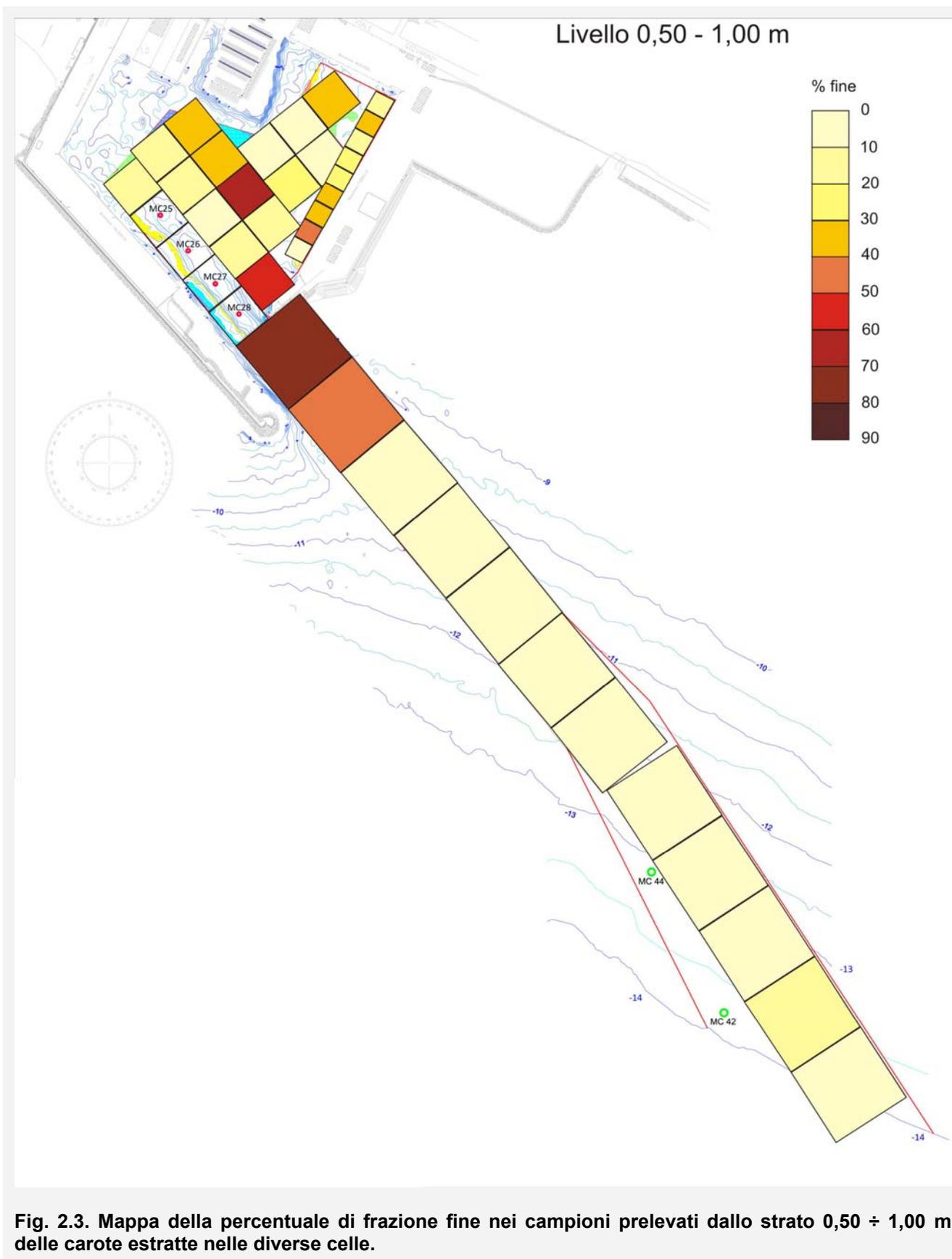




Fig. 2.4 Mappa della percentuale di frazione fine nei campioni prelevati dallo strato 1,00 ÷ 1,50 m delle carote estratte nelle diverse celle.

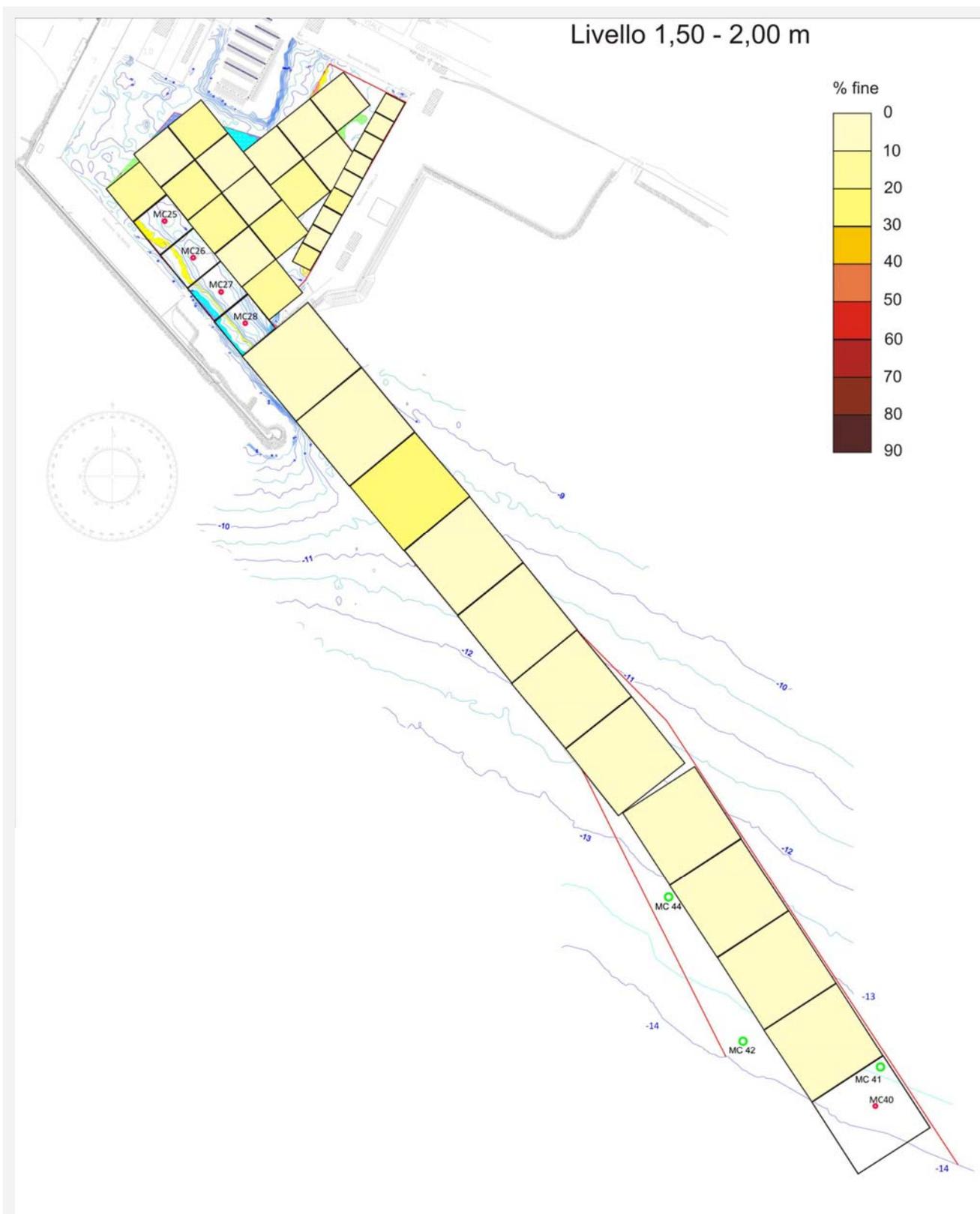


Fig. 2.5. Mappa della percentuale di frazione fine nei campioni prelevati dallo strato 1,50 ÷ 2,00 m delle carote estratte nelle diverse celle.

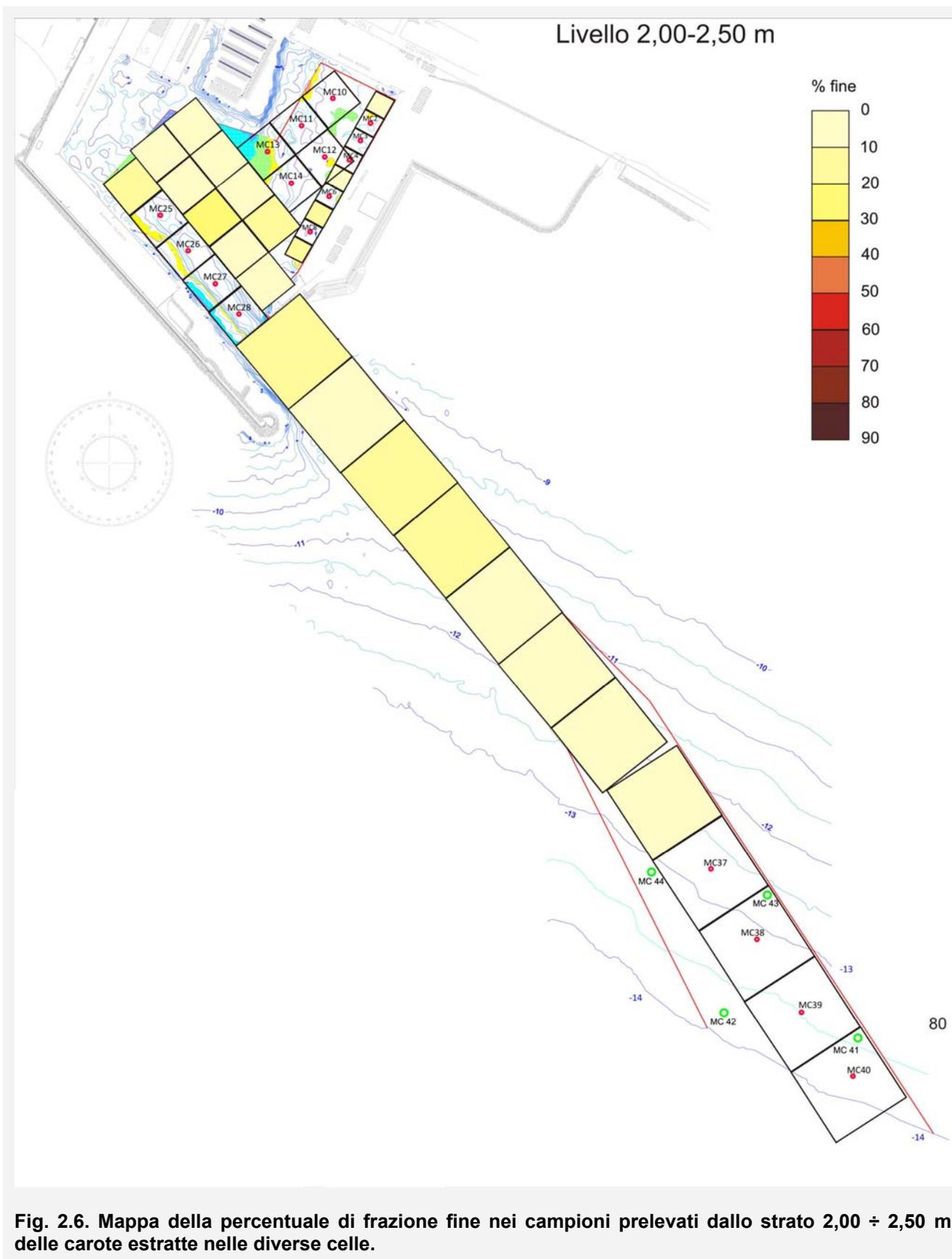


Fig. 2.6. Mappa della percentuale di frazione fine nei campioni prelevati dallo strato 2,00 ÷ 2,50 m delle carote estratte nelle diverse celle.

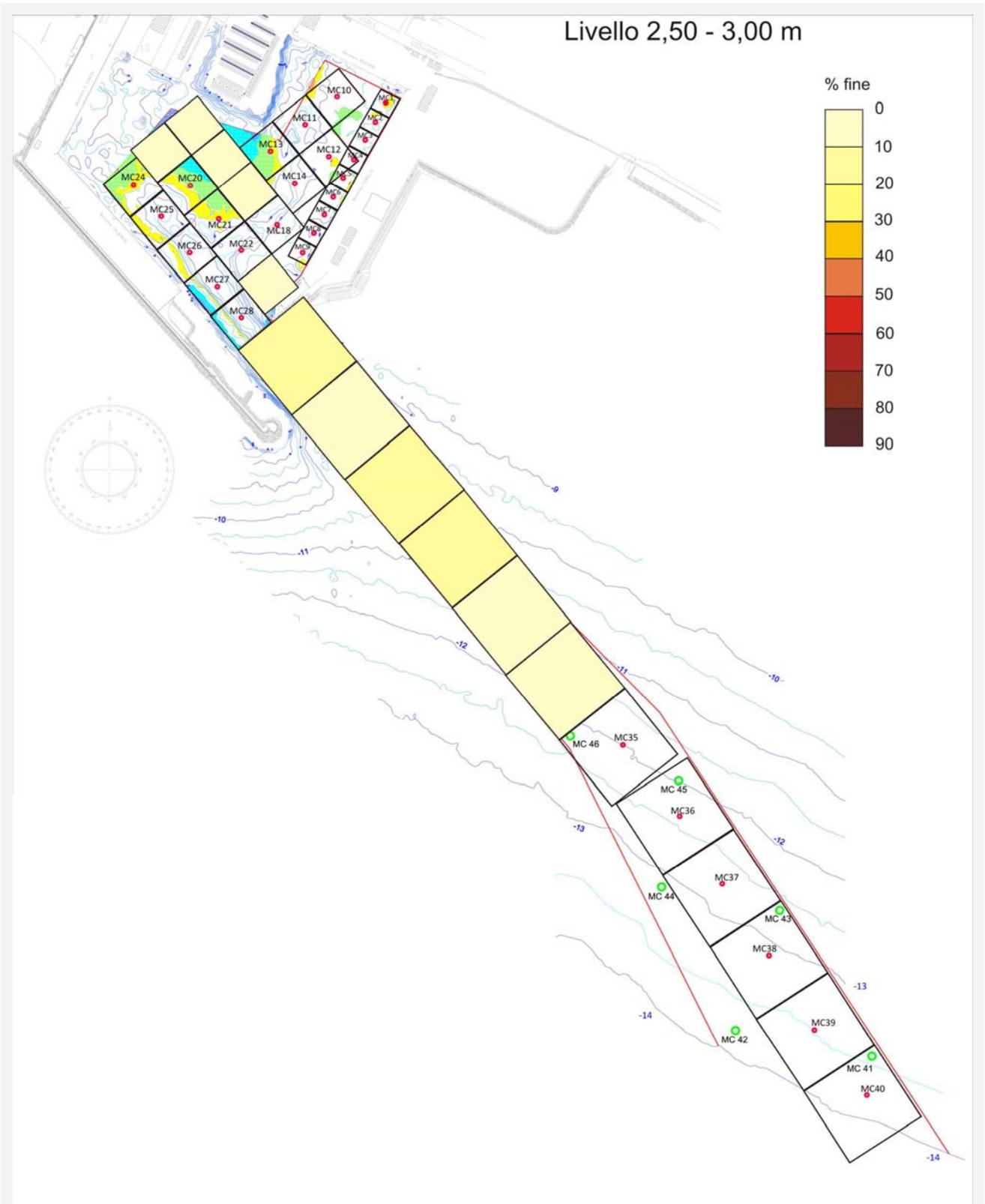


Fig. 2.7. Mappa della percentuale di frazione fine nei campioni prelevati dallo strato 2,50 ÷ 3,00 m delle carote estratte nelle diverse celle.

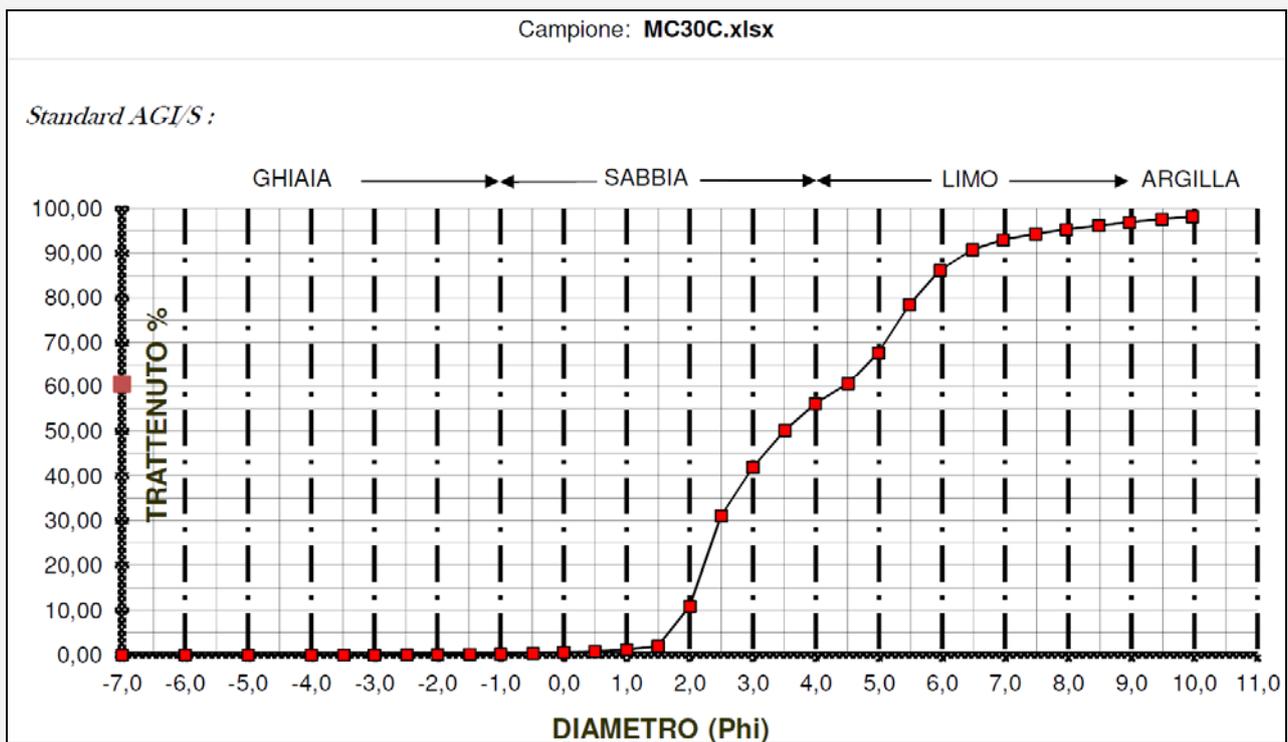
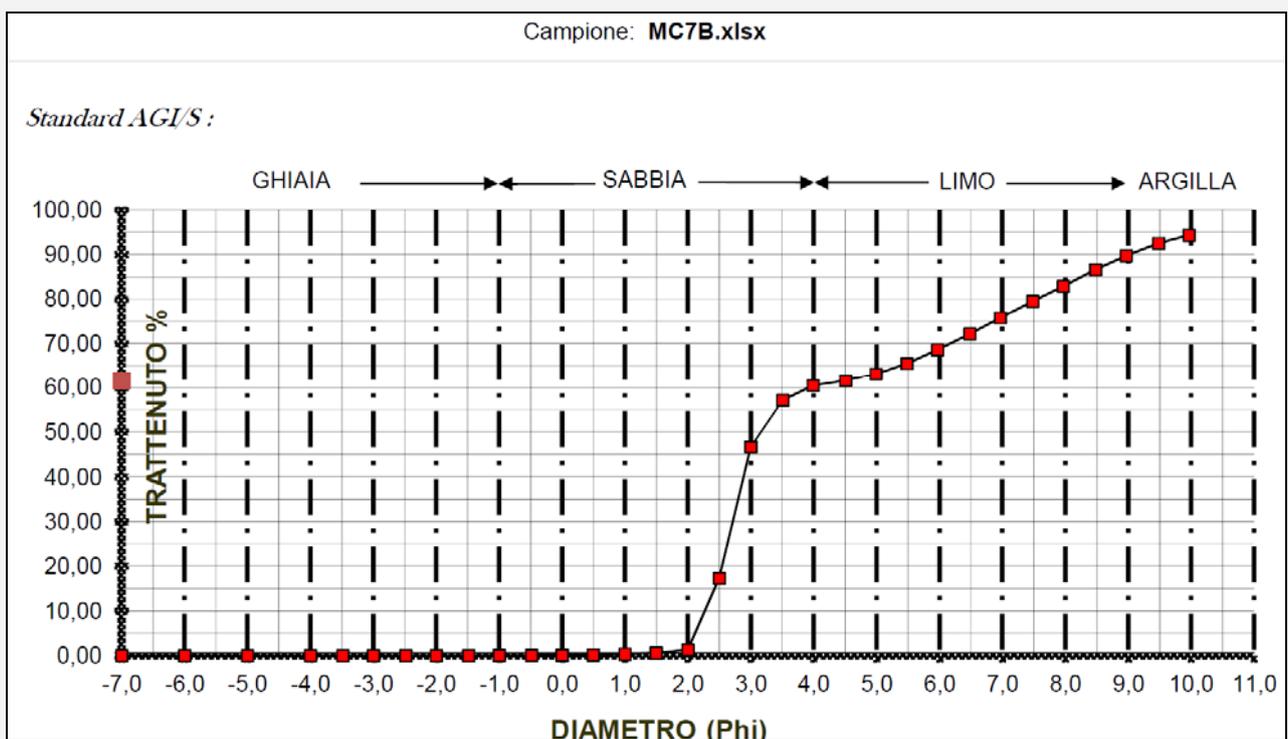


Fig. 2.8. Differente distribuzione granulometrica nella "coda" fine in due campioni con simile percentuale di tale frazione. In MC7B la frazione fine costituisce il 40%, ma oltre il 28% di questa ha dimensioni inferiori a 6 phi. Nel campione MC30C, dove la frazione fine è leggermente più frequente (44%) quella con dimensioni inferiori a 6 phi è solo del 14%.

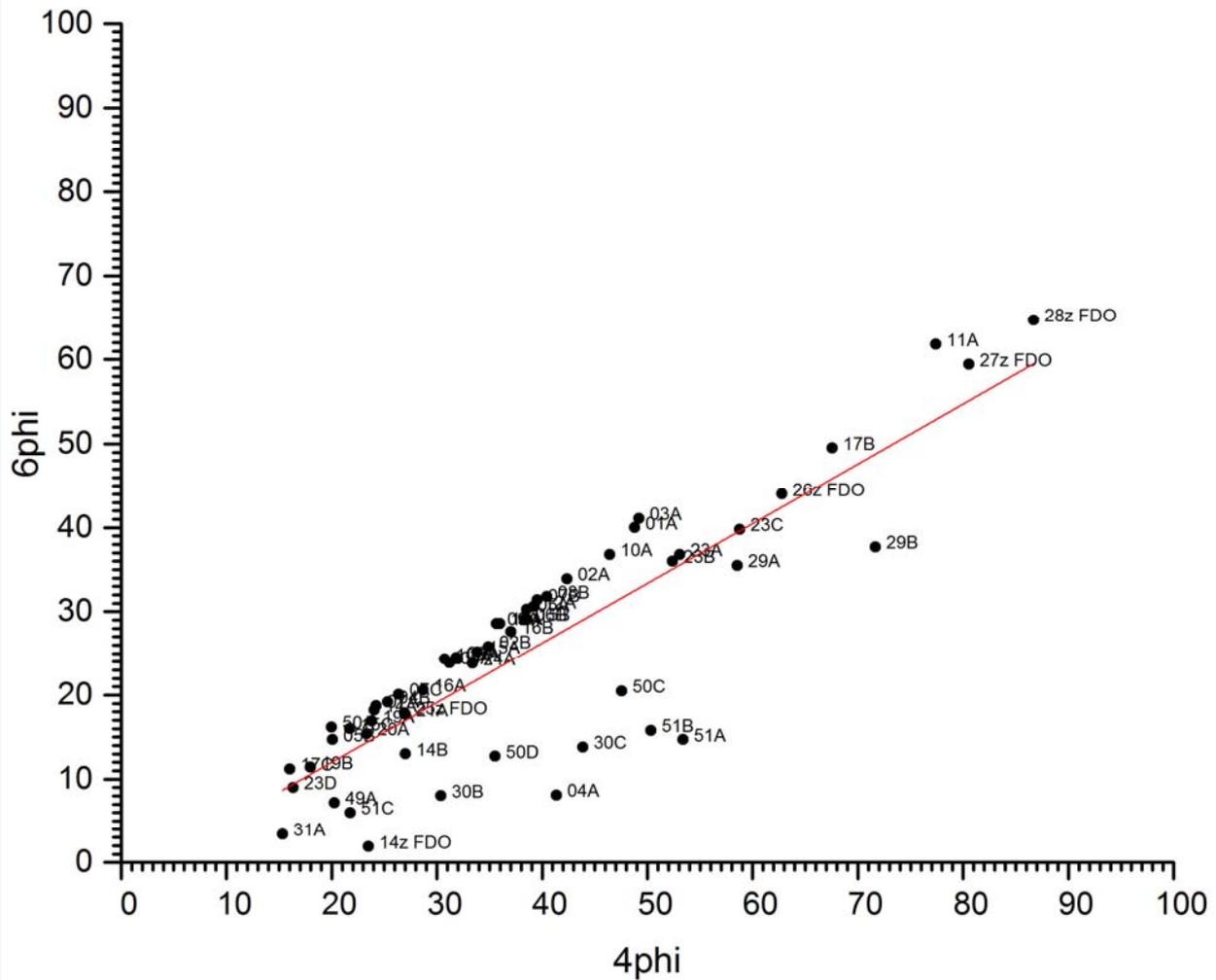


Fig. 2.9. Confronto fra la percentuale di frazione fine (<63 μm ; 4 phi) e quella di dimensioni inferiori a 6 phi per i sedimenti analizzati nell'area di dragaggio. Si nota come in molti campioni la percentuale di granuli di dimensioni inferiori a 6 phi sia decisamente minore di quella attesa in base alla correlazione generale 4 phi vs 6 phi-

2.1 Area portuale

I sedimenti presenti nell'area portuale (celle n. 1 ÷ 28) e nella parte iniziale del canale di accesso (celle n. 29 ÷ 31) vengono qui descritti insieme, dato che presentano caratteristiche granulometriche simili.

Il composito ottenuto con la media ponderata riferita all'area di ciascuna cella dei vari campioni è descrivibile come costituito da sabbia fine siltosa, con la mediana a 3,0 phi e una percentuale di frazione fine pari al 19,09%. Il valore della mediana coincide con quello mostrato dai sedimenti nativi del sito di ripascimento, ma la percentuale di frazione fine è significativamente superiore.

Inoltre, i sedimenti mostrano una notevole variabilità verticale e laterale, con campioni che hanno classe modale a 2,5 phi e percentuale di frazione fine al 7% ed altri per i quali la percentuale di frazione fine è superiore all'80% e la classe modale va ricercata nel campo del limo. La gran parte dei sedimenti presenti in questa zona è decisamente valida per l'alimentazione della nearshore, mentre altri darebbero un contributo marginale all'innalzamento dei fondali, dato che parte della frazione fine rimarrebbe in sospensione e verrebbe distribuita su di un areale decisamente maggiore.

Talvolta si tratta di singoli livelli in carote che mediamente rappresentano sedimenti idonei, in altri casi più livelli non idonei hanno una limitata continuità laterale e l'eventuale miscelazione con lo stesso livello in aree adiacenti potrebbe generare un campione "mediamente" migliore.

Alcune celle ospitano sedimenti con un'elevata percentuale di frazione fine, che darebbero un contributo modestissimo all'incremento dello stock sedimentario del litorale, come ad esempio le n. 26, 27 e 28, dove comunque l'approfondimento del canale non sembra necessario.

La componente fine mostra distribuzioni diverse; in alcuni (es. MC28Fondo) la curva cumulativa ha una crescita regolare fra i 5,0 e gli 8,0 phi, in altri (es. MC30C) questa crescita avviene fra i 4,0 e i 6,0 phi, ossia in classi granulometriche per le quali la velocità di sedimentazione è ancora rilevante (Fig. 2.10).

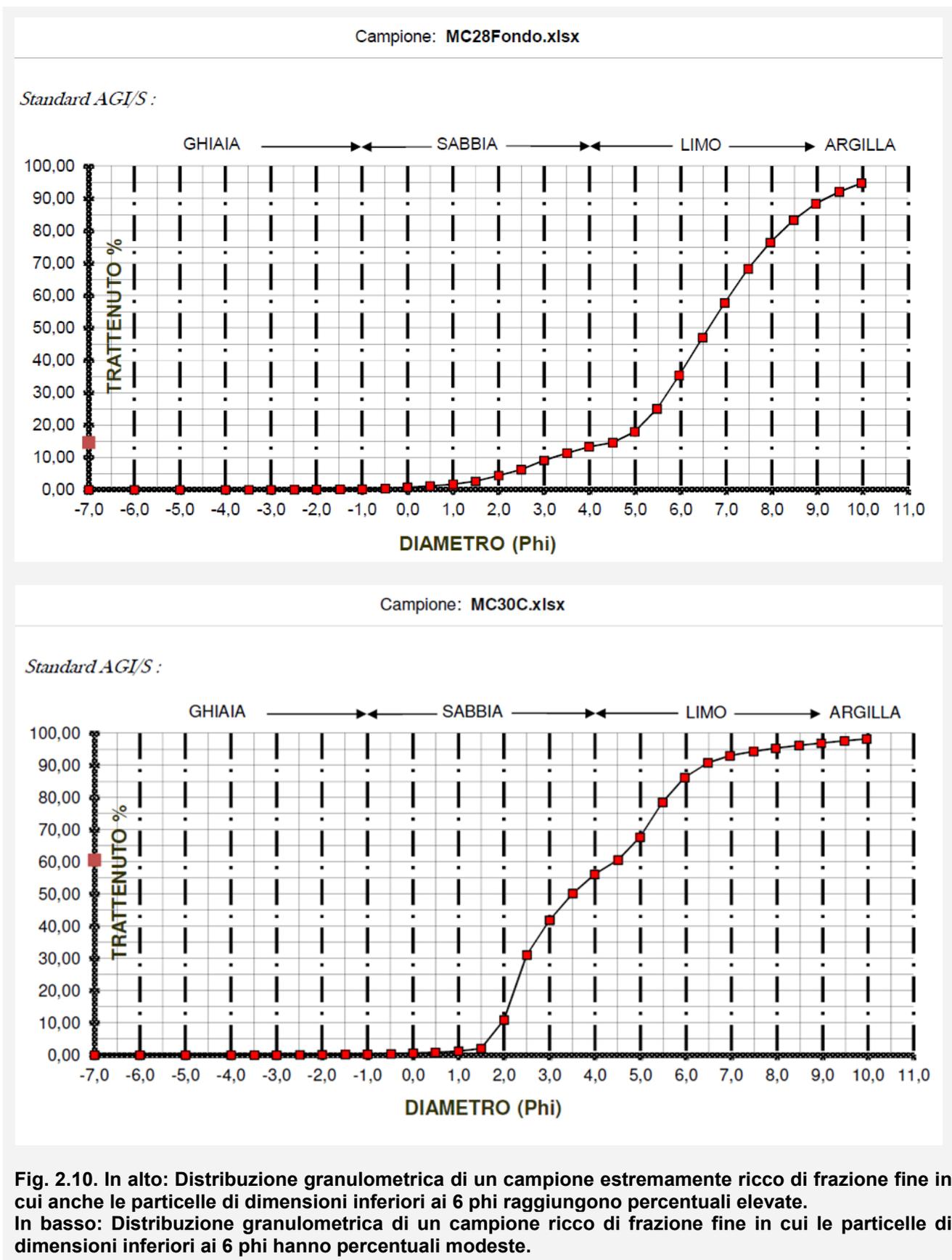
Come abbiamo detto, i sedimenti presenti all'imboccatura e nel tratto iniziale del canale di accesso hanno caratteristiche più simili a quelle dei materiali del porto, con quantità di frazione fine che arrivano al 71,65%.

Nel caso della cella n. 29 sono solamente i due strati superficiali ad avere valori elevati, mentre i livelli sottostanti hanno percentuali inferiori al 10%, con un valore medio per la cella di 23,85%. Nella cella MC30 i valori elevati si ritrovano nei livelli -1.0 m e -1.5 m, mentre il valore medio dei 5 livelli è pari a 20,55; considerando il campione aggiuntivo MC51 le cose cambiano notevolmente, avendo due livelli con valori superiori al 50% e un valore medio dei 5 livelli pari a 28,33%.

Nella cella n. 31 la percentuale di frazione fine supera solo in un caso il 15% (15,33%), ma considerando anche la carota MC50, ad essa adiacente, abbiamo valori elevati nei livelli -1,5 m e - 2,0 m (anche 47,56%), ma con un valore medio dei 7 campioni rappresentativi dello spessore di 3,5 m pari a 19,38%.

Il comportamento anomalo di questi sedimenti può forse essere spiegato sia con la prossimità della foce del T. Carrione, che è spesso responsabile di una elevata torbidità

delle acque marine immediatamente a sud del porto, sia per la presenza di un vortice che fa accumulare qui i materiali fini che superano la diga foranea.



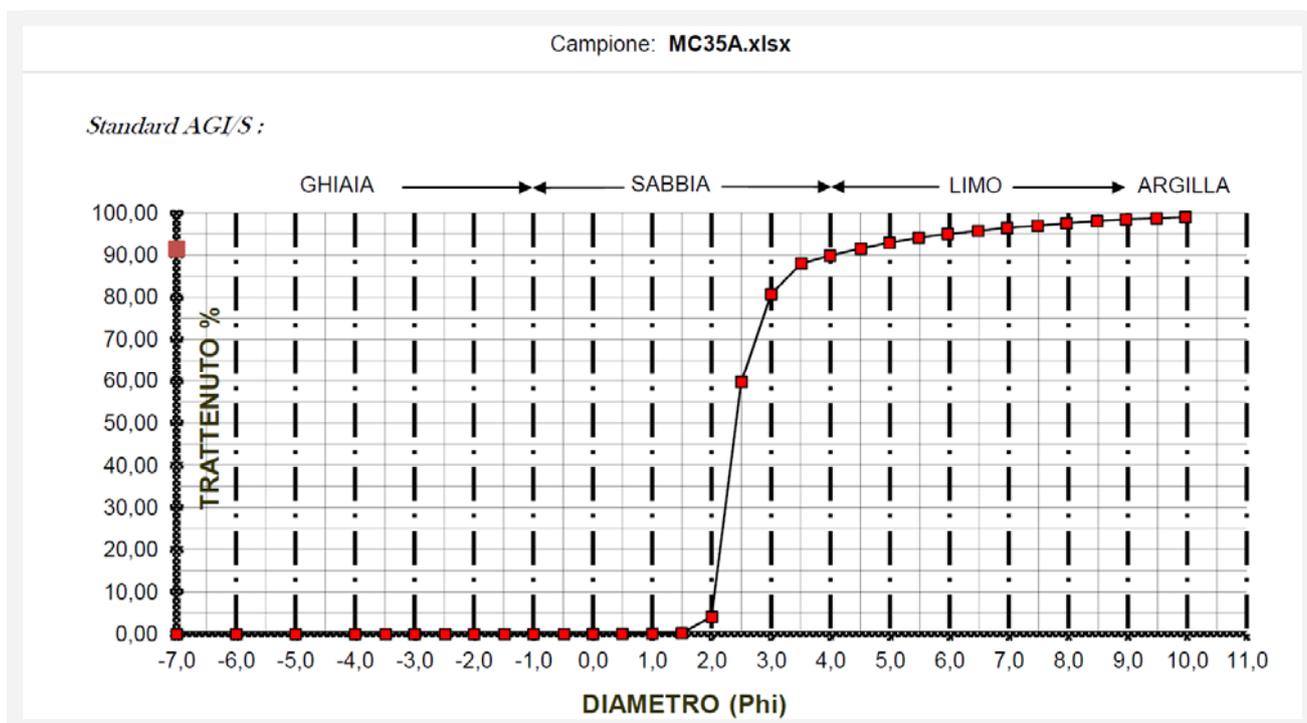
2.2 Canale di accesso

I sedimenti presenti nello strato da dragare nel canale di accesso hanno in genere caratteristiche granulometriche più favorevoli per il ripascimento di quelle mostrate dai campioni rappresentativi dei sedimenti della darsena portuale. Ciò era prevedibile sia in base a considerazioni generali sulla dinamica del paraggio, sia sulla base di analisi fatte in precedenza sui materiali dragati negli anni passati e su quelli della spiaggia attiva studiata da questo Dipartimento sia per l'Autorità Portuale Marina di Carrara che per la Provincia di Massa Carrara.

Nei campioni rappresentativi dei sedimenti da dragare nel canale di accesso la frazione fine è in generale presente con valori inferiori al 10%, con una media dell' 8,33%.

Inoltre, la frazione fine è in genere costituita da elementi che si distribuiscono in modo uniforme fra le varie classi granulometriche di dimensioni inferiori a 4,0 phi (limo e argilla), come dimostrano le analisi al sedigrafo (Fig. 2.11).

Ciò che li rende ottimi materiali da ripascimento è l'avere la classe modale spostata di mezzo phi verso il grossolano rispetto a quella dei sedimenti della zona da ripascere (2.5 phi rispetto a 3.0 phi).



Campione: MC36C.xlsx

Standard AGI/S:

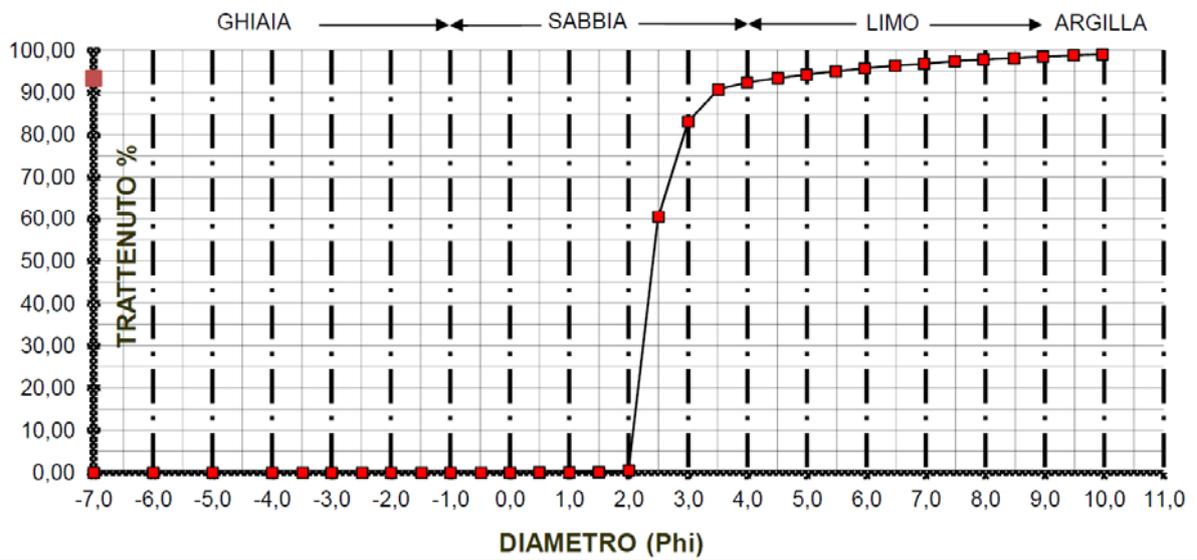


Fig. 2.11. Distribuzione granulometrica di campioni con percentuale di frazione fine pari a 10,13 (MC35A) e 7,62 (MC36C) in cui si vede come la frazione inferiore a 4 phi sia uniformemente distribuita nelle varie classi granulometriche.

3 I sedimenti nativi

L'area qui ipotizzata per il ripascimento della nearshore si estende per circa 3 km a sud della Torre FIAT su di una fascia batimetrica compresa fra i 5.5 e gli 8.5 m di fondale (Fig. 4.1).

Una tale ubicazione della zona di deposizione per i materiali da dragare è giustificata dal fatto che in questo tratto di litorale il trasporto sedimentario potenziale netto è diretto verso sud, per un valore di 62.000 m³/anno (DEAM – UNIFI, 2007), e quindi non è prevedibile un'apprezzabile ritorno dei materiali nella zona di dragaggio.

D'altra parte queste sabbie fanno parte dell'Unità fisiografica della Toscana settentrionale (Aiello et al., 1976) e con il loro flusso meridionale andrebbero ad alimentare le spiagge poste fino alla zona di convergenza, ubicata in prossimità di Marina di Pietrasanta (Pranzini, 2004). Anche se le classi granulometriche in questione sono presenti in modo subordinato sull'arenile, esse costituiscono una quota consistente dei sedimenti nativi del fondale ed una loro collocazione molto più a sud, o fuori dalla sottocella Magra – M.na di Pietrasanta, avrebbe ripercussioni negative sul bilancio sedimentario del paraggio con incremento dei processi erosivi in atto. Il posizionamento nella zona prevista darà invece un contributo al riequilibrio dei fondali, inducendo una maggiore dissipazione dell'energia del moto ondoso con evidenti benefici sull'equilibrio del litorale.

La zona da sottoporre a monitoraggio, che si estende per 1 km verso nord e per 3 km verso sud oltre la zona di versamento, è definita proprio alla luce di questi flussi sedimentari identificati anche da altri Autori.

I sedimenti presenti nell'area ipotizzata per il versamento sono rappresentati da 24 campioni prelevati lungo 8 transetti e posti in prossimità delle batimetriche di 6, 7 e 8 m. Le dimensioni medie dei sedimenti, calcolate sui campioni compositi formati con quelli prelevati nelle varie fasce batimetriche, indicano una notevole omogeneità con un modestissimo incremento delle dimensioni procedendo sui fondali maggiori (Fig. 3.1 e Tab. 3.1), cosa opposta a quanto avviene generalmente nei litorali sabbiosi.

Si tratta di sabbie fini con classe modale a 3.0 phi e con percentuale di frazione fine estremamente variabile (da 1,47% del campione D3 a 33.79% del campione D4).

Anomala è anche la distribuzione dei valori percentuali della frazione fine, con valori minori sui fondali di 7 e 8 m (7.57 e 8.20%) rispetto a quelli che caratterizzano i sedimenti più interni (6 m = 15.63%).

In tutta la zona qui ipotizzata per il ripascimento la frazione fine costituisce il 10.04% dei sedimenti di fondo.

I sedimenti presenti sui fondali di 7 e 8 m sono molto simili, con la classe modale prossima al 45% ed una buona classazione; al contrario, quelli presenti sui 6 m hanno la classe modale con poco oltre il 30% ed una distribuzione più allargata, in particolare sulla parte grossolana.

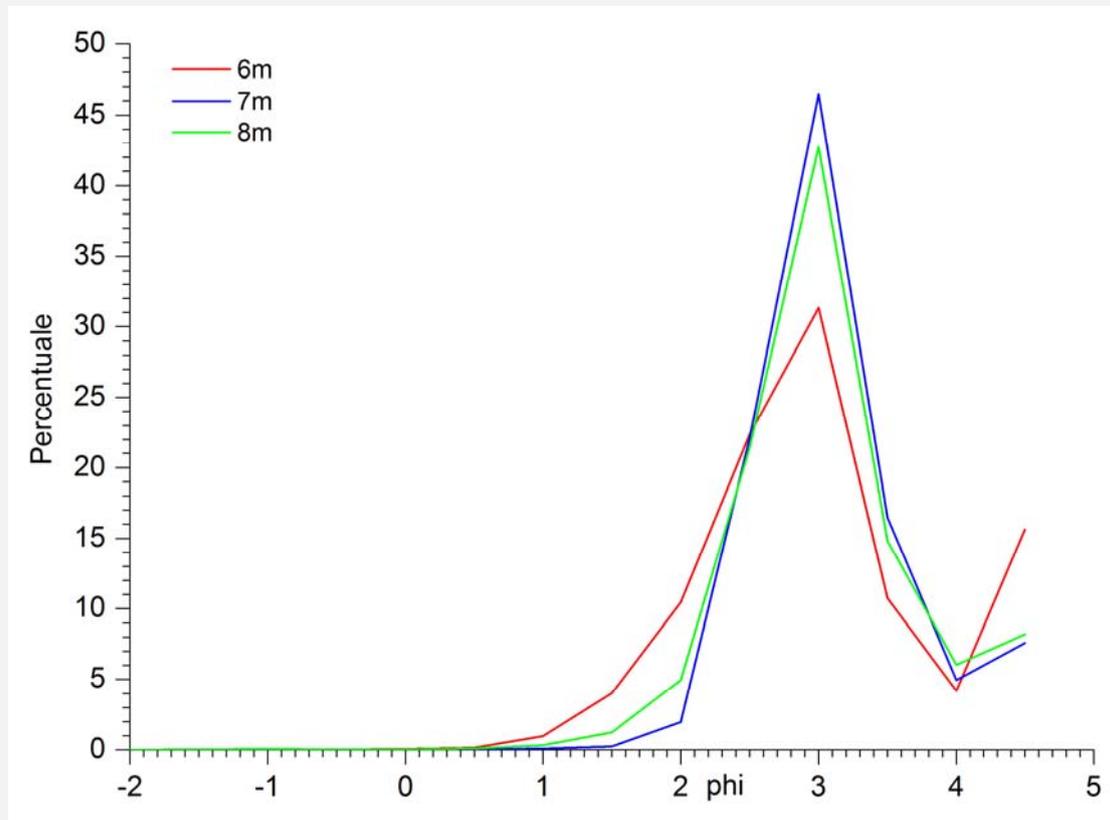


Figura 3.1. Distribuzione granulometrica dei sedimenti presenti nell'area di versamento nelle diverse fasce batimetriche.

Tabella 3.1. Dimensioni medie dei sedimenti presenti nelle diverse fasce batimetriche (campioni compositi).

	Media [phi]	Media [mm]	% frazione fine
6 m	2.88	0.14	15.63
7 m	2.84	0.14	7.57
8 m	2.82	0.14	8.20

4. Ripascimento

Le differenze granulometriche riscontrate nelle varie fasce batimetriche (Fig. 3.1) non sarebbero tali da giustificare destinazioni diverse dei sedimenti da dragare, se non fosse che le diverse profondità corrispondono a diverse distanze da riva ed è opportuno versare i sedimenti con più frazione fine il più lontano possibile da costa, pur sempre entro il profilo attivo in modo da determinare l'innalzamento dei fondali.

L'analisi delle diverse curve granulometriche dei campioni prelevati in porto e nel canale di accesso (Fig. 4.2) indica la possibilità di una separazione fra i sedimenti più grossolani e con minore frazione fine (nel canale di accesso nelle celle n. 32 ÷ 40) e quelli più fini e con maggiore frazione fine (nella darsena e all'inizio del canale con le celle 29 ÷ 31).

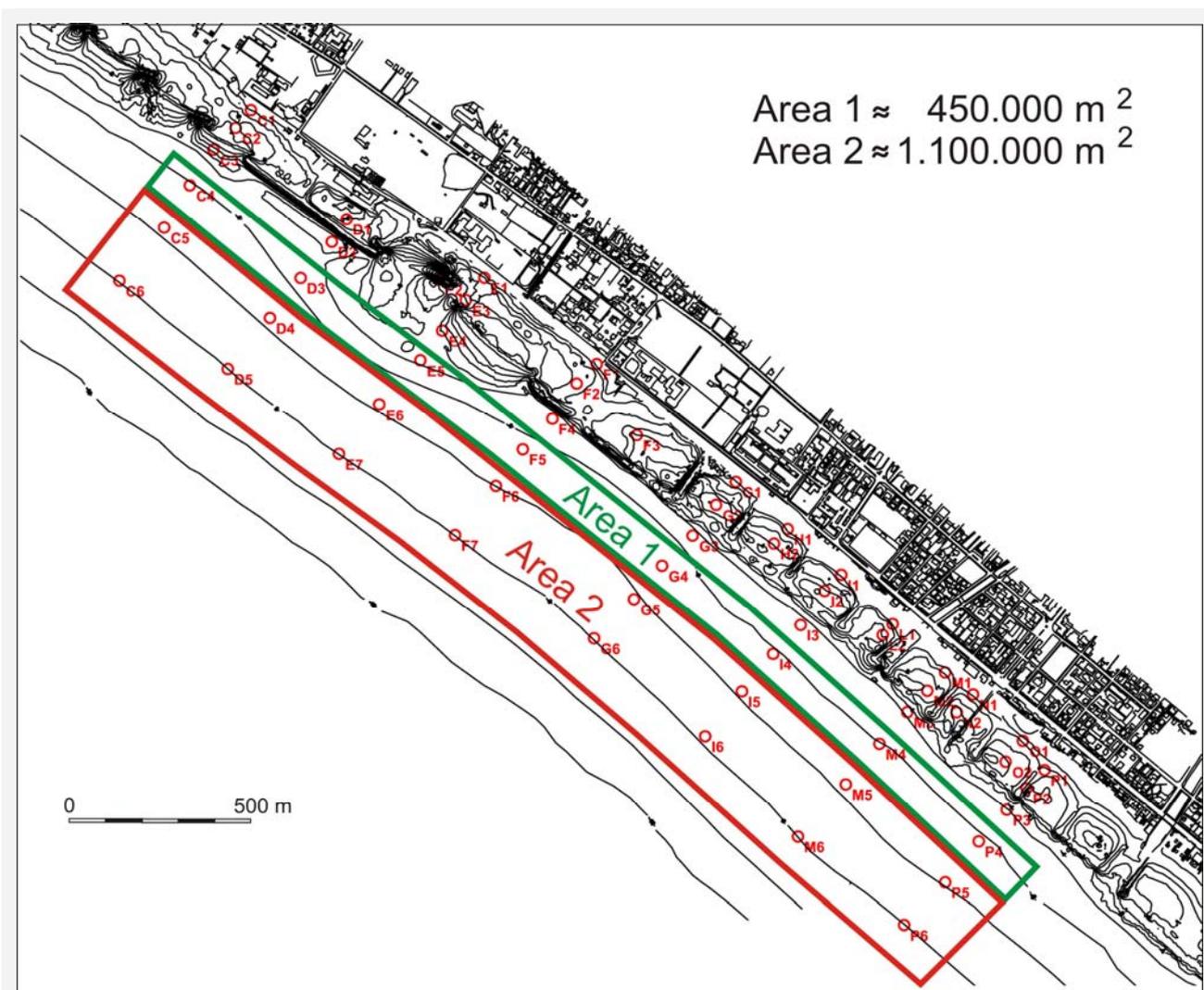


Fig. 4.1. Delimitazione delle aree di ripascimento.

I primi hanno dimensioni medie pari a 2,72 phi (0,15 mm) e una percentuale di frazione fine dell'8,33%; i secondi una Media di 3,07 phi (0,12 mm) e il 19,54 di frazione fine¹ (Tab. 4.1).

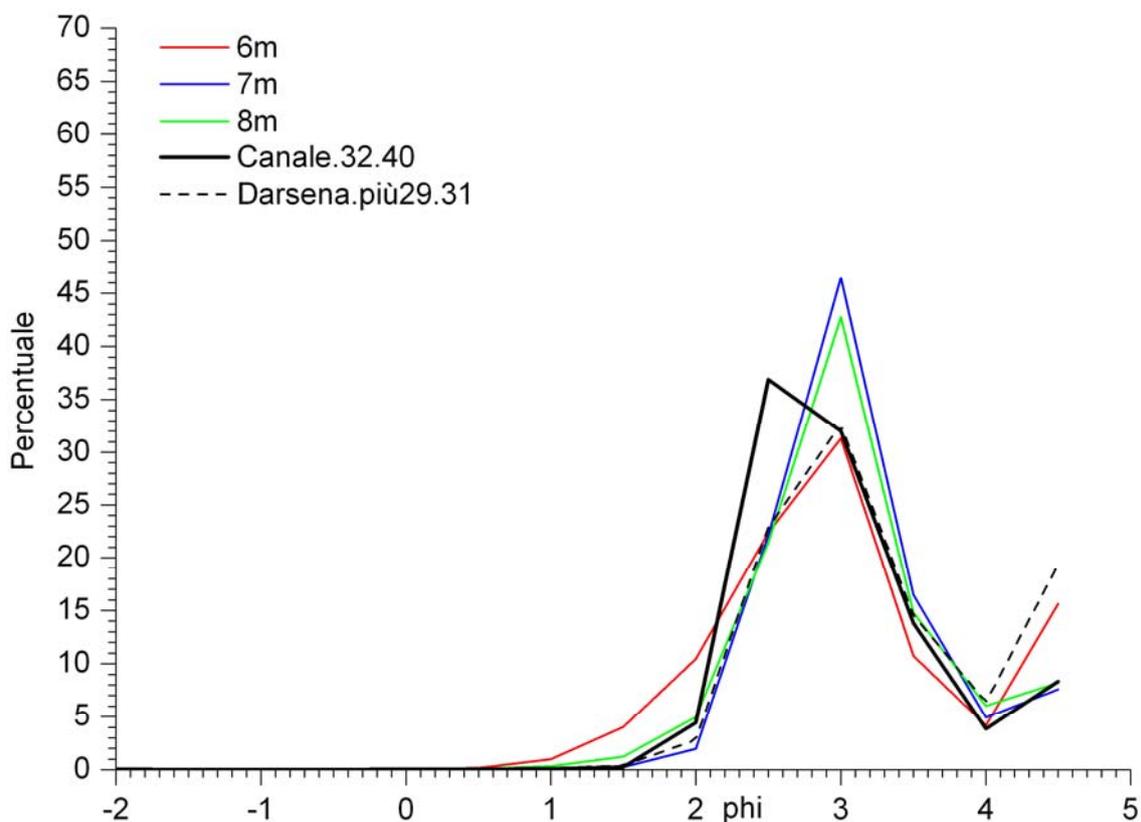


Figura 4.2. Distribuzione granulometrica dei sedimenti presenti nelle diverse fasce batimetriche e nel porto (celle n. 1 – 31) e nel canale di accesso (celle n. 32 – 40).

Tabella 4.1. Dimensioni medie dei sedimenti presenti nelle due zone di dragaggio

	Media [phi]	Media [mm]	% frazione fine
Canale + celle n. 32 ÷ 40	2,72	0,15	8,33
Porto + celle n. 29 ÷ 31	3,07	0,12	19,54

Nell'ipotesi del dragaggio di tutti i materiali presenti nel canale di accesso (celle n. 32 – 40) e loro versamento nell'Area 1 (vedi Fig. 4.1), intorno alla batimetrica dei 6 m, avrebbero la classe modale spostata di 0,5 phi verso il grossolano (2,5 vs. 3,0 phi) rispetto a quella dei sedimenti nativi e un Indice di stabilità (Is) pari a 0,551 (Fig. 4.3).

¹ Il calcolo del valore delle Media è stato fatto per entrambi i campioni considerando la percentuale di frazione fine come tutta appartenente alla frazione 4,5 phi dato che per solo una parte dei campioni è disponibile la curva granulometrica completa. Ciò comporta una leggera sovrastima del valore.

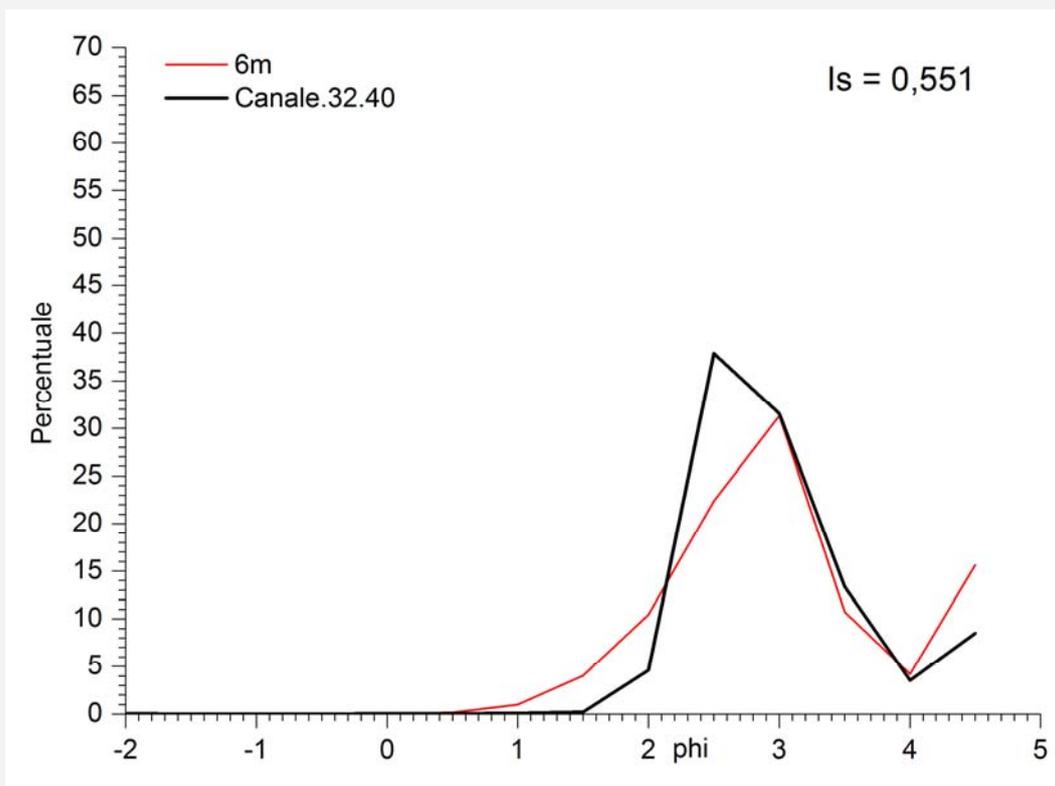


Fig. 4.3. Distribuzione granulometrica dei sedimenti presenti nella fascia batimetrica dei 6 m e nelle carote prelevate nel canale di accesso. Indice di stabilità (Is) calcolato fra il composito dei sedimenti da dragare nel canale nelle celle 32 – 40 e quello dei sedimenti della batimetrica dei 6 m.

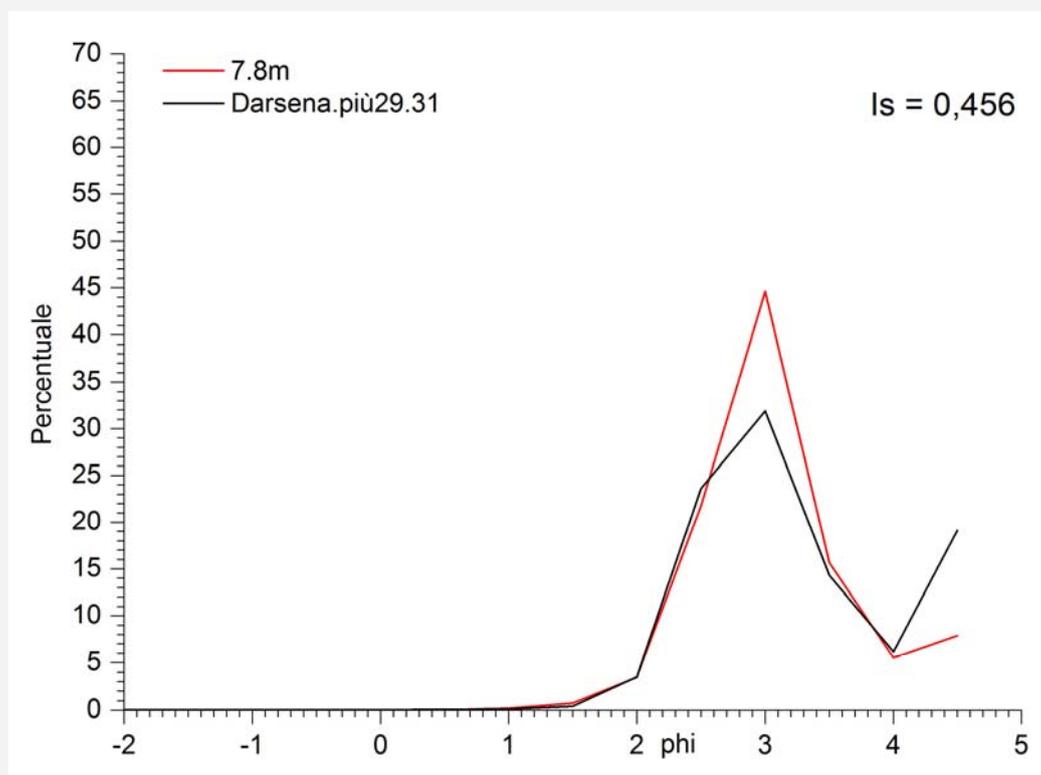


Fig. 4.4. Distribuzione granulometrica dei sedimenti presenti nelle fasce batimetriche dei 7 ed 8 m e di quelli presenti in porto e nelle celle n. 29 ÷ 31 del canale di accesso. E' indicato anche il valore dell'Indice di stabilità (Is).

Se i sedimenti da dragare in porto e all'inizio del canale di accesso (celle n. 1 – 31) fossero versati nell'Area 2 (Fig. 4.1), sulle batimetriche dei 7 ed 8 m, avrebbero la stessa classe modale dei sedimenti nativi (3,0 phi) e un Indice di stabilità (Is) pari a 0,456 (Fig. 4.4).

In entrambi i casi si tratta di valori decisamente buoni, ricordando che un valore di 0,500 lo si ha quanto il ripascimento viene fatto con sedimenti identici a quelli nativi.

5. Colorimetria

Non esistono norme per valutare la compatibilità cromatica fra sedimenti di ripascimento e sedimenti nativi, e tantomeno esistono per il ripascimento della nearshore.

In alcuni interventi effettuati in Toscana per il ripascimento dell'arenile sono stati posti limiti estremamente restrittivi, basati sulla percezione dell'occhio umano alle variazioni colorimetriche e, per modeste deviazioni, sul gradimento dei vari colori da parte dei bagnanti.

Il sistema colorimetrico di riferimento è il CIEL*a*b*, uno spazio colore percettivamente uniforme con L* ad indicare la luminosità, a* la coordinata verde-blu e b* quella blu-giallo.

Il campo di accettabilità per i ripascimenti sulla spiaggia emersa è stato in genere definito da -3 a +9 per L*, -3 e +3 per a*, e -1 e +3 per b*.

L'asimmetria nella scelta dei limiti di b* deriva dal maggior gradimento per il colore giallo delle sabbie rispetto al blu.

Per sedimenti che verranno immessi sui fondali e che, per le loro dimensioni, non è previsto che raggiungano la riva se non in percentuali irrisorie, una così rigida delimitazione è eccessiva, ma faremo comunque riferimento ad essa.

Le misure sono state effettuate con un colorimetro di precisione Minolta CR-400 a luce diffusa con illuminante D65. Su ciascun campione sono state fatte 10 misure, sulle quali è stato calcolato il valore medio (Tab. 5.1).

Per i sedimenti nativi sono stati analizzati 6 campioni prelevati a 6, 7 e 8 m di profondità lungo i transetti D ed M, mentre per i sedimenti di ripascimento si sono analizzati 16 campioni prelevati dalle carote 6, 15, 17, 29, 31 e 43 a diverse profondità (Tabella 5.1).

I grafici di Figura 5.2 mostrano chiaramente come i campioni analizzati abbiano un colore simile.

In Figura 5.1a compaiono tutti i campioni, con un punto blu quelli dell'area di ripascimento e con un punto viola quelli dell'area di dragaggio. In Figura 5.1b si è imposto un target corrispondente ai valori medi dei parametri L*, a* e b* dei sei campioni della zona da ripascere e rappresentato dal punto rosso al centro.

I campioni dei sedimenti da dragare sono leggermente più chiari e leggermente più blu. Stanno dentro il campo di accettabilità della Luminosità L* e del parametro a* (verde-rosso) ed escono fuori al massimo di una unità per il parametro b* (blu-giallo) solo per l'asimmetria del campo di accettabilità imposta dai gusti degli utenti.

Tabella 5.1. Coordinate colorimetriche dei sedimenti di ripascimento (tondo) e di quelli nativi (corsivo).			
Campione	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)
MC31AGRA	47,84	0,15	8,51
MC43A	48,97	-0,09	9,32
MC15C	47,91	0,16	8,76
MC31FONDO	47,64	0,04	8,77
MC43FONDOGRA	48,53	-0,16	8,66
MC31CGRA	47,81	0,65	10,07
MC15D	48,33	0,56	9,73
MC31BGRA	48,22	-0,07	8,52
MC6C	47,84	0,38	9,17
MC17EGRA	48,19	0,37	9,29
MC43BGRA	48,92	-0,31	8,74
MC31DGRA	47,88	0,35	9,34
MC29BGRA	40,85	1,25	8,76
MC15AGRA	48,79	0,38	8,4
MC15FONDOGRA	47,44	0,16	8,86
MC43CGRA	47,96	-0,17	8,53
<i>D4 Carrara</i>	42,45	1,42	10,33
<i>D5 Carrara</i>	41,88	0,77	11,18
<i>D3 Carrara</i>	47,67	0,78	9,73
<i>M5 Carrara</i>	48,42	0,45	10,4
<i>M4 Carrara</i>	46,98	0,89	10,8
<i>M6 Carrara</i>	49,18	0,22	10,2
<i>Media nativi</i>	46,10	0,755	10,44

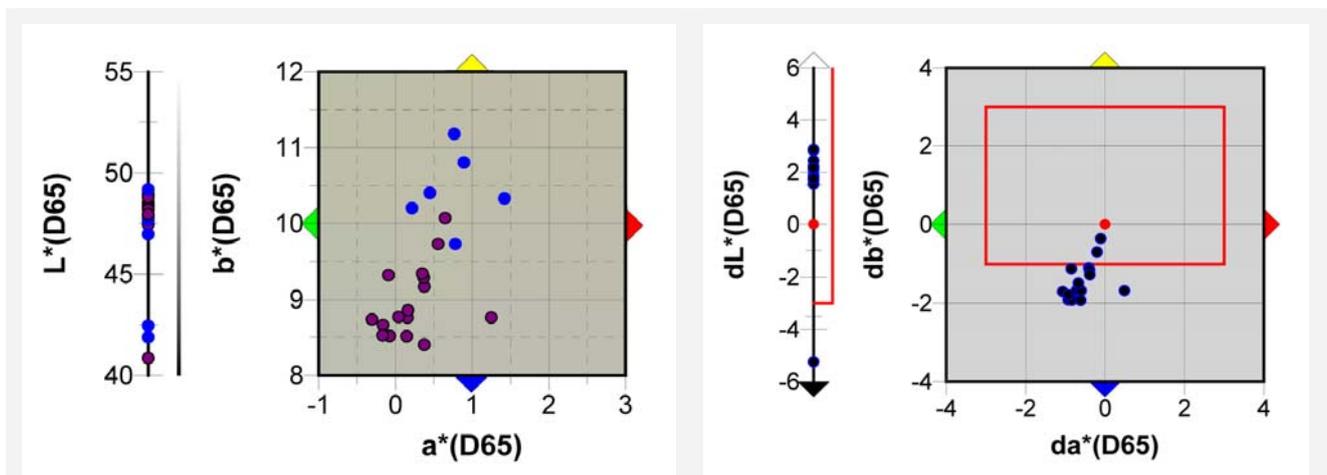


Fig. 5.1. a) Posizione dei punti rappresentativi dei vari campioni nello spazio CIEL*a*b. In blu i sedimenti nativi e in viola quelli di ripascimento.

b) *Distanza nelle tre coordinate colorimetriche dei campioni dei materiali di ripascimento (in blu) dal campione "medio" dei sedimenti nativi (in rosso).

Considerando la posizione del ripascimento la compatibilità cromatica deve essere definita eccellente.

6. Dragaggio e ripascimento: considerazioni conclusive

I sedimenti da dragare nel porto di Marina di Carrara e nel canale di accesso fanno parte della sotto-cella settentrionale dell'Unità fisiografica Bocca di Magra – Livorno.

La parte più superficiale di quelli da dragare nella darsena si è deposta dopo la costruzione del porto stesso, mentre quelli sottostanti si erano depositati prima della costruzione del porto. Le differenze granulometriche fra questi due materiali sono evidenti, essendosi i primi depositi in un ambiente a bassa energia, mentre i secondi fanno parte della spiaggia originaria e si sono depositi in condizioni di maggiore energia.

Caratteristiche simili le hanno i materiali da dragare nel primo tratto del canale di accesso, mentre quelli più distanti dall'imboccatura, nel tratto di nuovo approfondimento, sono quelli depositatisi prima e dopo la costruzione del porto tanto da presentare caratteristiche granulometriche assai simili a quelle dei sedimenti "nativi" del tratto nel quale si è ipotizzato il ripascimento.

La distribuzione granulometrica dei materiali da dragare, in particolare nella loro componente sabbiosa, è estremamente simile a quella dei sedimenti nativi e i valori dell'Indice di stabilità confermano l'utilità del ripascimento per l'innalzamento dei fondali.

La presenza di una significativa percentuale di frazione fine può porre problemi transitori nella fase di versamento, ma si deve considerare che gli stessi sedimenti nativi hanno tale componente in percentuali non molto inferiori. Inoltre, parte dei materiali con elevata percentuale di frazione fine vedono molta di questa componente in classi granulometriche immediatamente inferiori a quelle delle sabbie molto fini e avranno una velocità di sedimentazione che garantirà una deposizione sul fondale nell'area di versamento.

Rimane il problema di alcuni punti da dragare in cui la frazione fine è abbondante e con distribuzione granulometrica molto estesa verso gli elementi di dimensioni minori.

Nelle celle in cui allo strato superficiale siltoso fanno seguito livelli più decisamente sabbiosi (es. celle n. 10, 11 e 12; o tutte quelle in aderenza alla Banchina Fiorillo) il dragaggio in verticale, mescolando quindi i vari livelli, dovrebbe portare ad un sedimento con percentuale di frazione fine media più bassa (N. 10 = 23,43%; n. 11 = 25,34%; n. 13 = 15,81%; o 19,68% per tutti quelli in aderenza alla Banchina Fiorillo), anche se superiore a quella che caratterizza i sedimenti nativi della zona di versamento.

Le celle n. 25, 26, 27 e 28 che in media hanno il 64,24% di frazione fine, e per giunta costituita in buona parte da limi molto fini, hanno quasi ovunque la profondità necessaria e il loro contributo volumetrico effettivo all'alimentazione del litorale sarebbe insignificante.

Le celle n. 23, potrebbe essere dragata nella sola parte più lontana dalla banchina.

Le celle n. 29, 30 e 31, nelle quali i sedimenti fini sono in prevalenza nei livelli superficiali, ma gli strati sottostanti non sono ottimali, potrebbero essere dragate in continuità con le celle più esterne all'imboccatura, ottenendo miscele con minor quantità di fini.

In questa ipotesi tutto il materiale dragato verrebbe ad avere una percentuale di frazione fine circa pari al 13,72% e un Indice di stabilità, calcolato sul composito rappresentativo di tutta la zona da ripascere, pari a 0,482.

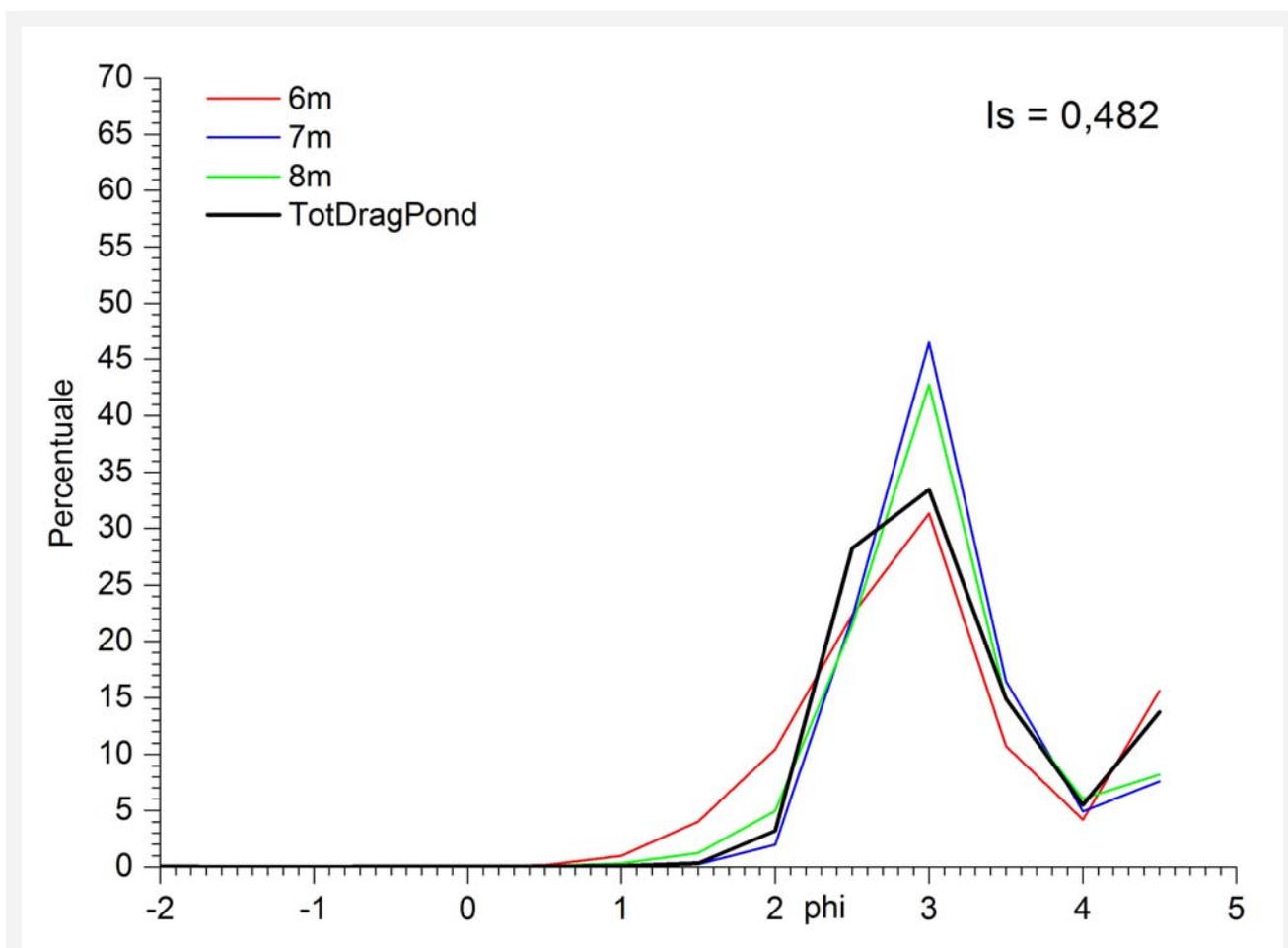


Fig. 6.1. Distribuzione granulometrica dei sedimenti presenti nelle tre fasce batimetriche del tratto da ripascere e di quelli presenti in tutta la zona di dragaggio qui ipotizzata. E' indicato anche il valore dell'Indice di stabilità (Is).

In tal modo si darebbe un contributo sedimentario di oltre 1.6 milioni di "sabbie" di varie dimensioni, e in prevalenza nel range 125 ÷ 250 µm (Tab. 6.1).

Anche se in questo calcolo la frazione fine non viene considerata in termini di volume aggiunto al bilancio sedimentario del litorale, bisogna considerare che essa è effettivamente presente nei sedimenti nativi (10,04%) e che le frazioni con dimensioni appena inferiori a 4 phi andranno anch'esse depositarsi sui fondali, mentre le altre

verranno in buona parte disperse con flusso off-shore e long-shore trasportate in sospensione.

Tabella 6.1. Volume delle diverse frazioni granulometriche che verrebbero versate nella zona di ripascimento nell'ipotesi in cui non vengano dragate le celle n. 25 ÷ 28 e solo parte della cella n. 23.

Frazione Fine (< 63 µm)	260.000
Sabbia molto fine (63 – 125 µm)	388.000
Sabbia fine (125 – 250 µm)	1.171.000
Sabbia media (125 – 250 µm)	68.000
Sabbia grossolana e granuli (> 250 µm)	13.000
Totale	1.900.000

Queste valutazioni si riferiscono a tutto il materiale caratterizzato nelle celle in questione, compreso quello che costituisce il “fondo scavo”, che qui viene rappresentato dall'campione più basso prelevato da ogni carota. Nel caso in cui questo strato non venga intaccato (Tab. 6.2), il volume complessivo si riduce di circa 340.000 m³, la “sabbia” viene ad avere un volume di circa 1.328.000 m³ e la frazione fine sale al 14,87%.

Tabella 6.2. Volume delle diverse frazioni granulometriche che verrebbero versate nella zona di ripascimento nell'ipotesi in cui non vengano dragate le celle n. 25 ÷ 28 e solo parte della cella n. 23 e non si intacchi lo strato inferiore.

Frazione Fine (< 63 µm)	232.000
Sabbia molto fine (63 – 125 µm)	321.000
Sabbia fine (125 – 250 µm)	933.000
Sabbia media (125 – 250 µm)	61.000
Sabbia grossolana e granuli (> 250 µm)	12.000
Totale	1.560.000

Ovviamente le operazioni di dragaggio e ripascimento, in particolare quando queste andranno ad interessare i sedimenti della darsena e quelli della parte iniziale del canale di accesso, dovrebbero essere svolte ben lontano dalla stagione balneare.

In considerazione dell'elevato volume mobilizzato, la ripartizione fra Area 1 e Area 2 dei diversi materiali (Porto e Canale di accesso), ipotizzata nel paragrafo 4, potrebbe essere

modificata in funzione delle tecniche e dei tempi di refluento e determinare un'espansione dell'Area 1 a spese dell'Area 2 senza pregiudicare l'efficacia dell'intervento, dato che entrambe sono all'interno della profondità di chiusura.

7. Monitoraggio

Il monitoraggio del litorale oggetto dell'intervento di ripascimento e delle zone adiacenti (Fig. 7.1) è stato impostato al fine di valutare l'evoluzione morfologica e sedimentologica della spiaggia emersa e sommersa a seguito del versamento. Esso prevede rilievi batimetrici, prelievo di campioni di sedimenti e loro analisi con la seguente tempistica: Fine ripascimento; 6 mesi, 12 mesi, 18 mesi e 24 mesi dalla fine dei lavori.

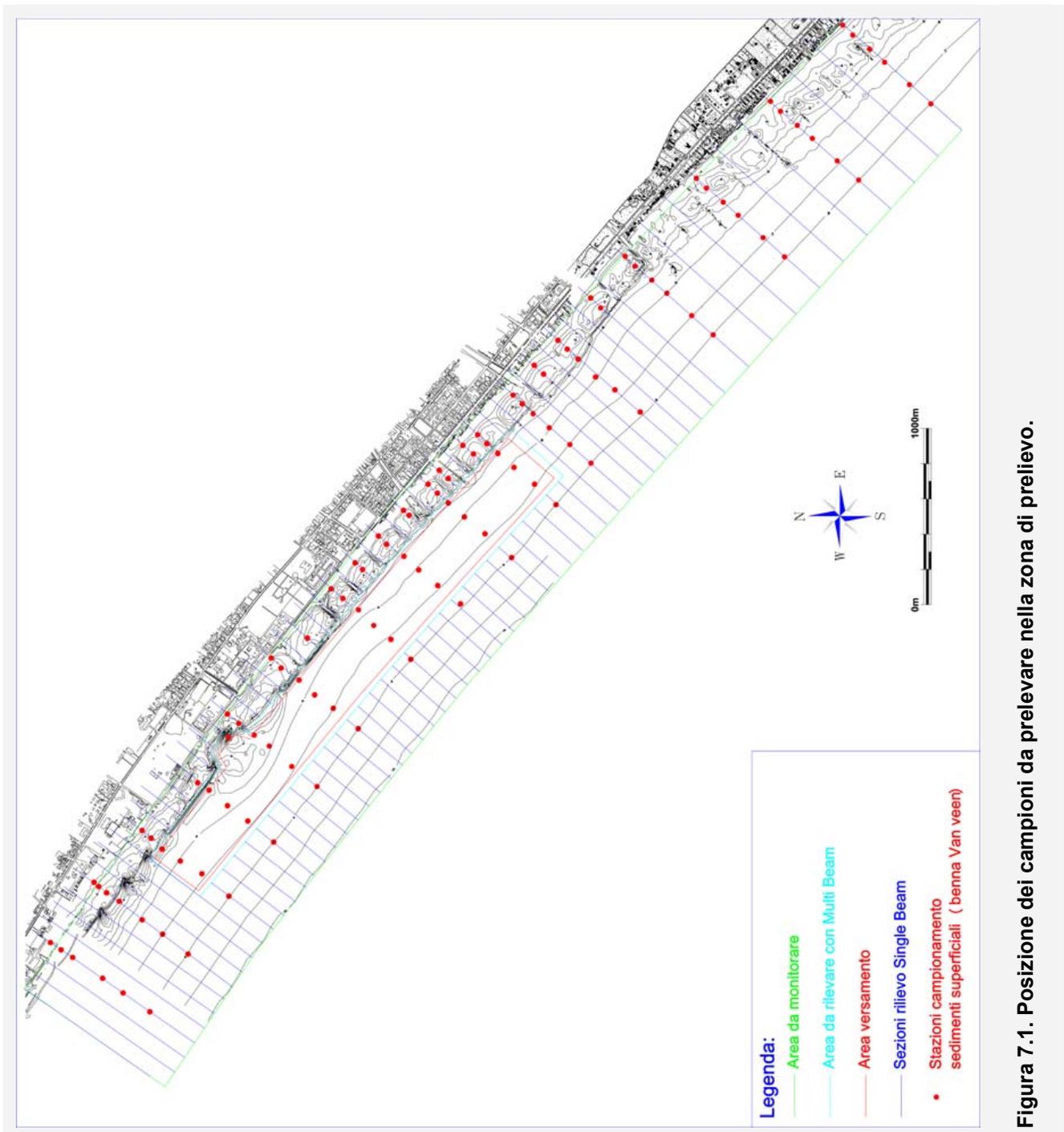


Figura 7.1. Posizione dei campioni da prelevare nella zona di prelievo.

In ogni campagna verrà effettuato il rilievo batimetrico di un tratto di costa esteso di 1 km a nord e 3 km a sud rispetto all'area di deposizione, per un totale di 7 km di litorale, il prelievo, con benna Van Veen, di 110 campioni di sedimenti superficiali di spiaggia emersa e sommersa fino all'isobata degli 8 m, che verranno poi sottoposti ad analisi granulometriche con intervallo di setacciatura di $\frac{1}{2}$ phi.

I dati verranno forniti al Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Firenze che provvederà alla loro elaborazione. In particolare verranno realizzate carte di variazione batimetrica e il calcolo dei volumi erosi e depositi in tratti morfologicamente omogenei.

Verranno inoltre prodotte carte dei parametri sedimentologici e delle loro variazioni, nonché i flussi sedimentari identificati con il metodo di Gao e Collins (1992).

Tutto ciò dovrebbe consentire di mappare gli spostamenti del materiale versato e la loro selezione granulometrica da parte del moto ondoso.

Questi dati, oltre che per una valutazione di come i vari tratti costieri si avvantaggeranno del ripascimento, potrà dare indicazioni per impostare futuri interventi di dragaggio che si rendessero necessari.

8. Bibliografia

- Aiello E., Bartolini C., Caputo C., D'Alessandro L., Fanucci F., Fierro G., Gnaccolini M., La Monica G.B., Lupia Palmieri E., Piccazzo M. e Pranzini E. (1976) - Il trasporto litoraneo lungo la costa toscana fra la foce del Fiume Magra ed i Monti dell'Uccellina. Boll. Soc. Geol. It., 94: 1519-1571.
- DEAM – UNIFI, (2007) - Stima delle profondità di chiusura lungo le coste toscane. Rel. Inedita, Università di Firenze. Dip. Scienze della Terra pp. 138
- Delf Hydraulics (2006) Carrara Coastal Study. Vol. 3. Coastline evolution study. Ministero dell'Ambiente, Relazione inedita.
- Gao S. e Collins M. (1992) – Net sediment transport patterns inferred from grain-size trends, based upon definition of “transport vectors”. Sed.Geol., 80, 47-60.
- Pranzini E. (2002) - Probabilistic approach to the evaluation of borrow sediment's suitability for beach nourishment. Beach management in the Mediterranean & Black Sea. Int. Workshop, Kusadasy, Turchia. Erdal Ozhan Ed. Pp.37-48.
- Pranzini E. (2004) - Caratteristiche morfologiche e sedimentologiche di una zona di convergenza del trasporto litoraneo (Versilia, Toscana). Studi costieri, 8: 135-149.
- Pranzini E., Simonetti D., Vitale G. (2010) - Sand colour rating and chromatic compatibility of borrow sediments. Journal of Coastal Research, 26: 798-808.

10 giugno 2015

Prof. Enzo Pranzini



Autorità Portuale Marina di Carrara
Dipartimento di Scienze della Terra
dell'Università degli Studi di Firenze