COMUNE DI FINALE LIGURE

PROGETTO DEFINITIVO DEGLI INTERVENTI DI CONTRASTO ALL'EROSIONE COSTIERA DEL LITORALE DI VARIGOTTI

1° LOTTO

PARTE PRIMA CONOSCITIVA

RELAZIONE SEDIMENTOLOGICA

DEFINIZIONE DEL CAMPIONE COMPOSITO DI RIFERIMENTO E LIMITE DI ACCETTABILITA'

6

data

Agosto 2020

A	PRIMA STESURA	Agosto 2020

STUDIO SIRITO
Savona

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

a cura del professor
Enzo Pranzini - Firenze

Interventi di contrasto all'erosione costiera del litorale di Varigotti – 1° lotto

Comune di Finale Ligure

Relazione sedimentologica

Definizione del Campione composito di riferimento e limiti di accettabilità

Bagno a Ripoli, 10 Agosto 2020

Enzo Pranzini, Via Casanuova 11, 50012 Bagno a Ripoli (FI), Italia - C.F. PRNNZE47R27D612R - P. IVA 06891850486

RELAZIONE SEDIMENTOLOGICA

Premessa

La presente Relazione è conseguente all'incarico conferito allo scrivente dallo Studio Sirito (Savona) nell'ambito della progettazione di ***Interventi di contrasto all'erosione costiera del litorale di Varigotti – 1° lotto (Comune di Finale Ligure)*** e finalizzato allo ***Studio specialistico per la determinazione delle caratteristiche sedimentologiche dei materiali da impiegare e valutazione della compatibilità tessiturale e colorimetrica.***

L'obiettivo è quello di inquadrare la dinamica sedimentaria della spiaggia di Varigotti per definire le caratteristiche tessiturali e colorimetriche dei materiali da impiegare in un suo ripascimento artificiale.

Questa parte dello studio si basa sui dati messi a disposizione dal Comune di Finale Ligure, dallo Studio Sirito e su altri raccolti ed elaborati dallo scrivente.

In parallelo è stata fatta una indagine, con sopralluoghi, prelievo ed analisi di campioni, per valutare la disponibilità dei materiali di ripascimento.

La Relazione è divisa in due parti:

1. Relazione sedimentologica, in cui si analizzano la caratteristiche tessiturali del sedimenti della spiaggia emersa e sommersa di Varigotti e, su quella base, si formulano ipotesi sulla dinamica sedimentaria.
2. Definizione del Campione composito di riferimento e limiti di accettabilità, in cui si identificano le caratteristiche granulometriche e colorimetriche dei sedimenti di spiaggia al fine di definire dimensioni e colore dei materiali da impiegare nel ripascimento.

1. Relazione sedimentologica

Finalità dell'indagine e dati utilizzati

Lo studio della dinamica sedimentaria del litorale di Varigotti si basa sull'analisi granulometrica di 51 campioni di spiaggia raccolti nel Maggio 2020 dallo Studio Sirito e da Geocoste s.n.c., e da quest'ultimi analizzati. La metodologia di analisi e di elaborazione dei dati è descritta nel Fascicolo 9 inserito nel progetto, che contiene anche le schede di laboratorio.

A questi vanno aggiunti 9 campioni di spiaggia media raccolti dallo Studio Sitito nel Febbraio 2020, che sono serviti per costituire uno dei campioni compositi a cui si farà riferimento per la determinazione dei materiali di ripascimento.

La campionatura del Maggio 2020 ha riguardato la spiaggia emersa lungo 9 transetti ortogonali a riva; su di essi sono stati presi campioni sulla battigia, in corrispondenza dello *step* (gradino*)* (circa -0.40 m) e a circa 1 m di profondità; inoltre, sono stati prelevati tre campioni per transetto alle profondità comprese fra 3 m e 8 m. Il forte salto batimetrico fra i campioni interni e quelli esterni che appare da queste quote è dovuto alla scarpata della beach rock, ma la distribuzione spaziale dei campioni è più uniforme (Figura 1).

In prossimità della linea di riva sono presenti sporadici raggruppamenti di ghiaie e ciottoli, forse immessi sul litorale con i versamenti che venivano fatti dallo Scoglio della Fiorita, ma certamente frutto dell'erosione della beach rock che ingloba molti elementi grossolani e che le ispezioni subacquee dimostrano essere in regressione; comunque questi non determinano il profilo della spiaggia che, nel suo insieme, è regolato dalla prevalente frazione sabbiosa-ghiaiosa.

L'indagine viene svolta con lo scopo principale di identificare le caratteristiche tessiturali dei sedimenti per definire quelle ottimali dei materiali da utilizzare per il ripascimento, ma i dati raccolti consentono anche una preliminare lettura della dinamica sedimentaria che potrà essere affinata nel caso venisse realizzato un modello morfodinamico del litorale.

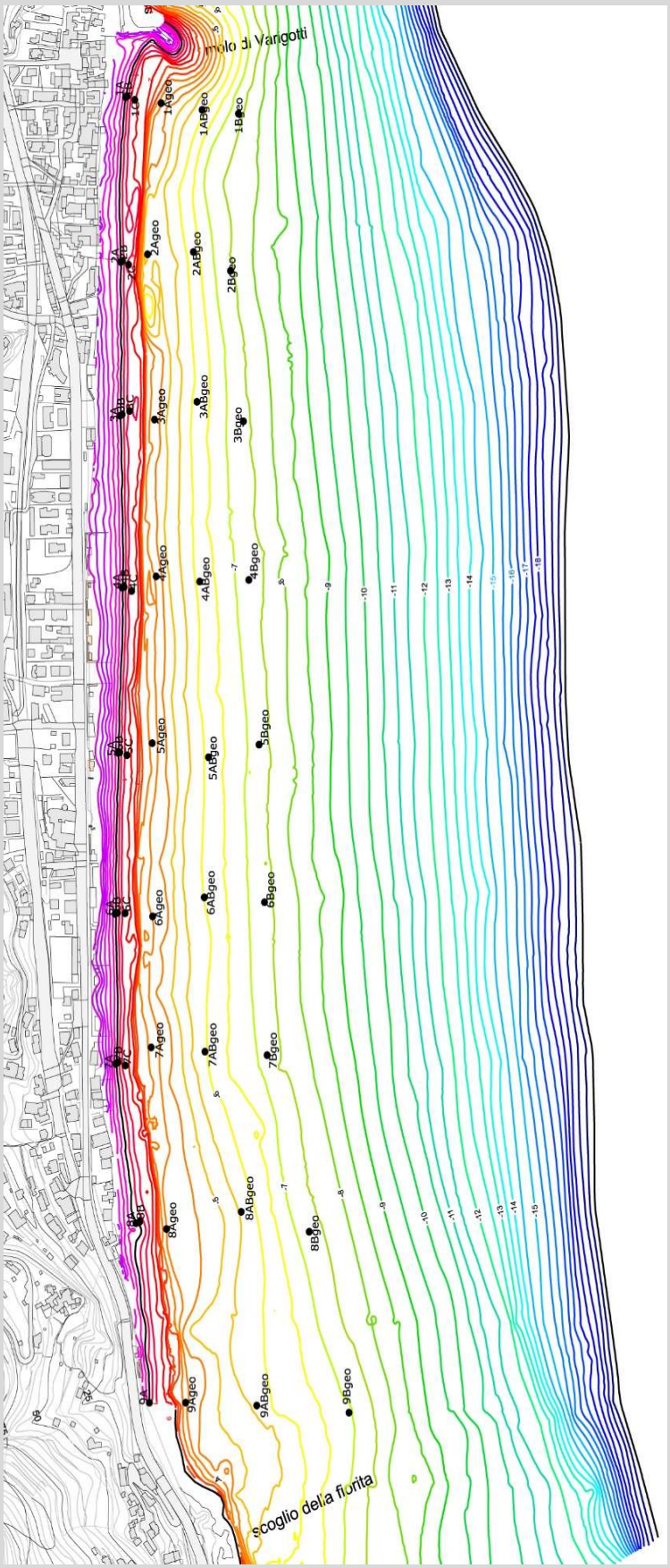


Figura 1. Posizione dei campioni di sedimenti di spiaggi emersa e sommersa raccolti nel Maggio 2020.

Tabella 1. Parametri tessiturali dei sedimenti analizzati

	Prof.	Media (phi)	**Media (mm)**	Classazione (phi)	Asimmetria	1° percentile (phi)	Frazione fine (%)
1A	0	0.37	**0.774**	1.31	-0.28	-3.51	0.01
1B	-0.40	-0.99	**1.986**	0.77	-0.16	-3.50	0.01
1C	-1.3	-1.89	**3.706**	1.08	-0.09	-4.08	0.01
1Ageo	-3.7	-1.23	**2.346**	0.80	-0.01	-3.04	0.00
1ABgeo	-5.8	-1.48	**2.789**	1.02	-0.36	-4.08	0.00
1Bgeo	-7.3	-0.77	**1.705**	0.76	-0.21	-3.52	0.00
2A	0	-1.09	**2.129**	0.87	0.18	-2.89	0.01
2B	-0.40	-1.58	**2.990**	0.92	-0.40	-3.57	0.01
2C	-1.2	-2.58	**5.979**	1.11	0.04	-4.10	0.01
2Ageo	-5	0.12	**0.920**	0.73	0.20	-1.40	0.00
2ABgeo	-6.3	1.29	**0.409**	0.82	0.04	-0.42	0.05
2Bgeo	-7.4	1.27	**0.415**	0.87	0.08	-0.49	0.01
3A	0	-1.25	**2.378**	0.99	0.16	-3.53	0.01
3B	-0.40	-1.72	**3.294**	1.46	0.09	-4.08	0.02
3C	-1	-3.19	**9.126**	0.57	0.15	-4.07	0.00
3Ageo	-4.3	0.16	**0.895**	0.93	0.12	-2.26	0.00
3ABgeo	-6.2	1.11	**0.463**	0.80	0.04	-0.80	0.01
3Bgeo	-7.3	1.09	**0.470**	0.73	0.03	-0.59	0.02
4A	0	-1.34	**2.532**	0.98	0.31	-2.56	0.02
4B	-0.40	-1.38	**2.603**	0.83	-0.24	-3.56	0.01
4C	-1.2	-2.79	**6.916**	0.76	-0.26	-4.09	0.00
4Ageo	-4.1	0.10	**0.933**	1.10	0.04	-3.01	0.00
4ABgeo	-6.2	0.62	**0.651**	0.61	0.38	-0.73	0.00
4Bgeo	-7.2	1.51	**0.351**	0.84	-0.06	-0.62	0.02
5A	0	-0.25	**1.189**	1.30	0.10	-3.49	0.01
5B	-0.40	-2.12	**4.347**	0.55	-0.27	-3.57	0.00
5C	-1.2	-2.25	**4.757**	0.75	-0.25	-4.07	0.00
5Ageo	-3.6	-0.76	**1.693**	1.17	-0.42	-4.06	0.00
5ABgeo	-6.2	1.61	**0.328**	0.96	0.07	-0.45	0.21
5Bgeo	-7.3	2.42	**0.187**	0.52	-0.16	0.49	0.52
6A	0	-0.29	**1.223**	0.80	0.27	-2.03	0.02
6B	-0.40	-1.81	**3.506**	0.82	-0.18	-4.06	0.01

6C	-1.2	-3.56	**11.794**	0.93	0.52	-4.60	0.01
6Ageo	-4.1	2.25	**0.210**	0.59	-0.31	0.32	0.10
6ABgeo	-6	2.23	**0.213**	0.62	-0.25	0.40	0.21
6Bgeo	-7.3	1.97	**0.255**	0.62	-0.37	-0.02	0.01
7A	0	-1.42	**2.676**	0.68	-0.16	-3.55	0.01
7B	-0.40	-1.88	**3.681**	1.25	-0.33	-4.09	0.00
7C	-1.2	-2.73	**6.635**	0.82	-0.27	-4.10	0.00
7Ageo	-3.6	0.69	**0.620**	0.76	0.07	-1.34	0.00
7ABgeo	-5.9	2.23	**0.213**	0.63	-0.22	0.37	0.17
7Bgeo	-7.2	2.51	**0.176**	0.68	-0.22	0.42	0.58
8A	0	-0.60	**1.516**	0.67	0.33	-1.78	0.04
8B	-0.40	-1.10	**2.144**	0.81	-0.36	-3.54	0.01
8Ageo	-4	-0.30	**1.231**	0.53	0.11	-1.71	0.00
8ABgeo	-5.6	2.10	**0.233**	0.64	-0.18	0.38	0.13
8Bgeo	-7.3	1.92	**0.264**	0.66	-0.12	0.27	0.07
9A	0	-2.33	**5.028**	0.42	-0.19	-4.06	0.00
9Ageo	-3.6	-0.59	**1.505**	0.58	-0.29	-3.53	0.00
9ABgeo	-5.6	0.58	**0.669**	0.46	0.01	-0.60	0.00
9Bgeo	-6.9	0.67	**0.629**	0.51	0.02	-0.83	0.00

Le caratteristiche tessiturali dei sedimenti

Per quanto riguarda le **Dimensioni medie**, i sedimenti dell'area indagata sono classificati in prevalenza come *sabbia* da *molto grossolana* a *fine*, secondo la scala verbale di Wentworth - Krumbein (1922, 1934), con presenza di *granuli* e *ghiaia* sulla battigia, sullo step e a -1 m.

Lungo un profilo generico della spiaggia si parte dalla *sabbia grossolana* che forma la battigia, per passare a *granuli* sullo *step* e a *ghiaia* circa al piede della spiaggia che si appoggia sulla beach rock; quindi con un trend da sedimenti fini a sedimenti più grossolani (Figura 2).

Superato il ciglio della beach rock si ha un trend inverso, con l'usuale riduzione delle dimensioni dei sedimenti con l'aumentare della profondità, anche se la dispersione dei punti nel grafico Mz/Profondità è notevole; indice di condizioni energetica diverse alle stesse profondità.

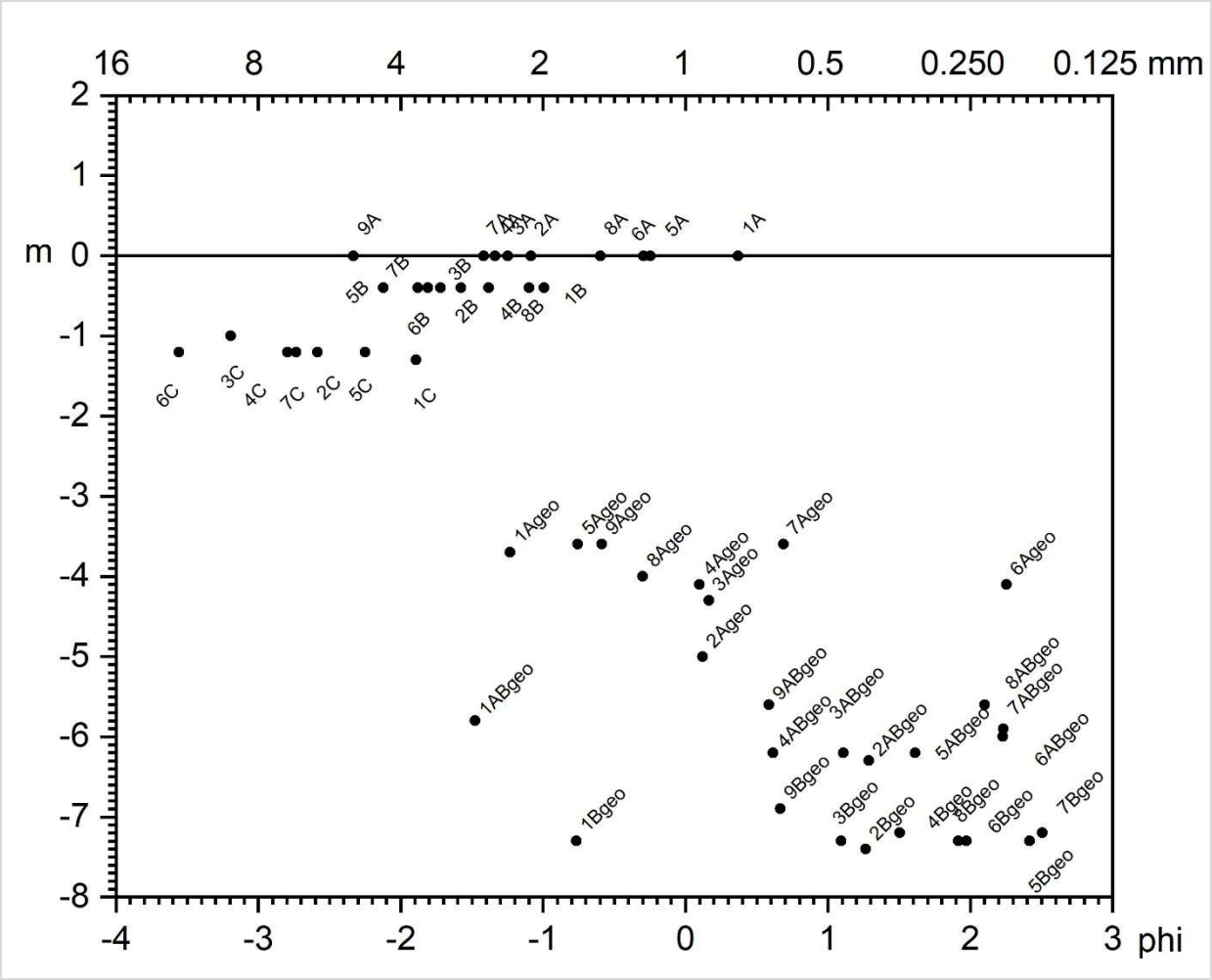


Figura 2. Grafico Media (Mz) / Profondità (m) per i sedimenti del litorale di Varigotti.

Ai piedi della scarpata, lungo una stretta fascia di litorale nella quale non è ricaduto nessun campione, vi sono, come dimostrato dall'indagine subacquea, degli accumuli di ciottoli, ghiaia e granuli.

Si tratta quasi certamente dei materiali grossolani originariamente inglobati nella beach rock, formatasi evidentemente da una spiaggia con apporti granulometricamente molto differenziati (Bloch e Trichet, 1966). Possono essere considerati come depositi residuali in una zona in cui la riflessione delle onde sulla parete determina una turbolenza e l'allontanamento delle frazioni più fini.

L'azione di abrasione esercitata da questi materiali è responsabile dell'erosione alla base della scarpata che genera poi il crollo di blocchi.

L'osservazione del grafico di Figura 2 mostra come vi siano punti che escono in modo significativo dal trend sopra indicato: i campioni 1Ageo, 1ABgeo e 1Bgeo hanno dimensioni

decisamente maggiori di quelle attese per la loro profondità. Sono stati prelevati al largo del primo profilo che è ubicato all'estremità orientale della spiaggia. *Potrebbero costituire un indizio dell'uscita verso levante dei sedimenti dell'arenile del tratto considerato.*

Al contrario, i campioni più profondi dei profili 6, 7 ed 8 sono costituiti da sabbie più fini di quelle che si trovano a pari profondità lungo gli altri profili, quasi ad indicare condizioni di minore energia nella parte centrale della spiaggia.

Questo si vede bene nella carta della distribuzione areale dei valori di Mz (Figura 3) dove le isolinee corrono parallele alla costa solo in prossimità della linea di riva, mentre si ha un loro allontanamento reciproco sui lati orientale ed occidentale del tratto indagato. In pratica la falcatura del litorale è assai più marcata se si considerano le dimensioni dei sedimenti che non la batimetria.

Sulla stessa carta si nota come all'estremità orientale del litorale vi sia una lingua di sabbia simile a quella della spiaggia emersa, che si estende verso il largo; è data dagli stessi sedimenti che facevano ipotizzare un flusso sedimentario che supera il pennello.

Per quanto riguarda la **Classazione**, i sedimenti dell'area di studio si presentano da *ben classa*ti a *poco classati*, secondo la scala verbale di Folk & Ward (1957), con la gran parte di essi che ricade nel campo di *moderatamente classati*.

Quello che sorprende è la scarsa correlazione con i valori di Mz (Figura 4). Fatta eccezione per i campioni dei profili N. 6, 7 ed 8, che in gran parte formano la nuvola di sabbie fini *moderatamente ben classate* (derivano da quell'area al centro dell'insenatura di cui si è già parlato), gli altri sono dispersi senza un apparente ordine logico.

Separando però i soli campioni di battigia, step e -1 m (quelli che si appoggiano sulla beach rock (Figura 4 a in basso) si vede come questi occupino settori ben definiti, con i sedimenti di battigia più grossolani e mediamente meglio classati, per la maggiore energia alla quale sono esposti, quelli di battigia più eterogenei, quelli di step più omogenei e quelli al piede della spiaggia più grossolani e meglio classati.

Comunque, la complessità del quadro sedimentologico è evidente dalla distribuzione dei valori della Classazione (Figura 5) e si ritiene possa essere dovuta anche alla molteplicità dei punti e dei tempi d'immissione dei materiali. La vecchia discarica dello Scoglio della Fiorita e l'erosione della beach rock, che sembra in grado di produrre materiali eterogenei su di un fronte (se non su di una superficie) esteso a tutto questo tratto di litorale.

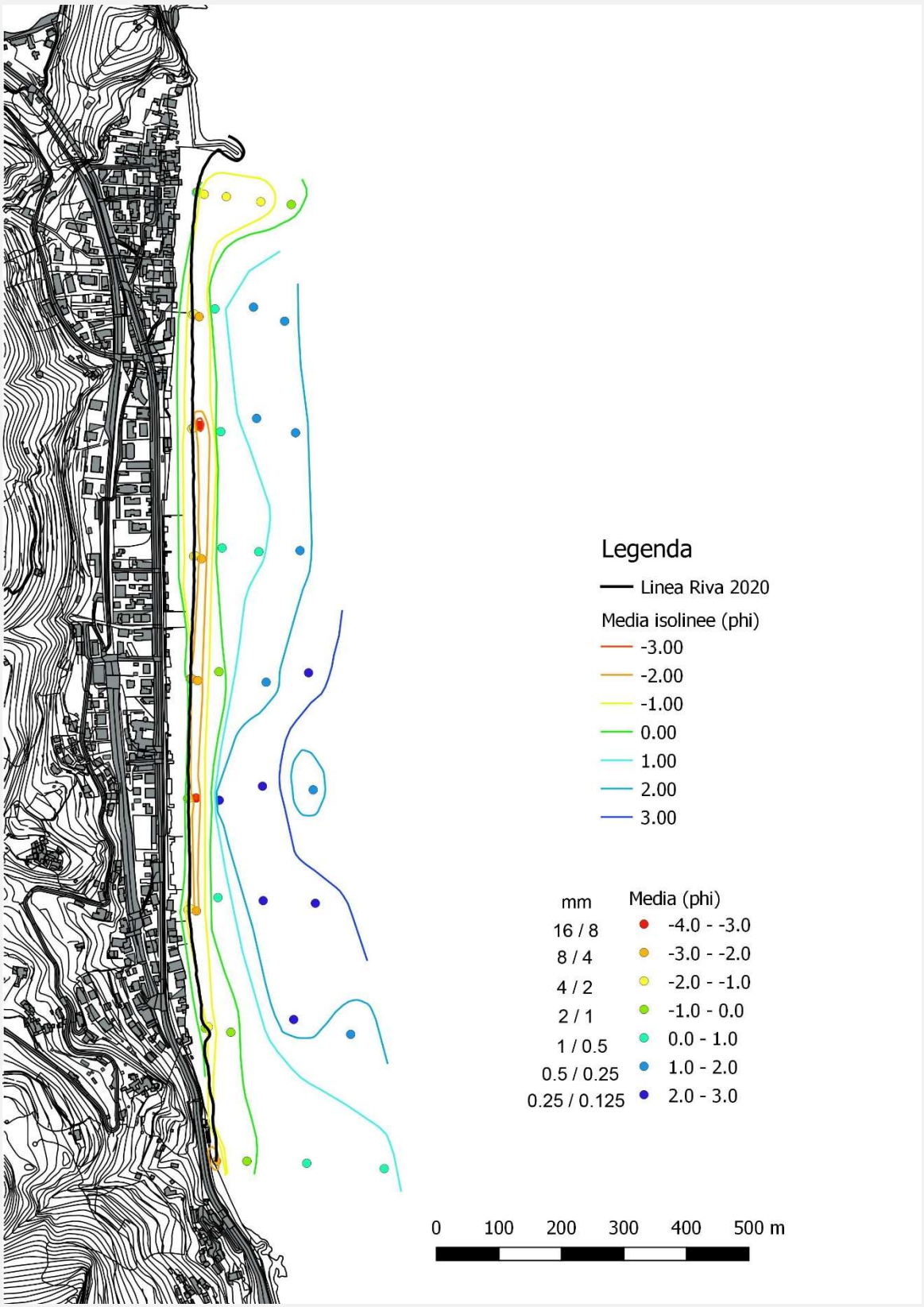
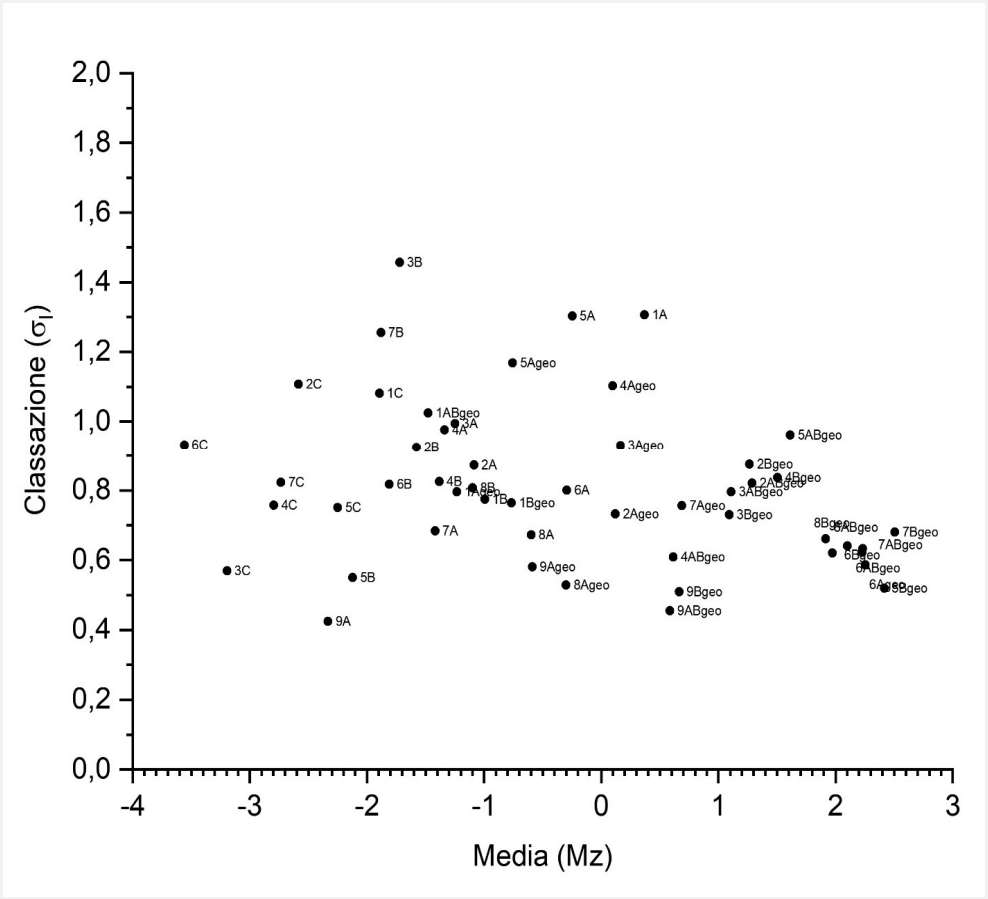


Figura 3. Distribuzione areale dei valori della Media (Mz) lungo il litorale di Varigotti.



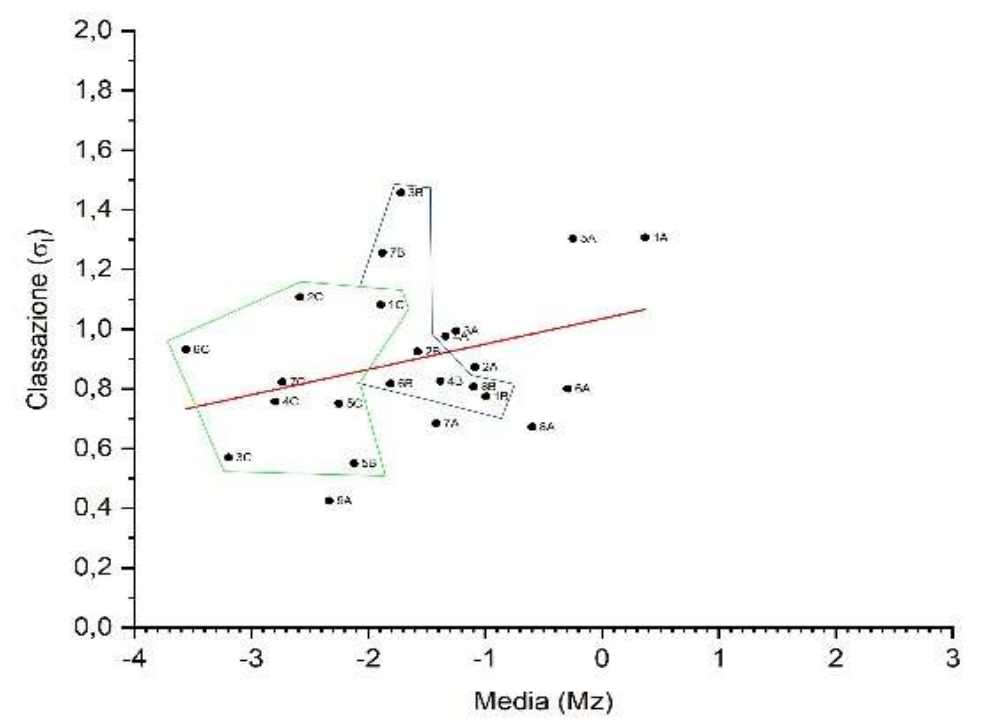


Figura 4 Grafico Media (Mz) / Classazione (σ_I) per i sedimenti del litorale di Varigotti. Nel grafico in basso solo i campioni di, battigia, step e -1 m.

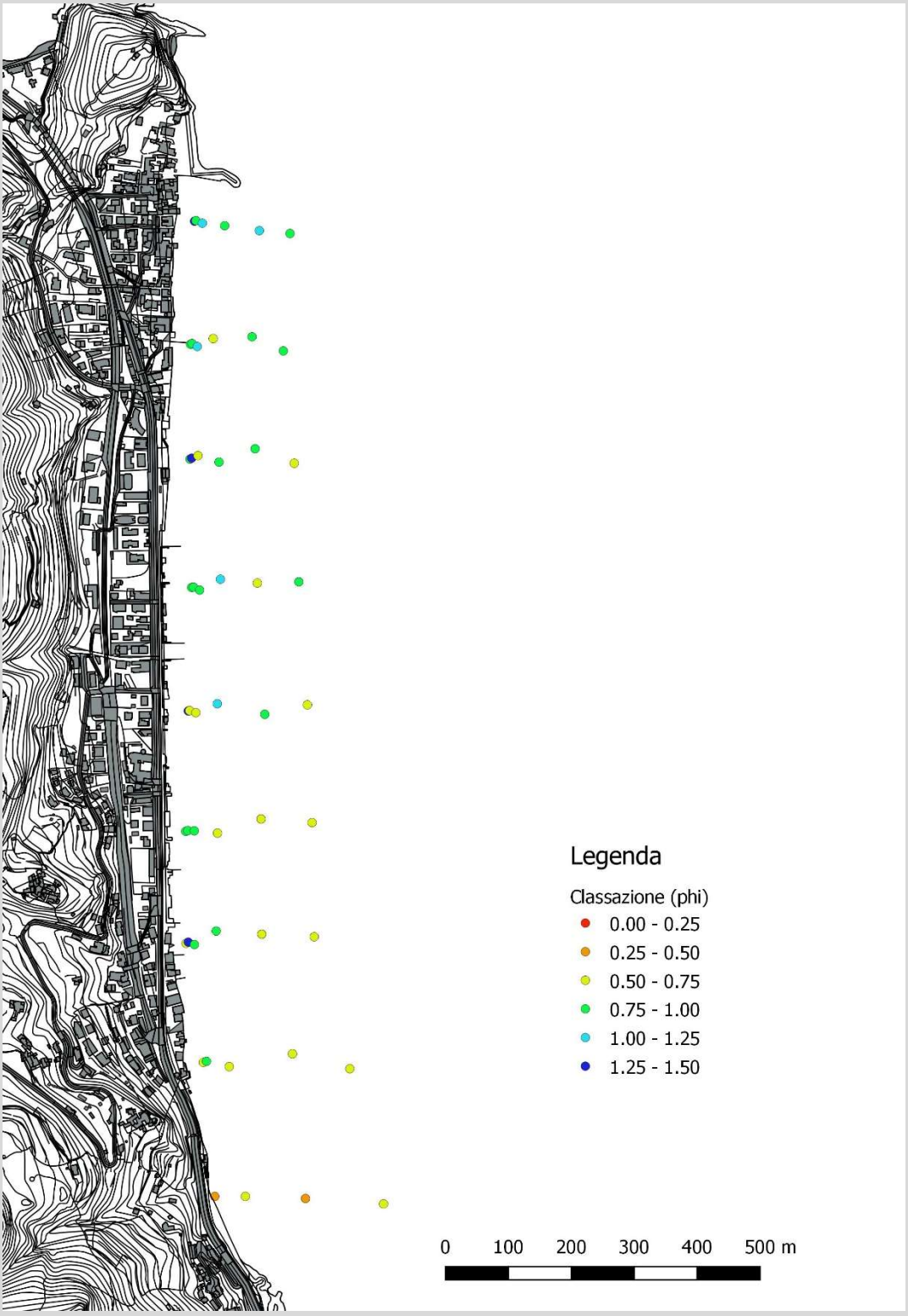


Figura 5. Distribuzione areale dei valori della Classazione (σ_I) lungo il litorale di Varigotti.

Se invece che analizzare i singoli parametri statistici dei vari campioni, si mettono a confronto le rispettive distribuzioni granulometriche, emerge un quadro leggermente più

ordinato e leggibile. Ciò è stato fatto attraverso la **Cluster analysis**, che tende a raggruppare i campioni in base alla somiglianza reciproca utilizzando, non tanto i valori sintetici quali Media e Classazione, bensì tutte le percentuali delle frazioni granulometriche derivanti dalla setacciatura. Si genera così un dendrogramma con ramificazioni che portano a campioni sempre più simili. Questo viene poi tagliato per isolare gruppi con determinati livelli di somiglianza. In tal modo sono identificate 5 famiglie di sedimenti la cui distribuzione spaziale è rappresentata in Figura 6.

Ovviamente esiste una somiglianza con la carta della distribuzione dei valori della Media (Mz) ma si discriminano in modo più netto i sedimenti di battigia, step e dei fondali antistanti, con l'accumulo di sabbie fini al centro della falcatura. Significativo è che sabbie simili a quelle della spiaggia battigia e step si trovano al largo solo in corrispondenza del pennello, cosa che rafforza l'ipotesi di un flusso in uscita dal sistema. Ovviamente questa informazione non è indipendente da quella ottenuta sulla base delle dimensioni medie dei sedimenti, ma ne supporta l'interpretazione

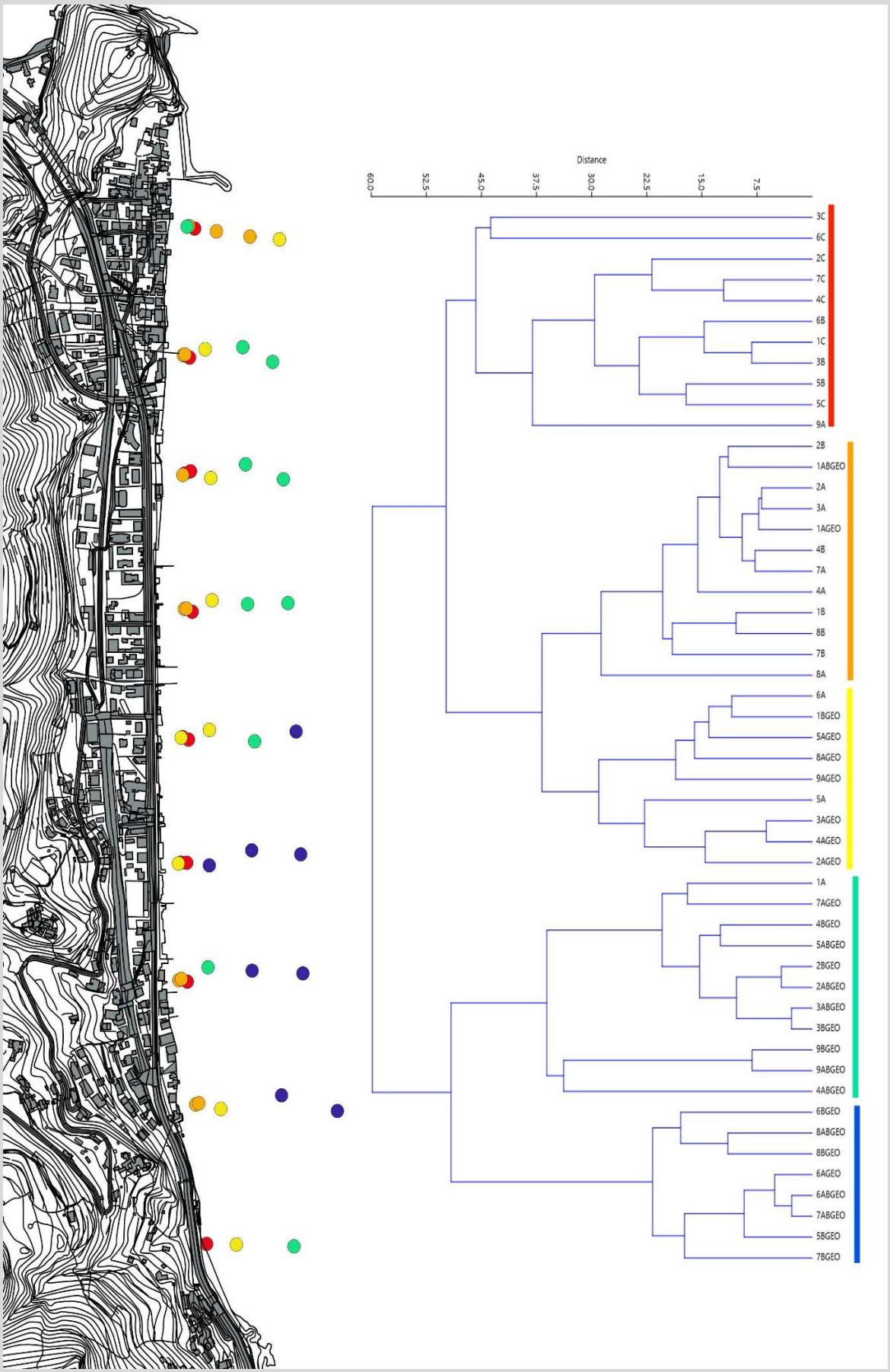


Figura 6. Cluster analysis dei sedimenti della spiaggia di Varigotti.

Come ulteriore tentativo di interpretazione della dinamica di questa spiaggia su dati sedimentologico, è stata applicato il metodo proposto da **Gao e Collins** (1991)

Questo valuta la "possibilità" di una relazione sorgente-deposito fra due campioni in base ai rispettivi valori di Media, Classazione ed Asimmetria. In pratica, si confrontano i valori dei tre parametri di un campione Sorgente con quelli di tutti i campioni vicini per valutare se questi possono essersi generati con un processo di erosione – trasporto – deposizione dal campione Sorgente. In tal caso si traccia una linea che parte dal punto Sorgente ed è diretta al punto Deposito. In Figura 7a compaiono questi vettori, mentre in Figura 7b i vettori sono stati oggetto di un filtraggio che media gli originali vettori in modo da eliminare il rumore dato da variazioni granulometriche ad alta frequenza ed evidenziare così flussi a scala maggiore. Nell'interpretazione dei risultati si deve tenere conto del fatto che nei campioni esterni (a terra e a mare) i vettori possono non corrispondere esattamente ai flussi potenziali non avendo intorno una completa possibilità di confronto.

I vettori non filtrati danno una distribuzione abbastanza caotica delle possibili direzioni di trasporto; cosa prevedibile in conseguenza di sorgenti multiple e brusche variazioni morfologiche date dalla beach rock. Al contrario, l'applicazione di un filtro passa basso ci presenta un quadro assai più comprensibile, con flussi convergenti sulla nearshore a sud, che progressivamente si orientano a nord procedendo verso l'estremità settentrionale della spiaggia.

Ciò potrebbe essere letto come un ingresso di sedimenti sia dalla spiaggia (vecchia discarica) sia dalla beach rock; questi, pur con ancora apporti dalla beach rock si dirigono progressivamente verso il pennello, per poi uscire dal sistema.

E' ovviamente una interpretazione 'forzata' che necessiterebbe di ulteriori conferme.

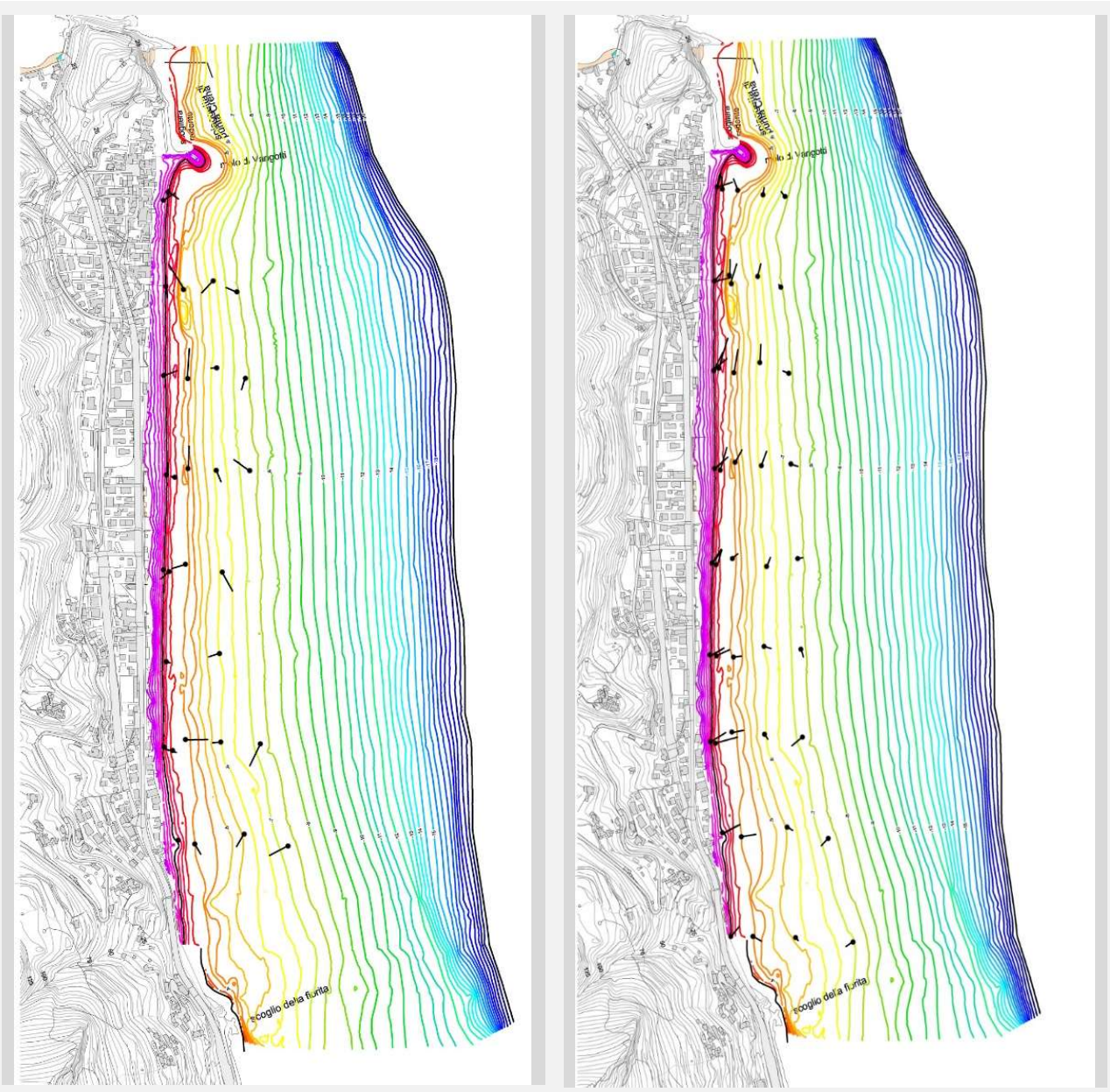


Figura 7. Vettori di trasporto identificati con il metodo di Gao e Collins (1991); a) non filtrato; b) filtrato. I punti identificano i campioni e i segmenti le 'possibili' direzioni di trasporto.

Conclusioni

Più che delle conclusioni questo studio propone degli spunti di riflessione che potrebbero indirizzare le domande da porre ad una modellistica numerica.

In ogni caso il quadro che emerge conferma la complessità del sistema, la duplicità delle sorgenti di alimentazione e la varietà delle condizioni energetiche a cui sono sottoposte sia la spiaggia emersa sia quella sommersa.

Ai fini dell'impostazione progettuale si ritiene di poter affermare che il profilo della spiaggia è determinato dalle frazioni granulometriche più frequenti, e che *i ciottoli e la ghiaia più grossolana, presenti lungo determinate fasce (step, -1 m e piede della beach rock), possono non rientrare nel fuso granulometrico del materiali da impiegare per il ripascimento.*

Da considerare con particolare attenzione è l'ipotesi di un flusso in uscita verso nord che determinerebbe la perdita di sabbie che costituiscono l'arenile.

2. Definizione del Campione composito di riferimento e limiti di accettabilità

Premessa

Per il ripascimento artificiale dei litorali si deve utilizzare sabbia che risponda a diverse esigenze:

- essere il più simile possibile a quella naturale per dimensioni e colore,
- garantire una migliore stabilità che ne consenta una lunga durata,
- essere disponibile per quantità e costo.

Nelle spiagge urbane o a prevalente uso turistico-balneare gli aspetti estetici, e quindi il colore, e di fruibilità (dimensioni e forma dei granuli) possono portare alla scelta di materiali con una minore stabilità se superano un'analisi costi-benefici.

Per quanto riguarda il colore, indagini fatte in Italia ed in altre parti del mondo, dimostrano un maggior gradimento per i sedimenti più chiari ed eventualmente tendenti al giallo, mentre più discutibile è il discorso sulle dimensioni dei granuli. Sabbia fine è più indicata per spiagge frequentate da famiglie (per la pendenza minore della battigia e la possibilità di fare i giochi tradizionali), mentre quella più grossolana rende l'acqua più trasparente, non vola e non rimane attaccata alla pelle.

Un buon progetto di ripascimento deve quindi tenere conto sia degli aspetti puramente tecnici, sia di quelli qualitativi legati alla percezione da parte dei frequentatori.

Determinazione della granulometria del campione native e limiti di accettabilità

La stabilità è determinata quasi esclusivamente dalle dimensioni dei granuli, ed è su questo punto che fino ad oggi si è focalizzato lo sforzo dei progettisti, spesso utilizzando i metodi proposti dallo Shore Protection Manual (USASCE) a cui si è recentemente affiancato un metodo proposto sulla rivista Coastal Engineering.
A questi metodi si farà riferimento per la valutazione della stabilità dei materali, che comunque è garantita anche dai limiti che vengono definiti più avanti.
Il colore è stato spesso considerato un elemento di minor importanza, cosa che ha talvolta determinato gravi impatti sull'ambiente costiero, se non altro dal punto di vista paesaggistico.
La disponibilità e costo dipende dalle condizioni del mercato, dalla distanza del sito di prelievo e, per sedimenti di origine terrestre, dalla viabilità e dall'accessibilità della spiaggia.
In ogni caso il problema che si pone all'inizio è la determinazione di un campione di sedimenti a cui fare riferimento, generalmente definito *native*, che deve rappresentare i sedimenti della spiaggia. Questo non pone molti problemi dove vi è uniformità dimensionale (e in genere colorimetrica) sia long-shore che cross-shore, mentre nel caso della spiaggia di Varigotti questa uniformità non si registra neppure in senso verticale, come hanno mostrato delle semplici buche scavate sulla berma (Tavola 1).
I sedimenti che costituiscono l'arenile di Varigotti sono qui rappresentati da un campione composito (Figura 1) costituito da 8 campioni prelevati lungo i circa 500 m della spiaggia, ciascuno in posizione mediana e per uno spessore di 10 cm.
Il Composito è stato creato fisicamente unendo 200 g di materiale da ogni campione.
Di questa miscela di 1600 g è stata fatta l'analisi granulometrica con setacciatura meccanica a secco per 10' con intervallo di ½ phi. Dal peso delle varie frazioni sono state calcolate le percentuali e le percentuali cumulative per giungere ai percentili 5, 16, 25, 50, 75, 84, 95 necessari per il calcolo dei parametri tessiturali di Folk & Ward (1957) Media (Mz), Classazione (σ_I), Asimmetria (Sk_I):
In base a questi, il sedimento viene classificato come *Sabbia molto grossolana* (al limite con i *Granuli*) secondo la scala verbale di Krumbein (1934); *moderatamente classato* e *simmetrico* secondo la classificazione degli stessi Fork & Ward (1957). La non scarsa classazione e l'asimmetria per un campione composito non sono la norma e questo significa

che il litorale in oggetto ha una discreta omogeneità tessiturale lungo riva. Alla luce di ciò si può affermare che il campione composito è idoneo a rappresentare i sedimenti di tutto il litorale, almeno nella spiaggia emersa. In Figura 2 questo campione è denominato CompositoFeb2020.

Parametri	Folk & Ward
Media (phi)	-0.9076
Media (mm)	1.876
Classazione (phi)	0.7758
Asimmetria	-0.0558

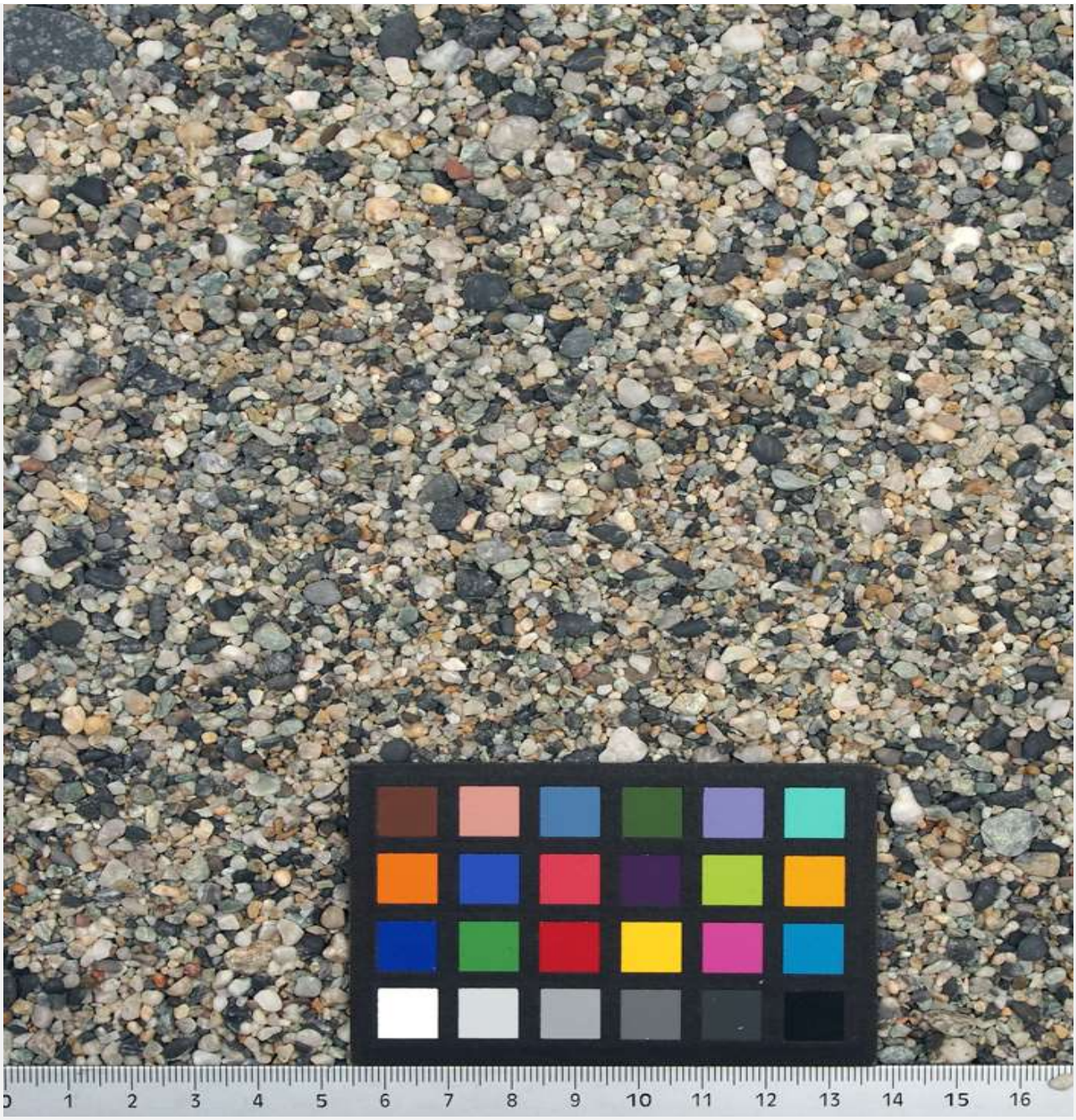


Figura 1. Campione composito rappresentativo della spiaggia di Varigotti.

La campagna di rilievi effettuata nel Maggio 2020 ha previsto il campionamento lungo 9 transetti passanti per i punti di campionatura del Febbraio 2020 e, oltre ai punti precedentemente campionati, è stato preso un campione sulla battigia, uno sullo step ed uno a m 1,00÷-1,20 circa di profondità di battente d'acqua.

Con questi sono stati creati, in via matematica dato che tutti erano stati sottoposti ad analisi granulometrica, due campioni compositi; il Composito AB (con battigia e step) e il Composito ABC con anche i campioni di -1m (vedi Tavola posizione dei campioni). Inoltre, con questi ultimi è stato fatto un ulteriore Composito, che mostra una ancor più evidente distribuzione

bimodale dovuta alla presenza di elementi ancor più grossolani che derivano, in parte dalla discarica effettuata negli anni passati allo Scoglio della Fiorita e, prevalentemente, dall'erosione della beach rock: questi si muovono ortogonalmente e parallelamente a riva con ondazioni più intense, ma che non concorrono alla formazione del profilo della spiaggia. Tutti i Compositi sono rappresentati nella Figura 2.

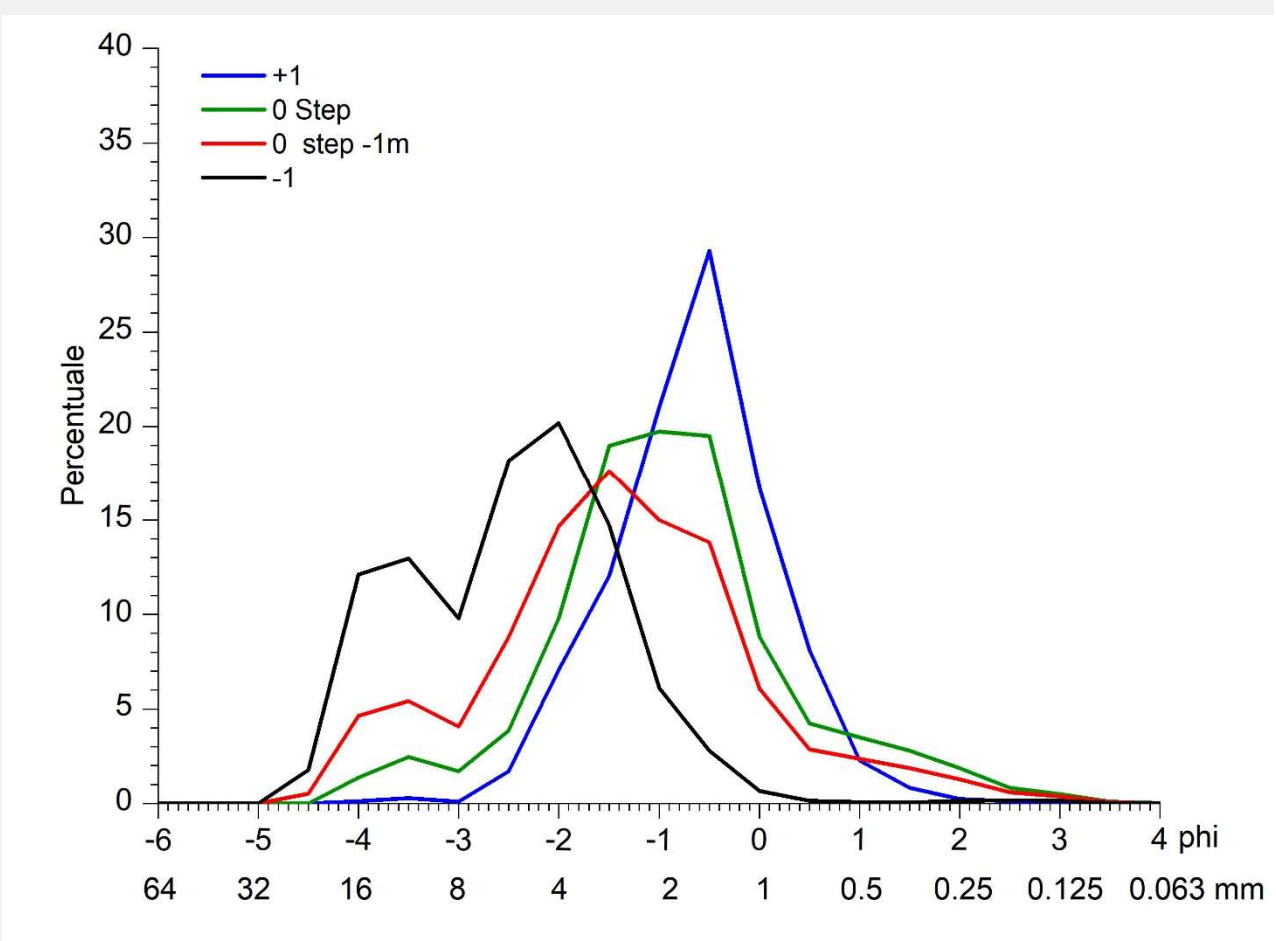


Figura 2. Distribuzione granulometrica dei vari Campioni compositi costituiti per rappresentare la spiaggia di Varigotti nella valutazione dei materiali di ripascimento.

Il considerare anche i sedimenti di step e quelli presenti a – 1m per la formazione del campione composito è una scelta che viene considerata cautelativa, dato che in questa posizione del profilo sono in genere presenti i granuli di dimensioni maggiori (Figura 3).



Figura 3. Foto del campione 6C; raccolto a -1m, ha i granuli più grossi fra i sedimenti campionati, ma sull'arenile si trovano anche elementi di dimensioni maggiori

Facendo riferimento al Composito Bsttigia-Step-1m, e intendendo conferire al ripascimento una stabilità leggermente superiore a quella dei sedimenti attuali, senza modificare in modo eccessivo la fruibilità dell'arenile le dimensioni dei materiali da versare potrebbero essere comprese fra quelle del 16° e quelle del 50° percentile, ossia scostarsi al massimo di una deviazione standard dalle dimensioni del D50 verso la coda grossolana (Figura 4).

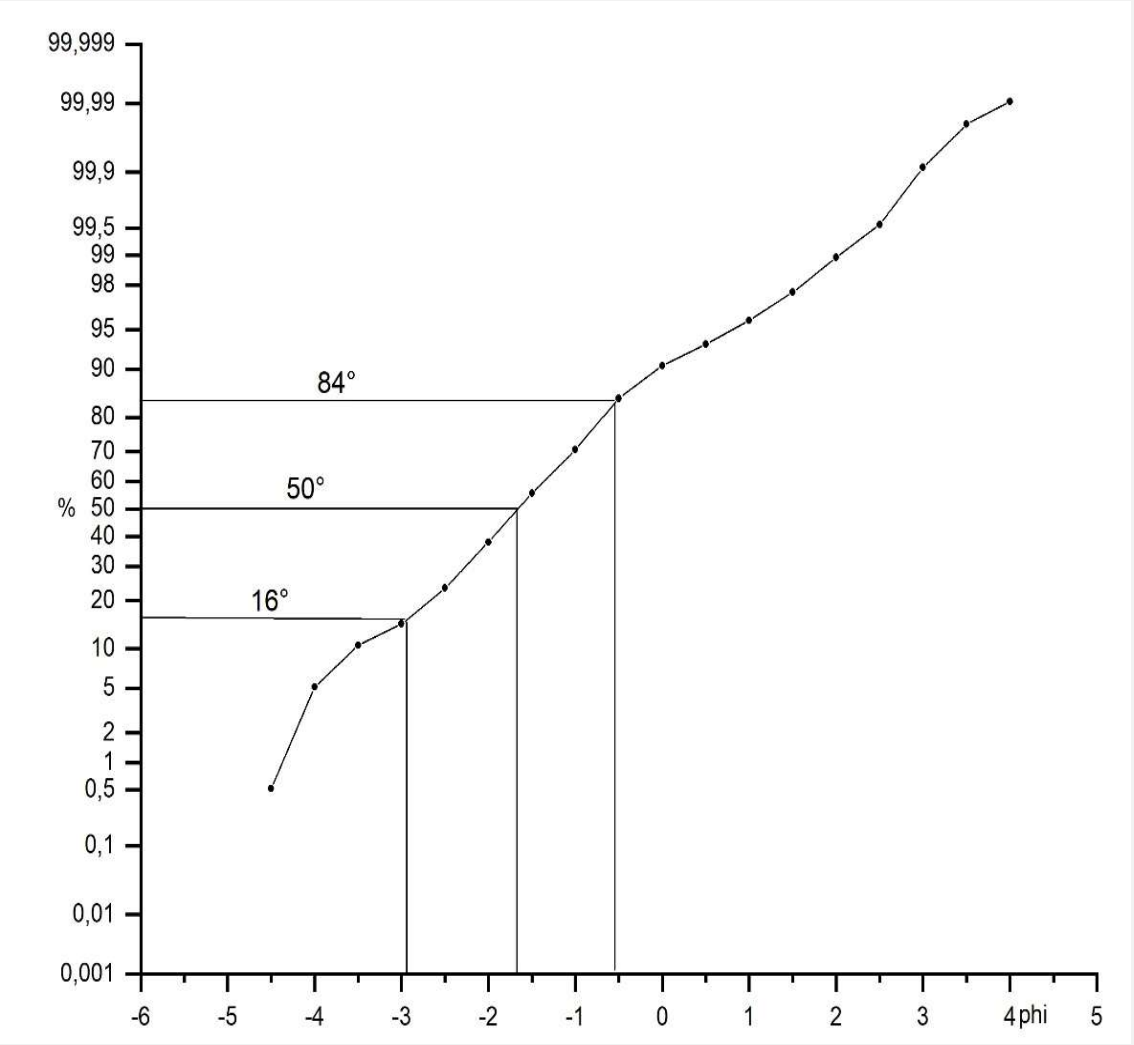


Figura 4. Curva cumulativa in scala log-probabilistica del campione Composito Battigia, Step, -1m.

Ciò significa utilizzare sedimenti compresi fra -0,55 phi e -2,90 phi (1.46 mm - 7.46 mm; da calibrare secondo le categorie commerciali). Si tratta di un range piuttosto largo, che rispetta la variabilità dei sedimenti attualmente presenti sulla spiaggia di Varigotti, ma granuli con una classazione minore (più omogenei) non tenderebbero a separarsi come lo fanno attualmente le sabbie e le ghiaie, che presentano quella variabilità laterale e verticale a cui abbiamo accennato all'inizio.

Altra ipotesi è quella di allargare il fuso granulometrico in modo asimmetrico, espandendolo di 1 phi verso le frazioni grossolane (Tabella 1 e Figura 5).

La granulometria dei materiali di ripascimento dovrà essere determinata tramite setacciatura meccanica a secco con intervallo 1/2 phi.

Le dimensioni del D_{50} dovranno essere superiori a -0.87 phi (superiori a 1.83 mm) e la curva cumulativa dovrebbe stare all'interno del fuso granulometrico di Figura 3 che può essere ricostruito con i valori in Tabella 1.

Tabella 1. Percentuali cumulative per la ricostruzione delle curve che definiscono la distribuzione granulometrica del campione di riferimento e i limiti di accettabilità dei materiali di ripascimento.

Phi	mm	Composito	-1 phi
-6	64	0	0
-5,5	45	0	0
-5	32	0	0,11704
-4,5	23	0	0,40777
-4	16	0,11704	0,49740
-3,5	11	0,40777	2,21033
-3	8	0,49740	9,28433
-2,5	5.6	2,21033	21,31075
-2	4	9,28433	42,35682
-1,5	2.8	21,31075	71,65462
-1	2	42,35682	88,37133
-0,5	1.41	71,65462	96,48938
0	1	88,37133	98,76481
0,5	0.71	96,48938	99,59711
1	0.50	98,76481	99,84203
1,5	0.350	99,59711	99,95149
2	0.250	99,84203	99,98617
2,5	0.177	99,95149	99,98942
3	0-125	99,98617	99,99750
3,5	0.088	99,98942	99,9990
4	0.063	99,9975	100,0000

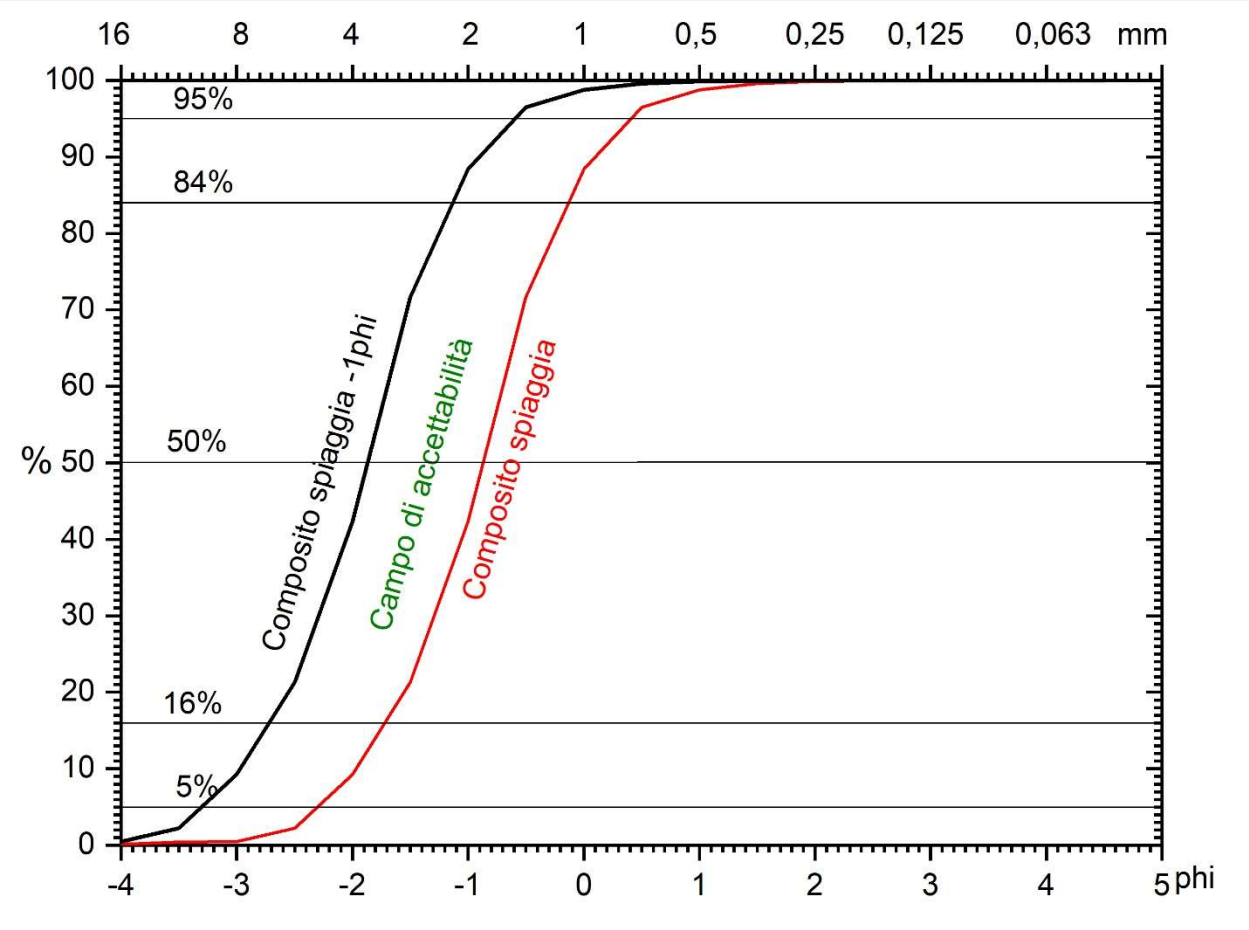


Figura 5. Fuso granulometrico per l'accettabilità dei materiali di ripascimento.

I limiti precedentemente identificati non sono limiti utilizzati nella produzione dei materiali e quindi è necessario riformularli in modo da avere la garanzia della loro reperibilità e la facilità nel controllo della fornitura; tutto ciò ovviamente senza allontanarsi dai criteri indicati.

Ai fini del capitolato d'appalto, si suggerisce di indicare materiali compresi fra 8.0 mm e 1.5 mm, garantendo però una certa eterogeneità, e quindi richiedendo che la frazione 8.0 – 4.0 mm si mantenga fra il 40% e il 60%, di conseguenza la frazione 4.0 mm e 1.5 mm dovrà stare fra il 60% e il 40% (Figura 6).

La percentuale di frazione fine (inferiore a 0,0625 mm) dovrebbe essere assente, ma verrà ammessa fino ad un massimo del 2% e da determinarsi con setacciatura ad umido.

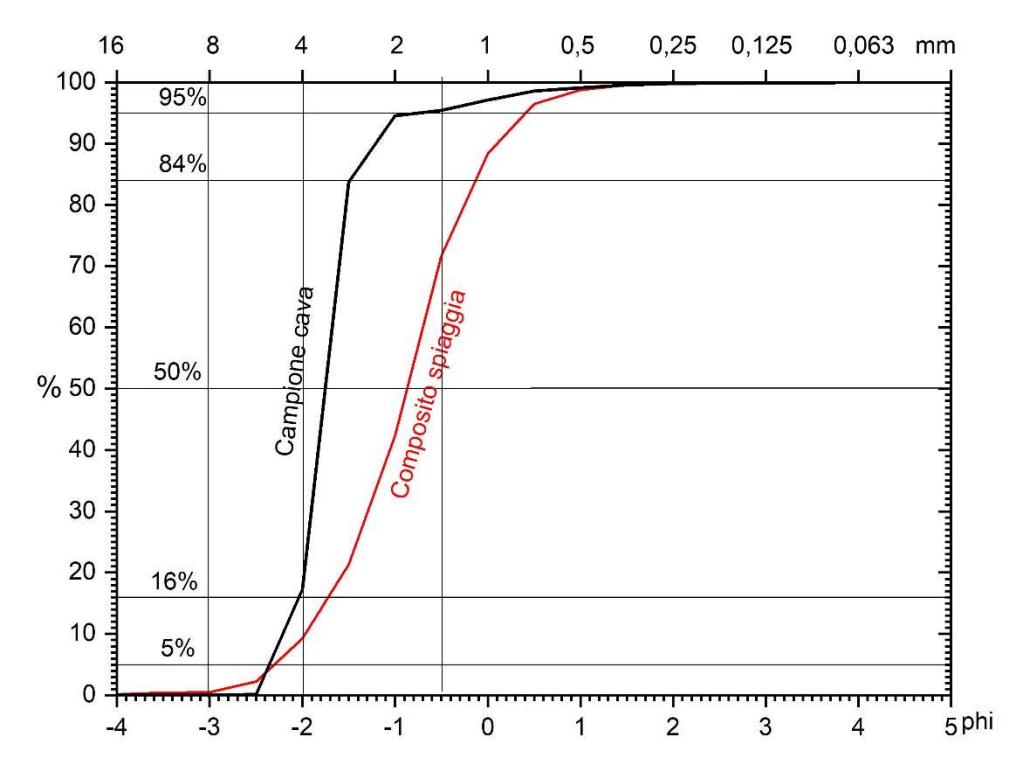


Figura 6. Esempio di un campione che rientra nei limiti 8.0 – 1.5 mm ma che non rispetta le proporzioni fra la frazione più grossolana (8.0 – 4.0 mm) e quella più fine (4.0 – 1.5 mm).

Determinazione del colore del composito e dei limiti di accettabilità

Il colore dei materiali di ripascimento dovrà essere definito nello spazio colorimetrico CIEL*a*b* come indicato nelle *Linee Guida per la Difesa della Costa dai fenomeni di Erosione e dagli effetti dei Cambiamenti climatici* elaborato dal Tavolo Nazionale sull'Erosione Costiera MATTM-Regioni con il coordinamento tecnico di ISPRA.

Lo spazio CIEL*a*b* costituisce un riferimento codificato e certificato dalla Commission Internazionale de l'Éclairage (CIE); l'Illuminante adottato è il D65, che corrisponde allo spettro solare in condizioni di cielo sereno.

Il parametro L* definisce la luminosità (da 0 = Nero a 100 = Bianco), mentre i parametri a* e b* danno la cromaticità (a* da Verde a Rosso; b* da Blu a Giallo) con valori da -100 a +100 (Figura 7).

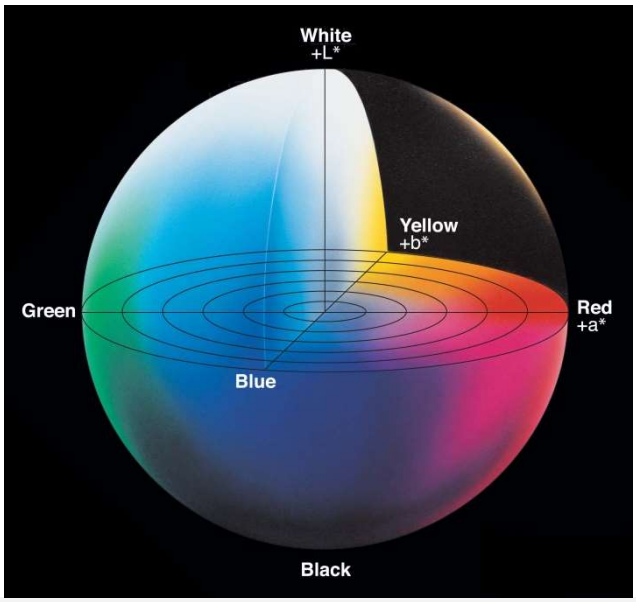


Figura 7a - Lo spazio CIEL*a*b*.

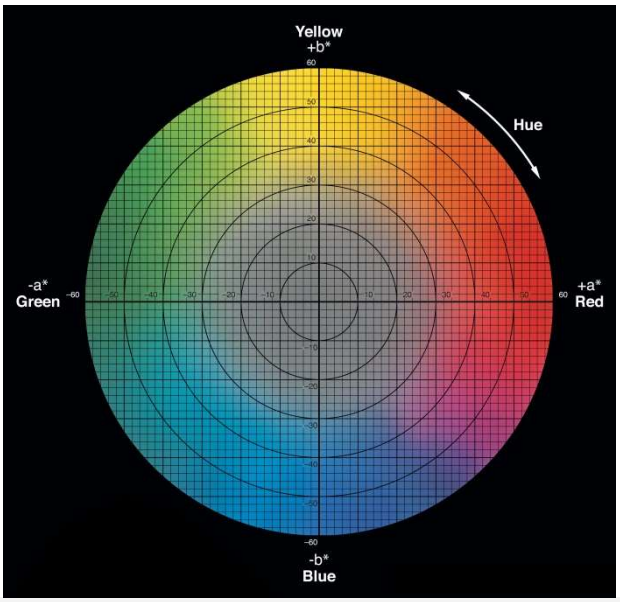


Figura 7b - Diagramma di cromaticità a*,b* dello spazio colore CIEL*a*b*.

Definite le coordinate del campione di riferimento L* = 54,89; a* = 0,54; b* = 4,86, e in considerazione del maggiore gradimento per le sabbie chiare e giallo/rosse, rispetto a quelle blu/verdi, come suggerito dalle Linee guida del Ministero dell'Ambiente, il range di accettabilità viene decentrato verso sedimenti più luminosi e più gialli/rossi: -1<ΔL*<+7, -2 <a*<+4 e -2< b*<+4 come in Figura 8.

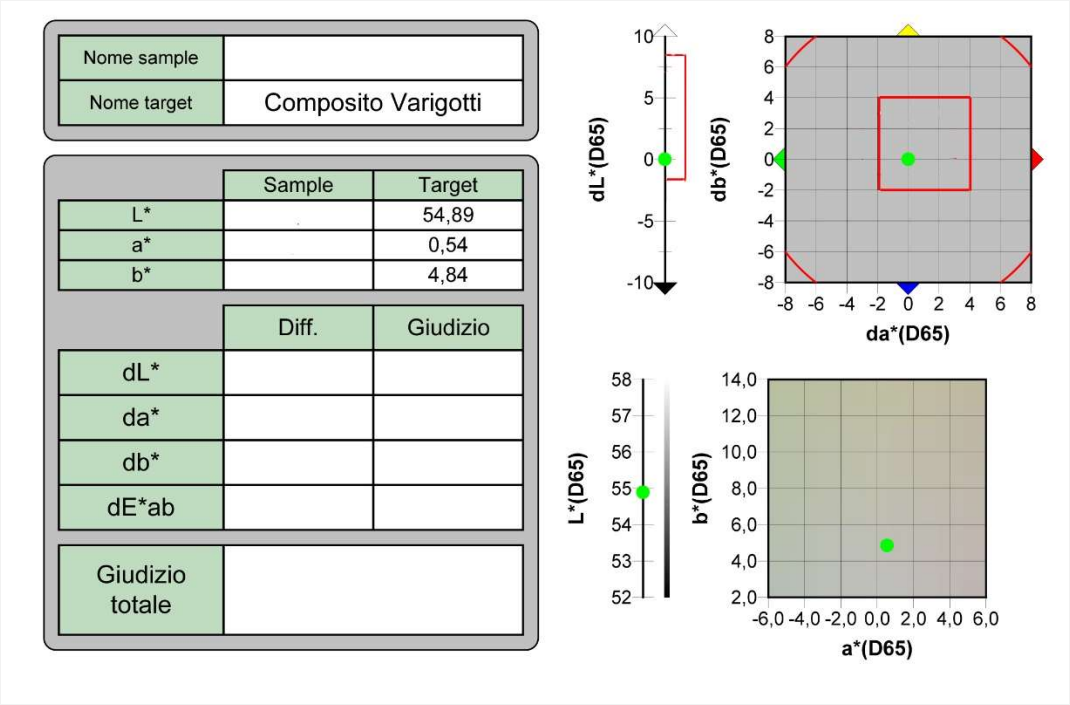


Figura 8. Coordinate colorimetriche nello spazio CIEL*a*b* del campione Composito Feb2020 e delimitazione del range di compatibilità per i materiali di ripascimento.

Analisi della disponibilità di sedimenti

Dopo la determinazione delle caratteristiche tessiturali e colorimetriche del campione di riferimento è iniziata l'analisi dell'offerta del mercato, sia con sopralluoghi alle cave o ai luoghi di stoccaggio, sia con la richiesta di dati e campioni ai vari produttori.
Questa indagine non intende ovviamente identificare esattamente da dove dovrà venire il materiale per il ripascimento, bensì accertarsi che i sedimenti con le caratteristiche richieste siano disponibili sul mercato.
I vari campioni sono stati anche fotografati, sia da soli che in confronto con la sabbia di Varigotti (es. nelle Figure 9 e 10).



Figura 9. Due tipologie di materiali dello stesso produttore e dello stesso intervallo granulometrico.

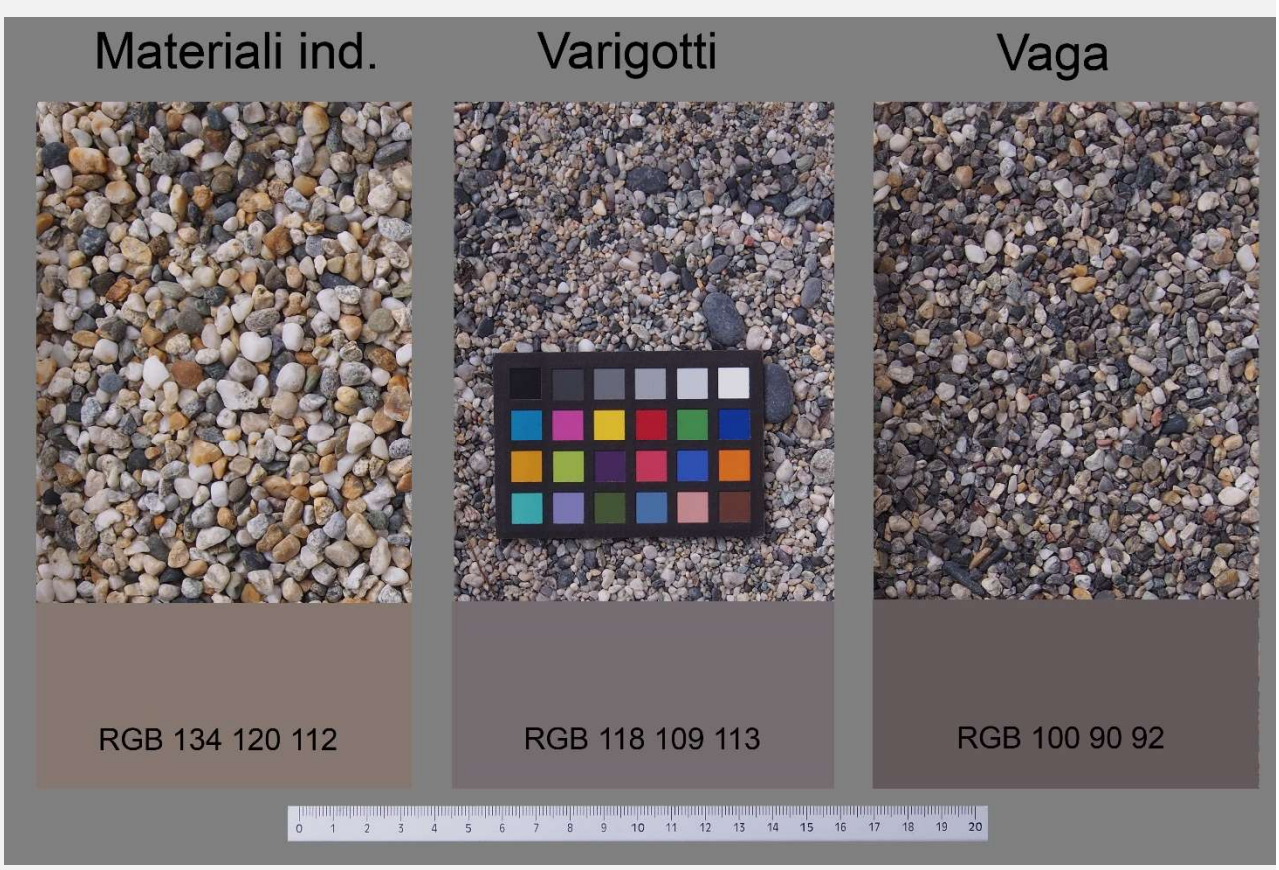


Figura 10. Confronto fra il Campione composito di Varigotti e due campioni di cava.

In Figura 11 è tracciato il fuso granulometrico del campione composito rappresentativo della spiaggia di Varigotti e quelli di alcuni materiali prelevati presso le cave analizzate o ricevuti dai produttori.

Ovviamente nessuno si sovrappone alla curva del Composito di Varigotti, cosa che d'altra parte non è l'obiettivo della ricerca, ma si vede la possibilità di identificare il sedimento opportuno, eventualmente miscelando varie produzioni (es. in Figura 12).

Per i materiali con elevata classazione, la produttività potrebbe essere bassa e non compatibile con le esigenza di realizzazione dell'intervento. È questa un'altra variabile che spesso accompagna i progetti di ripascimento.

Altra limitazione è data dalla necessità di avere in prevalenza granuli arrotondati, cosa che porta ad escludere un apporto consistente di materiali prodotti per frantumazione di roccia, in particolare per le frazioni di dimensioni maggiori (Figura 13).

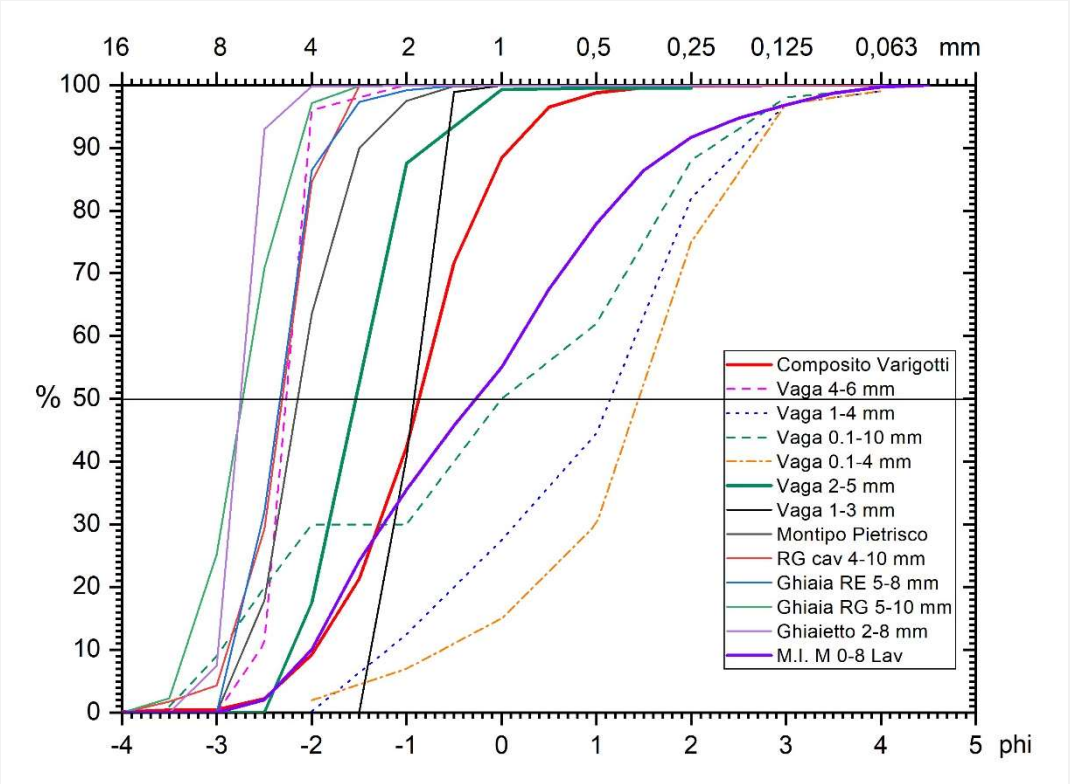


Figura 11. Fuso granulometrico del campione composito rappresentativo della spiaggia di Varigotti e quelli di alcune cave analizzate.

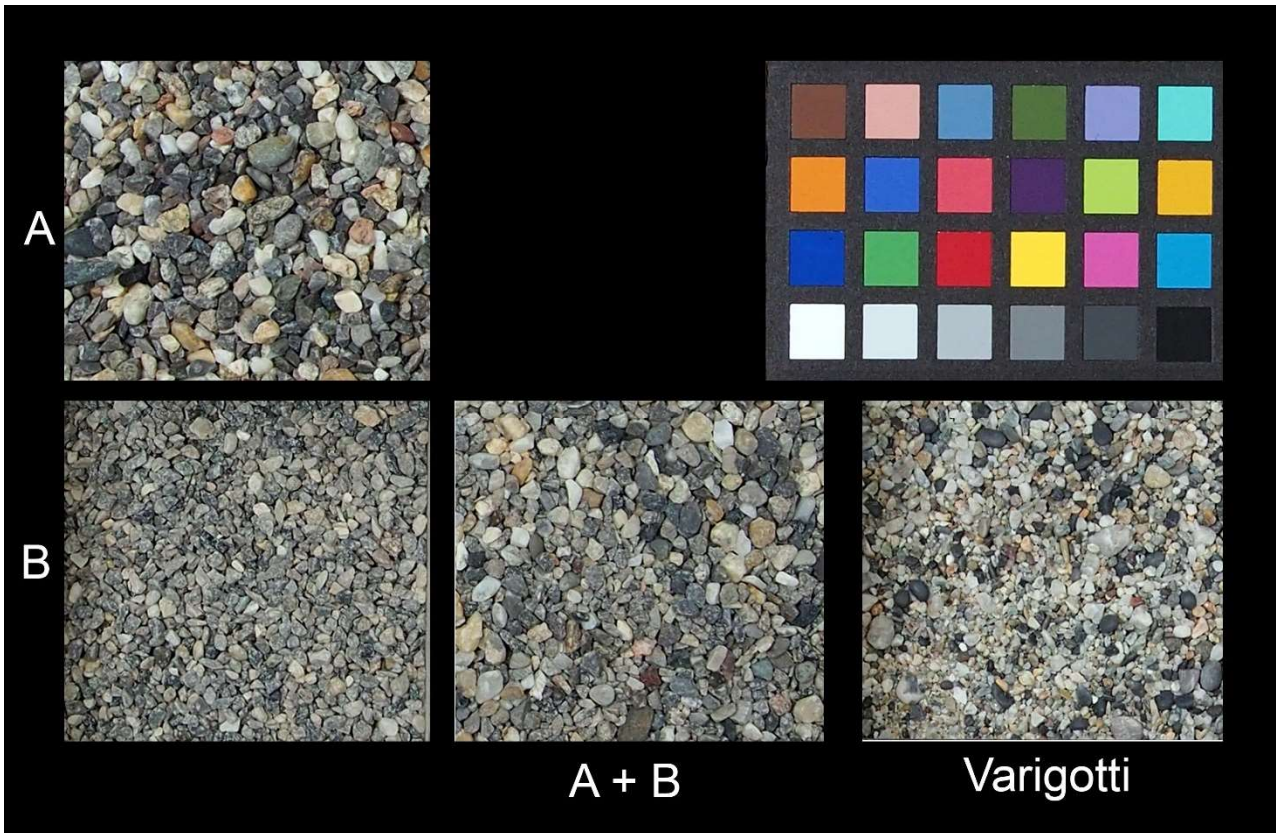


Figura 12. Miscelazione di due campioni (50% + 50%) per ottenere una miscela meno classata.

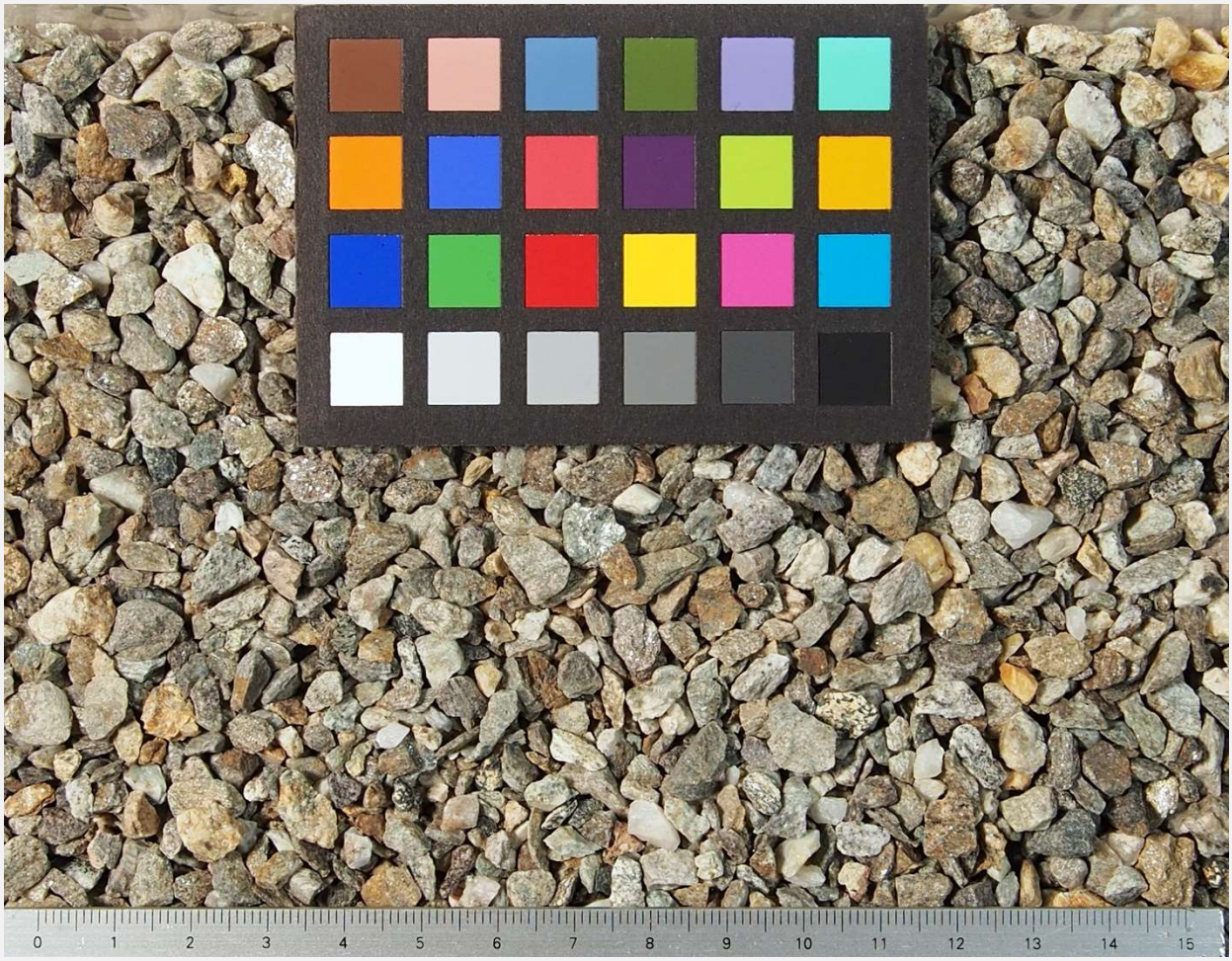


Figura 13. Ghiaia prodotta per frantumazione da roccia.

Anche per il **colore** sono state fatte numerose analisi e confronti (Figura 14) utilizzando la metodologia descritta nelle “Linee guida per la difesa dei litorali …” del Ministero dell’Ambiente (Figura 15).

I campioni considerati si avvicinano molto ai limiti suggeriti (Vedi Tavola 2), ma nessuno è risultato rispettare tutti e tre i limiti richiesti (dL*, da*, db* e ΔLab, ma è possibile rientrarvi con miscele opportune, in particolare se si accetta un leggero spostamento del colore verso il giallo (Figura 15), cosa, fra l’altro, gradita ai frequentatori delle spiagge.

Per alzare i valori di Luminosità (L*), parametro principale per il gradimento del colore da parte degli stakeholder, si sono costruire anche delle miscele in cui entra una parte minima di marmo di Carrara (Figura 16). Ciò in quanto nel sedimento nativo sono presenti elementi bianchi, in prevalenza quarzo, che ne innalzano le luminosità.

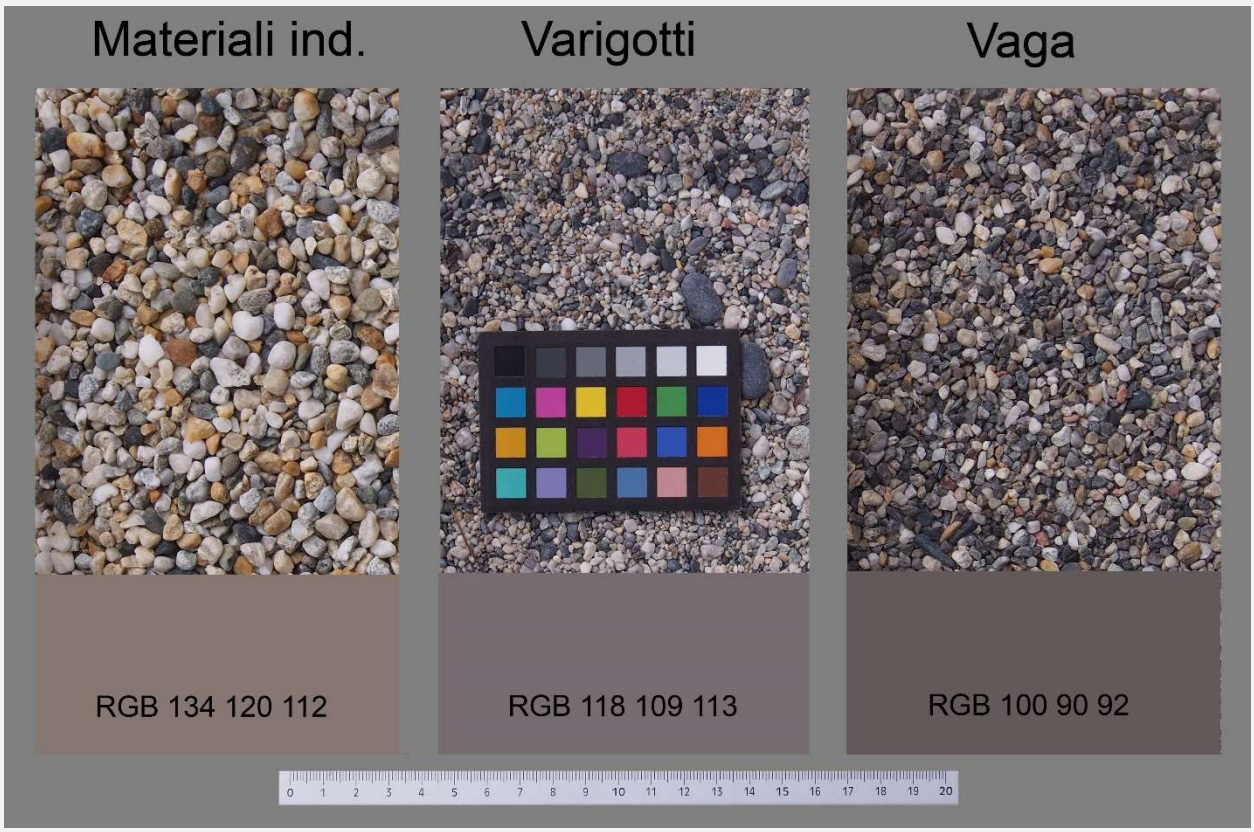
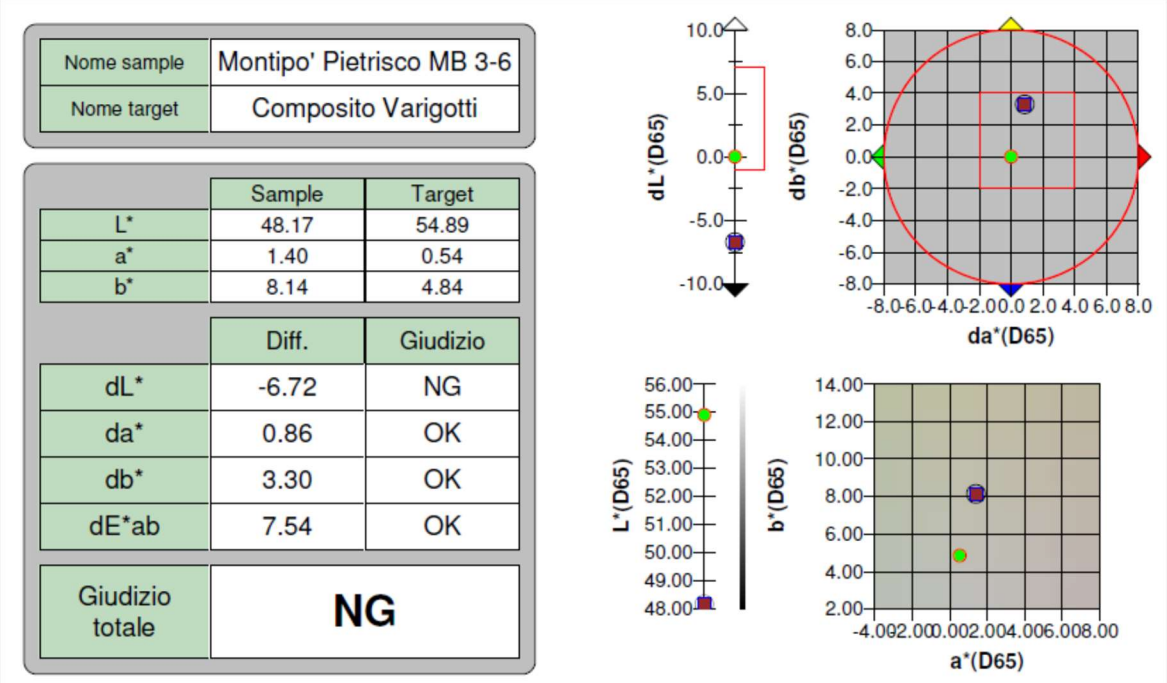


Figura 14. Confronto fra il Composito di Varigotti e due campioni di cava. Nei rettangoli in basso i valori ottenuti con un filtro medio e i relativi valori di Rosso, Verde e Blu.



Nome sample	Montipo' Pietrisco MB 3-6
Nome target	Composito Varigotti

	Sample	Target
L*	48.17	54.89
a*	1.40	0.54
b*	8.14	4.84

	Diff.	Giudizio
dL*	-6.72	NG
da*	0.86	OK
db*	3.30	OK
dE*ab	7.54	OK
Giudizio totale	NG	

Figura 15. Valutazione della compatibilità colorimetrica di un campione di cava.

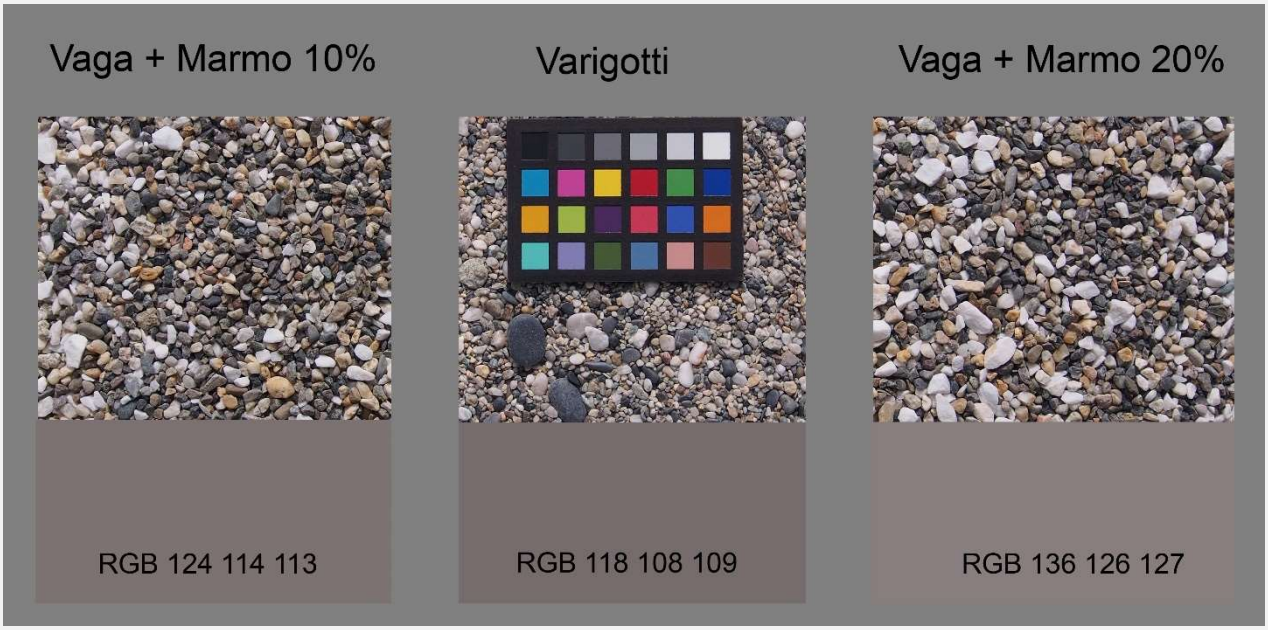


Figura 16. Confronto fra il Composito di Varigotti e un campione di cava con aggiunta del 10 e del 20% di marmo di Carrara. Nei rettangoli in basso i valori ottenuti con un filtro medio e i relativi valori di Rosso, Verde e Blu. La leggera differenza fra questi valori di RGB nella sabbia di Varigotti e quelli in Figura 10 deriva dal viverso punto su cui è stato applicato il filtro. Inoltre, in confronto è valido solo fra campioni della stessa foto.

In alternativa potrebbero venire usate ghiaie di Bardiglio (Figura 17), che risultano leggermente più scure.



Figura 17. Campione di Bardiglio.

Questi granuli, prodotti per frantumazione, presentano gli spigoli vivi, ma il loro arrotondamento, in particolare per il marmo, è piuttosto rapido. Cosa che ne favorisce la fruibilità ma, ovviamente, determina una riduzione del volume.

Nel considerare la possibilità di modificare la Luminosità (L*) del sedimento con l'aggiunta di granuli bianchi, si deve tener conto del fatto che la variazione non è rapida e se il materiale scuro si allontana molto dal Target richiesto, l'aggiunta di granuli chiari può raggiungere percentuali che vanno poi in conflitto con i limiti richiesti dalla petrografia, almeno che non siano silicei.

In Figura 18 vengono addizionate quantità crescenti di ghiaietto delle cave di Pavia, uno dei campioni precedentemente considerati, ad un campione di marmo bianco delle stesse dimensioni: il valore di Luminosità (L*) della spiaggia di Varigotti si ottiene con una miscela con circa il 20% di marmo.

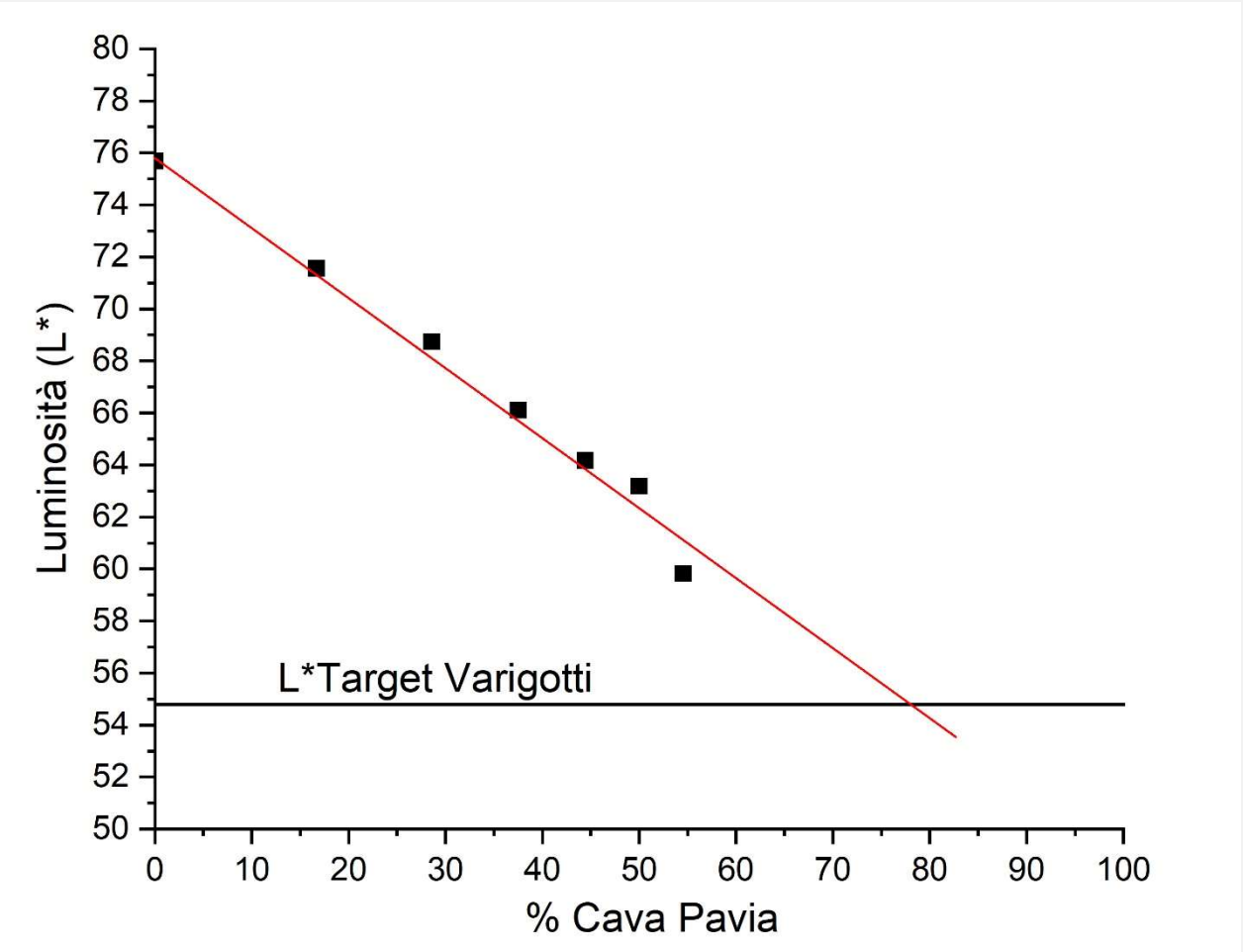


Figura 18. Relazione fra rapporto percentuale Ghiaia Pavia/Marmo bianco e Luminosità (L*) della miscela.

Considerando il range di ammissibilità (-1 < L* < +7) le quantità di materiale bianco potrebbero raggiungere anche il 50%, sempre tenendo conto dei limiti composizionali.

Conclusioni

Riassumendo le considerazioni precedentemente fatte, per il ripascimento della spiaggia di Varigotti si suggerisce di usare materiali con granulometrica compresa fra 1.5 mm e 8.0 mm, garantendo che le due frazioni 8.0 mm – 4 mm e quella 4.0 – 1.5 mm entrino nella distribuzione granulometrica in quantità comprese fra il 40% e il 60%.
Potrebbe anche essere versata una modesta quantità di ghiaia più grossolana, circa il 5%, che replichi i sedimenti presenti sullo step.
Per quanto riguarda il colore, facendo riferimento alle coordinate del Composito Varigotti nel sistema CIEL*a*b* di L* = 54,89; a* = 0,54; b* = 4,86, le coordinate del materiale di ripascimento dovranno stare all'interno del range così definito: -1< L*<+7, -2 <a*<+4 e -2< b*<+4).

Riferimenti bibliografici

Bloch J.P., Trichet J., 1966. Un exemple de grès de plage (côte ligure italienne). Marine geology, 4: 373-377.

Folk, R.L., Ward, W.C. 1957. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. Journal of Sedimentary Research, 27(1), 3-26.

Inman D.L. (1952), Measures for describing the size distribution of sediments. *Journ. Sedim. Petrol*, 22, 125-144.

James W.R., 1975. “Techniques in evaluating suitability of borrow material for beach nourishment”. T.M. 60, CERC, US Army Corps of Engineers, Fort Belvoir.

Krumbein W.C. (1934) - Size frequency distributions of sediments. Journ. Sedimentary Petrology, 4: 65-77.

Krumbein, W.C., James, W.R., 1965. “A lognormal size distribution model for estimating stability of beach fill material”. T.M. 16, US Army Corps of Engineers, Beach Erosion Board.

MATTM-Regioni, 2018. Linee Guida per la Difesa della Costa dai fenomeni di Erosione e dagli effetti dei Cambiamenti climatici. Versione 2018 - Documento elaborato dal Tavolo Nazionale sull'Erosione Costiera MATTM-Regioni con il coordinamento tecnico di ISPRA, 305 pp.

Pranzini E., Anfuso G., Munoz-Perez J.J. (2018) - A probabilistic approach to borrow sediment selection in beach nourishment projects. Coastal Engineering, 139: 32–35.

Pranzini E., Simonetti D., Vitale G. (2011) - Sand colour rating and chromatic compatibility of borrow sediments. Journal of Coastal Research, 26: 798-808.

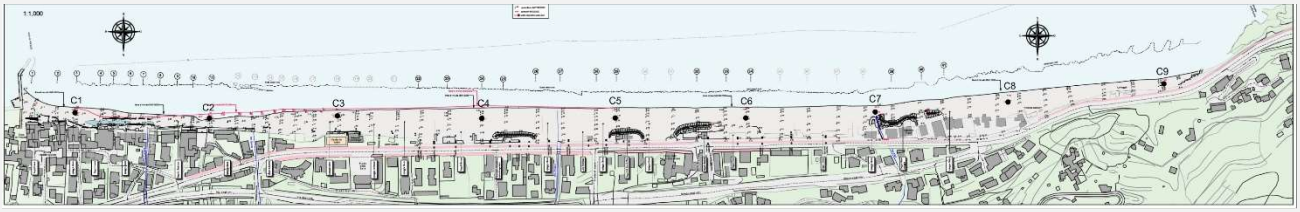
USACE, 2002. Coastal Engineering Manual, V-4-24 EM 1110-2-1100. Webpage http://www.publications.usace.army.mil/USACE-Publications/Engineer-Manuals/

Wentworth C.K. (1922) - A scale of grade and class terms for clastic sediments. Journ. Geology, 30: 377-392.

Bagno a Ripoli, 10 Agosto 2020 Prof. Enzo Pranzini



Tavola 1. Campionamento dei sedimenti di spiaggia del 08 02 2020



C1





C2





C3





C4





C5



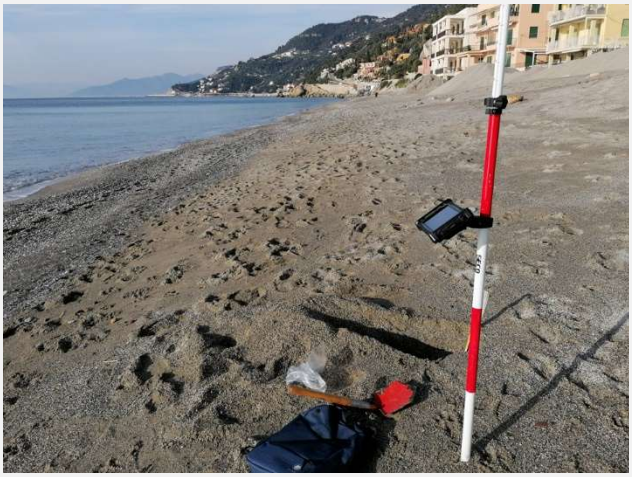


C6



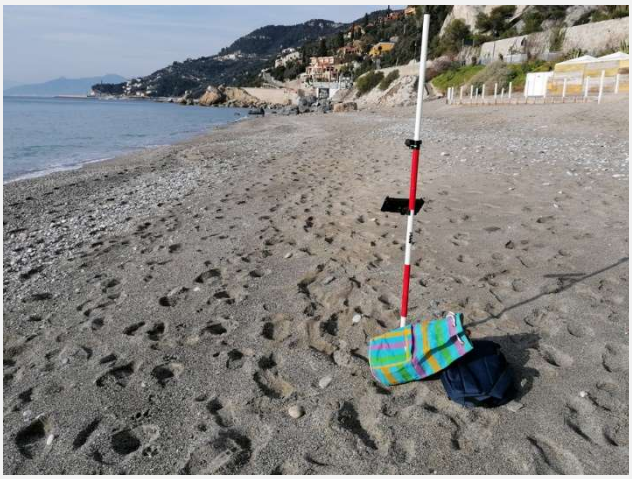


C7





C8





C9



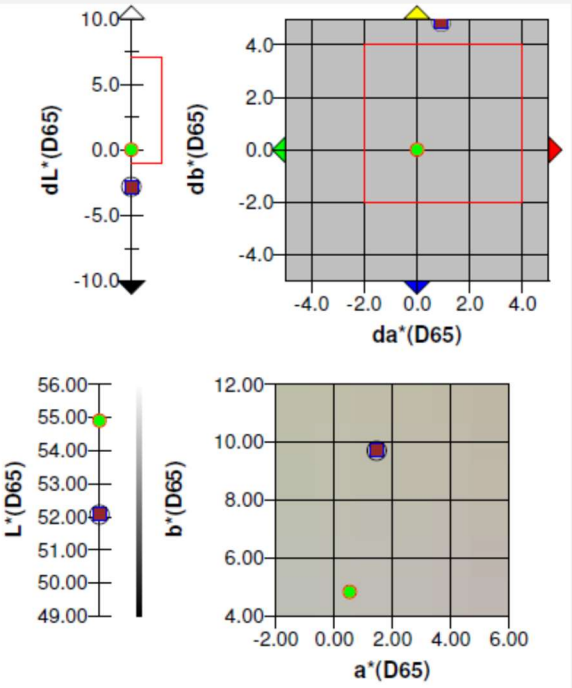


Tavola 2. Valutazione della compatibilità cromatiche di alcuni materiali di cava con la sabbia di Varigotti

Nome sample	Ghiaia RG Cav 4/10
Nome target	Composito Varigotti

	Sample	Target
L*	52.06	54.89
a*	1.46	0.54
b*	9.70	4.84

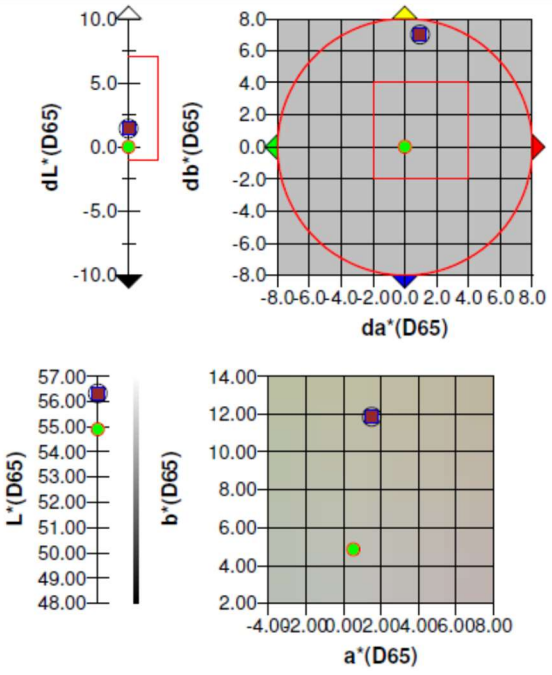
	Diff.	Giudizio
dL*	-2.83	NG
da*	0.92	OK
db*	4.86	NG
dE*ab	5.70	OK
Giudizio totale	**NG**	



Nome sample	Ghiaia RG 5-10
Nome target	Composito Varigotti

	Sample	Target
L*	56.31	54.89
a*	1.51	0.54
b*	11.84	4.84

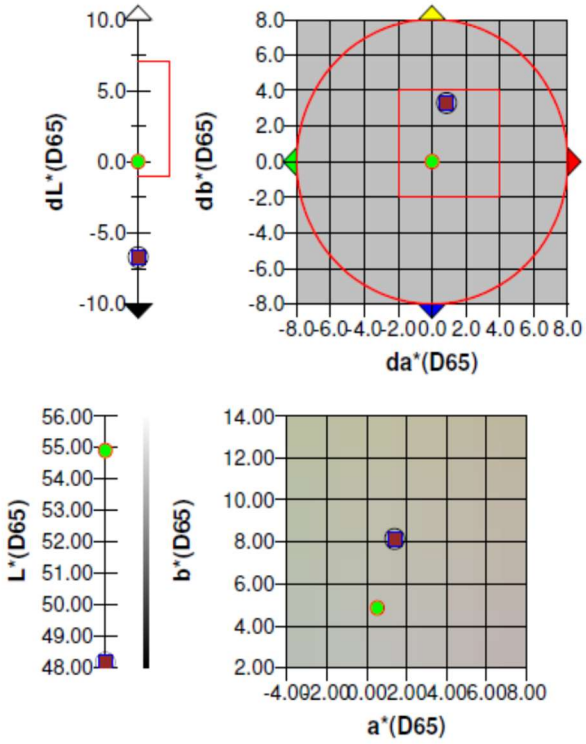
	Diff.	Giudizio
dL*	1.42	OK
da*	0.97	OK
db*	7.00	NG
dE*ab	7.21	OK
Giudizio totale	**NG**	



Nome sample	Montipo' Pietrisco MB 3-6
Nome target	Composito Varigotti

	Sample	Target
L*	48.17	54.89
a*	1.40	0.54
b*	8.14	4.84

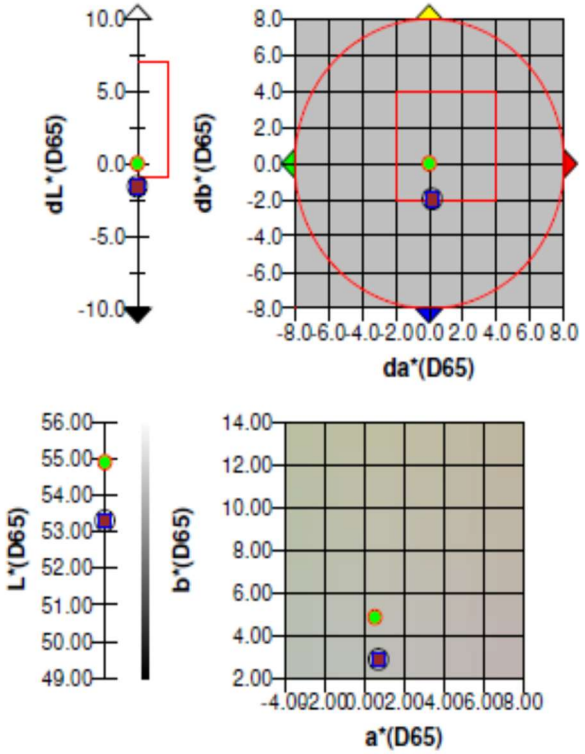
	Diff.	Giudizio
dL*	-6.72	NG
da*	0.86	OK
db*	3.30	OK
dE*ab	7.54	OK
Giudizio totale	**NG**	



Nome sample	Ghialetto 2-8
Nome target	Composito Varigotti

	Sample	Target
L*	53.30	54.89
a*	0.72	0.54
b*	2.87	4.84

	Diff.	Giudizio
dL*	-1.59	NG
da*	0.18	OK
db*	-1.97	OK
dE*ab	2.54	OK
Giudizio totale	**NG**	

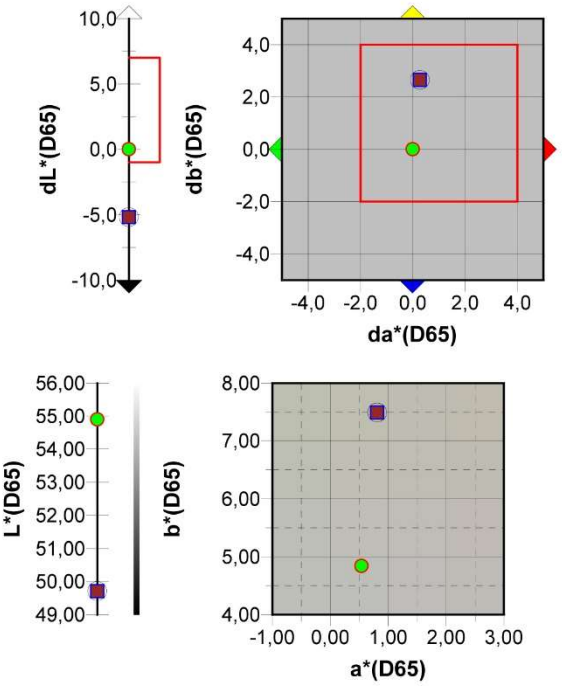


Nome sample	Vaga 2/5 mm
Nome target	Composito Varigotti

	Sample	Target
L*	49,70	54,89
a*	0,81	0,54
b*	7,48	4,84

	Diff.	Giudizio
dL*	-5,19	NG
da*	0,27	OK
db*	2,64	OK
dE*ab	5,83	OK

Giudizio totale	**NG**





Enzo Pranzini, **Via Casanuova 11, 50012 Bagno a Ripoli (FI), Italia - C.F. PRNNZE47R27D612R - P. IVA 06891850486**