

# Dinamica sedimentaria della spiaggia di Cavoli (Isola d'Elba) e valutazione dell'idoneità dei sedimenti della *nearshore* per il suo ripascimento artificiale

Elena Masi, Enzo Pranzini, Valentina Rosas

Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Firenze, Borgo Albizi, 28 -50122 Firenze  
Email: bennymasi@hotmail.com; epranzini@unifi.it; valinarosas@gmail.com.

## Riassunto

Lo studio morfologico e sedimentologico della *pocket beach* di Cavoli (Isola d'Elba) mostra come, dal 1971 al 2011, la linea di riva sia arretrata di circa 7 m, riducendo in modo significativo l'ampiezza dell'arenile oggetto di una intensa utilizzazione turistica. I refluenti di sabbia dalla *nearshore*, effettuati nel 2011, hanno avuto un effetto limitato avendo interessato sedimenti più fini di quelli nativi.

Lo studio sedimentologico ha messo in evidenza la possibilità che esistano flussi sedimentari dall'esterno, dove, a profondità maggiori vi sono sabbie grossolane che risultano compatibili sia dal punto di vista granulometrico, sia da quello colorimetrico, con le sabbie native.

**Parole chiave:** *pocket beach*, dinamica dei litorali, ripascimento artificiale, stabilità dei ripascimenti, compatibilità cromatica dei sedimenti.

## Abstract

*Morphological and sedimentological studies at the pocket beach of Cavoli (Elba Island) show that the shoreline retreated for approximately 7 m from 1971 to 2011, thus reducing significantly the width of this beach, which is intensively used for tourism. Sediments dredged on the nearshore in 1997 and in 2006 had a limited effect, as they were finer than the native ones.*

*Potential sediment transport vectors, retrieved from textural parameters, show the possibility of sediment input from the nearshore, where coarser sands are present and suitable for beach nourishment, in terms of both grain-size and colour characteristics.*

**Keywords:** *pocket beach, coastal dynamics, beach nourishment, fill stability, sediment colour compatibility.*

## Introduzione

Le *pocket beach* presenti sulle piccole isole del Mediterraneo costituiscono una delle risorse economiche principali per le popolazioni residenti grazie alla loro forte attrattività turistica (Simeoni et al., 2012). Anche le altre attività tradizionali, dove sopravvissute, come l'agricoltura e la pesca, affiancate ora dall'edilizia e dai servizi, sono stimolate da quei turisti che, nella stagione estiva, possono raggiungere presenze anche di due ordini di grandezza superiori al numero dei residenti.

Se i fondali rocciosi e le falesie che quasi sempre circondano queste isole e i loro fondali rocciosi costituiscono attrattive di indubbio valore, e le mete turistiche dell'interno, spesso di tipo naturalistico, offrono opportunità per diversificare l'offerta turistica, ciò non toglie che la gran parte del tempo venga spesa sulle piccole spiagge che si annidano all'interno delle insenature.

La resilienza di questi sistemi è estremamente bassa, dato che la presenza di falesie alle spalle di queste spiagge (e talvolta di strutture antropiche) ne impedisce la migrazione nel caso di processi erosivi dovuti alla riduzione dell'input sedimentario: l'arretramento della linea di riva si traduce immediatamente in una riduzione dell'ampiezza dell'arenile. La contrazione della spiaggia può innescare poi processi di *feed-back* positivi, dato che le onde di tempesta raggiungono più frequentemente pareti riflettenti che, con la riflessione, favoriscono un ulteriore allontanamento dei sedimenti da riva.

Ecco perché è opportuno monitorare l'evoluzione di queste spiagge al fine di attuare interventi di ripascimento prima che l'arenile scompaia completamente, dato che il valore paesaggistico di questi luoghi sconsiglia di intervenire con sistemi di difesa rigida.

E' d'altra parte vero che in queste piccole isole, spesso prive di vere e proprie pianure alluvionali, le possibilità di reperire sedimenti di buona qualità per il ripascimento artificiale sono assai scarse, se non facendo ricorso a sabbie presenti in mare. A tal fine però, le limitazioni ambientali sono estremamente forti, se non altro per l'estesa presenza di praterie di *Posidonia oceanica*, dovuta proprio alla trasparenza delle acque marine che bagnano queste isole, lontane da fiumi che portano sedimenti fini e, in genere, da scarichi urbani ed industriali. Le trasformazioni del territorio, causate proprio dallo sviluppo dell'attività turistica e dal conseguente abbandono dell'agricoltura (Mannori e Pranzini, 2004), hanno portato ad una riduzione dell'input sedimentario a queste piccole spiagge e ad una loro tendenza erosiva che si va progressivamente consolidando (Cipriani et al., 2011).

Ne sono una dimostrazione le *pocket beach* dell'Isola d'Elba, la gran parte delle quali è in erosione nonostante non vi siano cave di sabbia e ghiaia negli alvei fluviali, dighe che funzionino da trappole sedimentarie e strutture a mare che intercettino i flussi sedimentari, se non il porto presente nel Golfo di Campo (Pranzini, 1986).

La spiaggia di Cavoli costituisce un ottimo caso di studio, sia per quanto riguarda le dinamiche presenti in queste *pocket beach*, sia per le strategie da adottate per la loro conservazione.

### Area di studio

Il Golfo di Cavoli è posto lungo la costa Sud-occidentale dell'Isola d'Elba (Fig. 1a) ed accoglie una spiaggia interessata da intensi flussi turistici, particolarmente apprezzata per la trasparenza delle acque, la sabbia chiara e grossolana e il rilievo del Monte Capanne, che con i suoi 1019 m di altezza incombe a soli 3 km di distanza pur non mettendo in ombra la spiaggia dato che è posto a Nord (Fig. 2).

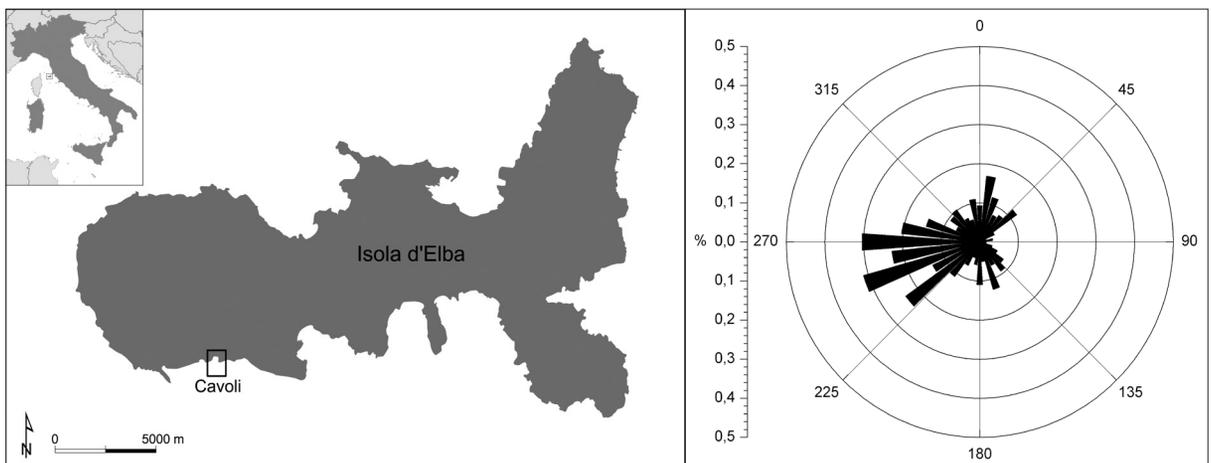


Figura 1 - a) Posizione del Golfo di Cavoli; b) direzione di provenienza delle onde con  $H_s > 2$  m nel settore di mare posto a Sud dell'Isola d'Elba (dati KNMI rilevati dal 1960 al 1990 nel Mar Tirreno fra  $41^{\circ}36' N$  e  $42^{\circ}42' N$ ).

La spiaggia è lunga 415 metri ed è ospitata all'interno di un golfo di 391 m di apertura e 335 m di profondità, con un *embayment ratio* (Klein et al., 2002) di circa 0,86.

Aperta verso i mari meridionali (con asse orientato a  $160^{\circ} N$ ), è parzialmente riparata dalle mareggiate più

intense che raggiungono l'Isola da Ovest-Sud-Ovest (Fig. 1b), con un'altezza dell'onda significativa al largo (HS0) di 4,86 m, che determina una profondità di chiusura, calcolata secondo Hellermeier (1978, 1981) di 8,07 m. I fondali, entro l'isobata degli 8 m hanno una pendenza del 5,3%.

L'escursione di marea è di circa 35 cm (Istituto Idrografico della Marina, 2003).

I fondali sono rocciosi sui due lati del golfo e nella parte esterna, più vicina a riva sul lato orientale, si stende una Prateria di *Posidonia oceanica*.

L'alimentazione del litorale è garantita dagli apporti di tre piccoli corsi d'acqua che scendono dal Monte Capanne con una notevole pendenza (da Ovest verso Est: 33%; 24% e 21%) e che drenano complessivamente una superficie di circa 2,8 km<sup>2</sup>, in cui affiora esclusivamente la granodiorite (Bortolotti et al., 2001). In ambiente caldo umido queste rocce sono soggette a rapida alterazione che produce un sabbione costituito da granuli monocristallini, quelli che formano poi la spiaggia del golfo.

Nessun'opera a mare è presente, ma si riscontra una scogliera in massi naturali in aderenza alla scarpata sul lato orientale della baia posta a difesa di un piccolo terreno agricolo.



Figura 2 - Il Golfo di Cavoli visto da est.

Sulla spiaggia vi è una sola struttura adibita alla ristorazione e tre sono i tratti in concessione per l'attività balneare, per un fronte complessivo di 120 m; i rimanenti 295 m sono costituiti da spiaggia libera. La falcatura è interrotta, nel settore centro-occidentale, da dei massi che un tempo erano raggiunti dal mare solo in occasione delle mareggiate più intense (Fig. 3a).

Un piccolo insediamento turistico è presente all'interno del settore orientale della baia, mentre quello occidentale è delimitato da una falesia sulla quale corre la ripida strada (Fig. 3b) che collega la spiaggia all'Anello Occidentale, la strada panoramica che gira attorno al lobo occidentale dell'Isola.



Figura 3 - La spiaggia di Cavoli: a) vista da ovest; b) vista da est.

## Materiali e Metodi

Lo studio dell'evoluzione della linea di riva del Golfo di Cavoli (Fig. 4a) si basa sui dati dei seguenti anni: 1971, 1987, 1997, 2000, 2005 e 2011.

Le linee di riva relative agli anni 1971 e 1987, originariamente acquisite da carte tecniche in scala 1:5.000 per mezzo di una tavoletta grafica Calcomp e software AUTOCAD, e georeferenziate nel sistema di riferimento Gauss – Boaga (*datum* Roma 1940), erano presenti in un archivio costituito da tempo presso il Dipartimento di Scienze della Terra (UNIFI).

Le linee di riva del 1997, 2000 e 2005 sono state rilevate in modo diretto mediante una stazione mobile DGPS nell'ambito di aggiornamenti dell'archivio effettuati in occasione di ricerche effettuate sull'Isola.

La linea del 2011 è stata acquisita nel corso dei rilievi batimetrici effettuati nel Golfo dalla GeoCoste S.n.c. per conto del Comune di Campo nell'Elba nell'ambito di un progetto di refluitamento dei sedimenti dalla *nearshore* alla spiaggia emersa; rilievi eseguiti con ecoscandaglio idrografico GECO-101 e posizionamento tramite GPS in modalità RTK.

Per l'analisi delle variazioni dell'ampiezza dell'arenile, la spiaggia di Cavoli è stata suddivisa in 7 settori di circa 50 metri di lunghezza (il settore n. 2 è costituito in buona parte da roccia affiorante e non ne viene analizzata la variazione areale). Per ciascuno di questi settori, e per ciascun intervallo di tempo considerato, è stata misurata la variazione areale della spiaggia emersa (m<sup>2</sup>) dalla quale si sono ottenuti gli spostamenti medi della linea di riva (m) e i tassi di spostamento (m/anno) mediante l'impiego del software AutoCAD.

Contemporaneamente al rilievo batimetrico sono stati prelevati 43 campioni, di cui 9 di spiaggia emersa e 32 di fondale, posizionati lungo 4 transetti (Fig. 5). Tutti i campioni sono stati sottoposti ad analisi granulometrica tramite setacciatura meccanica a secco con intervallo di 1/2 phi e per una durata di 10 minuti. Dalla percentuale di frequenza di ciascuna classe granulometrica, sono state tracciate le curve cumulative in scala log-probabilistica ed estratti i percentili per il calcolo dei parametri grafici di Folk e Ward (1957): Media (Mz), Classazione ( $\sigma_1$ ) e Asimmetria (SkI). Si è registrato anche il valore delle dimensioni del primo percentile e la percentuale di frazione fine, intesa come quella avente dimensioni inferiori a 0,063 mm (4 phi). Per la definizione dei possibili flussi sedimentari è stato utilizzato il metodo sviluppato da Gao e Collins (1992), che prevede la comparazione dei parametri granulometrici Mz,  $\sigma_1$  e SkI di ogni campione con gli stessi parametri di tutti i campioni adiacenti, entro una distanza predefinita.

Le distribuzioni granulometriche dei sedimenti del golfo sono poi state utilizzate per determinare l'Indice di stabilità (Pranzini, 1999) dei materiali presenti della *nearshore* per il ripascimento della spiaggia.

La determinazione del colore dei sedimenti è stata effettuata con un colorimetro Konica Minolta CR-410, nello spazio colore CIEL\*a\*b\* con illuminante D65, che corrisponde allo spettro solare in condizioni di cielo sereno (Pranzini et al., 2010). Tutte le elaborazioni e i grafici sono stati realizzati con il software Spectra Magic Nx della Konica-Minolta.

## Evoluzione della linea di riva

Nell'analizzare l'evoluzione morfologica della spiaggia di Cavoli si deve tener conto del fatto che, nel periodo esaminato, sono stati effettuati piccoli refluitamenti dalla *nearshore* alla spiaggia emersa: circa 2.000 m<sup>3</sup> nel 1997 e circa 20.000 m<sup>3</sup> nel 2006. In entrambi i casi la zona di prelievo era ubicata intorno alle isobate dei 5-7 m, dove i sedimenti sono assai più fini di quelli di battigia. Gli effetti di questo intervento furono estremamente effimeri, a detta degli operatori turistici locali, anche se la modesta espansione dell'arenile che registriamo nei periodi 1997-2000 e 2005-2011 (Fig. 4b) potrebbe essere messa in relazione a quegli interventi. Da rilevare che sono questi i soli due i periodi in cui la spiaggia non risulta essere in erosione.

Nell'intero intervallo di tempo considerato (1971-2011) la spiaggia emersa di Cavoli perde in media 6,74 m, anche se la gran parte di questo arretramento lo si registra fra il 1971 e il 1987 (-6,67 m).

L'erosione ha colpito più il tratto centrale del golfo che non quelli laterali, cosa che ha portato ad una maggiore curvatura della linea di riva (Fig. 4c). Nella parte centro-occidentale del golfo l'erosione ha reso ancor più prominente un affioramento roccioso presente nel settore n. 2, che oggi divide la spiaggia in due tratti distinti, pur in continuo scambio sedimentario.

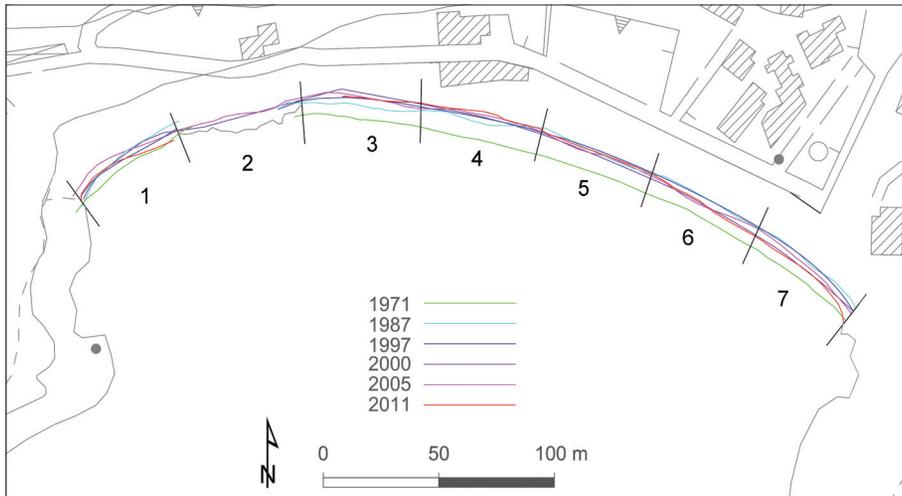
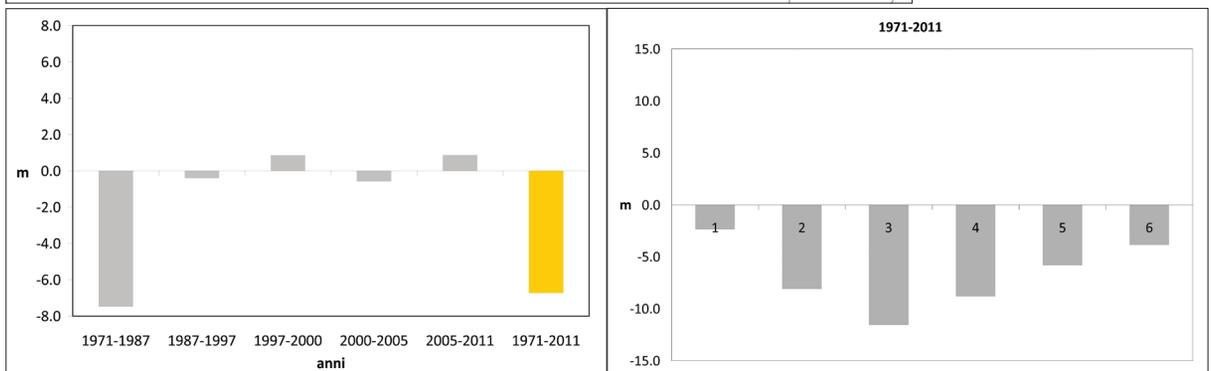


Figura 4 - a) Posizione della linea di riva della spiaggia di Cavoli fra il 1971 e il 2011; b) spostamento medio della linea di riva dal 1971 al 2011 (intervalli temporali non omogenei; R = Interventi di ripascimento effettuati nel periodo); c) spostamento medio della linea di riva fra il 1971 e il 2011 nei vari settori considerati.



**Sedimentologia**

Per quanto detto in precedenza, si ha motivo di pensare che il refluitamento della sabbia fine dal centro del golfo effettuato nel 2006, ed ancor più quello del 1997, non abbia lasciato traccia nei campioni prelevati nel Febbraio 2011 (Fig. 5), e che questi descrivano le dinamiche naturali di medio termine presenti in questo settore costiero. I campioni sono stati prelevati secondo transetti ortogonali a riva e 4 (B-3, Z1, B-4 e Z2) ricadono nel poligono identificato quale area di dragaggio e dovevano essere utilizzati per la caratterizzazione ai fini del DM 24 gennaio 1996.

Altri campioni più esterni, numerati da 1 a 10 in Figura 5, sono stati prelevati specificatamente per questa ricerca in un'area, libera da affioramenti rocciosi e praterie di *Posidonia oceanica*, nella quale in quel momento non era previsto il prelievo di sabbia.

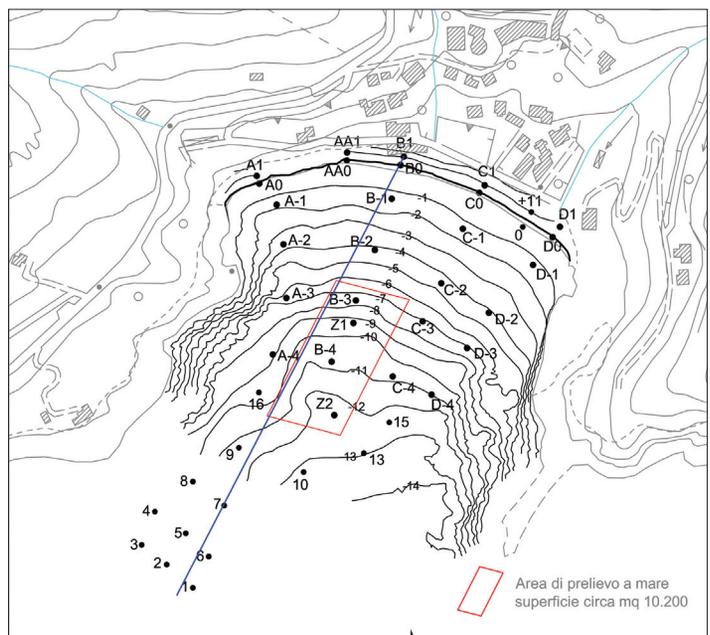
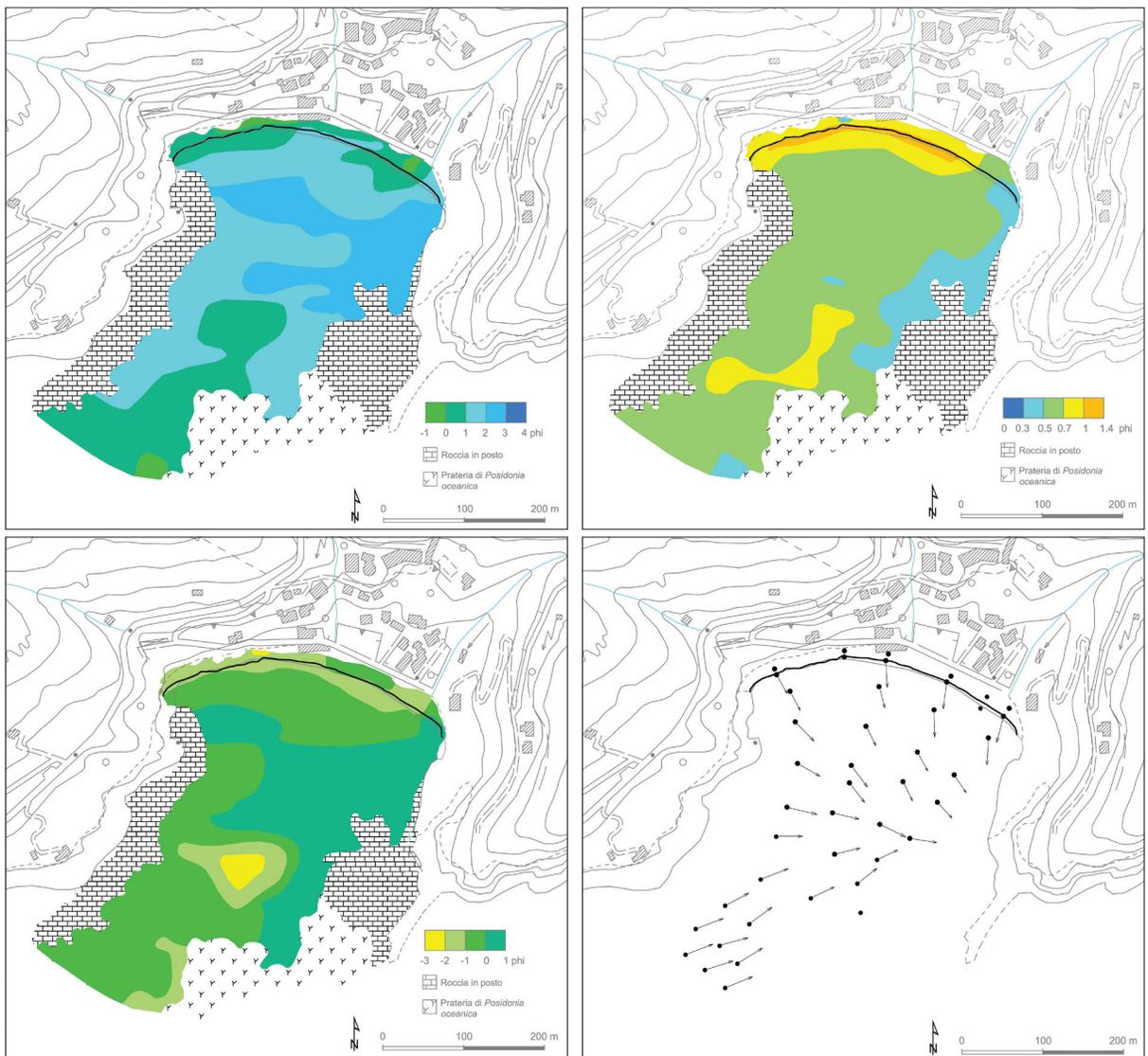


Figura 5 - Carta batimetrica del golfo di Cavoli rilevata nel Febbraio 2011 e posizione dei campioni prelevati in occasione del rilievo. Il tratto blu indica la posizione del profilo riportato in Figura 8.

**Dimensioni medie dei sedimenti**

I sedimenti presenti all'interno del golfo di Cavoli (Figg. 6 e 7) hanno dimensioni medie ( $M_z$ ) comprese tra -0,71 phi e 2,28 phi; si tratta quindi di *sabbia* da *molto grossolana* a *fine* secondo la classificazione di Krumbein (1934). Per quanto concerne la disposizione delle varie popolazioni granulometriche nello spazio (Fig. 6a), nella spiaggia emersa si osserva la presenza di due zone con sedimenti a granulometria maggiore rispetto ai tratti adiacenti, di dimensioni medie comprese tra -1 phi e 0 phi: una sulla spiaggia alta della parte orientale del golfo, l'altra in simile posizione all'estremità occidentale. Il resto della spiaggia emersa è costituito prevalentemente da sedimenti con dimensioni comprese tra 0 ed 1 phi, fatta eccezione per una piccola zona caratterizzata da sedimenti con valori di Media tra 1 e 2 phi.

Relativamente alla spiaggia sommersa, partendo dalla zona più vicina alla riva ed andando verso profondità maggiori, si osserva un passaggio da *sabbia grossolana*, a *media*, e, successivamente, a *fine*. Procedendo sempre verso il largo si ritrova una zona con *sabbia media*, per passare poi in un'area caratterizzata da *sabbia grossolana* ed, infine, in una zona di piccole dimensioni rispetto a quelle vicine sita all'estremità della campionatura più lontana dalla riva, in cui si riscontrano *sabbie molto grossolane* (Fig. 7).



**Figura 6 - Golfo di Cavoli: a) Dimensioni medie ( $M_z$ ) dei sedimenti; b) Classazione ( $\sigma_1$ ) dei sedimenti; c) Dimensioni del Primo percentile dei sedimenti; d) Variazioni del trasporto potenziale dei sedimenti.**

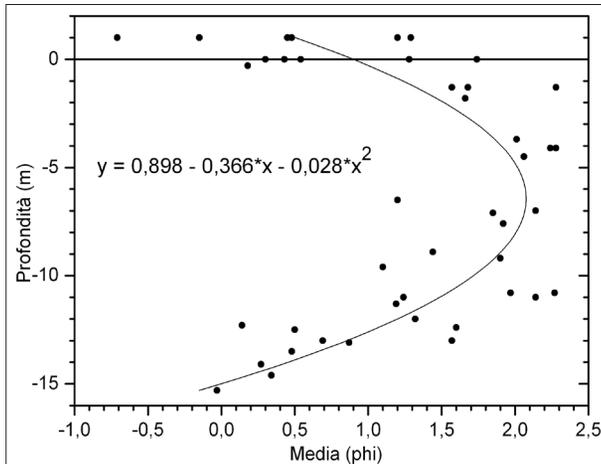


Figura 7 - Grafico Media (phi) vs. Profondità (m) dei sedimenti del Golfo di Cavoli, in cui si vede, dopo una prima riduzione delle dimensioni, un loro aumento procedendo verso profondità maggiori, spiegabile con la maggiore energia da moto ondoso presente all'esterno del golfo.

ondoso s'innalza per la maggiore esposizione che si ha uscendo dal golfo; cosa ben comprensibile se si ricorda che la direzione di provenienze delle mareggiate più intense è da Ovest-Sud-Ovest.

Come si può osservare in Figura 6a, ogni zona di quelle appena descritte si insinua con profonde lobature in seno alle altre, fornendo un quadro disomogeneo dei livelli energetici presenti nel golfo, certamente conseguenza della morfologia irregolare e degli affioramenti rocciosi presenti sui fondali. Le *sabbie grossolane e molto grossolane* si pongono all'esterno dell'isobata dei 10 m, e quindi oltre la profondità di chiusura calcolata secondo Hallermeier (1978, 1981), cosa che ben chiarisce l'impossibilità di identificare questo limite come quello effettivo di mobilità dei sedimenti (Nicholls et al., 1998).

Il grafico di Figura 8 mostra l'andamento dei valori di Mz lungo un profilo ortogonale a riva: si vede come il tradizionale andamento di *offshore fining* (Niedoroda et al., 1985; De Meijer et al., 2002) sia valido solo per i campioni raccolti all'interno del golfo. Procedendo verso l'esterno, pur incontrando fondali maggiori, la riduzione dimensionale s'interrompe, segno evidente che l'energia del moto

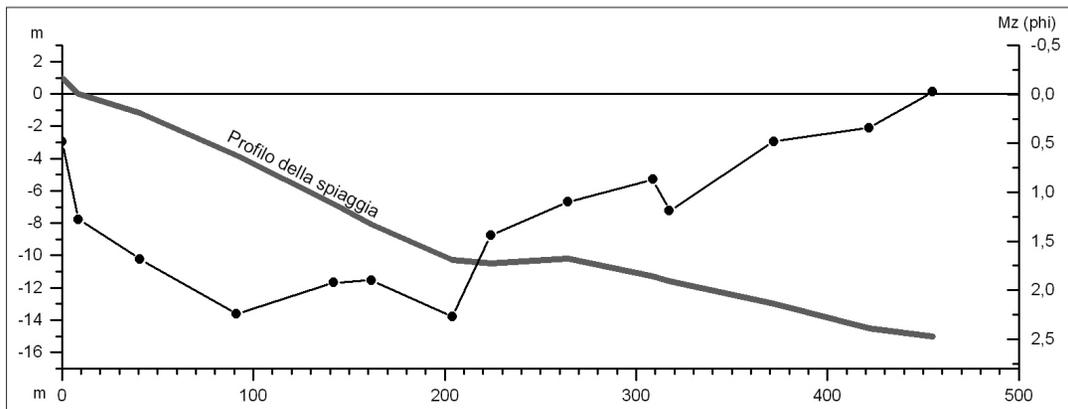


Figura 8 - Andamento dei valori di Mz in funzione della Profondità lungo un profilo ortogonale a riva e che si spinge verso l'esterno del Golfo (vedi Fig. 5 per la posizione del profilo). Profilo in scala 1:10.

### Classazione dei sedimenti

La Classazione dei sedimenti analizzati varia fra 0,37 phi per il campione C0 e 1,13 phi per il campione D0, entrambi di battigia. Si tratta quindi di sedimenti da *ben classati* a *poco classati*, secondo la classificazione di Folk (1966), anche se la maggior parte dei campioni assume valori compresi tra 0,50 phi e 0,71 phi, ovvero risultano essere *moderatamente ben classati* (Fig. 6b).

Si tratta di valori piuttosto bassi, ed in particolare per una spiaggia alimentata da un bacino ad elevata pendenza e senza pianura alluvionale, cosa che può essere spiegata da input sedimentari già molto classati, quali sono quelli prodotti dall'alterazione chimica della granodiorite. All'interno di questi valori è la Media che influisce sulla Classazione dei sedimenti presenti nei vari punti del fondale.

### Primo percentile dei sedimenti

Nel golfo di Cavoli le Dimensioni del Primo percentile (più grossolano) variano da -2,88 phi (campione Z2) a 0,90 phi (campione D3), con un'ottima correlazione con i valori della Media, cosa prevedibile data la

buona Classazione di gran parte dei sedimenti. I valori più bassi (nel senso dei granuli più piccoli) si trovano alle profondità intermedie, ove non vi è l'energia che si scatena a riva né quella presente sui fondali esterni al golfo (Fig. 6c).

### Direzioni del trasporto sedimentario

L'elaborazione dei dati tessiturali con il metodo di Gao e Collins (1992) ha permesso di identificare le possibili direzioni del trasporto sedimentario.

Come si osserva in Figura 6d, i sedimenti nella parte più interna del golfo hanno un flusso prevalente diretto verso l'esterno con una componente orientale, probabilmente quale risposta ai mari dominanti che provengono da Sud-Ovest.

Lo stesso moto ondoso sarebbe responsabile del flusso di sedimenti che sembra verificarsi dalla zona esterna ed occidentale del golfo verso quella zona centro-orientale, dove convergono anche i sedimenti provenienti dalla spiaggia. Da questa area di convergenza i depositi probabilmente sono persi verso l'esterno attraverso un solco presente sui fondali e ben evidente nella carta batimetrica del golfo (Fig. 5).

Il flusso che sembra verificarsi dal largo del golfo di Cavoli verso l'interno, se fosse confermato, rappresenterebbe una novità rispetto a ciò che avviene sulle altre spiagge dell'Elba, per le quali si è sempre sostenuto che gli input sedimentari provenissero esclusivamente da terra.

### Valutazione della compatibilità dei sedimenti di *nearshore* ai fini del ripascimento della spiaggia di Cavoli

Come già detto, i rilievi e la campionatura erano stati commissionati dal Comune di Campo nell'Elba nell'ambito di un piccolo progetto di ripascimento dell'arenile da effettuare utilizzando le sabbie presenti nei fondali antistanti, come già fatto in due occasioni passate. L'area di dragaggio era stata delimitata sulla base di quelle esperienze e su di essa erano state effettuate le caratterizzazioni previste dal DM del 1994 ed effettuate secondo le modalità suggerite dal Manuale ICRAM - APAT.

L'analisi di compatibilità è stata quindi effettuata sui campioni raccolti all'interno di quell'area, ma la campionatura è stata prevista anche in punti più esterni del golfo, nell'ipotesi che vi potessero essere materiali più idonei per i quali chiedere autorizzazione al dragaggio per interventi futuri.

### Indice di stabilità ( $I_s$ )

La valutazione dell'idoneità granulometrica dei materiali al ripascimento della spiaggia di Cavoli è stata condotta calcolandone l'Indice di stabilità (Pranzini, 1999).

La spiaggia nativa è stata rappresentata da un campione composito costituito da 10 campioni prelevati fra la spiaggia alta e la battigia. È stata presa in considerazione la frazione granulometrica con valori di 0 phi positivi (dimensioni inferiori a 1 mm), in quanto la coda grossolana, poco rappresentata, non influisce sulle caratteristiche morfologiche e idrogeologiche della spiaggia. Nonostante l'elevato numero di campioni che lo compongono, il composito di spiaggia ha una distribuzione granulometria molto ristretta, con una Classazione ( $\sigma_1$ ) di 0,83 phi e un valore della Media ( $M_z$ ) pari a 1,02 phi (Tab. 1).

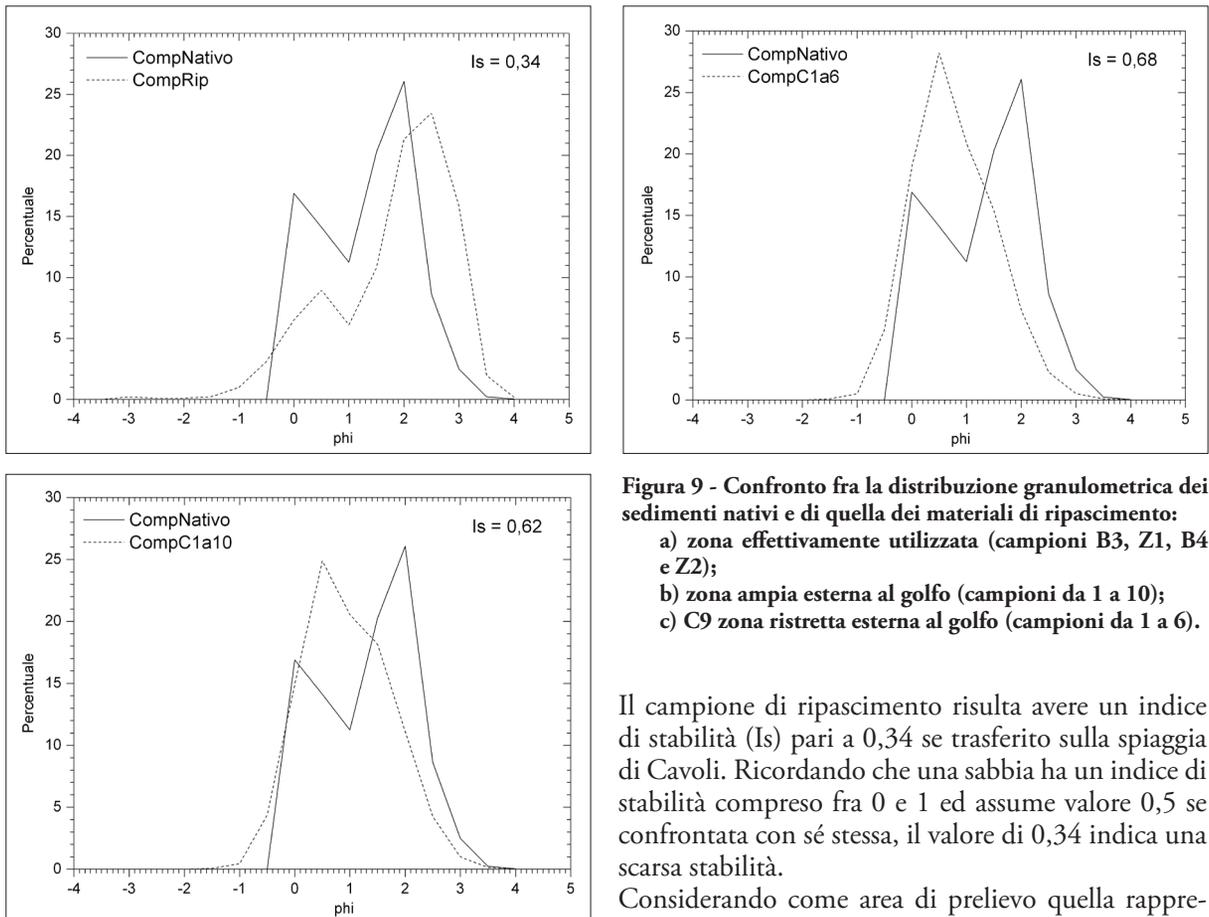
Anche il materiale di ripascimento è rappresentato da un campione composito, costituito con i quattro campioni nominati B-3, Z1, B-4, Z2 prelevati nel poligono di dragaggio autorizzato e situati a profondità comprese tra i 7 e i 13 metri (Fig. 5).

Data la presenza di sedimenti più grossolani all'esterno del golfo, in una zona priva di prateria di *Posidonia oceanica*, si è ritenuto opportuno valutarne l'idoneità per il ripascimento, nell'eventualità di poterli utilizzare per interventi futuri.

Tabella 1 - Parametri statistici del composito della spiaggia di Cavoli e del composito dei campioni di ripascimento.

	Composito di spiaggia	Composito ripascimento autorizzato	Composito C 1-6	Composito C 1-10
<b>Mz (phi)</b>	1,02	1,54	0,51	0,68
<b>Mz (mm)</b>	0,49	0,34	0,70	0,62
<b><math>\sigma_1</math> (phi)</b>	0,83	1,06	0,72	0,78
<b>% fine</b>	0,00	0,04	0,02	0,02

In Tabella 1 sono riportati i valori della Media ( $Mz$ ), della Classazione ( $\sigma_1$ ) e della percentuale di frazione fine ( $< 0,063$  mm) del composito della spiaggia di Cavoli dei vari campioni compositi considerati. Come si può vedere dalla Figura 9 e dalla Tabella 1, il campione composito rappresentativo dell'area di dragaggio autorizzata è leggermente più fine di quello della spiaggia di Cavoli, ma ha un valore di Classazione molto simile. Per quanto riguarda la presenza di materiali fini ( $< 0,063$  mm) questa è pari a zero in entrambi i campioni.



**Figura 9 - Confronto fra la distribuzione granulometrica dei sedimenti nativi e di quella dei materiali di ripascimento:**

- a) zona effettivamente utilizzata (campioni B3, Z1, B4 e Z2);
- b) zona ampia esterna al golfo (campioni da 1 a 10);
- c) C9 zona ristretta esterna al golfo (campioni da 1 a 6).

Il campione di ripascimento risulta avere un indice di stabilità ( $Is$ ) pari a 0,34 se trasferito sulla spiaggia di Cavoli. Ricordando che una sabbia ha un indice di stabilità compreso fra 0 e 1 ed assume valore 0,5 se confrontata con sé stessa, il valore di 0,34 indica una scarsa stabilità.

Considerando come area di prelievo quella rappresentata dai campioni da C1 a C10, l'indice di stabilità che risulta è pari a 0,62, ossia ben superiore al

valore di 0,50 che separa i campioni meno stabili da quelli più stabili.

Ancora più elevato è l'indice di stabilità che si otterrebbe delimitando la zona di prelievo a quella rappresentata dai campioni da C1 a C6; in questo caso  $Is$  risulta essere pari a 0,68.

### Colorimetria

Il colore delle sabbie della spiaggia di Cavoli, giallo chiaro, ottiene il massimo punteggio nei sistemi beach rating, come il BARE (Williams e Morgan, 1995). Costituisce quindi un aspetto ambientale da tutelare con tutti i mezzi, ecco perché anche in questo caso la valutazione della compatibilità cromatica è considerata un passaggio fondamentale nell'analisi di fattibilità di un ripascimento.

La percezione alle variazioni cromatiche delle sabbie da parte dei frequentatori è stata testata con interviste da Pranzini et al., (2011) e i risultati sono stati utilizzati per definire le caratteristiche dei sedimenti accettabili in lavori in corso lungo la costa toscana.

Rispetto al colore originario si accettano variazioni maggiori in senso positivo della Luminosità ( $L^*$ ) che non in quello negativo ( $-3 < \Delta L^* < +6$ ); sull'asse  $a^*$  (Verde-Rosso) il limite è simmetrico, con  $-3 < \Delta a^* < +3$ ; mentre lungo l'asse  $b^*$  (Blu-Giallo) l'accettabilità è più estesa per uno spostamento verso il Giallo che non verso il Blu ( $-3 < \Delta b^* < +6$ ).

La distanza euclidea dei due punti rappresentativi del campione nativo e di quello di ripascimento ( $\Delta L^*ab$ ) non dovrebbe essere maggiore di 9.

I sedimenti presenti al centro della baia, quelli poi effettivamente utilizzati per il ripascimento, si pongono leggermente fuori dal campo di accettabilità precedentemente descritto, in particolare per la Luminosità più bassa e per una maggiore componente Blu. E' un colore che riceve un gradimento minore da parte dei bagnanti. Essendo l'origine dei sedimenti in entrambi i casi la granodiorite del Monte Capanne, e per i materiali più vicini a costa la spiaggia stessa, questa differenza cromatica trova le sue origini nella differenza dimensionale fra i due sedimenti. I materiali presenti sulla spiaggia sommersa hanno dimensioni minori anche per la presenza di un maggior numero di cristalli di biotite, come si può notare dalla fotografia dei campioni compositi analizzati (Fig. 10).

Il composito di tutti i campioni prelevati al largo (C 1-10) e quello dei campioni più esterni (C 1-6) hanno caratteristiche cromatiche assai simili a quelle del sedimento nativo (Tab. 2; Figg. 10 e 11) e rientrano abbondantemente nei limiti suggeriti.

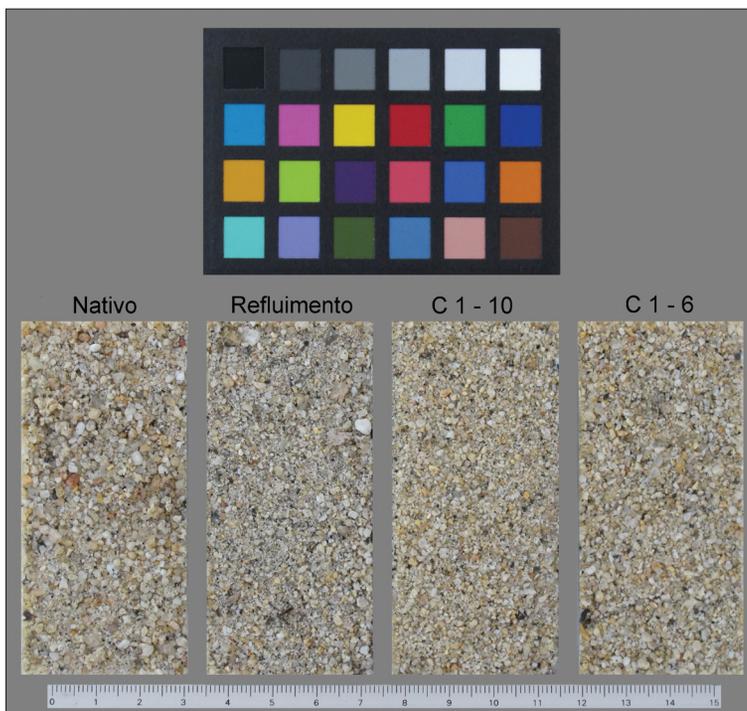


Figura 10 - Confronto fotografico dei campioni compositi utilizzati per la valutazione della compatibilità colorimetrica. In alto X-rite ColorChecker® per la stima della fedeltà nella riproduzione dei colori.

Tabella 2 - Confronto fra le coordinate colorimetriche dei vari campioni analizzati e distanza euclidea dalla sabbia di Cavoli.

	Giudizio	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	$\Delta L^*(D65)$	$\Delta a^*(D65)$	$\Delta b^*(D65)$	$\Delta E^*ab (D65)$
<b>Cavoli</b>	-----	62,27	1,90	14,08				
<b>Ripascimento</b>	NO	58,64	1,34	11,96	-3,63	-0,56	-2,04	4,20
<b>C 1 - 10</b>	OK	60,65	2,18	15,46	-1,62	0,28	1,46	2,31
<b>C 1 - 6</b>	OK	59,92	2,56	16,16	-2,35	0,66	2,16	3,36

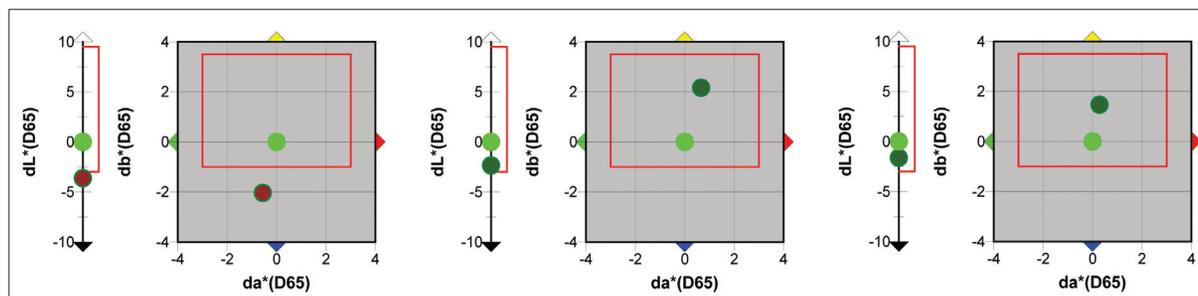


Figura 11 - Posizione dei punti rappresentativi dei vari campioni sull'asse della Luminosità ( $L^*$ ) e sul piano del cromatismo ( $a^*, b^*$ ) relativi al campione composito della spiaggia di Cavoli (verde) e ai tre campioni di ripascimento: dall'alto, campione utilizzato per il ripascimento; composito C1-6; composito C1-10. Il rettangolo rosso indica il campo di accettabilità.

## Conclusioni

La spiaggia di Cavoli risulta essere soggetta ad un modesto processo erosivo, che assume però dimensioni preoccupanti data la limitatezza dell'arenile e l'impossibilità del profilo di spiaggia di migrare verso l'interno per la presenza della falesia, del muro di ratta, della strada e di altre strutture antropiche.

Le caratteristiche tessiturali dei sedimenti e le direzioni possibili di trasporto litoraneo mostrano la possibilità che parte dell'input sedimentario provenga dai fondali esterni al golfo, dove sono presenti sedimenti che hanno caratteristiche granulometriche e colorimetriche ottimali per il ripascimento della spiaggia.

Il refluentamento effettuato nel 2011, successivamente ai rilievi e campionamenti oggetto di questo studio, ha riguardato sabbie presenti all'interno della baia, che sono risultate non ottimali sia per dimensione che per colore.

I dati oggi disponibili consentono di pianificare una gestione di questa spiaggia che potrebbe essere mantenuta in condizioni di sicurezza utilizzando proprio i sedimenti presenti all'imboccatura della baia, pur prestando attenzione a non danneggiare la prateria di *Posidonia oceanica* che si estende in questo tratto di mare. La presenza di sedimenti grossolani sui fondali maggiori può trovare una spiegazione nella maggiore energia del moto ondoso che si trova all'esterno dell'insenatura, condizione da valutare anche in altre *pocket beach* dell'Isola d'Elba soggette a processi erosivi e che richiederebbero interventi di ripascimento.

## Ringraziamenti

Ricerca eseguita nell'ambito del Progetto di Ricerca di Interesse Nazionale (PRIN) 2008 "Le *pocket beach* della costa italiana: dinamica, bilancio sedimentario e modelli evolutivi"; Coordinatore centrale: E. Pranzini. Il rilievo topografico e sedimentologico del Golfo di Cavoli del Febbraio 2011 è stato effettuato dalla ditta GeoCoste s.n.c. su incarico del Comune di Campo nell'Elba.

## Bibliografia

- Bortolotti V., Pandeli E., Principi G. (2001) - *The geology of the Elba Island: an historical introduction*. Ofioliti, 26: 79-96.
- Cipriani L. E., Pranzini E., Rosas V., Wetzel L. (2011) - *Landuse changes and erosion of pocket beaches in Elba Island (Tuscany, Italy)*. Journal of Coastal Research, SI 64: 1774-1778.
- De Meijer R. J., Bosboom J., Cloin B., Katopodi I., Kitou D., Koomansa, R. L., Manso F. (2002) - *Gradation effects in sediment transport*. Coastal Engineering, 47: 179-210.
- Folk R. L. (1966) - *A review of grain size parameters*. Sedimentology, 6: 73-93.
- Folk R. L., Ward W. C. (1957) - *Brazor river bar: a study in the significance of grain size parameters*. Journal of Sedimentary Petrology, 27: 3-26.
- Gao S., Collins M. (1992) - *Net sediment transport patterns inferred from grain-size trends, based upon definition of "transport vectors"*. Sedimentary Geology, 81: 47-60.
- Hallermeier R. J. (1978) - *Uses for a calculated limit depth of beach erosion*. Proc. 16th Coastal Engineering Conference, ASCE, pp. 1493-1512.
- Hallermeier R. J. (1981) - *A profile zonation for seasonal sand beaches from wave climate*. Coastal Engineering 4: 253-277.
- Istituto Idrografico della Marina (2003) - *Tavole di Marea e delle Correnti di Marea*. I.I. 3133: 112 pp.
- Klein A. H. F., Filho L. B., Schumacher D. H. (2002) - *Short term beach rotation processes in distinct headland bay beach systems*. Journal of Coastal Research, 18: 442-458.
- Krumbein W. C. (1934) - *Size frequency distributions of sediments*. Journal of Sedimentary Petrology, 4: 65-77.
- Mannori S. e Pranzini E. (2004) - *From agriculture to tourism: a cause of beach erosion*. 1st International Conference on the Management of Coastal Recreational Resources. Malta, 20th-23rd October 2004, 79-85.
- Nicholls R. J., Birkemeier W. A., Lee G-h (1998) - *Evaluation of depth of closure using data from Duck, NC, USA*. Marine Geology, 148: 179-201
- Niedoroda A. W., Swift D. J. P., Hokins T. S. (1985) - *The shoreface*. In: R. A Davis, (Ed.) Coastal Sedimentary Environments. Springer-Verlag, New York., pp. 533-624.
- Pranzini E. (1986) - *La dinamica dei sedimenti nel Golfo di Campo (Isola d'Elba)*. Boll. Soc. Geol. It. 105: 253-264.

- Pranzini E. (1999) - *Un Indice di stabilità (Is) per la stima dell'idoneità dei materiali all'alimentazione artificiale delle spiagge*. Studi costieri, 1: 75-83.
- Pranzini E., Simonetti D., Vitale G. (2010) - *Sand colour rating and chromatic compatibility of borrow sediments*. Journal of Coastal Research, 26: 798-808.
- Pranzini E., Vitale G. (2011) - *Beach Sand Colour: The Need for a Standardised Assessment Procedure*. Journal of Coastal Research, 61: 66-69.
- Simeoni U., Corbau C., Pranzini E., Ginesu S. (2012) - *Le pocket beach*. In: *Le Pocket beach*. Dinamica e gestione delle piccole spiagge. A cura di Simeoni U., Corbau C., Pranzini E., Franco Angeli, Milano, pp. 17-30.
- Williams A. T., Morgan R. (1995) - *Beach awards and rating system*. Shore & Beach, 63: 29-33.

**Ricevuto il 27/06/2013, accettato il 13/10/2013.**