

Un Indice di stabilità (I_s) per la stima dell'idoneità dei materiali all'alimentazione artificiale delle spiagge

Enzo Pranzini

Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Firenze
Via Jacopo Nardi 2, 50132 Firenze, Italia.

Riassunto

Viene qui proposta una metodologia per valutare l'idoneità di un materiale all'alimentazione artificiale di una spiaggia. Essa si basa sul confronto fra le distribuzioni granulometriche del materiale rappresentativo della zona d'intervento e di quella del materiale da utilizzare nel ripascimento dal quale si ottiene un Indice di stabilità. Non facendo ricorso ad indici statistici, il metodo può essere utilizzato indipendentemente dalla log-normalità dei sedimenti ed anche per materiali di cui si abbiano analisi granulometriche effettuate con intervallo di setacciatura non omogeneo. Vengono quindi illustrati alcuni casi di ripascimento nei quali l'Indice di stabilità è stato utilizzato in fase di progettazione o in fase di valutazione dell'efficacia dell'intervento.

Introduzione

La valutazione dell'idoneità di un materiale all'alimentazione artificiale di una determinata spiaggia viene generalmente effettuata attraverso il confronto fra la distribuzione granulometrica del materiale in questione e quella di un campione "composito" rappresentativo della spiaggia d'intervento. In modo analitico, o in modo grafico, è possibile ottenere un Fattore di riempimento che indica il volume di materiale di alimentazione necessario a produrre, sotto l'azione selettiva del moto ondoso, un volume unitario di sedimento con distribuzione granulometrica identica a quella del materiale naturale. Ciò è espresso dal Rapporto critico ($R_{\phi_{crit}}$) proposto da Krumbein & James (1965).

Questo metodo, pur essendo applicato frequentemente, anche grazie alla sua "adozione" da parte dello Shore Protection Manual (U.S. Army, 1975), comporta alcuni problemi.

Il principale di questi deriva dal fatto che esso ci consente di stimare il volume dei materiali di alimentazione necessario per ottenere un volume unitario di materiali identici, per distribuzione granulometrica, a quelli naturali. Ciò generalmente non costituisce l'obiettivo di un progetto, dato che il sedimento naturale dimostra di non essere stabile sulla spiaggia d'intervento, essendo questa, in genere, in erosione. Al contrario, si cerca sempre di immettere sulla spiaggia materiale più grossolano, sia per aumentarne la stabilità che per ottenere un'espansione dell'arenile più consistente a parità di volume versato; ciò grazie alla maggiore pendenza che in questo caso assume la spiaggia.

Un altro problema è legato alla necessità di ipotizzare distribuzioni log-normali dei sedimenti naturali e di ripascimento, dato che il confronto avviene attraverso i rispettivi valori della Media (M_{ϕ}) e della Classazione (σ_{ϕ}) secondo la formulazione di Inman (1952). Molto spesso i sedimenti naturali si discostano molto dalla log-normalità, e ancor più lo fanno quelli "compositi", che spesso presentano distribuzioni bi- o polimodali. Per quanto riguarda i materiali di alimentazione, poi, la log-normalità è impossibile se essi derivano da frantumazione e setacciatura di roccia coerente ed è co-

munque altamente improbabile se il materiale è estratto da depositi alluvionali attuali e recenti. Più probabile è per i materiali presenti sui fondali marini, fino a che, anche di questi, non viene costituito un campione “composito”.

Comunque, il calcolo di $R_{\phi_{crit}}$ non può essere effettuato se il materiale di alimentazione è più clastato del sedimento naturale. In questo caso, se il materiale di ripascimento è più grossolano del sedimento naturale viene definito stabile, con $R_{\phi_{crit}} = 1$. Materiali diversi vengono così ad avere lo stesso Rapporto critico, mentre è evidente che maggiori saranno le loro dimensioni e più elevata sarà la loro stabilità. Questo aspetto non è ovviamente preso in considerazione dal metodo di Krumbeyn & James (1965). Nel caso, invece, in cui il materiale di alimentazione sia più fine di quello naturale, esso è genericamente definito “instabile”, ma il grado di instabilità non viene espresso e quindi non è possibile scegliere fra due o più materiali che potrebbero comunque essere utilizzati qualora il ritorno economico dell’operazione venisse garantito, ad esempio, da una utilizzazione turistica, pur limitata nel tempo, come si sta perseguendo in alcuni interventi condotti in Italia.

Metodi leggermente diversi per il calcolo del Fattore di riempimento ¹ sono stati successivamente proposti da James (1975) e da Hobson (1977), ma non risolvono completamente i problemi, sia perchè non astraggono da distribuzioni log-normali, sia perchè hanno come riferimento, in particolare il metodo proposto da James (1975), la produzione di un sedimento simile a quello naturale.

Una finalità leggermente diversa è perseguita dal Fattore di ripascimento, proposto da Hobson (1977), che dovrebbe indicare la periodicità con la quale si dovrebbe effettuare l’alimentazione per bilanciare le perdite naturali. Il calcolo di questo indice necessita dell’introduzione di un parametro adimensionale che esprime le capacità di rimaneggiamento del sistema naturale. In assenza di dati, prodotti forse a seguito di un lungo monitoraggio della zona d’intervento dopo l’alimentazione artificiale, non è possibile definire in modo certo il valore di questo parametro.

L’Indice di stabilità (Is)

Parte delle obiezioni sopra formulate può essere superata da un metodo di stima dell’idoneità dei materiali di ripascimento che non assuma come condizione indispensabile la log-normalità dei sedimenti e come fine la produzione di un materiale uguale a quello naturale.

Il metodo che qui viene proposto parte dall’ipotesi che la stabilità di ogni frazione granulometrica immessa sulla spiaggia sia inversamente proporzionale al valore che la stessa frazione assume nella curva cumulativa dei sedimenti di spiaggia. Ciò implica che un granulo di dimensioni superiori al granulo più grosso presente sulla spiaggia ha stabilità 1 e che un granulo più fine dell’ultimo elemento della distribuzione granulometrica del materiale di spiaggia ha una stabilità pari a zero. Per ciascuna frazione granulometrica “i” viene quindi definito un Fattore di stabilità (fs_i) che risulta pari al complemento a 100 del valore che quella frazione granulometrica assume nella curva cumulativa del sedimento naturale, diviso per cento:

$$fs_i = (100 - cn_i)/100$$

dove cn_i = percentuale cumulativa relativa alla frazione granulometrica “i” del sedimento naturale (vedi figura 1).

Moltiplicando questo Fattore per il valore della frazione rappresentativa della relativa classe granulometrica del materiale di alimentazione (qb_i) si ottiene il “contributo” che quella classe granulometrica può dare all’alimentazione della spiaggia. La somma di tutti questi valori, divisa per 100, porta all’Indice di stabilità:

$$Is = (\sum qb_i * fs_i)/100$$

che può variare fra 0 ed 1.

¹ Per una presentazione in italiano ed una discussione dei vari metodi presenti in letteratura per la valutazione dell’idoneità dei materiali all’alimentazione artificiale delle spiagge, si può vedere la pubblicazione di La Monica et al. (1984).

Nel primo caso tutti i granuli del materiale di alimentazione hanno dimensioni inferiori al più piccolo granulo presente sulla spiaggia; nel secondo caso hanno tutti dimensioni maggiori dell'elemento più grossolano.

Un materiale con distribuzione granulometrica identica a quella dei sedimenti di spiaggia viene ad avere un Indice di stabilità pari a 0.50.

Questa formulazione è valida per intervalli infinitesimi. In considerazione del fatto che in genere si usa un intervallo di setacciatura di 1/2 o 1/4 di phi, il valore cn_i si riferisce al limite dimensionale inferiore della classe i -esima del sedimento naturale, ed è quindi punitivo nell'attribuzione del "contributo" fornito dai granuli maggiori appartenenti alla i -esima classe del materiale di alimentazione.

Una più corretta stima deriva dall'assunzione di un valore di fs_i intermedio fra quello della classe i e quello della classe $i-1$:

$$fs_i = ((100-cn_i) + (100 - cn_{i-1}))/2$$

In pratica la formula finale viene ad essere:

$$Is = \sum fb_i * (100 - fn_i - fn_{i-1})$$

La correttezza di questa procedura di correzione per intervalli di setacciatura discreti è confermata dal fatto che il calcolo di Is per materiali di alimentazione identici a quelli naturali porta ad un risultato pari a 0.5, cosa che nella pratica può essere utilizzata per la verifica dei calcoli.

Questo metodo permette di attribuire un Indice di stabilità (Is) a qualsiasi tipo di materiale, anche a quelli per i quali i metodi precedentemente esposti non consentono una valutazione o danno un valore generico pari a 1. In particolare è possibile valutare materiali definiti "non idonei" dai metodi precedenti, ma che possono venire utilizzati grazie alla loro disponibilità a condizioni economiche vantaggiose. In ogni caso tutti i sedimenti sono valutabili e i risultati confrontabili per formulare una graduatoria di idoneità fra materiali differenti.

Solo i materiali con indice zero ed 1 non sono discriminabili, ma la loro esistenza appare solo teorica o, quantomeno, lo è nell'ambito degli interventi di ripascimento realizzabili.

In pratica il metodo richiede solo l'immissione su due colonne di un foglietto elettronico (tipo Excel, Lotus, ecc.) delle percentuali cumulative del sedimento naturale e delle percentuali del materiale di ripascimento. Dalla prima colonna si ottengono i vari valori di fs , che vengono poi moltiplicati per i corrispondenti valori della seconda colonna; la somma dei risultati fornisce il valore di Is .

Qui di seguito sono riportati degli esempi di applicazione di questo metodo utilizzato per valutare l'idoneità all'alimentazione artificiale della spiaggia di Procchio (Isola d'Elba) da parte di materiali disponibili sui fondali antistanti il settore settentrionale dell'Isola.

Un ulteriore esempio di applicazione riguarda un intervento di alimentazione artificiale effettuato sulla spiaggia di Cecina Mare (Livorno) con materiali prelevati in una cava posta nella pianura alluvionale del Fiume Cecina.

Infine, si riportano i risultati dell'analisi di stabilità di materiali prodotti in cava per frantumazione e setacciatura di roccia calcarea per l'alimentazione artificiale della spiaggia di Cala Gonone (Sardegna) e di Caucana (Sicilia).

In tutti i casi si è indicato il valore di $R_{\phi_{crit}}$ calcolato in modo analitico, per consentire un confronto fra le due metodologie.

L'alimentazione artificiale della spiaggia di Procchio

La spiaggia di Procchio è una pocket beach, lunga poco più di un chilometro, e posta sulla costa settentrionale dell'Isola d'Elba. E' soggetta ad una modesta erosione (circa 6 metri fra il 1968 e il 1997) che però, data la sua limitata ampiezza e la scarsità di spiagge presenti sull'Isola, costituisce una seria minaccia per l'economia locale. In considerazione dell'elevato valore paesaggistico della zona e del modesto tasso di erosione, non è stata proposta la costruzione di opere di difesa, ma solo la realizzazione di una alimentazione artificiale.

Per l'alimentazione di questa spiaggia sono disponibili sedimenti da dragare in mare al largo del Golfo di Viticcio (Vit), del porto di Marciana Marina (Mar) e al largo del Golfo di Sant'Andrea (SAn); è stato inoltre preso in considerazione un campione costituito da una miscela SAn + Vit (denominato SAV). Ciascuna area di prelievo, su cui sono stati raccolti alcuni campioni, viene qui rappresentata da un unico campione composito, i cui valori di Media e Classazione secondo la formulazione di Inman sono riportati in Tabella 1, che è stato messo a confronto con un campione composito costituito dai campioni di battigia prelevati nella zona d'intervento (vedi sempre Tabella 1 per i suoi valori di M_ϕ e σ_ϕ). Si è quindi proceduto al calcolo del Rapporto critico ($R_{\phi crit}$) i cui valori sono riportati in Tabella 2.

Tabella 1 - Media e Classazione secondo la formulazione di Inman per i materiali presi in considerazione per l'alimentazione della spiaggia di Procchio.

Campione	M_ϕ	σ_ϕ
Battigia	0.18	1.55
Vit	0.61	1.30
Mar	1.45	1.05
SAn	-0.87	0.81
SAV	-0.42	0.86

Tabella 2 - Rapporto critico (R_{crit}) e parametri necessari per il suo calcolo per i materiali disponibili per l'alimentazione della spiaggia di Procchio.

Phi	Procchio	Vit	SAn1-5	Mar	Vit+SA
D16	-1.37	-0.68	-1.69	0.41	-0.42
D84	1.75	1.9	-0.15	2.5	0.86
M_ϕ	0.19	0.61	-0.92	1.45	-0.42
σ_ϕ	1.56	1.29	0.77	1.04	0.86
R_{crit}		n.c.	1	n.c.	1

Tabella 3 - Rapporto critico e Indice di stabilità per i materiali disponibili per l'alimentazione della spiaggia di Procchio.

Campione	$R_{\phi crit}$	Is
Vit	n.c.	0.548
Mar	n.c.	0.266
SAn	1	0.751
SAV	1	0.650

di sovrapposizione fra le distribuzioni granulometriche è in definitiva ben espresso dall'Indice di stabilità, come appare dalla figura 2.

Il Rapporto critico per i campioni SAn e SAV è pari ad 1, mentre non è calcolabile per i campioni Vit e Mar che vengono genericamente definiti come non idonei (vedi Tabella 2). Gli elementi per il calcolo di Is per questi quattro materiali sono riportati in Tabella 4, mentre in Figura 1 compare la curva cumulativa del campione composito di battigia in cui sono riportati i valori di fs per le varie frazioni granulometriche

L'Indice di stabilità (Is) consente di scegliere quale è migliore fra i due materiali che hanno $R_{\phi crit} = 1$, ed ovviamente risulta migliore il SAn, essendo il campione SAV l'unione di SAn con del materiale a granulometria minore. In casi in cui le cose non fossero così evidenti, la scelta fra più campioni con $R_{\phi crit} = 1$ dovrebbe avvenire sulla base dell'analisi delle varie distribuzioni senza però giungere ad una quantificazione della diversa idoneità.

Nel caso dei due materiali classificati come non idonei dal metodo di Krumbein & James (1965), l'Indice di stabilità consente una valutazione più accurata ed un giudizio non negativo per il campione Vit che con $Is = 0.548$ viene ad avere una distribuzione di frequenza simile a quella del materiale di battigia. Il livello

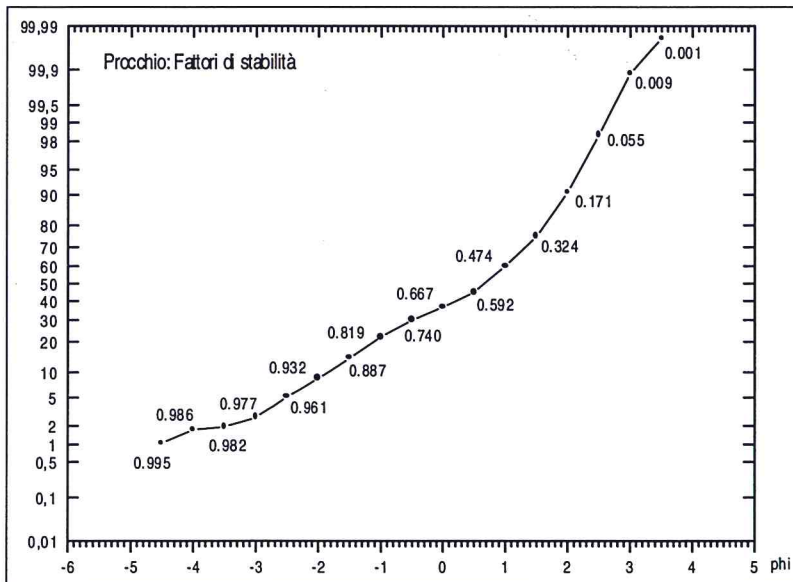


Figura 1 - Curva cumulativa e Fattori di stabilità (fs) relativi al campione composto di battigia del Golfo di Procchio. I fattori di stabilità dipendono dalla distribuzione granulometrica dei sedimenti presenti sulla spiaggia da alimentare e non cambiano per i diversi tipi di materiale utilizzato.

Tabella 4 - Elementi per il calcolo dell'Indice di stabilità per i materiali disponibili per l'alimentazione della spiaggia di Procchio.

Phi	%	%cum	(100-%cum)/100	fs	Vit frequenza	Vit-fs	SAAn1-5	SAAn-fs	Mar	Mar-fs	SAV	SAV-fs
-5	0.000	0.000	1.000	1.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
-4.5	1.070	1.070	0.989	0.995	0.00	0.00	1.00	0.99	0.00	0.00	0.50	0.503
-4	0.650	1.720	0.983	0.986	0.00	0.00	0.45	0.44	0.00	0.00	0.23	0.22
-3.5	0.210	1.930	0.981	0.982	0.00	0.00	1.15	1.13	0.44	0.43	0.58	0.56
-3	0.740	2.670	0.973	0.977	0.04	0.04	1.66	1.62	0.20	0.19	0.85	0.83
-2.5	2.470	5.140	0.949	0.961	0.20	0.19	2.91	2.80	0.26	0.25	1.56	1.49
-2	3.350	8.490	0.915	0.932	0.58	0.54	3.47	3.23	0.27	0.25	2.03	1.89
-1.5	5.610	14.100	0.859	0.887	2.01	1.78	9.44	8.38	0.39	0.35	5.73	5.08
-1	7.960	22.060	0.779	0.819	5.25	4.30	20.50	16.79	0.84	0.69	12.87	10.55
-0.5	7.920	29.980	0.700	0.740	14.14	10.46	25.49	18.86	1.88	1.39	19.82	14.66
0	6.730	36.710	0.633	0.667	30.70	20.47	19.97	13.31	4.88	3.25	25.34	16.89
0.5	8.250	44.960	0.550	0.592	22.56	13.35	9.53	5.64	8.96	5.30	16.05	9.49
1	15.200	60.160	0.398	0.474	4.49	2.13	3.70	1.76	13.81	6.55	4.10	1.943
1.5	14.920	75.080	0.249	0.324	0.83	0.27	0.44	0.14	11.06	3.58	0.64	0.21
2	15.600	90.680	0.093	0.171	4.00	0.69	0.12	0.02	17.18	2.94	2.06	0.35
2.5	7.730	98.410	0.016	0.055	10.65	0.58	0.08	0.00	23.88	1.30	5.37	0.30
3	1.470	99.880	0.001	0.009	4.21	0.04	0.05	0.00	12.79	0.11	2.13	0.018
3.5	0.100	99.980	0.000	0.001	0.27	0.00	0.02	0.00	2.63	0.00	0.15	0.00
4	0.020	100.00	0.000	0.000	0.04	0.00	0.01	0.00	0.43	0.00	0.03	0.00
4.5	0.000	100.00	0.000	0.000	0.02	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.01	0.00
	100.00				100.00	54.83	100.00	75.12	100.00	26.59	100.00	64.98
Is						0.548		0.751		0.266		0.650

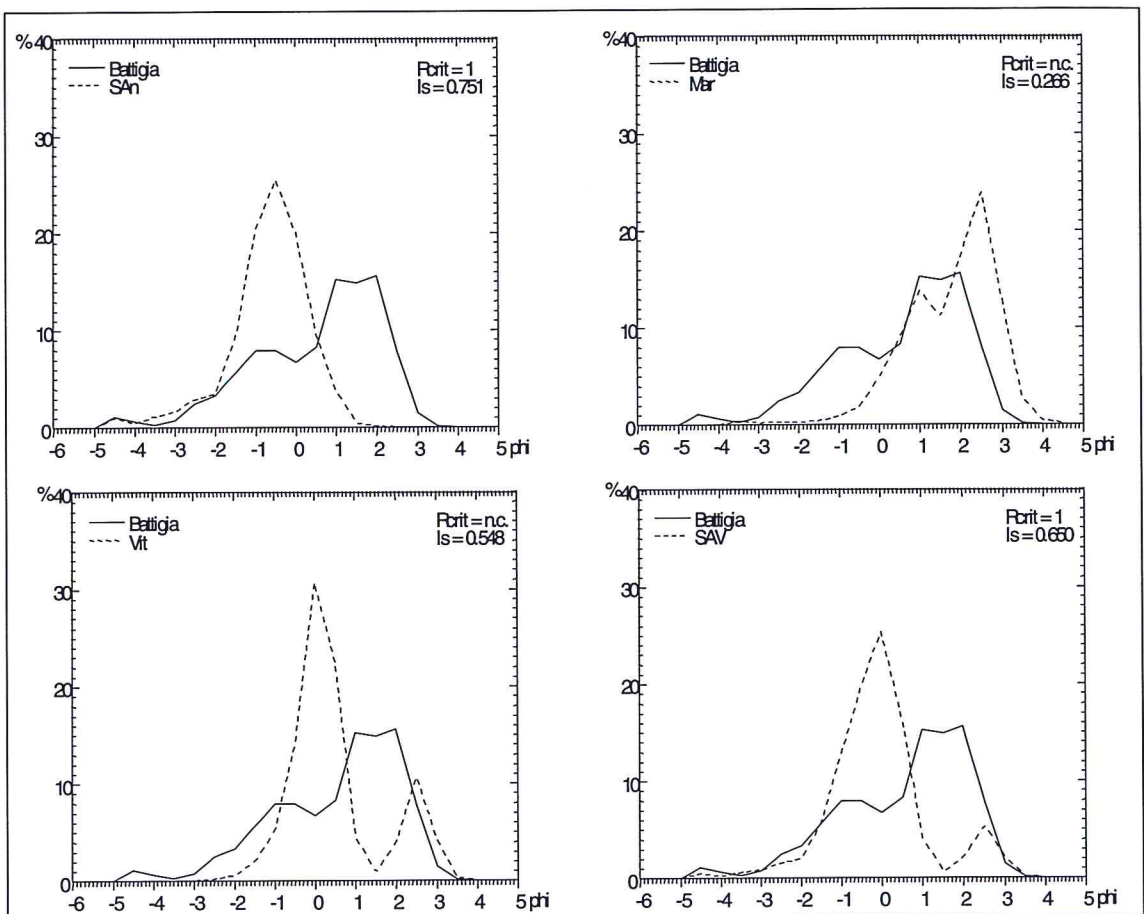


Figura 2 - Confronto fra la distribuzione granulometrica dei sedimenti che costituiscono la battigia del Golfo di Procchio e quella dei quattro materiali presi in considerazione per la sua alimentazione artificiale. All'interno dei riquadri sono riportati anche i rispettivi valori di R_{crit} e di I_s .

L'alimentazione artificiale della spiaggia di Cecina

La spiaggia di Cecina, posta sui due lati del fiume omonimo, è soggetta ad una forte erosione che ha fatto arretrare la linea di riva anche di 100 metri fra il 1938 e il 1984.

Nel tempo è stata difesa con numerosi pennelli, che hanno rallentato il processo erosivo, ma che non sono stati capaci di restituire una spiaggia idonea al sostentamento dell'attività turistica.

Il progetto di riequilibrio costiero (Cipriani et al. 1992) è basato, nel lato meridionale della foce, sul mantenimento di tre di questi pennelli e sulla prosecuzione in setti sommersi di quello centrale e di quello meridionale; nel lato settentrionale sulla rimozione di numerose piccole opere di difesa (pennelli e scogliere aderenti) e sulla costruzione di pennelli prolungati in setti sommersi.

L'alimentazione artificiale della spiaggia è stata effettuata con materiali provenienti da cave aperte nella pianura alluvionale del F. Cecina (Bartoletti et al., 1995). I materiali qui presenti sono simili a quelli che il fiume porta alla foce e che, dopo la selezione operata dal moto ondoso, costituiscono la spiaggia. Nella figura che segue (Fig. 3) viene riportato il confronto fra le distribuzioni granulometriche per i due casi considerati.

Si nota come, per la spiaggia settentrionale, i materiali naturali abbiano un range dimensionale assai esteso, che comunque viene completamente coperto dai materiali di ripascimento che non presentano certo una distribuzione log-normale.

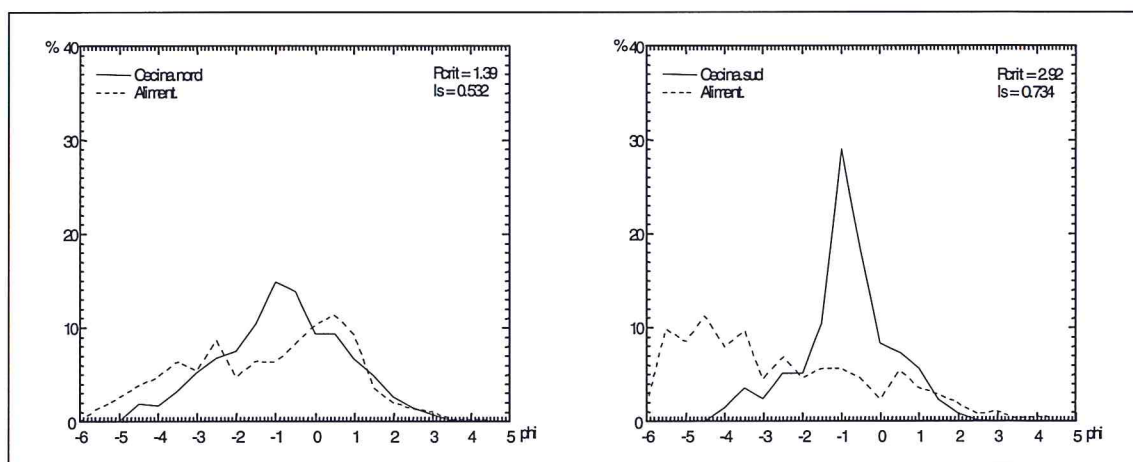


Figura 3 - Distribuzioni granulometriche dei sedimenti di battigia delle spiagge di Cecina nord e di Cecina sud e dei due materiali utilizzati per la loro alimentazione artificiale. Nel riquadro sono indicati anche i valori del Rapporto critico ed dell'Indice di stabilità.

Il Rapporto critico non è in grado di esprimere una valutazione attendibile dell'idoneità di questi materiali, cosa che, al contrario, fa l'Indice di stabilità.

I sedimenti della spiaggia meridionale sono più classati, mentre quelli utilizzati per l'alimentazione artificiale hanno una distribuzione polimodale. Anche in questo caso il Rapporto critico da un valore estremamente elevato in considerazione della sua tendenza a fare assumere ai materiali di ripascimento una distribuzione analoga a quelli di spiaggia. Ai fini della stabilizzazione costiera, al contrario, proprio i materiali che il Rapporto critico "scarta" sono quelli più efficaci. L'Indice di stabilità prossimo a 0.75 (0.734 in questo caso) indica caratteristiche intermedie fra un materiale identico a quello di spiaggia ($S_i = 0.5$) ed uno costituito tutto da granuli più grossi del più grosso elemento del sedimento naturale ($S_i = 1$). Si tratta in molti casi di un buon compromesso fra la massima stabilità e la necessità di non modificare troppo la fruibilità della spiaggia originaria, come vedremo che si è cercato di ottenere sulla spiaggia di Caucana.

L'alimentazione artificiale della spiaggia di Cala Gonone

La necessità dell'espansione della spiaggia di Cala Gonone (Sardegna orientale) è la conseguenza della rapida crescita dell'attività turistica in una zona naturalmente carente di spiagge. La zona fa parte del costituendo parco marino del Golfo di Orosei e, nonostante sia esposta a mareggiate di notevole intensità, non era possibile intervenire con la costuzione di vere e proprie scogliere. La nuova spiaggia si appoggia quindi lateralmente a delle secche artificiali costruite con massi analoghi a quelli naturalmente presenti ai piedi delle falesie; altre tre secche sono state poste con andamento parallelo nel tratto centrale.

L'elevata esposizione di questo tratto di costa richiedeva l'utilizzazione di materiali grossolani per l'alimentazione artificiale, materiali non certo reperibili in mare e non disponibili in depositi continentali. Si è quindi fatto ricorso a materiale calcareo prodotto dalla frantumazione di roccia coerente, costituendo delle miscele opportune (Pacini et al., 1997; e nel presente volume).

Fra le diverse miscele utilizzate durante i lavori se ne prendono qui in considerazione due, composte rispettivamente da Sabbia e Risone (SR) e da Sabbia, Risone e Graniglia (SRG) (questi termini sono quelli in uso per la definizione dei materiali prodotti dai frantoi locali).

I due campioni, messi a confronto con il sedimento naturale, mostrano un Rapporto critico simile (2.10 e 1.92). Una differenza assai più significativa emerge dal calcolo di I_s (Fig. 4), che mostra come il campione SRG abbia una distribuzione granulometrica con una buona sovrapposizione con quella della distribuzione del materiale naturale ($S_i = 0.54$).

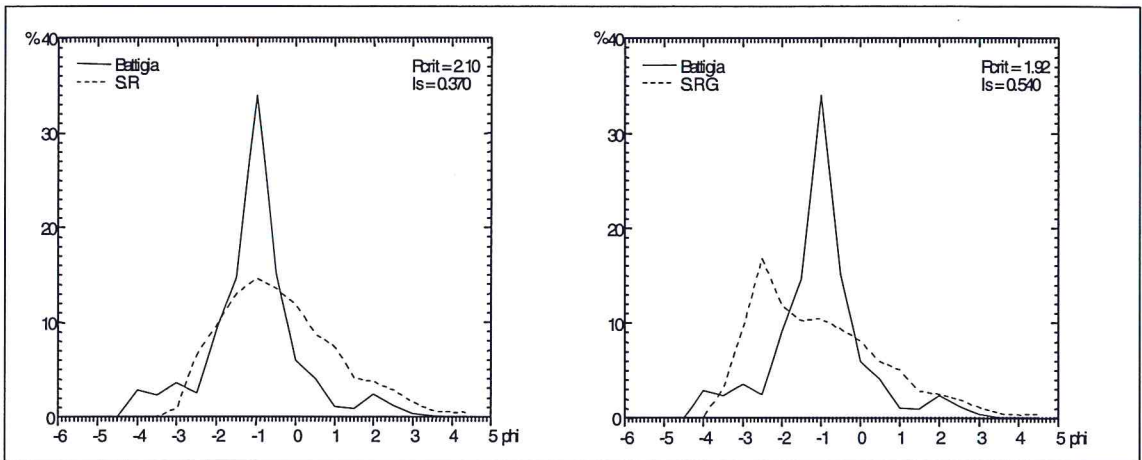


Figura 4 - Distribuzioni granulometriche dei sedimenti di battigia della spiaggia di Cala Gonone e di due miscele prodotte per la sua alimentazione artificiale. Nel riquadro sono indicati anche i valori del Rapporto critico ed Indice di stabilità.

Un valore superiore a 0.50 indica un leggero spostamento della distribuzione verso le frazioni più grossolane. Ciò appare evidente dall'analisi delle distribuzioni granulometriche. La miscela SR, pur con un Rapporto critico simile, mostra un Indice di stabilità estremamente basso (0.37) che indica la sua non idoneità al ripascimento della spiaggia.

L'alimentazione artificiale della spiaggia di Caucana

La spiaggia di Caucana (Sicilia meridionale) è costituita da una sabbia fine che gli conferisce una grande valore turistico anche se la sua ampiezza è assai ridotta (circa una decina di metri). L'erosione a cui è soggetta, seppur modesta (circa 20 metri fra il 1948 e il 1996), ha messo in pericolo alcuni siti archeologici retrostanti che sono stati difesi con scogliere aderenti.

Il potenziamento turistico della zona ed una più efficace difesa dei siti archeologici vengono ora perseguiti tramite un ripascimento artificiale che comporterà l'espansione della spiaggia di circa 30 metri. Per ridurre la dispersione dei sedimenti lungo costa verranno rafforzate le due secche naturali che delimitano la spiaggia. In questo caso è necessario utilizzare sedimenti di dimensioni maggiori,

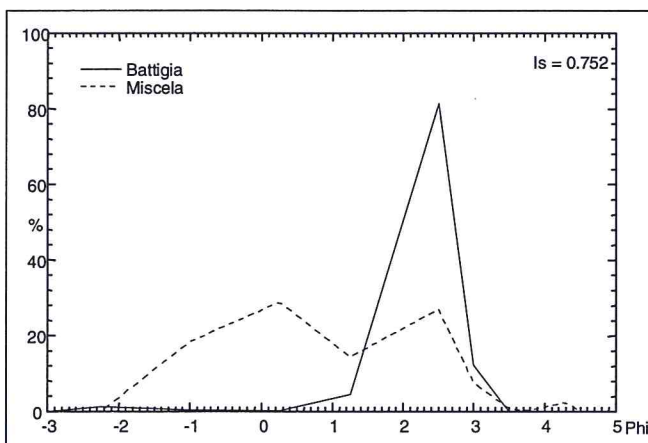


Figura 5 - Distribuzione granulometrica dei sedimenti di battigia della spiaggia di Caucana e della miscela prodotta per la sua alimentazione artificiale.

per conferire maggiore stabilità all'intervento, ma non tali da comprometterne la fruibilità per la balneazione. Si è quindi stabilito, in modo aprioristico, di utilizzare materiale con Indice di stabilità il più vicino possibile a 0.75.

Il campione composito è stato costruito con i soli materiali di battigia, leggermente più grossolani di quelli presenti sulla spiaggia sommersa, sia per garantirsi margini di successo maggiori, sia perchè il materiale più grossolano immesso sulla spiaggia dovrebbe disporsi con una maggiore pendenza e rimanere in prossimità della battigia. Il valore di $S_i = 0.752$ è

stato raggiunto miscelando in modo opportuno i materiali disponibili nella zona: sabbia dragata all'interno di un porto e materiali prodotti in frantoio (vedi Fig. 5). A questo riguardo è opportuno rilevare che l'immissione sulla spiaggia di materiali con distribuzione bimodale comporta alcuni problemi che sono al momento oggetto di studio. In particolare si è rilevato che le due popolazioni costituenti il campione (o la miscela) tendono a separarsi, la frazione grossolana migra verso la spiaggia alta, mentre quella fine si dispone alla base della battigia. Dopo successive mareggiate di diversa intensità (e quindi con diverso sopralzo di tempesta) la spiaggia viene ad essere costituita da fasce di materiali grossolani, sulle creste delle berme, e da materiali fini alla loro base. Nel caso in questione non è disponibile in zona materiale di dimensioni prossime a 1 phi, che consentirebbe di "riempire" il buco fra le due popolazioni e rendere meno evidente la loro separazione.

Ringraziamenti

Lo studio della spiaggia di Procchio è stato effettuato in collaborazione con l'Ing. Luciano Fantoni, SIT, Portoferraio. Lo studio sulla stabilità del ripascimento di Cecina Mare è stato effettuato nell'ambito del Progetto MURST 40% "Modificazioni naturali e indotte della fascia costiera". Lo studio delle spiagge di Cala Gonone e di Caucana è stato effettuato in collaborazione con l'Ing. Giorgio Sirito, Studio Volta, Savona.

Bibliografia

- Bartoletti E., Cipriani L.E., Dreoni A.M., Montelatici M. e Pranzini E. (1995) - *Testing the effectiveness of a shore protection work at the mouth of the Cecina River*. Medcoast '95. 24-27 Ottobre 1995, Tarragona, Spagna.
- Cipriani L.E., Dreoni A. e Pranzini E. (1992) - *Nearshore morphological and sedimentological evolution induced by beach restoration : a case study*. Boll. Oceanol. Teor. e Appl. 2/4: 279-295.
- Hobsob R.D. (1977) - *Review of design elements for beach fill evaluation*. T.P. 77-6, CERC, US Army Corps of Engineers, Fort Belvoir.
- 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. e 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.
- US Army (1975) - *Shore Protection Manual*. Corps of Engineers, Fort Belvoir.
- Inman D.L. (1952) - *Measures for describing the size distribution of sediments*. Journ. Sedim. Petrol. 22: 125-144.
- La Monica G.B., Landini B. e Milli S. (1984) - *Ripascimento artificiale dei litorali in erosione. Il Tombolo di Feniglia (Toscana Meridionale)*. Boll. Soc. Geol. It., 103: 539-560.
- Pacini M., Pranzini E. e Sirito G. (1997) - *Beach nourishment with angular gravel at Cala Gonone (Eastern Sardinia, Italy)*. Medcoast '97, Qawra, Malta, 11-14 Nov. pp. 1043-1058.