

## La ricostruzione delle spiagge di Cala Gonone

Martina Pacini<sup>1</sup>, Enzo Pranzini<sup>1</sup> e Giorgio Sirito<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dipartimento di Scienze della Terra, Via Jacopo Nardi 2, 50132 Firenze.

<sup>2</sup>Studio Sirito, Via Card. Mistrangelo 7, 17100 Savona.

### Riassunto

La spiaggia di Cala Gonone è stata oggetto di un ripascimento artificiale protetto, per brevi tratti, da secche semi-affioranti. Il materiale versato è costituito da ghiaia prodotta mediante frantumazione di roccia coerente, prima calcare e, successivamente, granito fortemente alterato. Lo studio dell'evoluzione morfologica e sedimentologica della spiaggia dimostra la grande stabilità dell'intervento, dovuta essenzialmente alla elevata permeabilità e porosità dei materiali utilizzati. Il materiale carbonatico ha subito, già dopo un anno di attacco del moto ondoso, un arrotondamento sufficiente a garantire una buona fruibilità dell'arenile.

### Introduzione

La protezione, la ricostituzione o la creazione di una spiaggia in ambienti ad elevata energia di moto ondoso pone numerosi problemi di tipo ambientale, dato che gli interventi di tipo tradizionale offrono, per questi casi, soluzioni basate su di un grado di difesa estremamente pesante. Si è spesso pensato che per opporsi al moto ondoso non vi fosse altro metodo che quello di impedirne la propagazione verso costa, in genere con opere di difesa parallele di forte impatto paesaggistico.

Questo atteggiamento deriva in buona parte dalla mancanza di conoscenze sulla dinamica dei sedimenti di differente granulometria, parametro, questo, spesso considerato con notevole superficialità, non solo in numerose progettazioni, ma anche nella modellistica numerica ed in quella fisica. Riprova ne è che sono quasi inesistenti modelli morfodinamici per spiagge in ghiaia ed anche la sperimentazione su modello fisico non ha prodotto una letteratura adeguata. Ancor più problematica è la situazione relativa agli studi sulle spiagge miste, sabbia più ghiaia, per le quali non esistono modelli descrittivi e dove anche la campionatura pone non pochi problemi metodologici.

Al di là della semplice considerazione che all'aumentare delle dimensioni dei granuli maggiore è l'energia necessaria a muoverli, e che quindi ripascimenti realizzati con materiali grossolani sono più stabili di quelli effettuati con sedimenti fini, non esistono dati per ottimizzare gli interventi e trovare un giusto compromesso fra le dimensioni dei materiali ed il grado di protezione artificiale. Il risultato è che nelle progettazioni si tende a sovradimensionare le opere a mare o ad affidare solo ad esse la difesa del ripascimento, non ricercando quell'equilibrio ottimale tra fruibilità della spiaggia e impatto ambientale.

La scelta di realizzare una spiaggia in sabbia con una forte protezione artificiale è spesso giustificata dal progettista e dal committente dalla convinzione che una spiaggia in sabbia sia più appetibile per l'industria turistica. Questo può essere vero per alcuni utenti, che attribuiscono alla spiaggia un valore prevalentemente ludico, ma non devono essere tralasciati altri aspetti che conferiscono alla spiag-

ge in ghiaia un valore assai maggiore. In primo luogo la qualità delle acque è tanto maggiore quanto minore è il grado di protezione, che impedisce la circolazione ed il ricambio, in particolare nel periodo estivo. Inoltre, gli inquinanti tendono ad addensarsi nei sedimenti fini, che vengono anche meno "lavati" dal moto ondoso. L'acqua antistante le spiagge in ghiaia è assai più trasparente, poiché scarsi sono i sedimenti in sospensione. Questa caratteristica, oltre ad accrescere il valore estetico di un litorale, ha un effetto psicologico non indifferente, dato che se ne trae l'impressione di un mare meno inquinato. La permanenza dei bagnanti è inoltre più piacevole in quanto la ghiaia non si attacca alla pelle, non "si infila dappertutto", non è trasportata dal vento.

L'insieme di questi aspetti può spostare l'ago della bilancia a favore di un ripascimento in ghiaia, soluzione comunque obbligatoria laddove esistano forti vincoli ambientali.

L'intervento effettuato a Cala Gonone (Fig. 1) rientra proprio in quest'ultimo caso, poiché il litorale su cui insiste ha un elevatissimo valore paesaggistico e deve essere inserito nel parco del Golfo di Orosei; non era quindi pensabile realizzare strutture massicce a difesa del ripascimento, nonostante che l'energia del moto ondoso raggiunga livelli rilevanti.

### **Inquadramento geografico**

La zona d'intervento è caratterizzata da una falesia attiva costituita da rocce carbonatiche e basaltiche, orlata solo in pochissimi tratti da una esile spiaggia alimentata dall'erosione di alcuni depositi quaternari poco cementati (Orrù e Ulzega, 1987). Lo studio sedimentologico (Mania e Pranzini, 1996) ha infatti consentito di valutare come insignificante l'apporto sedimentario verso costa dai fondali antistanti, dove pur esiste una consistente quantità di sedimenti provenienti dalla foce del Rio Codula di Luna, che sbocca circa 6.5 chilometri più a sud. Questi materiali non sono in grado di alimentare le spiagge presenti alla base della falesia poiché le loro ridotte dimensioni li rendono instabili in questo ambiente. Davanti a Cala Gonone si ritrovano comunque già su di un fondale di 2 metri dove, in parte, coprono un substrato roccioso o ciottoloso. Sulle spiagge sono presenti, oltre ai materiali in equilibrio con la dinamica costiera, numerosi elementi di dimensioni superiori ai ciottoli, che devono essere considerati residuali rispetto al materiale eterogeneo prodotto dal frantumamento della falesia nei suoi tratti costituiti dai depositi quaternari.

La costa, nel suo insieme, è orientata a 20°-200° N, ed è quindi esposta ai mari provenienti da un settore compreso fra nord-est e sud. Sulla base dei dati KNMI del periodo 1960 - 1980 sono state calcolate, fra l'altro, le altezze dell'onda significativa (Hs) dalle principali direzioni di provenienza per differenti tempi di ritorno (1 anno = 2.19 m; 10 anni = 3.24 m; 20 anni = 4.44 m; 50 anni = 5.45 m; 100 anni = 6.26 m) (Cicala, 1998; Dagnino et al., 1988).

Per la parte centrale della spiaggia di progetto è stato calcolato un flusso di energia diretto verso nord, pari a 1.146.000 W/m all'anno. Questa direzione è in accordo con i risultati dello studio sedimentologico e confermata dal fatto che non si ha insabbiamento del lato settentrionale del porto di Cala Gonone.

### **Il progetto**

Lo scopo del progetto era quello di dotare Cala Gonone di una spiaggia in grado di supportare l'attività turistica notevolmente accresciutasi negli ultimi venti anni. Purtroppo non esistono documenti attendibili sui quali basare uno studio dell'evoluzione recente del litorale, ma alcune antiche fotografie e i ricordi dei più anziani indicano che la spiaggia un tempo doveva essere più estesa, anche se fino ad ora non sono state ricercate le cause della sua graduale riduzione.

Il progetto, finanziato dalla Regione Sardegna e realizzato dal Comune di Dorgali, è stato redatto da Berriolo e Siritto (1988) e si è avvalso, oltre che di un rilievo batimetrico specifico (Siritto, 1988) di uno studio geomorfologico e sedimentologico effettuato dal Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Firenze (Mania e Pranzini, 1996). Il progetto è poi stato sottoposto ad una prova su modello fisico tridimensionale realizzata presso il laboratorio della HR Wallingford (1993).

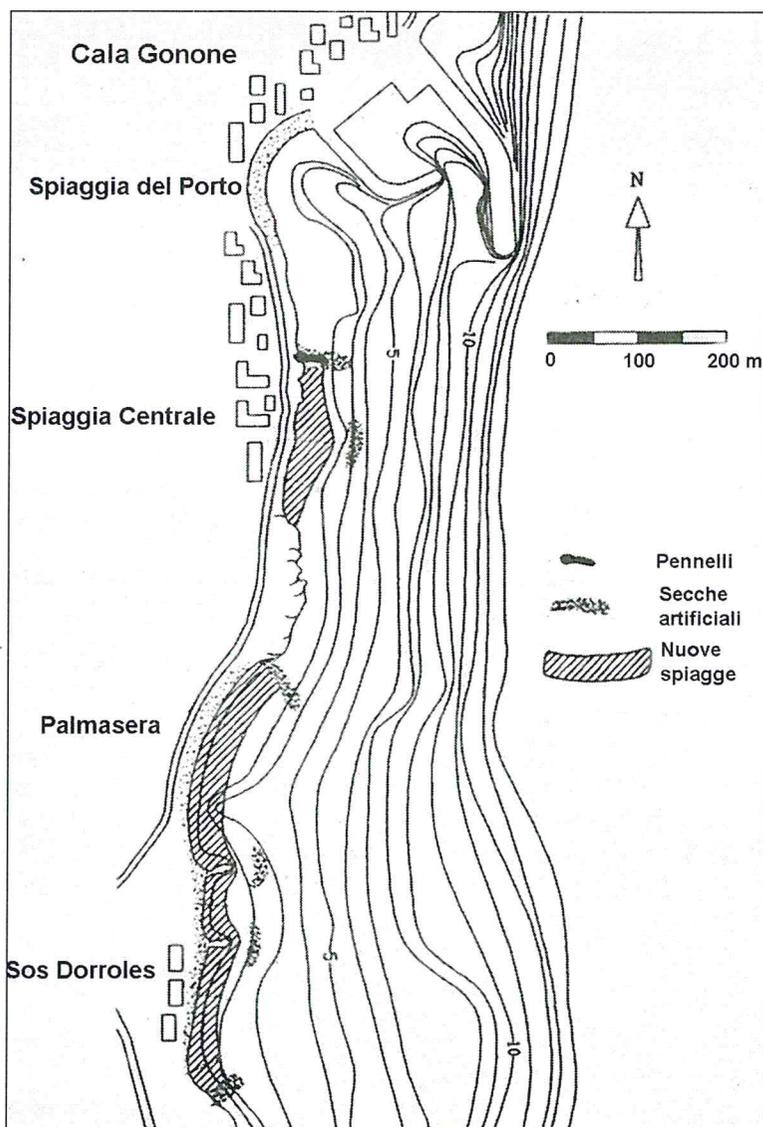


Figura 1 – Progetto per la ricostruzione della spiaggia di Cala Gonone.

Come già accennato, la scelta progettuale di base era quella di non realizzare opere di difesa tali da modificare le caratteristiche paesaggistiche della zona. Ciò imponeva ovviamente la scelta di utilizzare materiali più grossolani di quelli in posto, anche se le considerazioni emerse dallo studio sedimentologico consentivano di considerare minime le perdite verso l'esterno per quanto riguarda le frazioni di dimensioni maggiori presenti nella distribuzione granulometrica dei materiali di battigia e quindi la possibilità di non eccedere nella granulometria del materiale di ripascimento.

Nonostante le scarse conoscenze che si hanno sul comportamento dei materiali ghiaiosi, è comunque nota la loro forte mobilità longitudinale, tale da imporre la presenza di strutture di contenimento poste perpendicolarmente a riva. Queste potevano comunque avere una estensione limitata, dato che le ghiaie si muovono solo nella parte più alta del profilo di spiaggia.

Tuttavia, data la necessità di adeguarsi alla convessità che la linea di costa presenta in alcuni tratti, queste strutture sono state integrate con tre secche semi-affioranti poste su fondali compresi fra i 2 e i 3 metri. Queste secche sono state realizzate con massi naturali in basalto arrotondati, prelevati nelle zone agricole o a pascolo dell'entroterra, e disposti in modo da riprodurre altre morfologie simili presenti lungo costa. In realtà due delle tre secche esterne sono andate a sostituire due pennelli

costruiti anni a dietro in via sperimentale. Nonostante che queste strutture abbiano dimostrato in seguito una notevole efficacia, il loro impatto ambientale è da considerarsi praticamente nullo. Data la non disponibilità in zona di materiale ghiaioso di origine alluvionale, si è fatto ricorso alla produzione dei frantoi che operano in questo settore dell'isola e che frantumano materiale coerente estratto all'interno.

Le dimensioni previste per il materiale di ripascimento erano leggermente superiori a quelle del materiale naturale e le quantità pari a 80.000 metri cubi, circa 100 mc/metro di spiaggia, anche se questa misura ha poco significato dato che l'ampiezza prevista per la spiaggia era estremamente variabile in funzione dell'esposizione e della vicinanza alle strutture di protezione o di contenimento.

### L'esecuzione dei lavori

I lavori sono iniziati nell'Autunno del 1994, sotto la direzione del progettista G. Sirito e con la consulenza sedimentologica di E. Pranzini, e si sono protratti fino al Giugno 1997, pur con una lunga interruzione fra la Primavera del 1995 e l'Autunno del 1996.

Dei previsti 80.000 metri cubi di materiale, circa 23.000 (meno di 30 mc/metro) sono stati versati nella prima fase dei lavori, fra l'Autunno del 1994 e la Primavera del 1995, i rimanenti 57.000 metri cubi fra l'Autunno del 1996 e la Primavera del 1997.

Nella prima fase è stato utilizzato materiale proveniente dalla frantumazione di calcare, cui è stata aggiunta della sabbia derivante dal dragaggio di un porto (Fig. 2). Inizialmente le singole frazioni granulometriche utilizzate sono state mescolate in cava per produrre le varie miscele previste; successivamente sono stati versati i costituenti puri. Dopo un lavaggio, che doveva portare la percentuale di frazione fine (silt e argilla) sotto al 2%, il materiale veniva trasportato per circa 40 chilometri fino alla spiaggia, dove veniva mescolato e spinto in mare con un pala meccanica secondo la tecnica dei pennelli rifornitori. Questi venivano rapidamente demoliti dal mare e il materiale ritornava a riva a formare una fascia parallela a costa. Per favorire la perdita della frazione fine rimanente, una ulteriore miscelazione dei componenti ed un primo arrotondamento dei granuli, il materiale è stato steso per tre volte sotto al livello del mare. In tutti e tre i casi è stato riportato sulla spiaggia emersa dal moto ondoso in pochi giorni.

In realtà non tutto il materiale è andato a costituire le miscele, dato che la produzione iniziale di materiale grossolano (con setacciatura fra 40 e 20 mm in produzione e 19 mm effettivi sui campioni prelevati) è servito per realizzare le piste necessarie per raggiungere la secche artificiali e vedremo che non si è riunito al resto del materiale. La sabbia (0.9 mm di diametro medio) è stata utilizzata solo nella prima fase del ripascimento ed è quindi stata in buona parte ricoperta successivamente.

All'interruzione dei lavori la Spiaggia Centrale risultava più ampia di circa 25 metri, mentre le altre due di circa 10 metri.

Dopo l'interruzione, i lavori sono ripartiti utilizzando un "sabbione" prodotto dall'alterazione di roccia granitica (Fig. 3).

Per controllare l'effettivo versamento delle quantità previste, ogni camion proveniente dalla cava veniva pesato all'ingresso del cantiere e il materiale ispezionato da un assistente alla Direzione dei lavori. Periodicamente, e senza preavviso, venivano prelevati campioni dal mucchio versato, sui quali venivano fatte analisi granulometriche nel Laboratorio terre del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Firenze, accettato dalle parti quale "laboratorio ufficiale", sia per controllare la rispondenza delle miscele alle caratteristiche previste, sia per verificare che la percentuale di frazione fine rimanesse nei limiti stabiliti, onde evitare danni alla prateria di *Posidonia oceanica* presente sui fondali antistanti. Si dispone quindi di una abbondante documentazione sulla qualità e quantità del materiale versato, che consente una credibile valutazione dell'efficacia dell'intervento per il quale, purtroppo, non era stato previsto un sistema di monitoraggio. Per ovviare a ciò, nel Maggio 1996, un anno dopo l'interruzione della prima parte dei lavori, è stato effettuato un rilievo speditivo della spiaggia, fino alla profondità di circa un metro, il cui profilo è stato rilevato con il metodo proposto da Emery (1962). In questa occasione sono stati rilevati 6 profili in corrispondenza di al-

trezzante sezioni misurate all'inizio e all'interruzione dei lavori (in Figg. 4 e 5 sono riportati i profili rappresentativi della Spiaggia Centrale e della Spiaggia di Palmasera).

Contemporaneamente, sono stati prelevati 56 campioni lungo i 6 profili misurati, che sono stati oggetto di analisi granulometrica con la stessa strumentazione e metodologia utilizzata per i materiali di ripascimento. Questi rilievi sono stati effettuati per studiare l'evoluzione del profilo di spiaggia e la variazione granulometrica dei materiali e non per una stima dei volumi trattenuti, cosa che, data la morfologia estremamente irregolare della costa, avrebbe richiesto il rilievo di un numero ben maggiore di sezioni.

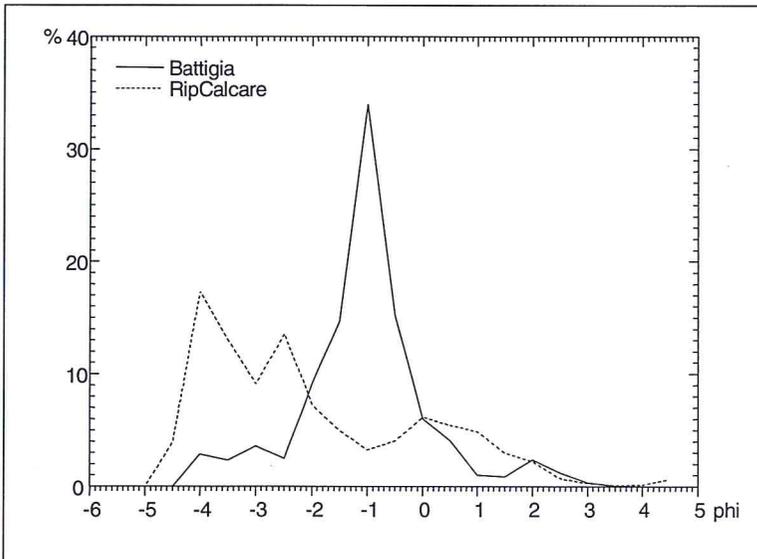


Figura 2 – Distribuzione granulometrica del campione composito rappresentativo del materiale calcareo utilizzato durante la prima fase dei lavori (circa 23.000 mc). La moda a 0 phi è dovuta alla frazione sabbiosa.

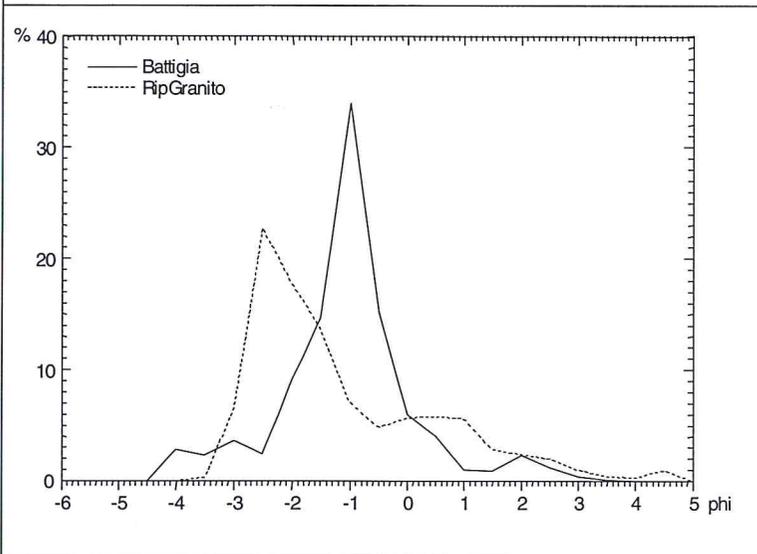


Figura 3 – Distribuzione granulometrica del campione composito rappresentativo del materiale granitico utilizzato nella seconda fase dei lavori (circa 57.000 mc).

### Evoluzione della spiaggia emersa

Il confronto fra il profilo "assegnato" alla spiaggia durante i lavori di versamento e di spianamento e dalla prima redistribuzione operata dal moto ondoso, e quello rilevato ad un anno di distanza dall'interruzione dei lavori, consente una analisi del comportamento dei materiali ghiaiosi utilizzati nella prima fase (circa il 30% del volume di progetto). Non è al contrario possibile una accurata stima del bilancio sedimentario del litorale, per la quale, come già accennato, sarebbero necessari rilievi più raffittiti ed estesi oltre l'isobata di un metro.

La quota raggiunta dalla berma e la presenza su tutto il profilo di granuli arrotondati dimostra che nessuna parte del profilo originario si è mantenuta ad un anno di distanza e che l'estensione della spiaggia realizzata durante la prima fase dei lavori non era sufficientemente ampia da assorbire completamente il moto ondoso. L'innalzamento del profilo dimostra comunque che il run-up non è stato tale da portare ad un riflesso sul muro che orla gran parte delle spiagge in questione e determinare una asportazione dei sedimenti dalla spiaggia emersa. Questo processo si è verificato però, a lavori ultimati, a seguito di una mareggiata eccezionale dovuta al perdurare per circa una settimana di forti venti orientali, come vedremo alla fine di questa nota.

Nella formazione dei tratti convessi della spiaggia le secche artificiali hanno avuto un ruolo determinante, dimostrato anche dal fatto che dietro ad esse la berma di tempesta è risultata essere significativamente più bassa che nei tratti non coperti (circa 1.6 metri contro i 2 metri degli altri tratti e i 2.4 metri del settore direttamente esposto ai mari di S-SE). Il confronto fra i profili dimostra che, almeno nei tratti analizzati, il bilancio sedimentario della spiaggia emersa è positivo e che, quindi, parte del materiale versato in profondità ha raggiunto la riva. I dati granulometrici ci diranno che in questo processo si è verificata una classazione dei sedimenti versati con l'abbandono sui fondali di quelli più grossolani posti per la costruzione delle piste di accesso alle secche artificiali. Parte del materiale è fluito verso nord ed ha collegato la Spiaggia Centrale con quella del porto. Ciò è stato favorito dalla bassa quota e dalla limitatissima estensione della secca artificiale che delimita verso nord la zona di ripascimento, che verrà potenziata solo alla fine dell'intervento.

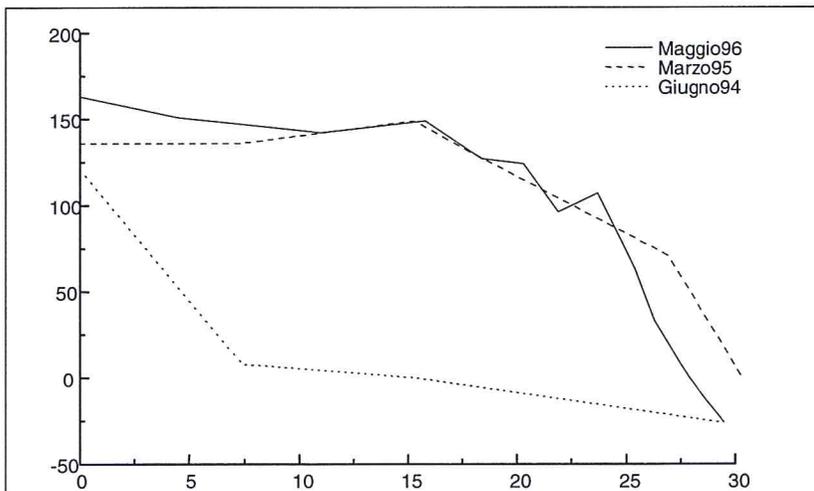


Figura 4 - Profili della Spiaggia Centrale a seguito della prima fase dei lavori.

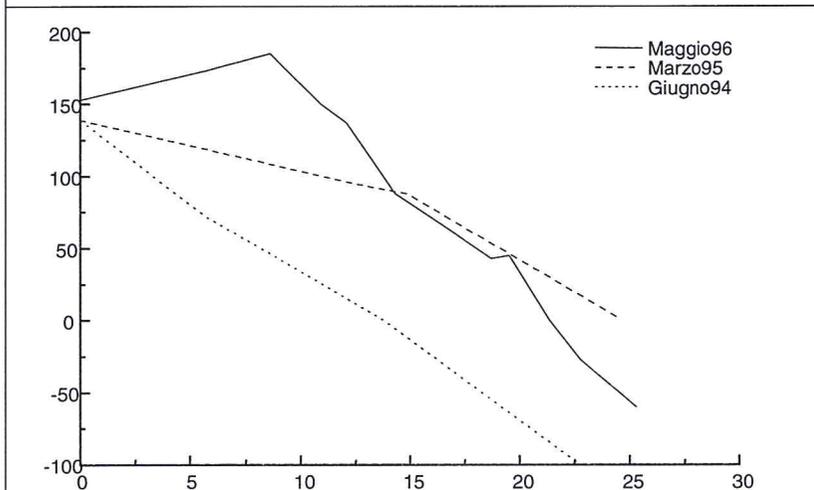


Figura 5 - Profili della spiaggia di Palmasera a seguito della prima fase dei lavori.

Il materiale si è spostato in prossimità della riva e, durante le mareggiate, sulla parte normalmente emersa della spiaggia, mentre i fondali antistanti, oltre la profondità di circa un metro, non ospitano quegli elementi grossolani e bianchi che risulterebbero facilmente identificabili in un fondale scuro di materiale basaltico.

### Evoluzione granulometrica dei materiali versati

L'analisi dei 56 campioni raccolti sulla superficie della spiaggia lungo le sei sezioni rilevate mostra una notevole variazione granulometrica fra i materiali versati e quelli oggi visibili. Alcune frazioni granulometriche, in particolare quelle di dimensioni minori, è credibile che abbiano abbandonato la spiaggia emersa per andare a depositarsi sui fondali maggiori, dove esse risultano in equilibrio con l'energia del moto ondoso. Altre frazioni, quelle più grossolane, devono essersi affossate nel corpo della spiaggia o fermate sui fondali immediatamente antistanti, come può essere avvenuto per il materiale utilizzato nella costruzione delle piste che raggiungevano le secche artificiali.

I materiali presenti in superficie devono essere quelli in equilibrio con l'energia che raggiunge la riva e sono quindi da considerarsi ottimali per il ripascimento.

L'analisi del grafico in cui appaiono le differenze normalizzate fra le varie classi granulometriche del materiale versato e del materiale presente in superficie (Fig. 6) mostra infatti una perdita totale della frazione fine ed una assai significativa dei costituenti più grossolani, mentre è chiaro un accumulo relativo delle frazioni comprese fra  $-3$  e  $-0.5$  phi. Una perdita percentuale significativa risulta aver interessato anche le frazioni  $0 \div 1$  phi, ossia quelle relative alla sabbia di mare che, oltre ad essere stata ricoperta, ha dato prova di scarsa stabilità in questo ambiente e di impossibilità di mescolamento con le popolazioni a granulometria maggiore. Nonostante che il materiale di partenza fosse caratterizzato da una distribuzione granulometrica marcatamente polimodale, la progressiva classazione operata dal moto ondoso ha portato ad una maggiore "normalità" del sedimento residuo.

Il materiale versato aveva un arrotondamento medio, stimato visualmente, pari a 0.2 (Fig. 7) ed ha raggiunto un valore di 0.4 in soli 12 mesi, mentre rimangono facilmente riconoscibili i granuli originali che hanno un arrotondamento medio pari a 0.9. Nel Giugno 1997, dopo un altro anno dal versamento, gli elementi carbonatici presenti sulla battigia avevano un arrotondamento medio pari a  $0.5 \div 0.6$ . Ciò è dovuto, in parte, al valore di Los Angeles non troppo elevato (29.2%) ed in parte all'elevata energia che colpisce la spiaggia. Certo è che si sono raggiunti in tempi estremamente brevi dei valori di arrotondamento che consentono una buona fruizione della spiaggia. Questo era, in assenza di dati sperimentali, uno degli aspetti più problematici della progettazione e i risultati ottenuti consentono di dare un peso minore a questo aspetto nelle future realizzazioni, se i depositi saranno esposti ad elevate energie da moto ondoso.

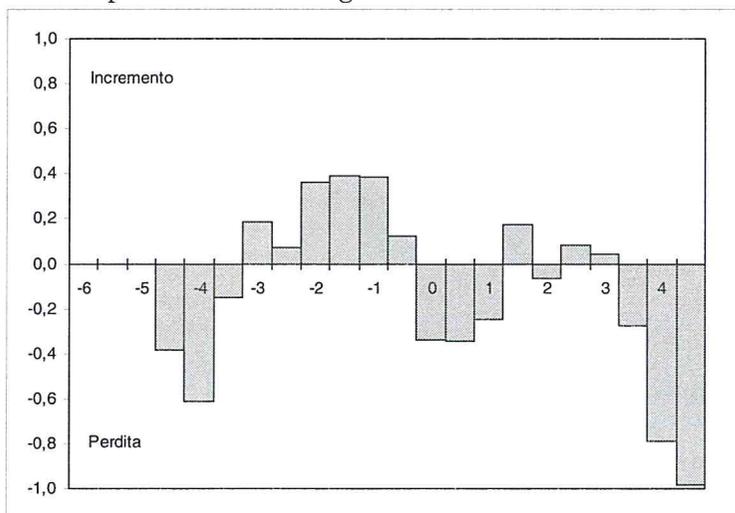
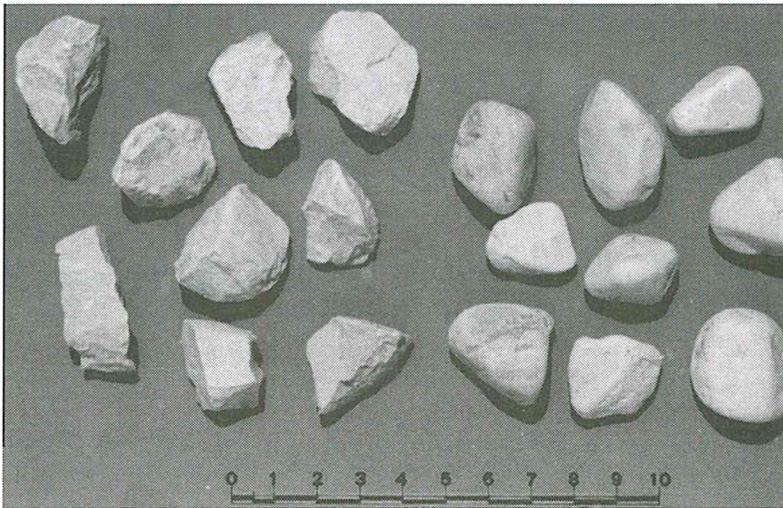
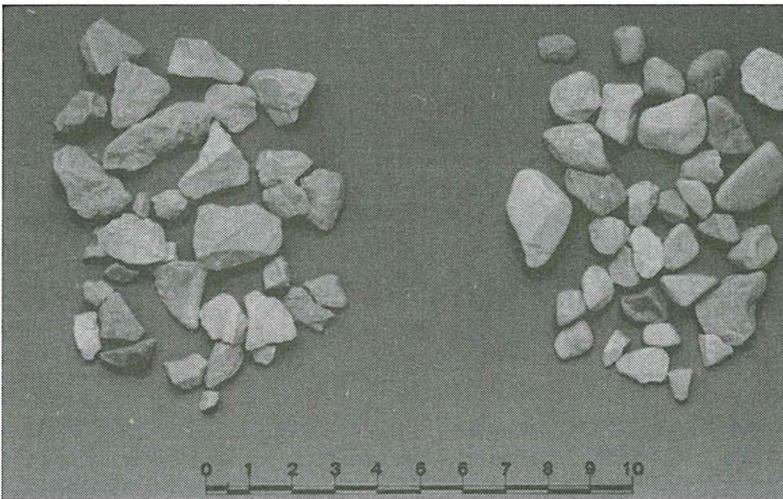


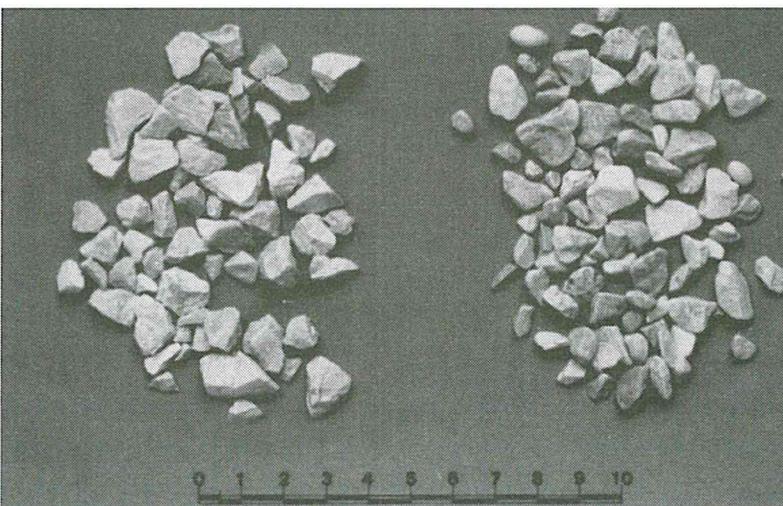
Figura 6 - Differenze normalizzate fra la frequenza delle varie frazioni granulometriche del materiale versato durante la prima fase dei lavori e di quello presente sulla spiaggia nel Maggio 1996.



**Mezzanello:**  
 Intervallo di setacciatura: 40 - 20 mm.  
 Dimensioni medie effettive: 19.03 mm.  
 Volume impiegato: 3.784 mc.



**Graniglia:**  
 Intervallo di setacciatura: 20 - 10 mm.  
 Dimensioni medie effettive: 10.56.  
 Volume impiegato: 3.999 mc.



**Risone:**  
 Intervallo di setacciatura: 10 - 4 mm.  
 Dimensioni medie effettive: 4.94.  
 Volume impiegato: 7.629 mc.

Figura 7 - Arrotondamento dei granuli calcarei nei primi due anni dopo il ripascimento per le principali frazioni granulometriche utilizzate. A sinistra il materiale originale, a destra quello elaborato. Non è stato ovviamente valutato l'arrotondamento della sabbia di mare, versata per circa 7.500 mc sul totale di 22.873 mc.



Figura 8 - La Spiaggia Centrale prima dell'inizio dei lavori (Autunno 1994).



Figura 9 - La Spiaggia Centrale 1 anno dopo la fine dei lavori della prima fase (Maggio 1996)



Figura 10 - La Spiaggia di Palmasera prima dell'inizio dei lavori (Autunno 1994).

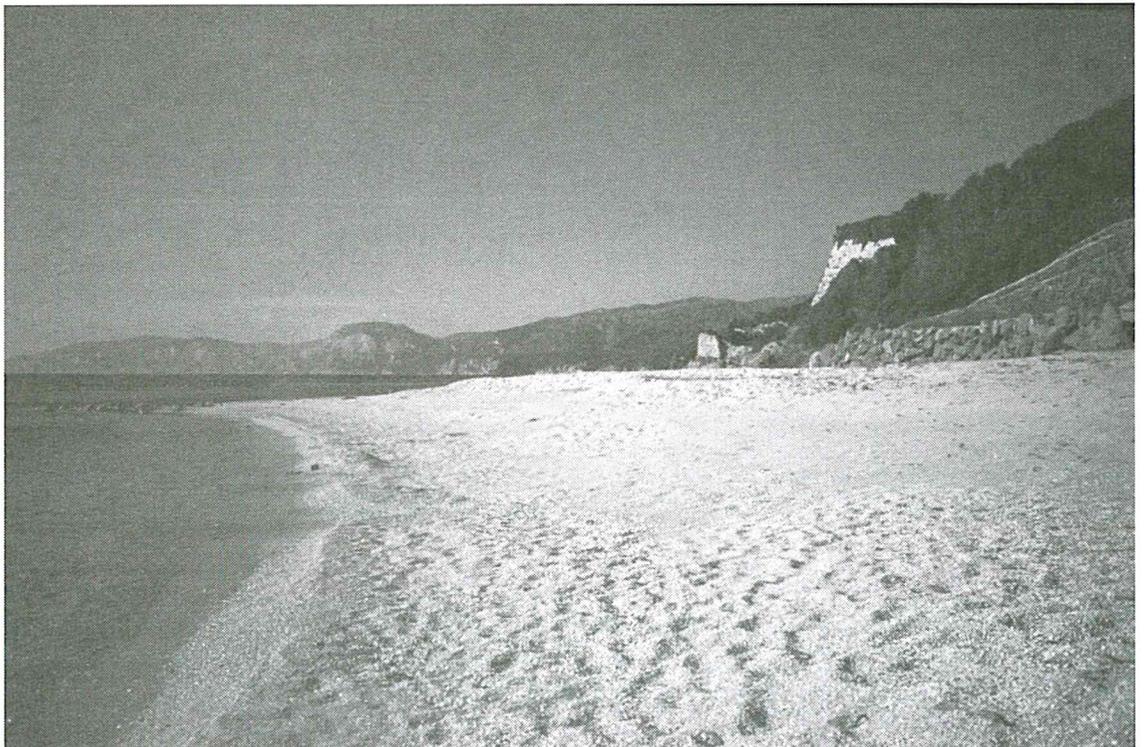


Figura 11 - La Spiaggia Palmasera un anno dopo la fine dei lavori della prima fase (Maggio 1996).

### La seconda fase dell'intervento

Alla ripresa dei lavori, nell'Autunno del 1996, è stato utilizzato, come già detto in precedenza, materiale prodotto in una cava in cui si estrae un sabbione granitico rosa (vedi Fig. 3). Il materiale è così alterato che i singoli granuli si separano già al momento dell'escavazione, fornendo una sabbia in cui la frazione fine è costituita solo dalle lamelle di biotite. Questo materiale è in origine meno scaglioso del calcare e i granuli risultano meno appuntiti, tanto che la sua fruibilità era già buona al momento del versamento (la stagione balneare è iniziata immediatamente dopo la fine dei lavori).

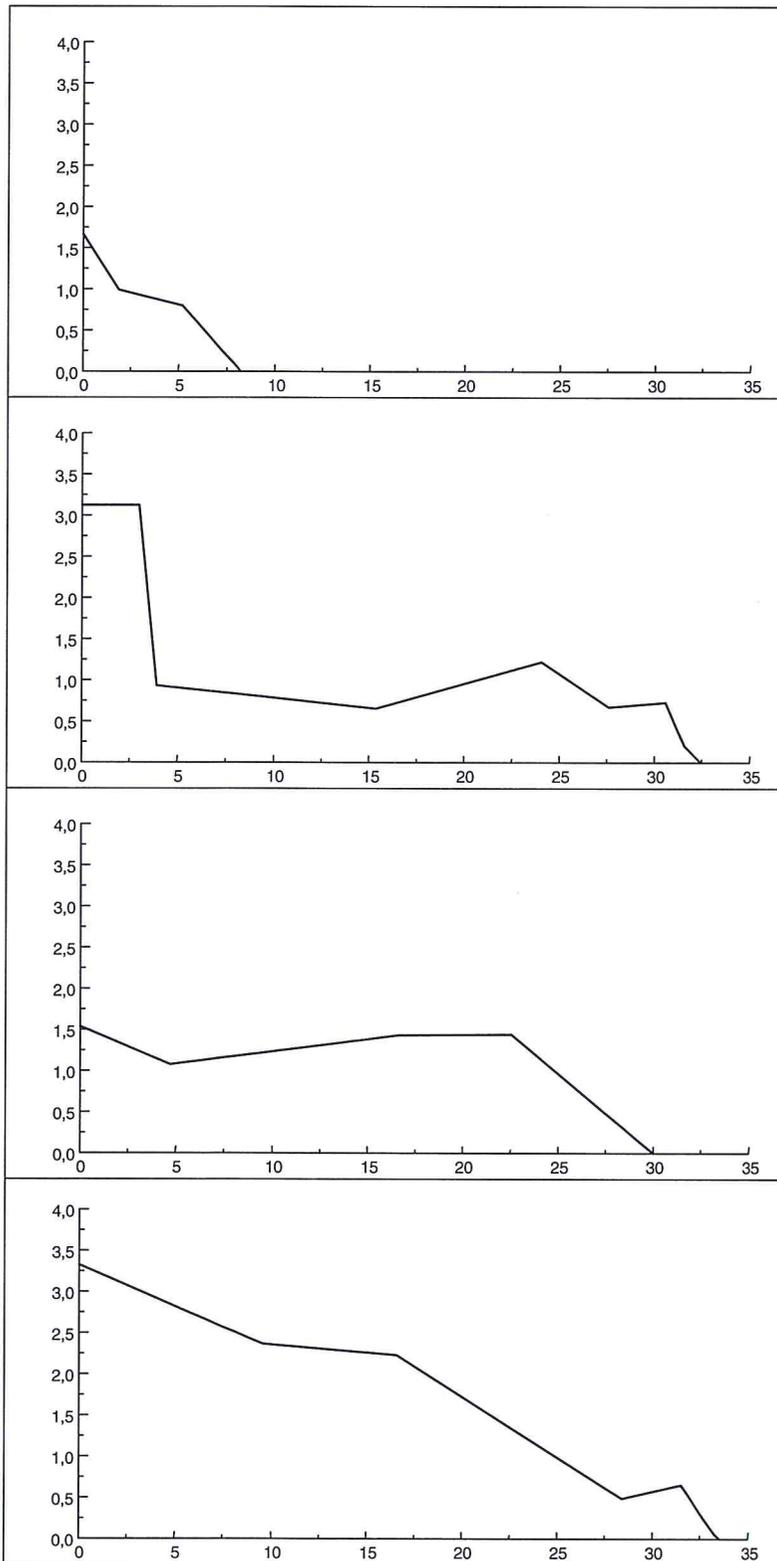
Sebbene oggetto di controlli e di analisi analoghe a quelle effettuate sui materiali carbonatici nella fase di versamento, non vi è stata la possibilità di studiare l'evoluzione di questi materiali nei mesi successivi.

Nel Novembre 1997 il perdurare per una intera settimana di intensi venti orientali ha determinato una mareggiata eccezionale che ha causato danni per due miliardi al porto di Cala Gonone, tanto da fare valutare che si sia superata l'altezza d'onda significativa prevista per un tempo di ritorno almeno cinquantennale. Nonostante ciò la spiaggia ha retto all'attacco del moto ondoso, salvo il verificarsi di un flusso di materiali verso il porto, conseguenza del fatto che non era ancora stato potenziata la secca settentrionale, dove la spiaggia si è notevolmente ristretta (vedi Profilo A in Fig. 13).

Nel Gennaio 1998 sono stati eseguiti dei profili di spiaggia che hanno messo in evidenza come durante la mareggiata in alcuni punti l'estensione dell'arenile non sia stata sufficientemente ampia da assorbire il moto ondoso. Dove questo è avvenuto si è generato un profilo basso, anche se localmente assai esteso (vedi Sezioni B e C in Fig. 13), mentre nei punti dove vi era abbondanza di materiale si è formata una berma a quote piuttosto elevate, sopra a 3 metri s.l.m., cui successivamente si sono affiancate, verso mare, creste di berme degradanti (vedi Sezione D in Fig. 13). La stesa di questo materiale all'inizio della stagione estiva ha restituito a Cala Gonone una spiaggia di notevole ampiezza.



Figura 12 - La Spiaggia Centrale dopo la conclusione dei lavori (Estate 1997)



A - Profilo ubicato in prossimità della secca settentrionale, che non era stata ancora rialzata e da dove si è verificato un flusso di sedimenti verso la Spiaggia del Porto.

B - Profilo posizionato alla estremità settentrionale della Spiaggia di Palmasera, dove le onde hanno raggiunto il muro di retta della passeggiata e determinato uno spianamento della spiaggia, sulla quale si sono successivamente formate due creste di berma.

C - Profilo posizionato al centro della Spiaggia Centrale, dove le onde sono riuscite a raggiungere il muro che la delimita determinando lo spianamento del profilo. Successivamente il materiale è tornato verso terra costruendo una berma estesa ed elevata.

D - Profilo posizionato alla estremità meridionale della Spiaggia di Palmasera, dove la spiaggia aveva un'ampiezza sufficiente ad assorbire il moto ondoso.

Figura 13 - Profili di spiaggia emersa rilevati il 7 Febbraio 1998, circa tre mesi dopo la mareggiata della fine di Ottobre 1997.

## Conclusioni

I risultati ottenuti a Cala Gonone mettono in evidenza la grande stabilità della ghiaia anche in litorali assai esposti; questa infatti non tende a disperdersi lungo il profilo sommerso, ma migra prevalentemente verso riva. La sua stabilità deriva in buona parte dalla elevata permeabilità e porosità che riduce notevolmente il back-wash impedendo l'asportazione dei granuli dalla spiaggia emersa. Questo comportamento pone nuovi problemi per la ricerca di base e per le future applicazioni, in quanto sembra possibile che la classazione, che influenza la porosità e la permeabilità, possa giocare un ruolo determinante nella stabilità dei depositi di spiaggia al pari delle dimensioni, almeno in sedimenti grossolani.

## Bibliografia

- Berriolo G. e Sirito G. (1988) – *Progetto di ricostruzione delle spiagge di Cala Gonone*. Rel. inedita. Comune di Dorgali.
- Cicala A. (1988) – Studio delle condizioni meteomarine nel Golfo di Orosei. In: Progetto di ricostruzione delle spiagge di Cala Gonone. Rel. inedita, Comune di Dorgali.
- Dagnino I, Albert A. e Sirito G. (1988) – *Discussione sulle frequenze ventennali degli stati di mare e condizioni meteomarine estreme al largo del Golfo di Orosei*. In: Progetto di ricostruzione delle spiagge di Cala Gonone. Rel. inedita, Comune di Dorgali.
- Emery K.O. (1961) - *A simple method for measuring beach profiles*. Limn. Oceanogr., 6: 90-93.
- Folk R.L. e Ward W.C. (1957) - *Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters*. Journ. Sedim. Petrol., 27, 3-26.
- HR Wallingford (1993) - *Verifica su modello fisico del progetto di ricostruzione delle spiagge "Palmasera" e "Sos Dorroles" di Cala Gonone, Golfo di Orosei*. Rel. inedita, Comune di Dorgali.
- Mania R. e Pranzini E. (1996) - *Sedimentological study of the nearshore of Cala Gonone (Eastern Sardinia, Italy) oriented to the beach improvement*. Boll. Soc. Geol. It., 155: 95-104.
- Orrù P. e Ulzega A. (1987) - *Rilevamento geomorfologico costiero e sottomarino applicato alla definizione delle risorse ambientali (Golfo di Orosei, Sardegna orientale)*. Mem. Soc. Geol. It., 37, 471-479.
- Pacini M., Pranzini E. e Sirito G. (1997) - *Beach Nourishment with Angular Gravel at Cala Gonone (Eastern Sardinia, Italy)*. Proc. 3<sup>rd</sup> Int. Conf. on the Mediterranean Coastal Environment, MEDCO-AST'97. Qawra, Malta. pp.1043-1058.
- Sirito G. (1988) – *Rilievo batimetrico del litorale di Cala Gonone*. Rel. inedita. Comune di Dorgali.