

Monitoraggio del ripascimento protetto con barriera sommersa nella spiaggia di Ostia Centro

Leopoldo Franco ¹, Marcello Di Risio ¹, Ciro Riccardi ²,
Piergiorgio Scaloni ², Matteo Conti ³

¹ Dipartimento di Scienze dell'Ingegneria Civile dell'Università degli Studi "Roma Tre"
Via V. Volterra, 62 - 00146 Roma. Email: leofranc@uniroma3.it.

² Centro di Monitoraggio dell'Osservatorio dei Litorali Laziali.
Via F. del Dragoncello, 172 - 00124 Roma. Email: cent.monit@libero.it

³ Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Roma "La Sapienza"
Piazzale A. Moro, 5 - 00185 Roma. Email: m.conti@icram.org

Riassunto

La memoria descrive il progetto sperimentale del ripascimento sabbio-ghiaioso protetto da una lunga (circa 2,5 km) continua barriera sommersa profonda (-1,5 m s.l.m.m in cresta) senza pennelli realizzato sulla spiaggia di Ostia Centro (1990) e successivamente monitorato con rara continuità e durata (13 anni) per gli aspetti morfologici. Data la cospicua varia e disomogenea mole di dati raccolti ed analizzati si riportano qui solo alcuni risultati ed osservazioni preliminari, rinviando ad una nota successiva ulteriori analisi morfodinamiche, anche con l'impiego di modelli matematici.

Parole chiave: ripascimento sabbio-ghiaioso, barriera sommersa, spiaggia sospesa, monitoraggio litorali.

Abstract

The paper describes the new perched beach project built at Ostia "central beach" in 1990, which has been duly monitored for 13 years. The sand-gravel fill is protected by a "deep" (-1,5 m MSL) submerged longitudinal barrier without groynes over a beach length of about 2,5 km. Due to the large variable amount of data collected, only preliminary analysis and observations are here reported, while further morphodynamic analysis, including the application of numerical models, will be described in a following paper.

Key-words: sand gravel fill, submerged longitudinal barrier, perched beach, littoral monitoring.

Introduzione

Le spiagge sabbiose del Lido di Ostia si estendono dall'estremità meridionale della foce del fiume Tevere, a circa 25 km dalla città di Roma sul mar Tirreno, e rappresentano da tempo una risorsa turistica della comunità. L'esposizione alle forzanti meteomarine è particolarmente significativa nel settore direzionale compreso tra Ovest e Sud (Fig. 1): la risultante del flusso di energia del moto ondoso è diretta secondo l'azimut 225°N, mentre l'allineamento medio della costa è orientato normalmente alla direzione 210°N, con conseguente trasporto longitudinale verso SE. L'escursione locale di marea è molto ridotta (< 0,5 m) e la profondità di chiusura dei profili di spiaggia è di circa 7 m, calcolata con la formula di Hallermeier, essendo l'altezza d'onda significativa annuale al largo di circa 4 m.

La cuspidè deltizia è il risultato del trasporto fluviale del fiume Tevere che ha prodotto un progressivo avanzamento della linea di riva pari a circa 4 km tra l'età romana ed il secolo scorso. Negli ultimi 50 anni si è verificata un'inversione di tendenza ed ha avuto luogo un marcato processo d'erosione, pari a circa 1,7 m/anno. Le cause di tale arretramento sono imputabili alla forte riduzione di trasporto solido del fiume (dovuto principalmente alla costruzione d'opere di sbarramento lungo l'asta fluviale ed all'estrazione di materiale inerte dall'alveo) con un conseguente deficit nel bilancio dei sedimenti della zona costiera ed una tendenza della foce ad arretrare a causa del gradiente di trasporto longitudinale verso Sud.

La posa in opera di strutture di difesa costiera distaccate emergenti (anni '70-'80) in corrispondenza della foce ha spostato l'erosione verso le spiagge limitrofe colpendo particolarmente la costa compresa tra il Pontile della Vittoria ed il Canale dei Pescatori, con conseguenti danni agli stabilimenti balneari ed eccezionalmente, durante gli eventi estremi, alla strada litoranea.

Il progetto della spiaggia sospesa

Nel 1988 fu avviata la progettazione di un innovativo intervento di ripascimento protetto, iniziato poi nel 1990 (Ferrante et al., 1992). Lo scopo delle Autorità, il Genio Civile per le Opere Marittime di Roma, del Ministero dei Lavori Pubblici era quello di ricreare un'ampia fascia di spiaggia che avesse la capacità di difendere la costa, rappresentando così un'opera di difesa con adeguate caratteristiche economiche, di gestione, politiche ed ambientali.

Infatti, la comunità locale aveva già rifiutato l'eventualità di adottare le più diffuse strutture emergenti al fine di favorire l'attrazione turistica, l'estetica del panorama marino e l'ecologia del sito. Il progetto ha rappresentato all'epoca un nuovo approccio dell'Amministrazione Pubblica votato ad una visione complessiva della difesa costiera, prendendo in considerazione non soltanto aspetti squisitamente tecnico-economici, ma altresì ponendo attenzione alle problematiche ambientali. La scelta ricadde sull'allora pionieristico schema di spiaggia sospesa, con versamento di materiale di ripascimento protetto da una barriera longitudinale sommersa fissa, che avrebbe dovuto riprodurre il meccanismo di protezione delle barre naturali. Una problematica non trascurabile è stata anche quella della scarsità di sabbia marina per il ripascimento. La sabbia scura nativa tipica del posto ha un diametro caratteristico piccolo ($D_{50} = 0,15-0,30$ mm). A circa 20 km dalla foce del fiume Tevere fu trovata una cava terrestre di sabbia gialla e breccia dalla forma ben arrotondata.

Lo schema del sistema di protezione costiera copriva una lunghezza di quasi 2,5 km ed era costituito da due elementi principali (Fig. 2):

- Una barriera sommersa parallela alla linea di riva posta ad una distanza di circa 150 m, imbasata su un fondale di circa -4,0 m s.l.m.m., con una larghezza di cresta di progetto di 15 m alla quota -1,5 m, con pendenza della scarpata lato mare pari a 1:5. La scogliera era costituita da pietrame assortito con peso massimo di 1 t (D_{50} stimato di 0,5 m), posata in opera su materiale geotessile, con una trincea di protezione al piede larga 5 m e profonda 1 m. Il materiale impiegato è stato di circa 300.000 m³ di roccia (basalto e calcare provenienti da differenti cave).

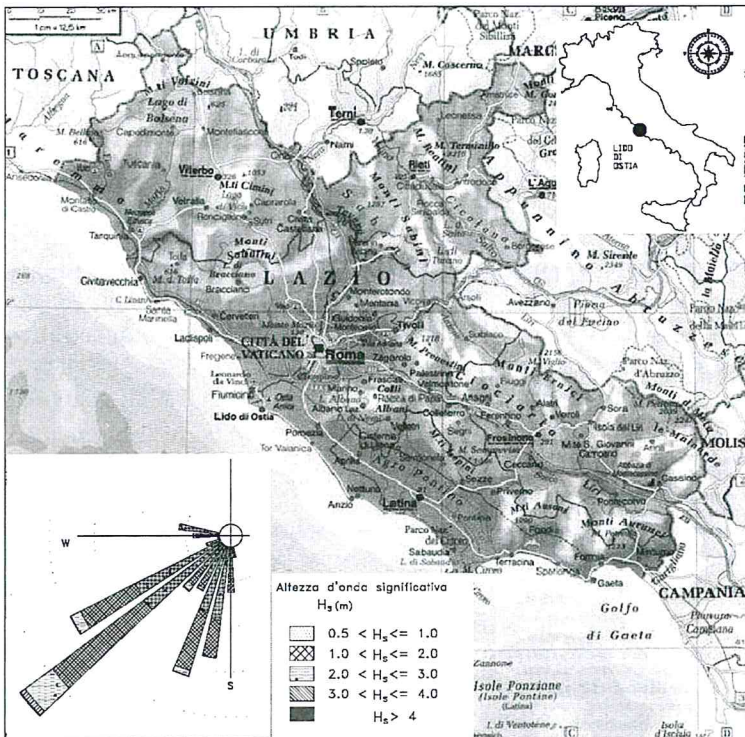


Figura 1 - Posizione del Lido di Ostia e distribuzione direzionale del moto ondoso (dati rilevati dalla boa CONDRACOS su fondale di -12 m dal 01.01.1990 al 31.12.1992).

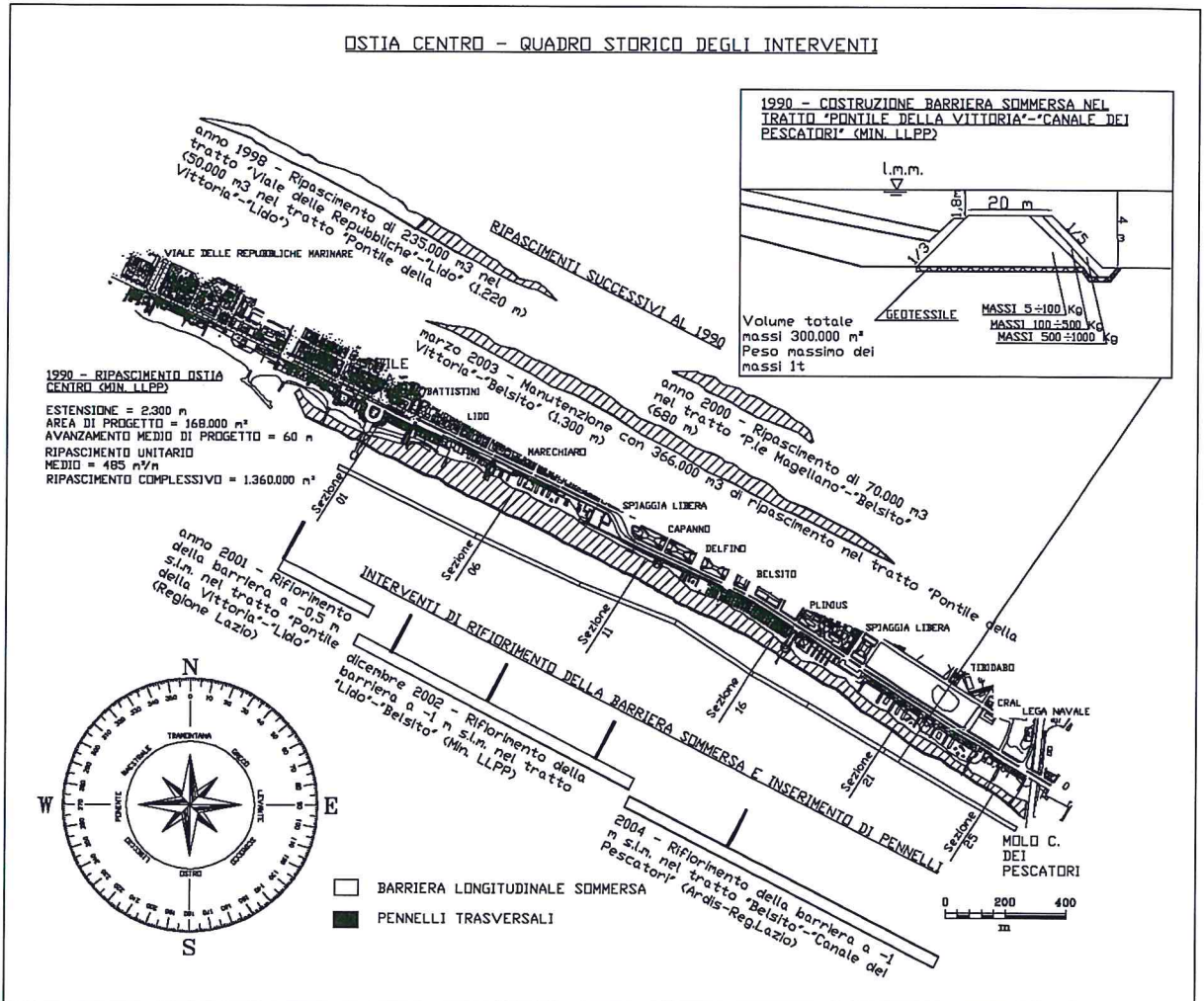


Figura 2 - Planimetria con indicazione degli interventi e delle sezioni di riferimento. Nel riquadro è illustrato lo schema della sezione della struttura sommersa.

La cresta della barriera è stata effettivamente costruita con una larghezza di 20 m ad una quota di -1,8 m e ha scontato rapidamente i cedimenti sprofondando ad una quota media di -2,0 m (1992) fino a -2,3 m (2003) s.l.m.m.

- Un ripascimento di spiaggia con doppio strato di materiale di cava terrestre. Lo strato inferiore era costituito da sabbia mista a ghiaia con granulometria molto assortita compresa tra 0,08 e 120 mm. Lo strato superiore, di spessore pari a 1 m, era costituito da sedimento di granulometria compresa tra 0,3 e 1,3 mm ($D_{50}=0,5$ mm). A ridosso della scogliera lo strato inferiore era risvoltato per uno spessore di 5 m con lo scopo di filtro tra il materiale fine superiore e la scogliera; la pendenza di equilibrio della spiaggia era pari al 2,5% e la sommità della berma era posta ad una quota pari a +1,0 m. L'avanzamento medio di progetto della linea di riva era di circa 60 m. La quantità complessiva di materiale messo in opera è stato di circa 1.360.000 m³ di sabbia e materiale ghiaioso selezionato.

Il progetto innovativo fu verificato dal laboratorio di Delft Hydraulics con prove su modello fisico bidimensionale per l'analisi dell'evoluzione del profilo trasversale e con un modello ad una linea per lo studio dell'evoluzione a lungo termine della linea di riva (Ferrante et al., 1992).

L'intervento fu realizzato nell'arco di un anno (1990-91) dal consorzio di imprese CONDRACOS, utilizzando prevalentemente mezzi terrestri.

Come descritto in Figura 2 e sintetizzato in Tab. 1, sono stati in seguito effettuati vari interventi di manutenzione e ampliamento. Nel 1998 sono stati versati 235.000 m³ di sabbia ($D_{50} = 0,2$ mm) proveniente da

cava terrestre tra Viale delle Repubbliche Marinare e Lido per un'estensione totale di 1.220 m, coinvolgendo un tratto del lido di Ostia Centro e realizzando un pennello lato N-W al Pontile della Vittoria; nel 2000 un nuovo ripascimento di 70.000 m³ provenienti dal dragaggio della foce del Canale dei Pescatori è stato effettuato tra Piazza Magellano e Belsito (680 m); nel 2003 un'ulteriore versamento di 366.000 m³ di provenienza sottomarina ($D_{50} = 0,2$ mm) è stato eseguito tra il Pontile della Vittoria e Belsito. Inoltre, i lavori di manutenzione hanno riguardato anche la struttura sommersa che è stata ricaricata lungo l'intero tratto con successivi interventi (2001-2004), con massi naturali di peso compreso tra 1 e 3 t facendo raggiungere alla cresta una quota variabile tra -0,5 m s.l.m.m. nel tratto di NW e -1,0 m s.l.m.m. nel tratto centrale e a SE. Infine, la realizzazione di n° 5 pennelli, a scogliera e del tipo semisommersi, ha modificato lo schema di difesa originario nella tipologia a "celle".

Inoltre, si deve segnalare che dal 1999 sono state avviate dai tecnici regionali opere di difesa anche lungo la spiaggia sottoflutto alla zona di Ostia Centro: tale litorale denominato "Ostia Levante" è stato oggetto negli ultimi anni di interventi di ripascimento puro e di tecniche sperimentali tipo BMS.

ANNO	INTERVENTI	RILIEVI BATIMETRICI	LINEE DI RIVA AEROFOTO CARTOGRAFIE	DATI GRANULOMETRICI
1944			Maggio Foto RAF	
1955			Foto IGM	
1967			Aprile foto SARA	
1979			Cartografia 1:5.000 Studio Volta	
1990	Barriera sommersa a -1,5 m s.l.m.m. e ripascimento di 1.300.000 m ³ nel tratto "Pontile della Vittoria"- "Canale dei Pescatori" (2.300 m) Min.LL.PP.		Cartografia 1:10.000 CTR	Dati di Progetto
1992		Maggio - fino alla batimetrica 4 m	Foto RILTER	
1994		Luglio - fino alla batimetrica 4 m	Volo Italia	28 sez (ogni 100 m). Campioni +1; 0; -1; quota variabile entro e fuori barriera. Tot. 28x4.
1995		Settembre. - fino alla batimetrica 7 m		
1996		Febbraio - fino alla batimetrica 8 m	AIMA	
1997				2 sez. campioni +1;-1; Tot. 2x2.
1998	Ripascimento di 235.000 m ³ nel tratto "Via delle Repubbliche Marinare"- "Lido" (1.220 m)		CGR	
1999			Settembre foto SIDRA	
2000	Ripascimento di 70.000 m ³ nel tratto "P.le Magellano"- "Belsito" (680 m)	Ottobre fino alla batimetrica -10	Maggio Foto Aerea	
2001	Rifiorimento della barriera a -0,5 m s.l.m.m. nel tratto "Pontile della Vittoria"- "Lido" (340 m) Reg. Lazio		Luglio foto Sales	Maggio. 7sez. campioni S=0 m; P=2/3 e 7,5 m; L=5 m. Tot 28.
2002	Rifiorimento della barriera a -1 m s.l.m.m. nel tratto "Lido"- "Belsito" (1.000 m) Min.LLPP	Maggio fino alla batimetrica 10 m Dicembre fino alla batimetrica 10 m	Maggio foto AGEA	Giugno+Ottobre 7 sez (ogni 400 m). Campioni a 0; -2; -5; -7,5. Tot 28 +1 a -15 m (sez 12)
2003	Manutenzione con 366.000 m ³ di ripascimento nel tratto "Pontile della Vittoria"- "Belsito" (1.300 m) Min. LL.PP.	Febbraio I Pianta (-10 m) Maggio II Pianta (-10 m)	Agosto Foto da SATELLITE	
2004	Rifiorimento della barriera a -1 m s.l.m.m. nel tratto "Belsito"- "Canale dei Pescatori" (1.150 m) Ardis-Reg.Lazio	Giugno fino alla batimetrica 10 m		

Tabella 1 - Sintesi degli interventi e delle attività di monitoraggio alla spiaggia di Ostia Centro.

Programma di monitoraggio

Il carattere particolarmente innovativo di questa soluzione tecnica insieme alla lunghezza inconsueta del ripascimento non protetto da pennelli trasversali ha spinto il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici ad attribuire un carattere sperimentale al sistema di difesa, imponendo un'intensa attività di monitoraggio a partire dalla data d'inizio lavori (1990). Recentemente tale attività è svolta dal Centro di Monitoraggio dell'Osservatorio dei Litorali della Regione Lazio, istituito con L.R. 53 del 1998, ora responsabile delle opere di difesa costiera. Le osservazioni pluriennali ottenute nell'ambito di tale attività riguardano: fotografie aeree, rilievi topobatimetrici e conseguenti profili trasversali di spiaggia, analisi di campioni granulometrici e, solo per i primi tre anni, misure di moto ondoso direzionale (v. sintesi informativa in Tab. 1).

Tale esteso archivio è stato oggetto di validazione ed analisi al fine di trarre delle conclusioni riguardanti l'effetto a lungo termine del sistema di difesa, nonostante i confronti siano resi difficili dalla disomogeneità dei rilievi non standardizzati e dalla sovrapposizione ed incertezza geometrica degli interventi eseguiti a più riprese.

A partire dal mese di settembre 2004, inoltre, sono stati avviati con cadenza trimestrale una serie di rilevamenti della linea di riva mediante GPS palmare (Trimble Geo XT).

L'Osservatorio, infatti, oltre all'impiego di strumentazione d'indagine avanzata (es. RTK e multibeam) ha definito opportuni standard metodologici per assicurare nel tempo la ripetibilità e confrontabilità dei rilievi. Ulteriori informazioni sulle attività svolte dall'Osservatorio e sulle nuove tecnologie di rilevamento sono state illustrate nell'ambito del progetto europeo BEACHMED i cui dati sono disponibili on-line sul sito www.beachmed.it.

Analisi preliminari ed osservazioni sulla morfologia della spiaggia e della barriera

Linee di riva

Le numerose linee di riva storiche sono state georiferite su base Carta Tecnica Regionale inquadrata nel sistema UTM 33 ED50. È stata quindi utilizzata l'analisi diacronica per ricavare la variazione areale della spiaggia emersa.

Una prima analisi è stata effettuata sull'evoluzione pre-intervento. La Figura 3 mostra la foto aerea del 1944. La trasparenza dell'acqua evidenzia la presenza di un doppio sistema di barre longitudinali, indice di buona alimentazione sedimentaria: la prima, festonata e più piccola è ubicata ad una distanza di circa 70 m da riva, la seconda, rettilinea, a circa 300 m da riva. Si noti che la barriera artificiale è stata realizzata poco al largo della prima barra.

L'analisi delle linee di riva ricavate da aerofoto permette di dare una valutazione delle variazioni delle aree di spiaggia emersa dal 1944 ad oggi. Si notano arretramenti della linea di riva già negli anni cinquanta: la costruzione di opere di sbarramento nel Bacino del fiume Tevere, aveva ridotto la naturale alimentazione del litorale romano.

Nel 1967 l'arretramento della battigia risultava ancora in atto (circa $-22 \text{ m}^2/\text{m}$ di spiaggia emersa dal 1944 al 1967), anche se la fotointerpretazione dell'immagine aerea mostra ancora il doppio sistema di barre. L'intervento di ripascimento protetto del 1990 ha riportato la linea di riva ad una posizione più avanzata rispetto a quella del 1944 (quasi $10 \text{ m}^2/\text{m}$). Negli anni successivi all'intervento si sono registrati ulteriori arretramenti concentrati nella zona Nord: più di $16 \text{ m}^2/\text{m}$ di spiaggia in otto anni. Il rifiorimento della barriera davanti alla spiaggia del

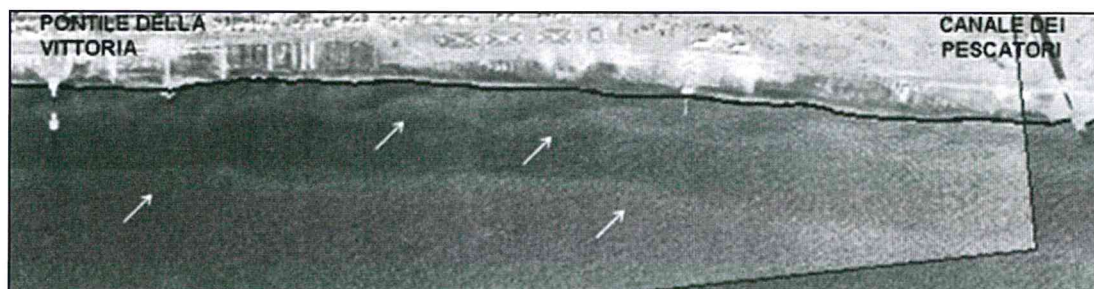


Figura 3 - Foto aerea del 1944 con doppio sistema di barre evidenziato dalle frecce e linea di costa del 1944.

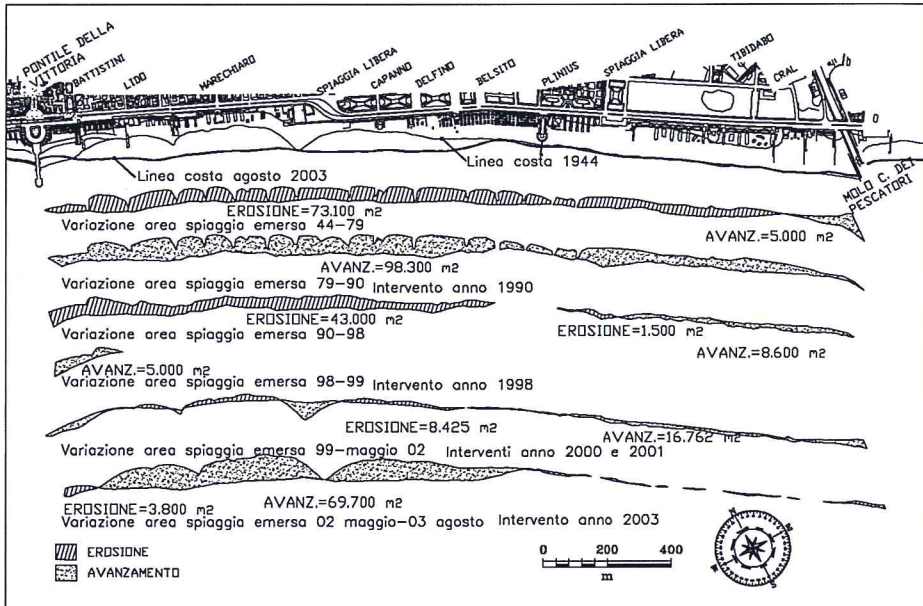


Figura 4 - Variazione temporale dell'area di spiaggia emersa tra il Pontile della Vittoria ed il Canale dei Pescatori.

“Battistini” avvenuto nel 2001, ma anche ulteriori ricariche di sabbia depositata nel tratto iniziale dell'area di studio (1998 e 2000, vedi Fig.2), ha permesso un mantenimento della posizione della linea di riva nel tratto “Pontile della Vittoria”- “Lido”. La sovrapposizione tra le linee del 1999 e 2002 evidenzia una rotazione della linea di riva intorno ad un punto centrale del litorale. Nel 2003 infine, a seguito dell'ultimo intervento di ripascimento, risulta un'area di spiaggia emersa maggiore rispetto a quella presente nel 1944 (Figg. 4 e 5).

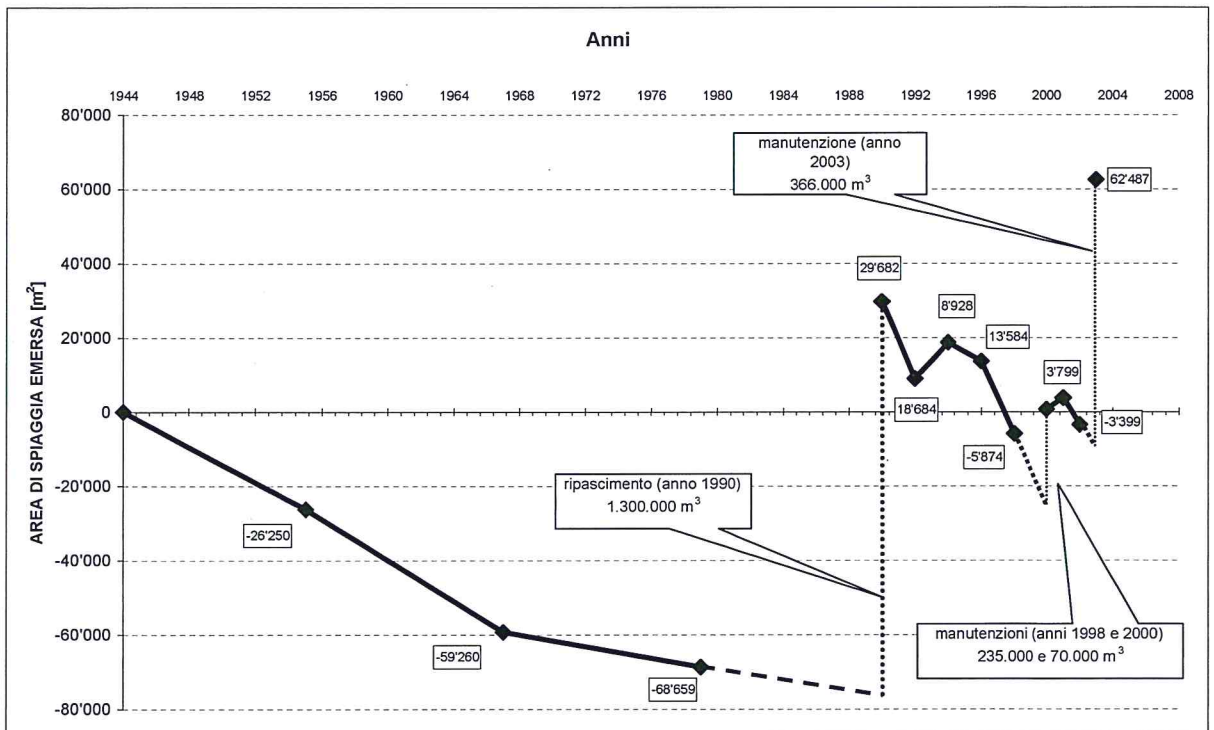


Figura 5 - Variazioni dell'area totale di spiaggia emersa rispetto alla situazione del 1944.

Per una migliore comprensione della variazione temporale, i dati stimati dall'analisi oggettiva delle foto aeree sono stati restituiti in via grafica assumendo come valore di partenza la spiaggia del 1944.

Questo genere di curve, che presso l'Osservatorio sono utilizzate per le analisi di diversi tratti del litorale laziale, sono significative per la valutazione dell'efficacia dell'opera di difesa o per la valutazione delle tendenze evolutive ante e post-ripascimento.

La Figura 5 mostra che il rateo erosivo areale della sola spiaggia emersa, sull'intero tratto in esame, nei decenni precedenti l'intervento, era inferiore a quello osservato nel periodo 1990-98 successivo all'intervento. Tale circostanza ha portato i tecnici regionali a modificare la geometria e la struttura dell'opera di difesa, come descritto in precedenza.

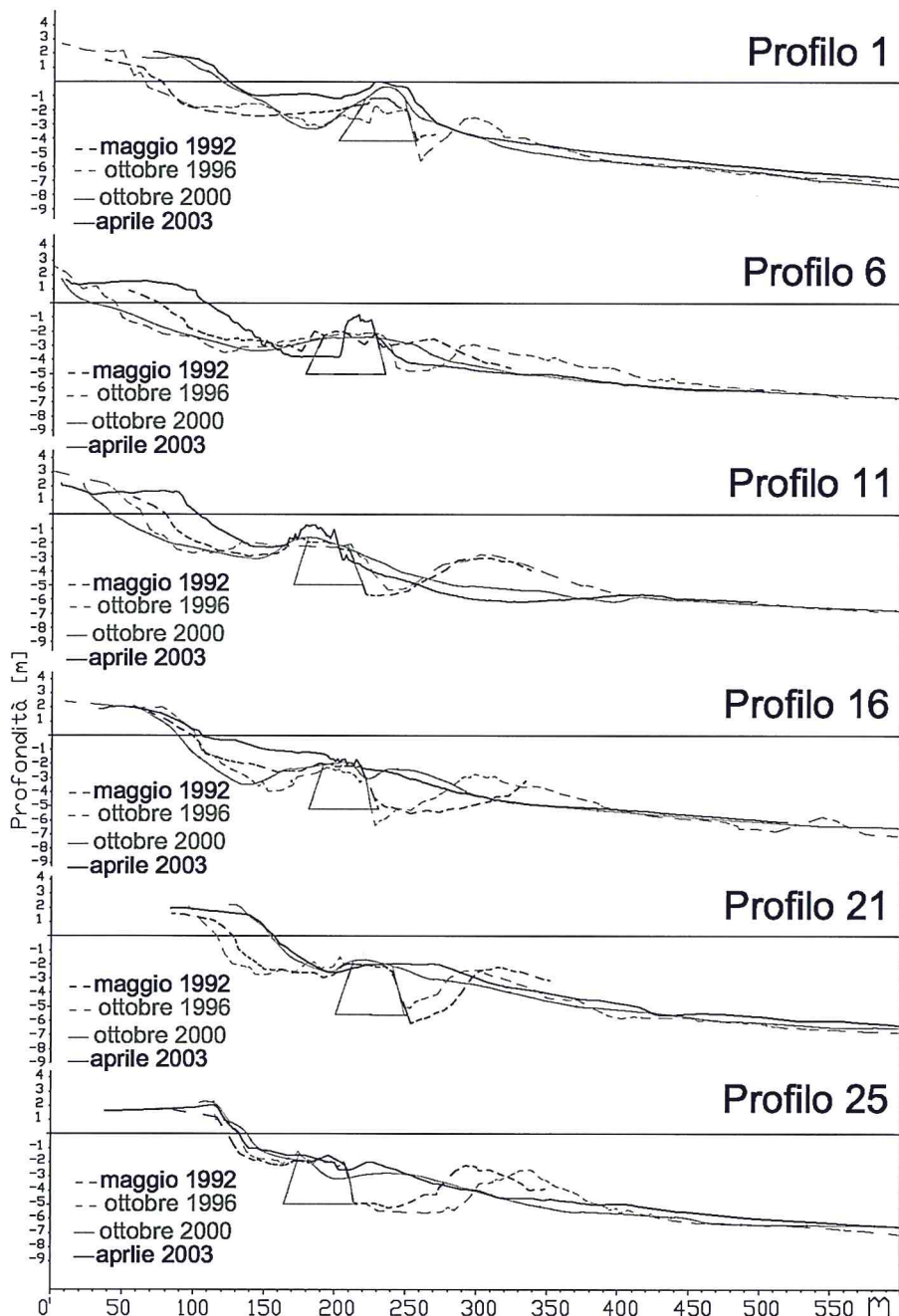


Figura 6 - Evoluzione del profilo trasversale della "spiaggia sospesa" di Ostia Centro (v. posizione dei profili in Fig. 2).

In definitiva, le analisi dei rilievi topobatimetrici eseguiti dopo l'intervento indicano una marcata rotazione della linea di riva con un avanzamento nell'estremo SE ed un arretramento nell'estremo NW, dovuta principalmente al gradiente del trasporto solido netto in direzione SE. Infatti, la foce armata del Canale dei Pescatori intercetta e trattiene parte del trasporto solido longitudinale verso la spiaggia di levante, la quale ha manifestato anch'essa preoccupanti fenomeni erosivi, che hanno poi richiesto nuovi interventi di ripascimento.

Profili trasversali

La sovrapposizione dei profili di spiaggia rilevati su 30 sezioni spaziate di 100 m permette di fornire informazioni sulle variazioni morfologiche del litorale avvenute in 13 anni di monitoraggio. Subito dopo l'intervento sono stati eseguiti rilievi batimetrici con decorrenza quasi annuale. L'interruzione dell'attività di monitoraggio avvenuta tra il 1996 e il 2000, ha causato, oltre che assenza di dati, anche una disomogeneità per le diverse modalità esecutive. Solo una accurata ricerca delle posizioni iniziali di riferimento delle sezioni ha permesso un soddisfacente allineamento orizzontale dei profili di spiaggia. Per la rappresentazione della morfologia trasversale dell'intero tratto di litorale, si sono scelte sei sezioni rappresentative, equidistanti circa 500 m l'una dall'altra. Per semplicità di rappresentazione, si riportano in Figura 6 le sei sezioni scelte con quattro successivi profili di spiaggia sovrapposti ed indicazione della posizione della barriera.

L'elevazione della berma di spiaggia emersa è aumentata dopo l'intervento sino a +1,5/2,0 m, mentre il profilo della spiaggia sommersa è, in generale, divenuto più ripido, ma abbastanza gradualmente variabile, senza un marcato scalino verticale ghiaioso sulla battigia.

Si nota anche la progressiva migrazione della barra naturale esterna che, alcuni anni dopo la costruzione della barriera fissa, tende ad addossarsi a questa, riunificando così l'originale doppio sistema di barre: la struttura sommersa pare aver agito come attrattore di sedimenti.

In sintesi, dal confronto basato sulle foto d'archivio e recenti e dai rilievi batimetrici realizzati sia nella zona di Ostia Centro che Levante, ciò che si osserva circa la struttura dell'apparato di barre preesistenti al tratto di litorale in esame, è il seguente:

- la barriera artificiale è stata collocata tra le due barre naturali, poco al largo rispetto alla barra più prossima alla costa;
- il volume stoccato nelle barre naturali non è più rintracciabile nei profili post-intervento;
- la scomparsa delle barre naturali si estende per circa 1,5 km a levante del Canale dei Pescatori dove, dai rilievi

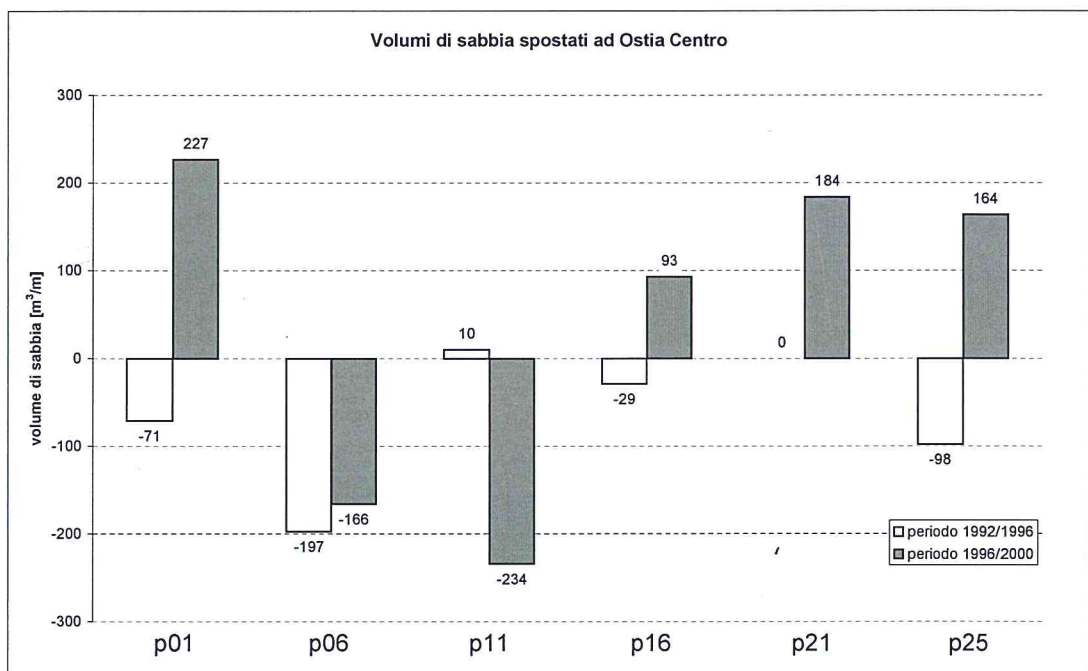


Figura 7 - Variazioni volumetriche unitarie di sabbia in sei sezioni

effettuati, si osserva la presenza discontinua di una sola barra. Solo dopo 2-2,5 km dall'estremità sottoflutto della barriera artificiale realizzata ad Ostia Centro si ritrovano entrambe le barre appaiate parallelamente alla costa. Inoltre da un primo esame della batimetria al largo della barra esterna, che nel tempo ha modificato la sua struttura geomorfologica, si nota un approfondimento dei fondali.

L'esame dei profili conferma la migrazione longitudinale dei sedimenti da Nord verso Sud.

Dai computi volumetrici eseguiti con BMAP (software di gestione dei profili trasversali della spiaggia – C.E.R.C. 1994) si evidenziano diminuzioni dei volumi di spiaggia in quasi tutte le sezioni studiate nel periodo 1992/1996, con picchi di 197 m³/m nella sezione p6 (Fig. 7). Tra il 1996 e il 2000, si registrano aumenti dovuti agli interventi di ricarica di sabbia del 1998 e del 2000, più marcatamente nella sezione 1 e per un'area piuttosto limitata, a causa verosimilmente della ricarica della scogliera sino a quota -0,5 m.

Granulometria

Le campagne di prelievo dei sedimenti prese in considerazione per effettuare una analisi di carattere granulometrico sono quelle del 1994 (Granata, 1995) e quelle delle campagne di monitoraggio 2002.

Il monitoraggio granulometrico del 1994 (28 sezioni, una ogni 100 m circa, con prelievo di 5 campioni di sedimento per ogni sezione; tre campioni a quote fisse +1, 0, -1 m s.l.m.m., due a quote variabili sia entro che fuori la barriera, per un totale di 140 campioni) rispecchia la situazione venutasi a creare dopo la realizzazione del ripascimento protetto sopraccitato, mediante il versamento di sabbia con D_{50} pari a 0,5 mm a formare uno strato dello spessore di un metro sostenuto da un sottostante strato di ghiaia.

L'elaborazione di detti dati ha riguardato i campioni composti per i soli 7 transetti relativi alle sezioni più prossime a quelle campionate nelle campagne di monitoraggio 2002, al fine di poter effettuare un confronto indicativo, stante la disomogeneità dei punti di prelievo.

I risultati ottenuti dall'analisi dei campioni del 1994 evidenziano come il materiale superiore di ripascimento si sposti dalle sezioni più a nord (Pontile della Vittoria) a quelle più a sud (verso il Canale dei Pescatori): è qui infatti che si individua la maggior concentrazione di sabbia (fino al 95%) (Fig. 8).

Tale sabbia presenta granulometria simile a quella del materiale di ripascimento, mentre, verso il Pontile della Vittoria, si incontra una sabbia via via più fine (D_{50} pari a 0,3 mm), più simile al sedimento originario del sito e notevoli percentuali di ghiaia (fino al 30%,) indice di un affioramento dello strato sottostante dovuto all'asportazione pressoché completa del materiale superiore di ripascimento; le percentuali di limo si mantengono invece costanti lungo il litorale con valori del 6-7%. Ad ulteriore conferma di tale tendenza si osserva come il valore della deviazione standard del sedimento aumenti procedendo da nord a sud; ciò vuol dire che esiste una maggior variabilità granulometrica laddove i sedimenti tendono ad accumularsi (lato SE) e un miglior classamento lì dove sono più esposti all'azione del moto ondoso (lato NW) (Fig. 9).

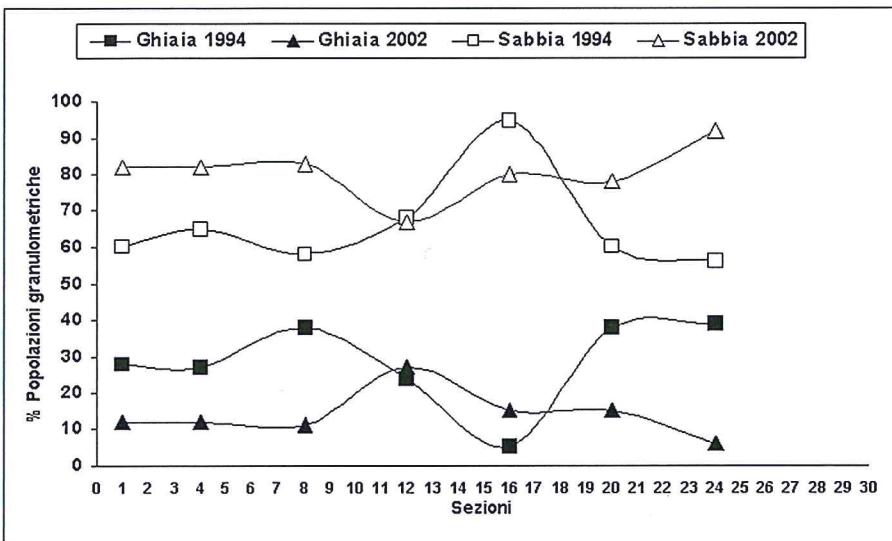


Figura 8 - Variazione delle percentuali di sabbia/ghiaia lungo la spiaggia di Ostia. Non sono riportate le curve relative alle percentuali di limo. Numerazione delle sezioni secondo lo schema 2002 (v. Fig. 2).

I dati di monitoraggio 2002, comprendenti le campagne di giugno e di ottobre (7 sezioni, una ogni 400 metri, campionate con regolarità a 0, -2, -5, -7,5 m, per un totale di 28 campioni) possono invece offrire un quadro della situazione dopo due ulteriori interventi di ripascimento (1998 e 2000) effettuati con sedimenti assai diversi dal punto di vista tessiturale e anche dopo diversi interventi di rifiorimento della barriera sommersa. Anche in questo secondo caso sono stati elaborati campioni composti per ciascun transetto. Nuovamente si osserva come le sabbie si concentrino nelle sezioni più prossime al Canale dei Pescatori (fino al 90%) a scapito del settore centrale del sito (Fig. 8). In particolare risulta dai dati parziali che è nel secondo semestre del 2002 che si registrano notevoli modificazioni nella composizione granulometrica del sedimento con perdite del 10 - 15% di sabbia in favore di una maggiore incidenza della ghiaia, peraltro essa stessa asportata a conferma di un'erosione arealmente concentrata e, dunque, molto forte. Anche in questo caso le percentuali di limo si mantengono costanti (6%), con scarsa incisività sulla composizione complessiva del sedimento. La deviazione standard, come in precedenza, conferma che il sedimento di tale tratto di litorale è il più classato, probabilmente perchè il più esposto alle forze idrodinamiche erosive (Fig. 9).

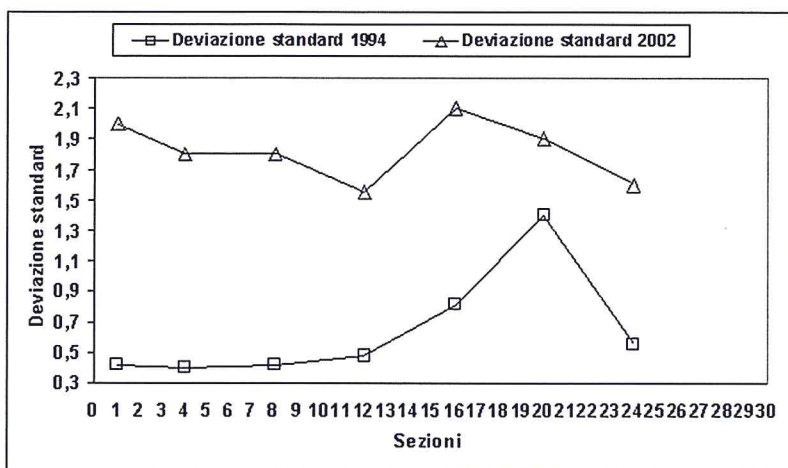


Figura 9 - Variabilità della deviazione standard lungo la spiaggia di Ostia Centro. Numerazione delle sezioni secondo lo schema 2002 (v. Fig. 2).

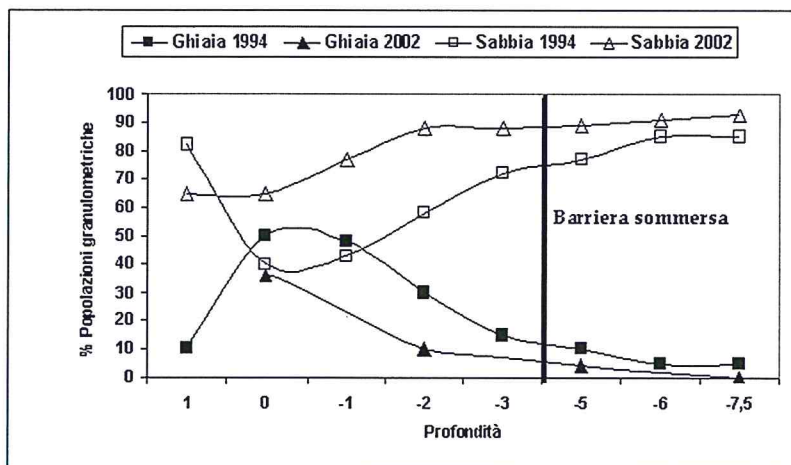


Figura 10 - Variazione delle percentuali sabbia/ghiaia al variare della profondità. La linea nera rappresenta la barriera sommersa.

Si deduce che la circolazione complessiva dei sedimenti parallelamente alla costa non è mutata: la corrente litoranea tende a spostare il materiale verso SE, dove si rinvencono le massime concentrazioni di sabbia ed una maggior variabilità granulometrica (deviazioni standard più elevate). A differenza di quanto osservato alla fine del monitoraggio '94, nel 2002 l'erosione più intensa non è localizzata presso il Pontile della Vittoria, ma nella zona centrale del tratto di spiaggia, si presume per effetto dei concomitanti interventi di rialzo parziale della barriera nel tratto sopraflutto.

Un'ulteriore valutazione sulla circolazione dei sedimenti, in questo caso trasversalmente alla spiaggia (Fig. 10), si può ottenere elaborando campioni medi per ciascuna fascia batimetrica precedentemente campionata. Tanto per la situazione del '94 (in tal caso ciascun dato è la media di 28 valori) quanto per la situazione 2002 (ciascun dato è la media di 7 valori) si nota che la percentuale della sabbia tende ad aumentare con la profondità. In particolare la fascia compresa fra la battigia e -2 m presenta le minori quantità di sabbia. In conclusione, attraverso l'analisi di dati granulometrici che, vale la pena ricordare, derivano da campioni della spiaggia prelevati da sezioni non esattamente coincidenti nel tempo e nello spazio e successivamente a versamenti artificiali con sedimenti prima assai grossolani (ciottolame) e poi più sottili (sabbie di provenienza diversa), si evince che la dinamica sedimentaria del litorale non è mutata nel tempo. Oltre a un massiccio spostamento dei sedimenti in direzione Sud, il sedimento degli interventi più recenti di ripascimento viene allontanato verso le maggiori profondità. Solo successivamente agli interventi di rifiorimento della scogliera l'efficacia della barriera sommersa è percepibile nel tratto direttamente protetto, favorendo una maggiore persistenza dei materiali impiegati per la ricostruzione del litorale, ma producendo effetti erosivi subito a valle della discontinuità geometrica (dislivello della cresta della barriera fra la zona più a Nord e più a Sud).

La barriera sommersa

La barriera sommersa è sottoposta all'azione turbolenta del moto ondoso frangente. I due principali fenomeni che ne modellano la geometria nel tempo sono: a) il dislocamento dei massi esterni durante le mareggiate più intense; b) lo sprofondamento della base della scogliera nel sedime sabbioso.

La barriera ha subito in un decennio un abbassamento medio di circa 0,5 m ed un allargamento di alcuni metri. Per valutare il danno subito dalla scogliera sono state computate le differenze negative tra le aree delle sezioni trasversali rilevate in tempi successivi:

$$\text{danno \%} = \text{Area erosa} / \text{Area iniziale (1992)}$$

Nel grafico di Figura 11 sono riportati per ciascun anno rilevato, il valore medio dei danni registrati su ognuna delle sei sezioni analizzate. Si nota che a distanza di 8 anni dal primo rilievo, la sezione trasversale della barriera ha subito un danneggiamento medio del 12,5% localizzato sulla cresta e sul paramento lato mare. Peraltro la derivata della curva è decrescente a dimostrazione di una tendenza attesa verso condizioni di stabilità, legate anche allo sprofondamento della struttura con cresta meno soggetta all'azione idrodinamica. La sezione p1 (a ridosso del "Pontile della Vittoria") risulta la più danneggiata, infatti nel 1996 si registra una riduzione del volume della scogliera del 25%. In alcune sezioni la barriera ha resistito molto bene all'azione del moto ondoso: in corrispondenza delle sezioni p6 e p11 si osserva un danno inferiore al 4%.

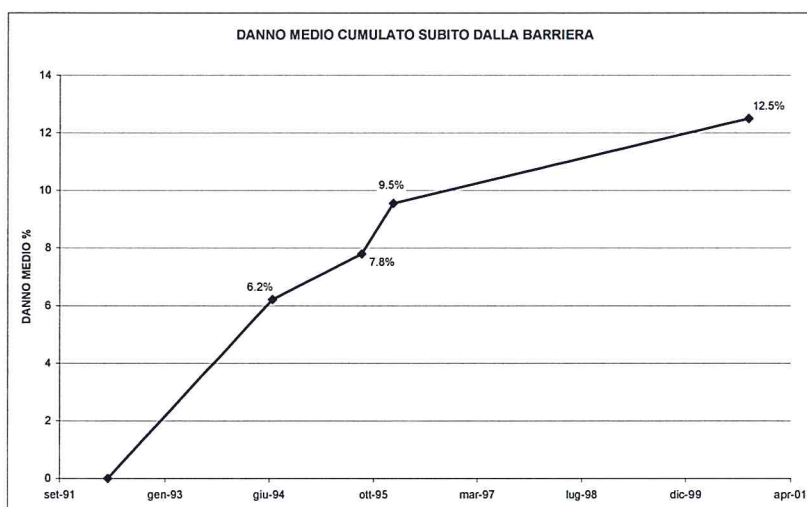


Figura 11 - Evoluzione temporale del danno medio della barriera sommersa.

Peraltro tale danneggiamento era prevedibile data la pezzatura modesta ed assortita dei massi lapidei impiegati, ancorché all'epoca non fossero disponibili moderne formule di stabilità idraulica. Assumendo un diametro mediano dei massi $D_{50} = 0,5$ m ed applicando la formula di Van der Meer (1993) in condizioni di massima onda frangente al piede dell'opera, periodo di picco di 11 s, sovrarzo marino di 0,5 m e porosità nominale di 0,6 si ottiene la stabilità con cresta della scogliera a -2,5 m s.l.m.m., mentre per quote sommitali superiori (come negli interventi recenti di rifiorimento) è necessario impiegare un rivestimento in doppio strato di scogli di peso pari ad almeno 1-3 t. L'insabbiamento progressivo della scogliera profonda, associato alla migrazione bidirezionale dei sedimenti naturali e di apporto, comporta anche variazioni dell'efficienza idraulica con riduzione della porosità ed efficacia dissipativa ed aumento della riflessione ondosa.

Analisi socio-economica

Con lo scopo di fornire un'analisi statistica di campo sulla stima del valore economico del lido di Ostia, similmente a quanto fatto per il Lido di Dante e Pellestrina (Marzetti e Franco, 2003), è stato predisposto un dettagliato questionario costituito da circa 40 domande corredate da fotografie e figure. Inoltre sono state aggiunte alcune domande tecniche riguardanti le diverse tipologie di difesa costiera e di sedimento al fine di comprendere i gusti ed i bisogni degli utenti.

Nell'estate del 2002 sono state intervistate circa 100 persone di varia età e censo che hanno mostrato buona sensibilità al problema. Il campione è di fatto troppo piccolo per ricavare statistiche affidabili ed inoltre l'estate 2002 è stata meteorologicamente anomala, ma l'analisi delle risposte ai questionari ha fornito interessanti indicazioni, brevemente riassunte nel seguito.

Ostia è una spiaggia molto frequentata a soli 25 km da Roma (3 milioni di abitanti) da dove proviene la maggior parte dei bagnanti (il 67% degli intervistati). In generale, i residenti hanno mostrato sensibilità alla difesa della costa, mentre i turisti romani hanno denotato una maggior attenzione all'impatto visuale del sistema di difesa.

Per ciò che riguarda la tipologia di sistemi di difesa costiera, circa il 50% è risultato favorevole alla presenza di una qualche struttura rigida (il 14% strutture distaccate emerse, il 22% strutture distaccate sommerse, il 6% pennelli, il 5% una sistema misto a celle) poiché sinonimo di durabilità e maggior efficacia per la difesa costiera. Comunque il restante 50% preferisce un'opera morbida pura (ripascimento non protetto) soprattutto per ragioni legate alla bellezza ambientale ed alle attività ricreative.

Per quanto concerne la tipologia del sedimento circa l'80% del campione di utenti preferisce sabbia fine e chiara e soltanto il 14% sabbia scura, simile a quella presente originariamente sulle spiagge del Lido di Ostia. Circa il 10% gradisce il sedimento grossolano (sabbia grossa), ma nessuno ha espresso preferenze per una spiaggia ghiaiosa.

Infine, per quanto riguarda la domanda cardine del questionario, cioè quanto gli utenti sono disposti a pagare per un giorno trascorso su una spiaggia ricostruita, il valore è di circa 23 euro per le zone attrezzate e di poco più di 6 euro per le zone libere, ma tale valore decade inesorabilmente a 1-2 euro per una spiaggia totalmente erosa (senza intervento). Tale analisi può dare un'idea per stimare la perdita imputabile ai problemi di erosione e, conseguentemente, può essere utilizzata per quantificare i benefici ottenuti dagli interventi di protezione e ripascimento delle spiagge.

Aspetti ecologici

Per il sito in esame sono state recentemente avviate dall'ICRAM, in convenzione con la Regione Lazio, analisi biologiche ed ecologiche specifiche, i cui risultati sono in corso di pubblicazione. Sono peraltro disponibili le osservazioni dedotte da alcune ispezioni subacquee ed un filmato (Novembre 2003) girato nell'ambito delle attività del progetto DELOS ad uso dei biologi partecipanti al progetto europeo. Tali osservazioni hanno evidenziato che la scogliera è in buona parte ricoperta ed intasata dalla sabbia (anche a causa delle attività di manutenzione con ulteriori versamenti) ed appare quindi molto ben naturalizzata, come un fondale naturale roccioso senza porosità apparente e con un ricco habitat marino (pesci, seppie, vegetazione, cozze, ecc.), anche se relativo ad un substrato duro non preesistente nel sito. In generale la qualità delle acque a Ostia risulta migliorata negli ultimi anni (in relazione al più attento controllo degli scarichi) ed il generale atteggiamento degli utenti risulta positivo.

Osservazioni conclusive

E' stato compiuto un grande sforzo per monitorare il sistema di difesa di Ostia Centro per ben 13 anni, anche se appaiono carenti le misure idrodinamiche (moto ondoso direzionale e correnti).

Nonostante la complessità e disomogeneità dei dati disponibili, legata anche alla sovrapposizione dei successivi interventi, la raccolta, validazione ed analisi preliminare dei rilievi ha permesso di ricavare le seguenti osservazioni generali.

La linea di riva tende a ruotare in senso orario verso una posizione di equilibrio più ortogonale alla risultante energetica alquanto obliqua del moto ondoso, accrescendo la spiaggia a ridosso della foce armata del Canale dei Pescatori.

L'originale barriera artificiale sommersa ha avuto un limitato effetto di protezione a causa della relativa profondità a cui è posta la sua sommità, mediamente compresa tra -2,0 m e -2,5 m s.l.m.m. (a seguito dei cedimenti e dei dislocamenti imputabili all'azione diretta del moto ondoso frangente), oltretutto per il progressivo intasamento con sabbia. Gli elementi naturali originali di mantellata sembrano essere sottodimensionati. Il danno medio della barriera è aumentato sino a raggiungere il 12,5% dopo 8 anni, ben prevedibile con le formule di stabilità di Van der Meer. La porzione di barriera a quota più alta conduce ad una ridotta trasmissione ondosa e ad un'evidente maggior stabilità della spiaggia artificiale retrostante. Per prevenire l'insabbiamento della scogliera con relativa riduzione di porosità sarebbe opportuno in fase progettuale prevedere un'attenta disposizione di filtri e geotessuti, compatibilmente con le oggettive difficoltà esecutive a realizzare dette lavorazioni, in ambiente marino.

Si osserva una progressiva demolizione delle barre naturali esistenti che tendono ad unificarsi sulla barriera artificiale fissa.

Le differenti tipologie di sedimento nativo e di apporto (sia per colore che per granulometria) evidenziano nel tempo una indicativa selezione trasversale e longitudinale.

Non si riscontrano evidenze da ricondurre a forti correnti di ritorno anche per la profondità della barriera e l'assenza di varchi.

La cospicua componente netta longitudinale di trasporto solido può essere limitata con l'interposizione di opere trasversali (pennelli semisommersi), i quali sono stati, infatti, posti in opera negli interventi più recenti.

Gli impatti economici ed ecologici devono ancora essere investigati nel dettaglio, ma comunque, in generale, la risposta degli utenti sembra positiva ed il litorale ostiense gode attualmente di un notevole rilancio con grande affollamento estivo e discreto utilizzo anche fuori stagione (per la presenza di servizi permanenti, il buon clima e la vicinanza con la metropoli).

L'attività di monitoraggio morfologico secondo criteri moderni e standardizzati sarà integrata con l'installazione di una stazione ondometrica direzionale.

Si auspica di ampliare ed approfondire le analisi dei rilievi, facendone adeguato uso nell'applicazione di modelli numerici di evoluzione della morfodinamica costiera.

Riconoscimenti

Lo studio è stato effettuato nell'ambito delle attività del progetto europeo BEACHMED (convenzione 2002-01-4.3-I-028), programma INTERREG IIIB- MEDOCC di cui la Regione Lazio è capofila, nonché nell'ambito del progetto europeo DELOS sulle barriere a cresta bassa (EVK-CT-2000-00041). Alcune attività di analisi sedimentologica hanno beneficiato dei fondi MIUR-PRIN 2000/2002. Si ringraziano l'ing. P. Contini (MODIMAR), l'ing. P. Lupino (Regione Lazio), l'ing. A. Ferrante (Ministero LL.PP.) e il prof. Giovan Battista La Monica (Università di Roma "La Sapienza" - DST) per le utili osservazioni ed informazioni.

Bibliografia

- AA.VV. (2004) - *Progetto Beachmed*. REGIONE LAZIO, 1° 2° e 3° Cahier Technique. www.beachmed.it.
C.E.R.C. (1994) - *Beach Morphology Analysis Package (BMAP)*. Software di gestione dei profili trasversali della spiaggia. CETN II-34.
Caputo C., Chiocci F.L., Ferrante A., La Monica G.B., Landini B. e , Pugliese F. (1993) - *La ricostruzione dei litorali in erosione mediante ripascimento artificiale ed il problema di reperimento degli inerti*. La difesa dei litorali in Italia, a cura di E. Pranzini e P. Aminti, ed. Autonomie n.34.

- Conti M. (2003) - *Ripascimento artificiale: variazioni granulometriche dell'inerte dalla cava sottomarina, durante il trasporto, al sito di ripascimento e dopo l'azione del mare. Il caso di Ostia Levante*. Tesi di laurea in sedimentologia e regime dei litorali. Università di Roma La Sapienza. Relatore prof. G.B. La Monica.
- Ferrante A., Franco L. e Boer S. (1993) - *Modelling and monitoring of a perched beach at Lido di Ostia*. Proc. 23rd ICCE Int. Conf. Coastal Engineering, vol. 3: pp. 3305-3318.
- Granata M.G. (1995) - *Monitoraggio e modellazione evolutiva del ripascimento protetto del litorale di Ostia* - Tesi di laurea in Ingegneria Civile DSPT svolta presso il Politecnico di Milano. Relatore: prof. Leopoldo Franco.
- La Monica G.B. e, Raffi R. (1995) - *Morfologia e sedimentologia della piattaforma continentale interna. Il mare del Lazio*. Tipografia Borgia.
- Marzetti S. and e Franco L. (2003) - *Contingency evaluation and user preferences for the Ostia beach*. DELOS workshop, Santander.
- Scaloni P. (2003) - *Analisi del monitoraggio della spiaggia di Ostia Levante (Roma)* - Tesi di laurea in Ingegneria Civile Idraulica. Università di Roma Tre. Relatore: Prof. Leopoldo Franco.
- Toti M., Cuccioletta P. e, Ferrante A. (1990) - *Beach nourishment at Lido di Ostia (Rome)*. Proc. 27th AIPCN Congress, Osaka.
- Van Der Meer J.W. (1993) - *Conceptual design of rubble mound breakwaters*. Delft Hydraulics Publications n. 483.

Manoscritto ricevuto il 06/02/2004 , accettato il 27/12/2004.