

Studi sedimentologici idonei alla sperimentazione di opere marittime soffolte atte a contrastare l'insabbiamento del porticciolo di Genova Nervi

Giorgio Berriolo¹, Paola Bocca², Nicola Corradi³, Marco Ferrari³

¹Via Aurelia, 153 - 17028 Spotorno (SV)

²A.S.Ter. Azienda Servizi Territoriali Genova S.p.A., Via XX Settembre, 15 - 16121 Genova

³DISTAV - Università degli Studi di Genova, Corso Europa, 26 - 16132 Genova

Riassunto

In questo lavoro sono presentati i risultati di un'indagine sedimentologica svolta presso il porticciolo di Genova Nervi finalizzati alla sperimentazione di strutture idonee a contrastare il fenomeno di insabbiamento dello specchio d'acqua.

La necessità di preservare l'elevato pregio paesaggistico della costa entro la quale l'“Approdo Minore” è inserito, ha indotto il Comune di Genova a finanziare uno studio sedimentologico finalizzato a determinare i flussi di sedimento all'interno ed all'esterno dello specchio d'acqua, indirizzato ad individuare i meccanismi responsabili dell'insabbiamento del porticciolo ed a fornire dati idonei a progettare e sperimentare strutture a basso impatto, idonee ad intercettare i sedimenti responsabili del fenomeno.

Le analisi tessiturali dei sedimenti e l'elaborazione degli indici sedimentologici hanno indicato come solo in parte il fenomeno dell'insabbiamento sia imputabile agli apporti del corso d'acqua che sfocia all'interno della struttura portuale. I maggiori accumuli sono invece attribuibili agli apporti marini. Lo studio ha evidenziato come sui fondali dello spazio portuale non siano presenti sedimenti con dimensioni superiori a 2Φ (<0.25 mm). Presumibilmente quest'area è soggetta ad una azione delle agitazioni ondose relativamente intense, che allontanano verso il largo le frazioni meno stabili. Infine è stato possibile definire come la fascia di fondo mobile all'esterno del porto, sia costituita dai sedimenti che concorrono all'insabbiamento e questa risulti essere compresa entro la batimetrica dei 12 metri.

Nella scelta progettuale delle strutture idonee a contrastare l'insabbiamento del porto, si è prevista la realizzazione e la posa, in alternativa ai classici i moli guardiani, di setti sommersi in calcestruzzo prefabbricato, decisamente meno impattanti, in grado di intercettare il flusso dei sedimenti con tessiture medie di 2Φ (0.25 mm) o inferiori in ingresso al porto. I sedimenti con tessiture inferiori, che potrebbero oltrepassare in sospensione l'opera di difesa, risulterebbero comunque instabili all'interno del bacino portuale. L'applicazione di queste strutture per contrastare i fenomeni d'insabbiamento di aree portuali, costituisce una novità. Gli auspicati monitoraggi dovranno essere eseguiti consentiranno di verificare l'efficacia di questo intervento.

Parole chiave: strutture portuali, insabbiamento, analisi tessiturali, indici sedimentologici, deriva litoranea, setti sommersi.

Abstract

In this article we present the results of a sedimentological study of the port of Nervi (Genoa, Liguria, Italy) and we describe the experimental intervention carried out to combat its silting up.

Textural analyses and the determination of sedimentological parameters established that the silting was only partially due to the solid supply of the stream that empties into the port and that the significant sedimentary accumulations were attributable to marine supply. The study also revealed that there were no sediments of more than 2Φ (<0.25 mm) in diameter in the port area, which it can, therefore, be assumed is subject to relatively intense wave action which washes away the finer, less stable fraction. The study also determined that the bottom area affected by silting had a bathymetry of less than 12 m.

In planning structures to combat the silting it was also necessary to bear in mind that the port is situated in an area of environmental importance. It was, therefore, decided to eschew a classical structure of breakwaters, in favour of a line of less invasive, submerged concrete groins. It is presumed that the use of this type of structure to combat silting phenomena is a first.

In this specific case the structures, positioned at the port entrance, will block sediments with a diameter of 2Φ (0.25 mm) or less. Finer sediments, which can pass over the defence works are unstable and will be washed away, as revealed by the sedimentological analyses.

Keywords: port structures, silting, textural analyses, sedimentological indices, littoral drift, submerged concrete barriers.

Introduzione

Le indagini tessiturali sono uno strumento utilizzato in Sedimentologia per contribuire alla definizione dei processi che caratterizzano un deposito (Inman, 1952; Pettijohn, 1957; Shepard, 1963; Folk, 1968; Krumbein e Sloss, 1963) e ricavare informazioni sulle modalità di trasporto, di deposizione e sull'idrodinamismo dell'agente di trasporto (Mason e Folk, 1958; Folk e Ward, 1957; Folk, 1966). Analogamente mediante l'utilizzo dei parametri statistici sedimentologici è possibile distinguere depositi di differente provenienza (Krumbein, 1941; Friedman, 1961), ed acquisire ulteriori informazioni sull'idrodinamismo della zona (McLaren e Bowles, 1985).

In questo lavoro le indagini tessiturali sono applicate alla definizione dei meccanismi di trasporto responsabili dell'insabbiamento del porto di Nervi (Genova).

L'insabbiamento è un problema che spesso interessa le strutture portuali ed è essenzialmente riconducibile ai fenomeni di dinamica sedimentaria che interessano l'ambiente costiero sviluppati dai processi marini quali correnti di marea e moto ondoso. Questo fenomeno può raggiungere differenti intensità in relazione alla morfologia del sito d'insediamento della struttura ed alla tipologia di costruzione delle opere, all'intensità dell'azione del mare ed ai quantitativi di sedimento disponibili.

Le modalità d'intervento più comunemente utilizzate per contrastare i problemi dell'insabbiamento consistono nel predisporre strutture trasversali, definite moli guardiani, in grado d'intercettare il sedimento trasportato dagli agenti marini prima che questi giungano in prossimità dell'imboccatura portuale. Questa tipologia d'intervento è economicamente onerosa e presenta l'ulteriore svantaggio di avere un notevole impatto sull'assetto paesaggistico dell'area, quindi risulta di difficile applicazione in contesti di particolare pregio naturalistico come ad esempio quello oggetto di studio.

L'obiettivo che si pone questo studio è quello di caratterizzare i fondali interni alla struttura e dello specchio acqueo antistante, definirne l'assetto dinamico sedimentario, allo scopo di comprendere i meccanismi che determinano i fenomeni d'insabbiamento, e conseguentemente presentare la soluzione progettuale adottata costituita da setti in calcestruzzo prefabbricato. Queste strutture, sperimentate con successo presso i laboratori Sogreah (Berriolo e Sirito, 1973) e successivamente utilizzate nelle opere di difesa litorale, permettono d'intercettare il flusso sedimentario di fondo. Hanno costi contenuti ed offrono il vantaggio che, essendo sommerse, sono completamente invisibili e quindi non modificano l'aspetto del paesaggio. Inoltre, grazie alle loro ridotte dimensioni, il loro impatto sui fondali è limitato.

Descrizione dell'area

L'area d'indagine (Fig. 1) è inserita all'interno dell'unità fisiografica compresa tra l'estremo di levante del porto di Genova e P.ta Chiappa, estremo occidentale del promontorio di Portofino (Fierro et al., 1989). Questo tratto costiero, che coincide con parte del *waterfront* della città di Genova, risulta fortemente condizionato dall'urbanizzazione, esso è comunque identificabile come una costa alta rocciosa, con spiag-

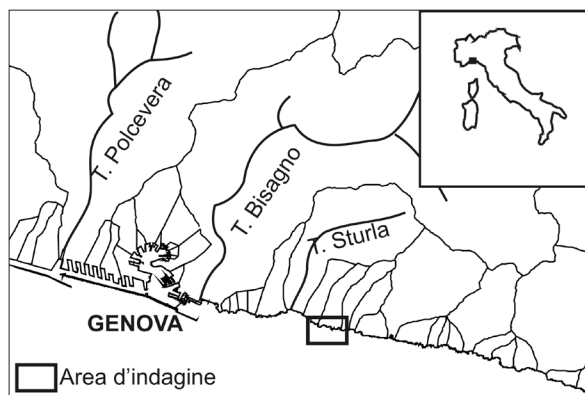


Figura 1 - Area d'indagine.

Il porticciolo turistico di Genova Nervi, definito come approdo minore e classificato “Porto pubblico di II categoria IV classe”, si colloca geograficamente nel settore orientale della città di Genova; esso è costituito da un molo principale disposto con andamento W – E che si appoggia alla falesia rocciosa posta ad occidente, ed è inserito in una piccola insenatura, dove sfocia l'omonimo torrente. Al suo interno è presente una piccola spiaggia ghiaioso ciottolosa. Recentemente lungo l'asta del corso d'acqua sono stati effettuati interventi mirati all'intercettazione del trasporto solido mediante vasche di decantazione, che hanno annullato gli apporti solidi all'interno del porticciolo mitigando gli effetti d'insabbiamento.

Esposizione marittima

L'area d'indagine è esposta essenzialmente alle ondatazioni provenienti dai settori meridionali. Il libeccio, che risulta essere il mare regnante e dominante, è caratterizzato da un *fetch* geografico superiore a 800 km con altezze massime d'onda al largo anche superiori ai 5 metri. Lo scirocco con *fetch* geografico di 200 km presenta altezze d'onda massime di circa 4.5 metri; ed infine il settore di mezzogiorno, subordinato ai precedenti, con *fetch* geografico di circa 180 km ed altezze d'onda massime ancora minori. In tabella 1 sono riportate le caratteristiche del moto ondoso relative alle due traversie principali (AA.VV., 2004; Ferrari et al., 2006; Corradi et al. 2008). Quindi la dinamica sedimentaria dell'area risulta condizionata essenzialmente dalle ondatazioni di SW che determinano un flusso detritico principale rivolto verso E, mentre alla traversia di SE è imputabile una deriva sedimentaria secondaria con verso opposto.

Poiché, rispetto al porticciolo di Nervi le discariche precedentemente citate sono poste sopraflutto rispetto alla deriva principale, esse concorrono ancora oggi ad incrementare gli scarsi apporti sedimentari naturali che sono causa dell'insabbiamento del porticciolo.

Tabella 1 – Caratteristiche del moto ondoso (T_R = tempo di ritorno; H_s = altezza significativa dell'onda al largo; T_0 = periodo dell'onda).

| T_R (anni) | SW (Libeccio) | | SE (Scirocco) | |
|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|
| | H_s (m) | T_0 (sec.) | H_s (m) | T_0 (sec.) |
| 1 | 2,5 | 7,5 | 1,5 | 5 |
| 10 | 3,60 | 9,36 | 3,00 | 8,53 |
| 20 | 3,98 | 9,83 | 3,30 | 8,95 |
| 30 | 4,38 | 10,32 | 3,60 | 9,35 |
| 50 | 4,71 | 10,70 | 4,00 | 9,86 |
| 100 | 5,1 | 11,13 | 4,50 | 10,45 |

L'escursione di marea è di modesta entità, generalmente inferiore a 30 cm (Papa, 1974; Papa, 1978), quindi ininfluenza a condizionare la dinamica sedimentaria costiera; l'azione del moto ondoso, al contrario, risulta fondamentale per i processi di trasporto dei sedimenti.

Materiali e metodi

Le indagini sono state condotte nel settembre 2003, hanno previsto la realizzazione di una campagna batimetrica eseguita con ecoscandaglio *singlebeam* a doppia frequenza con posizionamento GPS differenziale ed il prelievo di campioni di sedimento, mediante benna Van Veen, sia nello specchio acqueo interno che nel tratto di mare antistante le strutture, fino ad una profondità massima di circa 12 metri (Fig. 2).

Le analisi granulometriche sono state eseguite mediante setacciatura a secco, utilizzando la scala di Wenworth (1922) a $\frac{1}{2}\Phi$ e ricavando i principali indici sedimentologici secondo le metodiche indicate da Folk (1966). La determinazione dei "vettori di trasporto" è stata effettuata utilizzando la metodologia proposta da Gao e Collins (1992). Questa tecnica è basata sulle variazioni spaziali dei parametri statistici dimensionali Media (MZ), Classazione (σI) e Skewness (SKI) ed offre risultati più affidabili dei metodi che si basano sull'analisi di un singolo parametro. L'elaborazione è stata effettuata, utilizzando il software elaborato da Gao (1996). Infine le modalità di movimento dei sedimenti, su una sezione rappresentativa dell'area oggetto di studio, sono state desunte mediante il diagramma di Shields (1936), modificato da Madsen e Grant (1976).

Risultati

Dinamica Sedimentaria

I sedimenti che costituiscono il fondale sono riferibili, secondo la classificazione di Folk e Ward (1957), essenzialmente alle ghiaie o alle sabbie, con l'eccezione di pochi campioni appartenenti ai campi intermedi (ghiaie sabbiose e sabbie ghiaiose). La frazione pelitica risulta essere trascurabile praticamente su tutti i campioni sia interni che esterni al porticciolo.

Le analisi dimensionali permettono di distinguere un primo settore caratterizzato da sedimenti prevalentemente ghiaiosi situato in prossimità della foce del corso d'acqua; gli istogrammi di frequenza delle frazioni granulometriche indicano che questa distribuzione è riferibile a depositi alluvionali di dimensioni grossolane e con istogrammi bimodali caratteristici dei sedimenti torrentizi (Krumbein, 1941). Altri depositi di elevate dimensioni sono situati nei fondali posti ai piedi della falesia e del molo frangiflutti. Questi indicano chiaramente la notevole azione di riflessione del moto ondoso provocata dalle pareti rocciose e dalla struttura portuale che non consentono il deposito delle frazioni fini che si allontanano per deriva.

Le mappe di distribuzione ottenute utilizzando gli indici sedimentologici Media, Classazione e Asimmetria chiariscono ulteriormente la dinamica sedimentaria che caratterizza l'area d'indagine. Le distribuzioni permettono di definire all'interno del porticciolo due aree con sedimenti di diversa provenienza e di una terza con caratteri intermedi. La prima individuabile nella parte più interna in prossimità del corso d'acqua è riferibile agli apporti alluvionali, poiché presenta elevate dimensioni (Fig. 3), una mediocre classazione (Fig. 4) e valori positivi dello Skewness (Fig. 5); parametri che indicano chiaramente una scarsa elaborazione del sedimento tipica di depositi caotici quali quelli torrentizi (Friedman, 1967). La seconda è situata nella parte più prossima all'imboccatura portuale, nella zona centrale e nelle adiacenze del molo; in questa zona sono presenti sedimenti ben classati o moderatamente ben classati, con asimmetria negativa e tessiture riferibili alle sabbie medie; quindi depositi che hanno subito un maggior rimaneggiamento e riconducibili ad un agente deposizionale di tipo marino (Friedman, 1967). La terza area situata tra le due precedenti e con andamento irregolare è caratterizzata da dimensioni medie riferibili alle sabbie medie e grossolane, elevata classazione e valori pressoché prossimi a zero dello skewness; questi sono presumibilmente sedimenti appartenenti all'ambiente marino mescolati con gli apporti alluvionali.

Inoltre si evidenzia come nel porticciolo non siano presenti sedimenti con granulo medio maggiore a 2Φ (<0.25 mm). Questa situazione fa supporre che anche la zona protetta dalla struttura portuale sia interessata dalle agitazioni ondose più intense che elaborano il sedimento allontanando le frazioni più fini.

Nei fondali antistanti il porticciolo le frazioni grossolane situate ai piedi del molo frangiflutti e della falesia sono scarsamente classati e con Skewness positivo, cioè confermano chiaramente i fenomeni riflettivi indotti dalla strutture rigide che rendono instabili le frazioni meno competenti e le allontanano.

Le frazioni meno competenti, superiori a 2Φ (<0.25 mm), presentano una discreta classazione e valori positivi dello Skewness; questi sedimenti sono invece distribuiti in una fascia che si sviluppa, in prossimità della bocca d'ingresso e si dirige verso il largo con direzione NNE-SSW; essa è interpretabile come la via preferenziale di dispersione verso il largo di questi sedimenti provenienti dal porticciolo.

La distribuzione della classe modale 2Φ (0.25 mm) mette bene in evidenza come l'accumulo sabbioso,

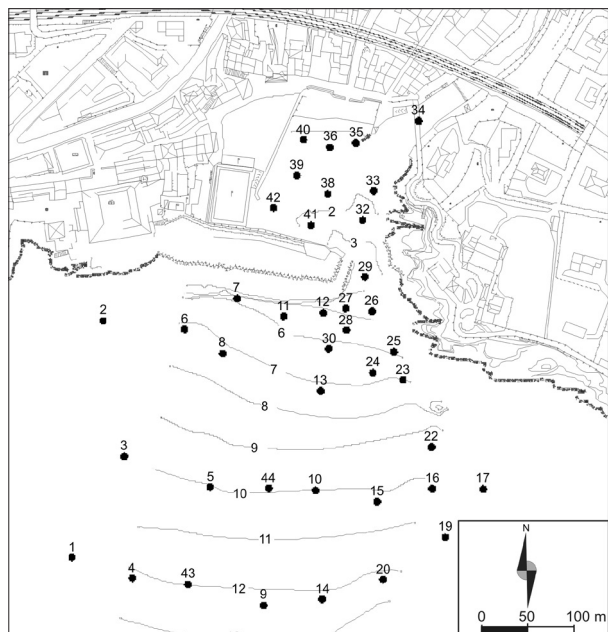


Figura 2 - Carta batimetrica dell'area d'indagine ed ubicazione dei punti di prelievo dei campioni di sedimento.



Figura 3 - Distribuzione dell'indice sedimentologico media (Mz).



Figura 4 - Distribuzione dell'indice sedimentologico classazione (σ_1).



Figura 5 - Distribuzione dell'indice sedimentologico Skewness (SK1).

situato nella zona centrale del porticciolo, precedentemente definito di origine marina, sia essenzialmente costituito da questa frazione (Fig. 6). La prevalenza di queste dimensioni è evidente in tutta l'area circostante l'imboccatura portuale, quindi si può supporre che le agitazioni ondose abbiano un'energia tale da operare una netta selezione sulle altre frazioni granulometriche, non solo nella zona di mare aperto ma anche nei settori protetti. I depositi alluvionali, al contrario, risultano scarsamente rappresentati da questa classe granulometrica, così come la fascia di fondali individuata come via di dispersione della frazioni più fini.

L'elaborazione dei vettori di trasporto, secondo la metodologia proposta da Gao e Collins (Fig. 7), evidenzia la direzione preferenziale di accesso nello specchio acqueo interno da parte dei sedimenti marini che risulta prevalentemente indirizzata verso il settore protetto dal molo foraneo. Inoltre, all'interno dell'area portuale, si osservano i vettori di dispersione verso il largo dei sedimenti medio fini.



Figura 6 - Distribuzione percentuale della classe modale 2Φ (0.25 mm).



Figura 7 - Vettori di trasporto determinati secondo la metodologia proposta da Gao e Collins (1992).

Modalità di trasporto

Il diagramma di Shields modificato da Madsen e Grant (1976), è stato utilizzato allo scopo di individuare le profondità alle quali questi sedimenti non sono più movimentabili in sospensione e per trascinato, in relazione all'intensità del moto ondoso ed alle granulometrie che concorrono all'insabbiamento dell'area portuale. Il diametro medio delle particelle considerato è 2Φ (0.25 mm) corrispondente alle dimensioni minime del granulo medio dei sedimenti presenti nello specchio acqueo interno; ad esso sono state applicate due differenti agitazioni ondose (libeccio e scirocco) e per ognuna di esse sono state utilizzate le caratteristiche dell'onda con tempi di ritorno annuale e cinquantennale.

I valori limite per cui avranno luogo i fenomeni di sospensione o trasporto dei sedimenti con le dimensioni da noi adottate corrispondono a valori del parametro di Shields (θ) pari a:

$$\begin{aligned}\theta_{\text{limite sospensione}} &\approx 0.09 \\ \theta_{\text{limite trasporto}} &\approx 0.045\end{aligned}$$

La Figura 8 mostra i risultati ottenuti per le agitazioni considerate. Si può osservare in particolare che le ondate di scirocco con frequenza annuale sembrano essere in grado di portare in sospensione il sedimento solo entro la batimetria dei 2.5 metri ed il trasporto ha termine alla profondità di 5 metri; mentre la medesima agitazione, ma con frequenza cinquantennale, quindi decisamente più importante, mostra la presenza di fenomeni di risospensione fino a 10 metri e trasporto fino ai fondali di 18 metri. Il moto ondoso di libeccio con tempo di ritorno annuale determina la sospensione di questi sedimenti fino a circa 5 metri di profondità e può movimentare i medesimi fino a 10 metri; infine quest'ultime agitazioni con ricorrenza cinquantennale sviluppano fenomeni analoghi a quelli visti per le ondate di scirocco con gli stessi tempi di ritorno.

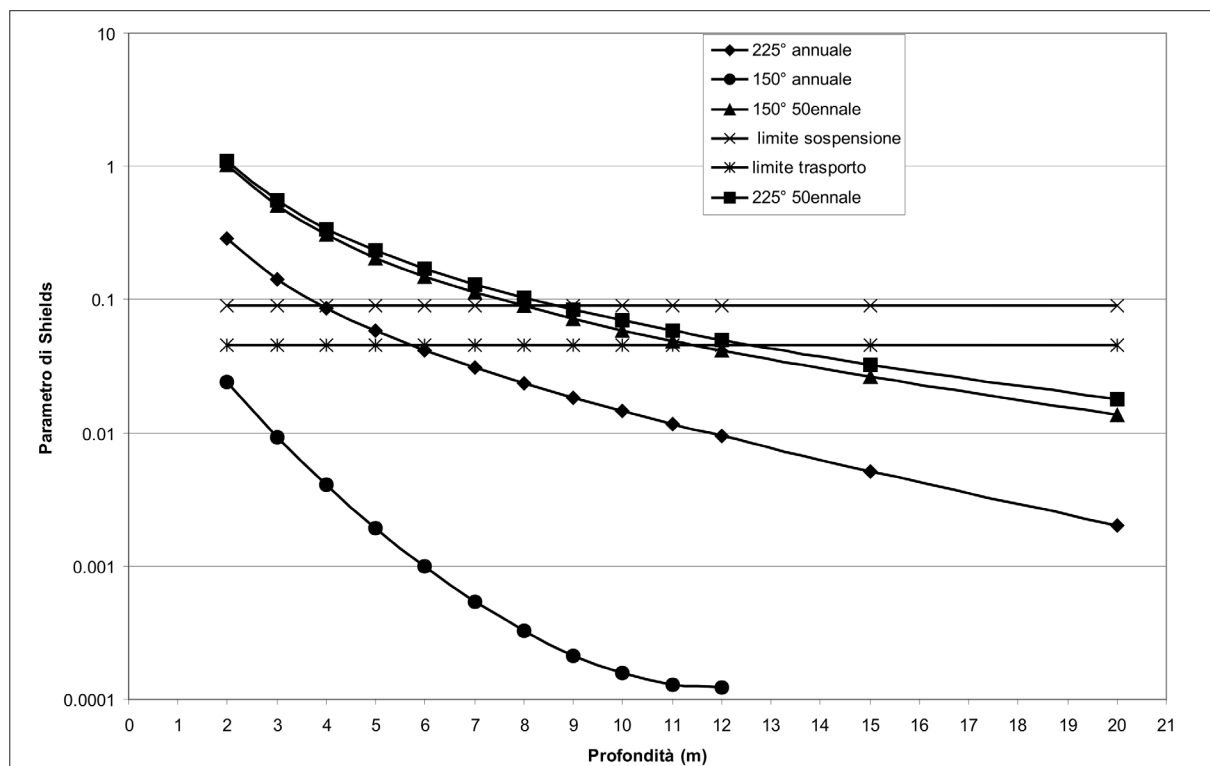


Figura 8 - Modalità di trasporto delle sabbie con dimensione 2Φ (0.25 mm) in relazione alle differenti agitazioni ondose.

Il progetto

L'ipotesi progettuale d'intervento si fonda essenzialmente su tre aspetti emersi dall'indagine:

- l'insabbiamento del porticciolo è causato principalmente dai sedimenti trasportati dal moto ondoso, gli apporti di origine torrentizia risultano limitati e confinati nel settore più prossimo all'apparato fociale;
- le dimensioni dei sedimenti trasportati dal moto ondoso sono riferibili alle sabbie con dimensioni medie 2Φ (0.25 mm), le tessiture inferiori risultano instabili all'interno della struttura;
- il movimento di questi sedimenti avviene principalmente per trascinamento sul fondo, il trasporto in sospensione si produce solo in presenza di mareggiate eccezionali.

Sulla base di queste considerazioni, è stato progettato e successivamente realizzato nell'inverno 2007, anziché una struttura classica quali i moli guardiani che risulterebbero di forte impatto ambientale, una costruzione decisamente meno invasiva costituita da due setti sommersi posti ai lati dell'imboccatura portuale. Queste strutture sono principalmente utilizzate nella difesa dei litorali come prosecuzione sommersa di opere trasversali. Esse hanno lo scopo principale di intercettare i sedimenti trasportati dal drift litoraneo e conseguentemente aumentare la stabilità della spiaggia sommersa. Questa tecnica è stata applicata negli interventi di recupero del litorale effettuati a Marina di Cecina (Aminti e Verzoni, 1993), sulle spiagge di Terracina, Latina, Sabaudia, Formia, Minturno e Fondi-Sperlonga in provincia di Latina (Berriolo, 1993). Interventi che hanno dimostrato l'effettiva efficacia di questa struttura (Cipriani et al., 1992; Berriolo, 1999; Ferri, 2008).

Queste opere, idonee all'intercettazione dei sedimenti, possono risultare scarsamente efficaci per i sedimenti trasportati in sospensione, ma risultano efficienti per quelli trasportati sul fondo. Nel nostro caso i sedimenti con dimensioni inferiori a 2Φ (0.25 mm) possono oltrepassare l'ostacolo costituito dal setto stesso ma sono instabili all'interno del porticciolo e conseguentemente si disperdono al largo.

I setti, realizzati in calcestruzzo prefabbricato ed a forma di T rovescia di altezza pari a 1.5 metri, sono stati posizionati in corrispondenza della diga foranea e della falesia, ad una profondità di 6.3 metri di profondità per

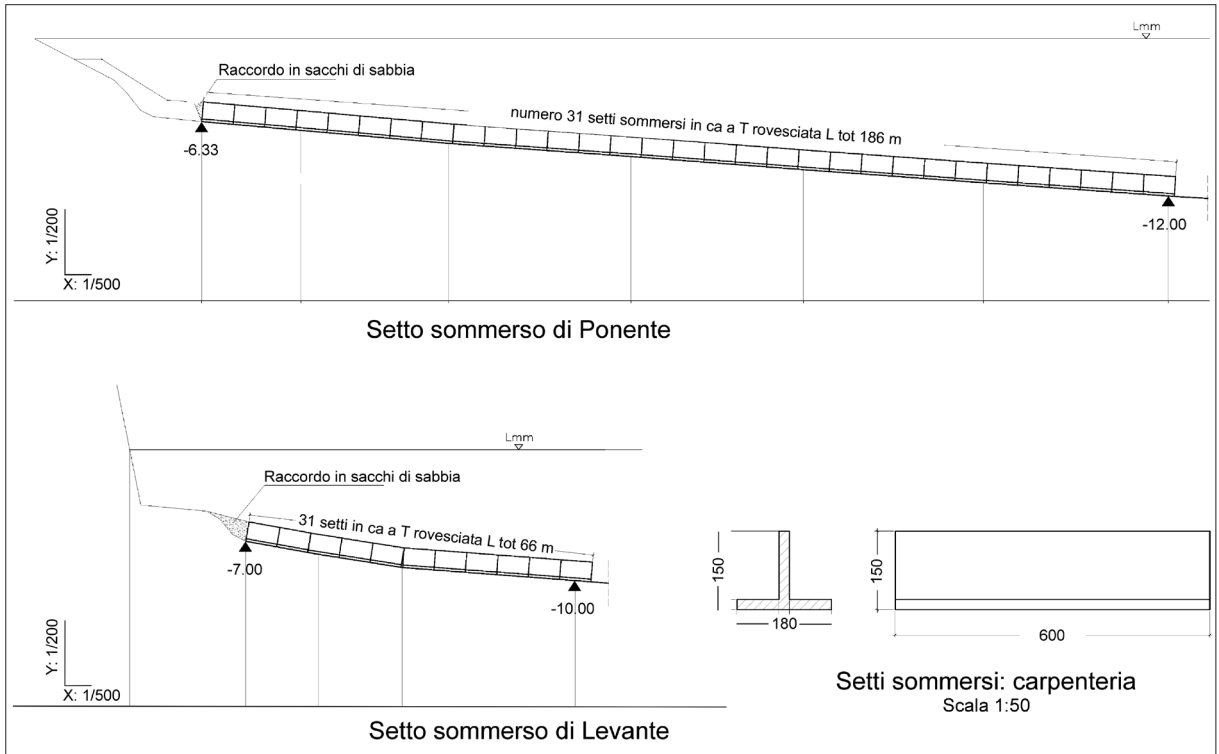


Figura 9 - Profili longitudinali e carpenteria dei setti sommersi (da A.S. Ter. mod.).

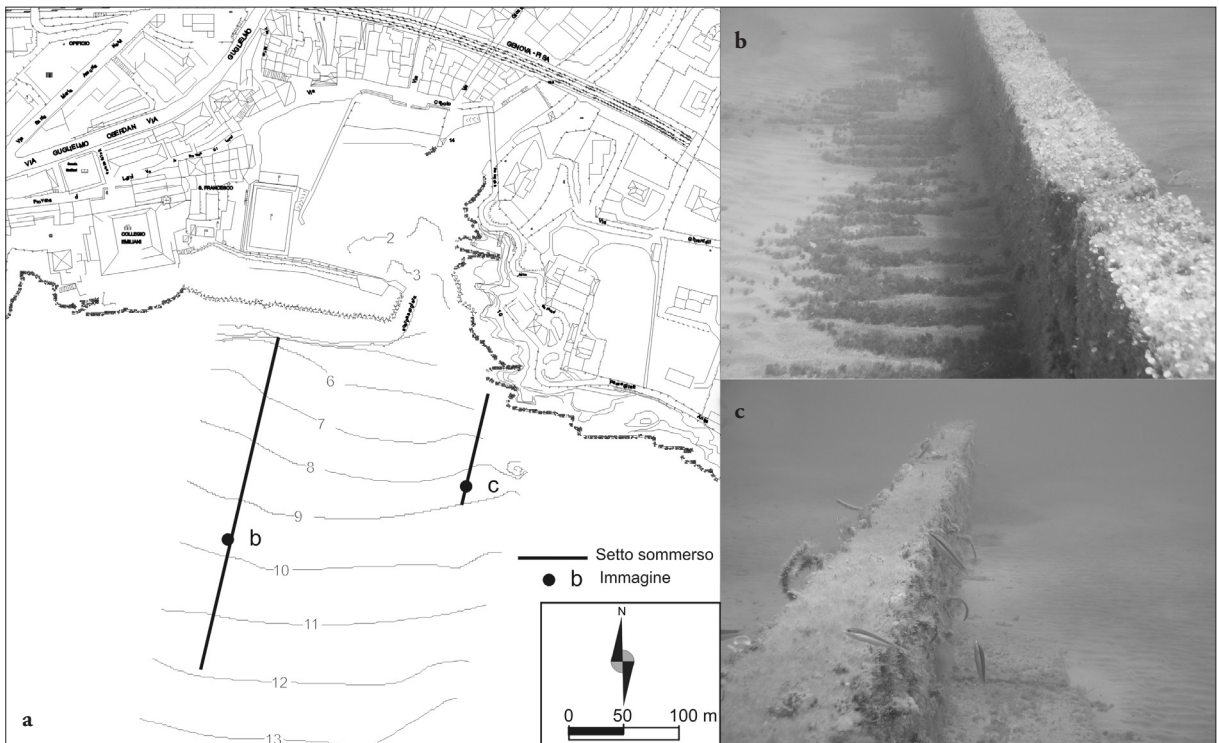


Figura 10 - Ubicazione delle strutture (a) e dettaglio del setto sommerso di ponente (b) e di levante (c); si osservi l'accumulo di sedimenti nel settore sopraflutto e la crescita algale dopo un anno dall'intervento (foto P. Campani – Nuova Idrocart).

il setto di Ponente ed a – 7 metri per quello di Levante con andamento perpendicolare alle isobate (Fig. 9). La loro estensione, calcolata in base allo studio, è di circa 200 metri cioè fino alla batimetrica dei 12 metri per il setto sommerso situato sul lato occidentale dell'imboccatura, di dimensioni inferiori (60 metri fino alla profondità di 10 metri) nel settore orientale; poiché il trasporto è ricollegabile al drift secondario di minor intensità (Fig. 10).

Conclusioni

Lo studio ha permesso di tracciare un quadro esauriente dell'assetto dinamico sedimentario dell'area indagata, e conseguentemente di spiegare i meccanismi che concorrono all'insabbiamento dello specchio portuale. Le indagini hanno permesso in primo luogo di individuare nello specchio acqueo interno la zona di deposizione dei sedimenti marini, che risultano caratterizzati da sabbie medie; inoltre è stata evidenziata la totale assenza della frazione inferiore a 2Φ (0.25 mm) all'interno della struttura portuale che evidentemente risulta instabile a causa dell'azione del moto ondoso.

Questa particolare situazione ha permesso di proporre un intervento sperimentale che offre il vantaggio di avere costi estremamente contenuti e di non avere alcun impatto paesaggistico ed ambientale. Quest'ultimo aspetto risulta essere particolarmente importante per l'area oggetto di studio, in quanto presenta delle emergenze geomorfologiche peculiari e di particolare interesse che un intervento con modalità classiche avrebbe sicuramente alterato.

I previsti rilievi di monitoraggio potranno determinare il grado di efficacia dell'opera che potrebbe costituire una soluzione estremamente valida per queste tipologie d'intervento specie nelle aree sottoposte a tutela di carattere ambientale.

Ringraziamenti

Si ringraziano l'Azienda Servizi Territoriali Genova S.p.A. (A.S.Ter.) ed il Comune di Genova per avere permesso l'utilizzo dei dati utilizzati in questa ricerca.

Bibliografia

- AA.VV. (2004) - *Wind and wave atlas of the Mediterranean sea. Western European Union, Western European Armaments Organisation Research Cell. Medatlas project*: 386 pp.
- Berriolo G. (1993) - *Interventi di riequilibrio delle spiagge della provincia di Latina*. In: Aminti e Pranzini "La difesa dei litorali in Italia". Edizioni delle Autonomie, Roma: 153-173.
- Berriolo G. (1999) - *L'intervento di riequilibrio della spiaggia di Fondi - Sperlonga*. Studi Costieri, 1: 33-41.
- Berriolo G. e Sirito G. (1973) - *Essais sur modél réduit de l'action de guides submergés sur le mouvement littoral du sable*. A.I.P.C.N.
- Aminti P., Verzoni M. (1993) - *Intervento di riequilibrio sul litorale di Cecina Mare*. In: Aminti e Pranzini "La difesa dei litorali in Italia". Edizioni delle Autonomie, Roma. 103-119.
- Cavallo C. e Ivaldi R. (2000) - *L'evoluzione storica del litorale di Genova attraverso due esempi caratteristici: Voltri e Albaro*. Atti Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia, 13: 279-288.
- Cipriani L.E., Dreni A.M., Pranzini E., (1992) - *Nearshore morphological and sedimentological evolution induced by beach restoration: a case study*. Bollettino di Oceanologia Teorica ed Applicata, X, N. 2-3-4: 279-295.
- Corradi N., Ferrari M., Schiaffino C.F. (2008) - *Evaluation of the effectiveness of a seasonal nourishment programme of the pocket beaches of the city of Genoa*. Chemistry and ecology vol. 24 suppl.1 215-223 pp.
- Ferrari M., Bollens S., Bozzano A., Fierro G., Gentile R. (2006) - *The port of Genoa - Voltri (Liguria, Italy): A case of updrift erosion*. Chemistry and Ecology, 22: 361-369.
- Ferri S. (2008) - *Risposta granulometrica della spiaggia in seguito alla costruzione di opere a mare*. Dottorato di Ricerca in Scienze della Terra XX Ciclo, Università degli Studi di Firenze, 234 pp.
- Fierro G., Piccazzo M., Corradi N., Cortemiglia G.C., Fanucci F., Firpo M. e Tucci S. (1989) - *Atlante delle Spiagge Italiane, Foglio 82 Genova*. CNR, Tipografia Selca.
- Folk R.L. (1966) - *A Review of grain size parameters*. Sedimentology, 6 :73-93.
- Folk R.L. (1968) - *Petrology of sedimentary rocks*. Hemphill's, Austin, Texas
- Folk R.L. e Ward W.C. (1957) - *Brazos river bar: a study in the significance of the grain size parameters*. Journal

- of Sedimentary Petrology, 27: 3-26.
- Friedman G.M. (1961) - *Distinction between dune, beach and river sands from their textural characteristics*. Journal of sedimentary petrology, 27: 3-26.
- Friedman G.M. (1967) - *Dynamic processes and statistical parameters compared for size frequency distributions of beach and river sands*. Journal of sedimentary Petrology, 32: 327-354.
- Gao S. e Collins M. (1992) - *Net sediment transport patterns inferred from grain - size trends, based upon definition of "transport vectors"*. Sedimentary Geology, 81: 47-60.
- Gao S. (1996) - *A fortran program for grain size trend analysis to define net sediment transport pathways*. Computer & Geoscience, 22: 449-452.
- Krumbein W.C. (1941) - *Measurement and geological significance of shape and roundness of sedimentary particles*. Journal of Sedimentary Petrology, 11: 64-72.
- Krumbein W.C., Sloss L.L. (1963) - *Stratigraphy and sedimentation*. Freeman & co, S. Francisco: 660 pp.
- Inman D.L. (1952) - *Measures for describing the size distribution of sediments*. Journal of sedimentary petrology, 22: 125-145.
- Limoncelli B. e Marini M. (1969) - *Condizioni geologico-strutturali, idrografiche e geomorfologiche del territorio urbano della città di Genova e loro riflessi applicativi*. Tamburini editore, 40 pp.
- Madsen, O.S., Grant, W.D. (1976) - *Quantitative Description of Sediment Transport by Waves*. Proceedings, Fifteenth International Coastal Engineering Conference, American Society of Civil Engineers, 2: 1093-1112.
- Mason C.C., Folk R.L. (1958) - *Differentiation of beach, dune and eolian flat environments by size analysis, Mustang Island, Texas*. Journal of Sedimentary Petrology, 55: 457-470.
- McLaren P., Bowles, D. (1985) - *The effect of sediment transport on grain size distributions*. Journal of Sedimentary petrology, 55: 457-470.
- Papa L. (1974) - *Analisi delle maree e costanti armoniche di Genova*. Istituto Idrografico della Marina, F.C. 1058, 16 pp.
- Papa L. (1978) - *A statistical investigation of low-frequency sea level variations at Genoa*. Istituto Idrografico della Marina, F.C. 1087, 13 pp.
- Pettijohn F. J. (1957) - *Sedimentary rocks*. Harper & Bros, New York: 718 pp.
- Shepard F. P. (1963) - *Submarine Geology*. Harper & Row, Evanston, 558 pp.
- Shields A. (1936) - *Anwendung der Ahnlinchkeits mechanik und der turbulenzforschung auf die Geschiebe bewegung*. Preussische Versuchsanstalt fur Wasserbau und Schiffbau, Berlin, Germany.
- Wentworth C.K. (1922) - *A scale of grade and class terms for clastic sediments*. Journal of Geology, 30: 377-392.

Ricevuto il 02/02/2010, accettato il 10/03/2011.