

ANALISI PRELIMINARE DELL'UTILIZZO DELLE SABBIE DRAGATE DAL FIUME PO PER IL RIPASCIMENTO DI SPIAGGE DEL LITORALE EMILIANO ROMAGNOLO

C. Zoppi¹ & B. Zanuttigh²

- (1) DICAM-Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e dei Materiali, Università di Bologna, Italia, e-mail: caterina.zoppi@gmail.com
(2) DICAM-Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e dei Materiali, Università di Bologna, Italia, e-mail: barbara.zanuttigh@unibo.it

SOMMARIO

Viene presentato lo studio di fattibilità di un intervento di ripascimento sul litorale Emiliano-Romagnolo mediante le sabbie periodicamente dragate a monte dello sbarramento di Isola Serafini, lungo l'asta fluviale del fiume Po.

Si valuta dapprima l'idoneità di tali sabbie ai fini del ripascimento, identificando i tratti del litorale più compatibili per granulometria e scegliendo in particolare la spiaggia di Misano Adriatico. Si effettua poi un calcolo approssimato con modello a una linea dell'entità del trasporto solido relativo al sito di studio, determinando i volumi di sabbia da versare e la frequenza periodica di intervento. Si confrontano i casi di ripascimento con sabbie relitte e con le sabbie del Po.

Si considerano infine diverse tipologie di trasporto della sabbia dal Po a Misano Adriatico, su gomma e su mezzi fluvio-marittimi, concludendo che nel primo caso gli impatti ambientali sarebbero inaccettabili mentre il secondo caso consentirebbe una soluzione competitiva con l'uso delle sabbie relitte.

1 INTRODUZIONE

Le aree costiere sono state nell'ultimo secolo oggetto di un insediamento umano crescente, dovuto allo sviluppo dei traffici marittimi e del turismo balneare, ed hanno così assunto un ruolo vitale per il benessere di molte nazioni. Negli ultimi 50 anni la popolazione residente nei comuni costieri d'Europa è più che raddoppiata raggiungendo i 70 milioni di abitanti nel 2001. Il valore complessivo dei beni situati in Europa a meno di 500 m dalla battigia è stato stimato fra 500 e 1'000 miliardi di euro nel 2000 (www.eurosion.org). I maggiori pericoli per estesi tratti della costa Europea sono l'erosione e l'allagamento (www.theseusproject.eu). Un quinto delle coste d'Europa è oggi in erosione, in alcuni casi drammatici fino a 20 m/anno. La situazione complessiva non può che peggiorare tenendo conto degli scenari climatici di medio e lungo periodo, caratterizzati dall'incremento della frequenza e dell'intensità delle mareggiate e dal previsto innalzamento del medio mare (*Alcamo et al, 2007*).

Per quanto attiene la media nazionale (*GNRAC, 2006*), si stima che la percentuale delle spiagge in erosione sia del 42%, mentre la situazione specifica del litorale Emiliano-Romagnolo si attesta al 24%. D'altra parte tale percentuale non evidenzia i

numerosi interventi di ripascimento effettuati dalla Regione Emilia Romagna dal 1983 al 2007, con i quali sono stati versati circa 8 Mm³ su una lunghezza complessiva di 130 km di litorale.

Al fine di contrastare i processi erosivi e limitare gli impatti ambientali, si ricorre sempre più frequentemente alla pratica del ripascimento, che tuttavia richiede volumi sempre maggiori di sabbia. Per questo diviene fondamentale una pianificazione strategica di interventi combinati di dragaggio e ripascimento (www.beachmed.eu, www.conscience.org), nonché la ricerca di nuove fonti alternative alle cave a terra.

L'utilizzo di sabbia presente nei depositi off-shore è pratica comune in diversi paesi Europei (*Van Dalssen et al.*, 2000). In Italia questa tecnica è stata utilizzata per la prima volta nel 1995 dal Consorzio Venezia Nuova, per la protezione dei litorali della laguna di Venezia (*Cecconi et al.*, 2000). In Emilia-Romagna sono stati realizzati due cospicui versamenti con sabbie dragate al largo, nel 2002 e nel 2007 (*Preti*, 2002 e 2008). Tuttavia le ultime indagini relative al Nord Adriatico hanno rilevato la presenza di materiale compatibile piuttosto fine, maggiormente idoneo a ripascimenti sulla spiaggia sommersa (*Zanuttigh & Zoppi*, 2012).

Questo contributo esamina l'opportunità di individuare una fonte di sabbia alternativa, valutando in particolare la fattibilità dell'impiego di sabbie periodicamente dragate lungo l'asta fluviale del Po per il ripascimento di spiagge del litorale Emiliano-Romagnolo.

Il contributo dapprima considera la disponibilità delle sabbie del Po (Sezione 2). In particolare, a monte dello sbarramento di Isola Serafini si assiste ad un consistente accumulo di materiale (*Spezzani*, 2009) che necessita di essere dragato al fine di mantenere la navigabilità del corso d'acqua. Si ipotizza dunque la possibilità di un intervento di ripascimento con tali sabbie avendo individuato come sito di intervento la spiaggia di Misano Adriatico, lungo il litorale Emiliano-Romagnolo (Sezione 3). Tramite un modello matematico semplificato ad una linea, si stima il trasporto lungo riva medio annuo in caso di ripascimento con sabbie relitte e con sabbie del Po, per confrontare la durata dell'intervento a parità di volume versato. Infine, si valuta la fattibilità in termini economici dell'intervento, anche in relazione ai costi del trasporto (Sezione 4).

2 FONTI DI SABBIA ALTERNATIVA: LE SABBIE DEL PO

2.1 La fonte di sabbia in Emilia Romagna

La fascia costiera dell'Emilia-Romagna è un territorio alluvionale attraversato da numerosi fiumi di origine appenninica e chiusa sul lato Nord dal fiume Po che si spinge in mare per 23 km (*Preti*, 2009).

Fino alla metà del secolo scorso, quando le precipitazioni erano molto abbondanti e il trasporto di sedimenti al mare da parte dei fiumi molto elevato, la sabbia era un materiale molto comune. Con lo sviluppo economico degli anni '60, i depositi di sabbia e ghiaia sono stati quasi del tutto esauriti per scopi edili. Negli anni '80, le Autorità pubbliche hanno quindi dovuto bloccare le escavazioni in alveo e le imprese di estrazione si sono trovate a ricercare fonti di prelievo alternative a terra. Agli inizi degli anni 2000 il materiale sabbioso proveniente da cave a terra e utilizzato per il ripascimento ha raggiunto e superato i 20 €/m³: la sabbia non poteva più essere considerata un materiale povero. Per questo è stata avviata una ricerca di altre fonti tra

cui la presenza di accumuli di sabbia in mare (Preti, 2002): si sono così individuati 6 dossi sabbiosi situati tra i 34 e i 40 m di profondità, distanti 35-60 km dalla costa e costituiti da sabbie con un diametro medio d_{50} che varia tra 0.16 e 0.20 mm, del tutto compatibile con le spiagge. Tale intervento si è diffuso a tutti i livelli con l'appellativo di "Progettone". Nel 2007 la Regione ha realizzato il secondo intervento con sabbie sottomarine che in analogia con il primo viene comunemente chiamato "Progettone 2".

Se le sabbie sottomarine possono rappresentare una valida alternativa alle sabbie prelevate da cave a terra, ci si chiede se non sia possibile considerare una nuova fonte di approvvigionamento: la sabbia da dragare periodicamente dal fiume Po.

2.2 Caratteristiche granulometriche delle sabbie del Po

Il corso d'acqua per un'estensione di 490 km è stato suddiviso in 9 "tratti omogenei": dal "tratto omogeneo A" al "tratto omogeneo I" (Autorità di Bacino del fiume Po, 2002-2005). Per ognuno di questi sono state prese in esame le analisi granulometriche delle sabbie che hanno fornito composizione granulometrica dei campioni, mineralogia e litologia dei componenti sabbiosi.

Da tali analisi si è evidenziato che la sabbia di idonee caratteristiche ai fini del ripascimento sul litorale Emiliano Romagnolo è quella presente nel "tratto omogeneo D", tratto Trebbia-Adda, nel quale è presente lo sbarramento di Isola Serafini. Tale tratto è caratterizzato dalla presenza di depositi sabbiosi ben selezionati, da grossolani a molto fini, con un diametro medio di 0.6 mm (Figura 1).



Figura 1. Particolare delle sabbie presenti nel "tratto omogeneo D" (Trebbia-Adda), nel quale è presente lo sbarramento di Isola Serafini.

La presenza dello sbarramento di Isola Serafini, situato lungo il corso del fiume Po, determina un passaggio a valle di un ridotto quantitativo di sabbia, stimabile nell'ordine di 0.2-0.3 Mm³/anno (Spezzani, 2009). Il materiale, accumulato a monte dello sbarramento, necessita di essere dragato al fine di mantenere la navigabilità e può quindi considerarsi materiale demaniale da riutilizzarsi anche per ripascimenti.

Valutate la disponibilità e l'idoneità delle sabbie per i ripascimenti è stato identificato un sito d'intervento: la spiaggia di Misano Adriatico caratterizzata da un diametro medio della sabbia di 0.2 mm.

3 IPOTESI DI INTERVENTO DI RIPASCIMENTO A MISANO ADRIATICO

3.1 Descrizione sintetica del sito

Misano Adriatico è una località di circa 12'000 abitanti che basa la propria economia locale sul turismo estivo. Confina a nord con il Comune di Riccione, mentre l'estremità meridionale, rappresentata da Portoverde, è separata dal Comune di Cattolica dal torrente Conca. Il Comune ha complessivamente un fronte a mare di 3'200 m quasi interamente protetto da opere di difesa rigida. Trascurando l'area di foce del Conca e l'imboccatura di Portoverde la successione delle opere è la seguente (Figura 2):

- 300 m di scogliera radente a protezione dell'abitato di Portoverde;
- 26 pennelli (1971-1977) in calcestruzzo a protezione di un tratto di 1'600 m di litorale;
- barriera sommersa in sacchi pieni di sabbia (1983-1984) in corrispondenza del tratto protetto con pennelli;
- 7 scogliere parallele a mare a protezione dei 700 m di litorale più prossimi al confine con Riccione.



Figura 2. Opere di difesa a Misano Adriatico.

3.2 Elaborazione del clima meteomarinico del paraggio

Per poter procedere con l'analisi del trasporto solido di materiale lungo riva, occorre conoscere il clima rappresentativo del paraggio.

I dati necessari per la ricostruzione del clima meteomarinico provengono tutti dalla boa di rilevazione della stazione metanifera Azalea prospiciente alla città di Rimini. Le

registrazioni, pervenuteci ad intervalli regolari di mezz'ora, sono relative al periodo dall'1 gennaio 1993 al 31 dicembre 2002 e riguardano dati meteorologici quali: temperatura, umidità dell'aria, radiazione solare, velocità e direzione del vento, dati ondametrici quali altezza d'onda significativa e altezza d'onda massima, periodo significativo e periodo massimo, livello del medio mare, dati correntometrici.

Sulla base dei dati disponibili, si evidenzia che il settore prevalente è quello di Bora e le onde più frequenti hanno altezza significativa H_s nell'intervallo 0.25-1.00 m, con una frequenza relativa pari al 60.3%.

Per semplicità di calcolo si è ricostruito il clima annuale tipico – energeticamente equivalente – a Misano, mediante alcune onde rappresentative (16 onde), Tabella 1, tenendo conto della propagazione delle onde da largo a riva e della esposizione della costa (settore 330-120°N). La tabella è stata ottenuta accorpando le classi adiacenti, là dove la frequenza è modesta, e determinando i valori medi pesati sulla frequenza di altezza d'onda (H_s), direzione (Dir) e periodo (T_p).

H_s [m]	Frequenza [%]	T_p [s]	Direzione [°]
0.25	7.00	3.00	37.80
0.25	14.00	3.00	66.04
0.25	15.00	3.00	106.65
0.25	7.00	3.00	348.44
0.75	2.00	4.00	23.53
0.75	7.00	4.00	86.15
0.75	3.00	4.00	338.95
1.25	1.00	5.00	8.43
1.25	2.00	5.00	65.77
1.25	2.00	5.00	107.63
1.75	0.20	5.50	3.92
1.75	1.50	5.50	61.37
1.75	0.20	5.50	102.51
2.25	1.00	6.50	60.44
2.75	0.40	7.00	56.25
3.25	0.10	7.50	55.48

Tabella 1. Clima tipico ricostruito con H_s , altezza d'onda, frequenza di accadimento, T_p , periodo e direzione.

3.3 Valutazione del trasporto solido

Una volta elaborati i dati relativi al clima meteomarinario del paraggio, si può

procedere con il calcolo del trasporto solido del materiale a riva.

L'obiettivo è quello di quantificare il trasporto solido della spiaggia di Misano Adriatico nei due casi di ripascimento, con sabbia di diametro pari al profilo nativo, $d_{50}=0.2$ mm, e sabbia proveniente dal fiume Po, $d_{50}=0.6$ mm.

Per il calcolo del trasporto solido, esistono numerose formulazioni su base semi-empirica. Nel caso in esame, si adotta la formula di Kamphuis (*Kamphuis*, 1991):

$$\frac{I_s}{\rho g H_{sb}^3 / T_p} = 1,3 \times 10^{-3} \left(\frac{H_{sb}}{L_{op}} \right)^{-1,25} \frac{H_{sb}}{d_{n50}} (\tan \alpha)^{0,75} \sin 2\beta^{0,6} \quad (1)$$

La equazione (1) viene applicata nelle seguenti ipotesi semplificative:

- che la spiaggia sia già in condizioni di equilibrio, cosa non vera nel periodo successivo al ripascimento; il profilo di spiaggia segue dunque il profilo di Brunn (*Bruun*, 1954) con parametro $A=2.25 (w^2/g)^{1/3}=0.2$; con velocità di caduta $w=0.08$ m/s.
- che il versamento si estenda indefinitamente da riva fino alla profondità di chiusura (*Hallermeier*, 1985) e dunque il diametro d_{50} assunto nel calcolo è costante su tutta l'area (pari a 0.2 o 0.6 mm in tutta la zona di interesse);
- che il trasporto avvenga principalmente lungo riva;
- che si trascuri la distribuzione spaziale e verticale del sedimento.

La presenza di opere, in realtà molto massiccia a Misano, non è rappresentata mediante l'uso sistematico della formula di Kamphuis (1); si tiene conto indirettamente della presenza delle opere andando a calibrare i pesi relativi alle frequenze delle singole onde sulla base dei dati storici del trasporto solido nell'area (*Preti*, 2009).

Si applica l'equazione (1) per ciascuna delle 16 onde in Tabella 1 e per ognuno dei diametri interessati $d_{50}=0.2$ e 0.6 mm, utilizzando i seguenti valori:

- densità della sabbia $\rho_s=2650$ kg/m³; densità dell'acqua di mare $\rho_w=1025$ kg/m³;
- accelerazione di gravità $g=9.81$ m/s²;
- porosità $n=0.4$;
- direzione dell'onda β da Tabella 1, tenendo conto che la perpendicolare a riva è inclinata di 30° N;
- indice di frangimento $\gamma_b = 0.6$;
- pendenza media della zona dei frangenti $\alpha=0.10$.

Per convenzione si considera positivo il trasporto da Nord a Sud. Si ottengono i valori di trasporto solido medio annuo pari a -48'151 m³/anno e a -18'816 m³/anno rispettivamente nel caso di $d_{50}=0.2$ mm e $d_{50}=0.6$ mm. Il primo valore è molto prossimo al volume di materiale perso all'interno della cella protetta, di circa 40'000 m³/anno, ottenuto dalle campagne di monitoraggio.

Confrontando i due valori, si osserva come nel secondo caso il trasporto si sia ridotto di un fattore 2-3. Se si tiene conto delle semplificazioni di questo approccio (i.e. la spiaggia già in equilibrio e il diametro costante), è opportuno considerare una differenza di efficienza dei due ripascimenti non superiore ad un fattore 2.

Considerata la perdita stimata nella cella protetta, è bene progettare l'intervento di ripascimento con un volume non inferiore al volume di sabbia persa annualmente e con una durata superiore all'anno onde evitare manutenzioni frequenti che impattano sull'ambiente (in particolare, sulle popolazioni bentoniche, *Nicoletti et al.*, 2006). Si fissa dunque un volume di ripascimento a progetto di 100'000 m³. Fissato questo

volume, sulla base delle stime effettuate, il ripascimento con sabbia $d_{50}=0.2$ mm dovrà ripetersi ogni 2 anni, mentre quello con sabbia $d_{50}=0.6$ mm potrà avere durata fino a 5 anni.

Questa maggiore durata è peraltro perfettamente compatibile con la frequenza di estrazioni dal fiume Po che non può essere inferiore ai 3 anni, in base alla disponibilità di materiale accumulato dietro lo sbarramento ed agli elevati costi di dragaggio e trasporto. E' inoltre buona norma prevedere un monitoraggio annuale, per valutare se si verificano o meno condizioni per un ulteriore versamento.

4 IPOTESI DI TRASPORTO DELLE SABBIE DEL PO DA ISOLA SERAFINI A MISANO ADRIATICO

Una volta definite la compatibilità delle sabbie presenti a Isola Serafini con quelle di Misano Adriatico, l'entità del trasporto solido lungo riva e la quantità di sabbia da portare a ripascimento ($100'000$ m³ ogni 5 anni), è necessario valutare il sistema di trasporto migliore in termini economici ed ambientali.

Le ipotesi fatte sono due:

- trasporto su gomma: da Isola Serafini a Misano Adriatico;
- trasporto fluvio-marittimo: da Isola Serafini a Porto Garibaldi: fluviale; da Porto Garibaldi a Misano Adriatico: marittimo.

In entrambi i casi sono stati individuati i mezzi disponibili al trasporto di sabbia e i costi relativi al carico, alla lunghezza del percorso e i tracciati possibili. Poiché la sabbia prelevata sul fiume Po è ipotizzabile come demaniale, per determinare il costo di quest'ultima si fa riferimento unicamente al prezzo del trasporto che andrà poi confrontato con i prezzi dei materiali reperibili dalle fonti oggi in uso.

Nella Tabella 2 si riporta il confronto tra i due diversi tipi di trasporto considerati.

	Trasporto su Gomma	Trasporto fluivo-marittimo	
Quantità di sabbia [t]	165'000	165'000	
		Tratta Fluviale	Tratta Marittima
Lunghezza percorso	290 km	150 miglia	45 miglia
Costo per mezzo	650 €/camion	2000 €/giorno	6500 €/giorno
N° viaggi	5300	280	100
Costo Parziale [M€]	3.4	1.12	0.65
Costo Totale [M€]	3.4	1.77	

Tabella 2. Confronto tra trasporto su gomma e trasporto fluvio-marittimo.

Per quanto attiene il trasporto su gomma si evince come questo sia impensabile sia in termini economici che di inquinamento. Nel caso di trasporto fluvio-marittimo, si osserva che complessivamente il prezzo della sabbia è di 10.99 €/t o 18.1 €/m³.

Per valutare se l'intervento sia economicamente vantaggioso o meno, occorre eseguire un confronto con le altre due fonti di approvvigionamento esistenti (*Preti*, 2009): cave a terra (20 €/ m³) e depositi sottomarini (15 €/ m³). Il costo (per metro cubo) della sabbia del Po è dunque inferiore al costo della sabbia proveniente dalle cave a terra, mentre è superiore a quello delle sabbie sottomarine.

Si deve però considerare che l'utilizzo di sabbia prelevata dal Po consente, a parità di volumi portati a ripascimento, una maggiore durata dell'intervento risultando conveniente se si confrontano i costi medi annui di trasporto e posa in opera (Tabella 3).

	Sabbia $d_{50}=0.2$ mm	Sabbia $d_{50}=0.6$ mm
Volume di sabbia [m³]	100'000	100'000
Durata dell'intervento [anni]	2	5
Costo della sabbia [€/m³]	15	18.1
Costo Totale Trasporto e Posa in Opera [€/anno]	775'000	352'000

Tabella 3. Confronto del costo totale di trasporto e posa in opera nel caso di sabbie con granulometria 0.2 mm (ipotesi semplificativa e non cautelativa, dato che le sabbie relitte hanno tipicamente $d_{50}=0.15$ mm nelle nuove cave di prestito) e 0.6 mm (sabbia del Po).

5 CONCLUSIONI

Si è esaminata una soluzione alternativa alle fonti di approvvigionamento dei materiali da ripascimento, consistente nel riutilizzo di sabbie che andrebbero comunque dragate periodicamente dallo sbarramento di Isola Serafini nel fiume Po.

Mediante un modello semplificato ad una linea si è determinato che – a parità di volume portato a ripascimento e di paraggio considerato (Misano Adriatico) – un intervento con le sabbie del Po ($d_{50}=0.6$ mm) può essere effettuato ogni 5 anni, anziché ogni 2 anni, come accade utilizzando sabbie di cava o relitte ($d_{50}=0.2$ mm).

Si è valutata la fattibilità economica di tale intervento, considerando di trasportare il materiale del Po su gomma o con mezzi fluvio-marittimi. La prima soluzione appare del tutto inadeguata sia dal punto di vista economico che ambientale. La seconda alternativa di trasporto, quello fluvio-marittimo, comporta un costo complessivo della sabbia da portare a ripascimento pari a 18.1 €/m³, nettamente superiore a quello delle sabbie relitte (15 €/m³). Tuttavia, considerando la diversa frequenza con cui si deve effettuare il versamento, inferiore almeno di un fattore 2 nel caso delle sabbie del Po, il costo complessivo annuo di intervento risulta significativamente inferiore (in particolare 352'000 €/anno rispetto a 775'000 €/anno con le sabbie relitte), determinando quindi una valutazione di fattibilità sicuramente positiva.

BIBLIOGRAFIA

- Alcamo, J, Floerke, M., Maerker, M. Future long-term changes in global water resources driven by socio-economic and climatic changes, *Hydrological Sciences Journal*, 52: 247-275, 2007.
- Autorità di Bacino del Fiume Po. Recupero morfologico ed ambientale del fiume Po.
- Autorità di Bacino del fiume Po. Aggiornamento delle analisi morfologiche e del bilancio del trasporto solido dell'asta del fiume Po da confluenza Stura di Lanzo all'incile del delta (periodo 2002-2005) e report di valutazione.
- Bruun, P. Coast erosion and the development of beach profiles. Technical Memorandum, vol. 44. Beach Erosion Board, Corps of Engineers, p. 82, 1954.
- Cecconi G., Ardone V. La protezione dell'ambiente lagunare costiero veneziano, *Mare e*

- cambiamenti globali*, 2000.
- Consorzio Navigare sul Po. La navigazione sul fiume Po.
- Dean, R.G. Equilibrium beach profiles: U.S. Atlantic and Gulf coasts. Technical Report No. 12, Department of Civil Engineering, University of Delaware, 45pp, 1977.
- EuroSION Portal, a European initiative for sustainable coastal erosion management, www.euroSION.org.
- Galvani, I. Il trasporto merci nel Po e nell' Idrovia Feffarese, ARNI Azienda Regionale per la Navigazione Interna.
- GNRAC. Studi Costieri n. 10, 2006.
- Hallermeier, R.J. Unified modelling guidance based on a sedimentation parameter beach change. *Coastal Engineering* 9 (1), 37-70 , doi:10.1016/0378- 3839(85)90026-2, 1985.
- Kamphuis, J.W. Physical modeling. In: Herbich, J.B. (Ed.), *Handbook of Coastal and Ocean Engineering*, vol. 2. Gulf Publishing Company, Houston, TX, 1991.
- Marullo, A. Dissesto altimetrico del fiume Po e ipotesi di riutilizzo delle sabbie di dragaggio per il ripascimento del litorale.
- Molinari, V. Piano del trasporto merci della logistica.
- Nicoletti L., Paganelli D., Gabellini M., *Aspetti ambientali di dragaggio di sabbie relitte a fini di ripascimento: proposta di un protocollo di monitoraggio*, I quaderni ICRAM, 2006.
- Preti, M. Ripascimento di spiagge con sabbie sottomarine, ARPA, 2002.
- Preti, M. Stato del litorale Emiliano-Romagnolo all'anno 2007 e piano decennale di gestione, *Quaderni ARPA - Regione Emilia Romagna*, 2008.
- Progetto Theseus, www.theseusproject.eu.
- Spezzani P., Di Baldassarre G., Montanari A. Idraulica del Po e scenari di trasporto solido allo stato attuale e in presenza di sbarramenti, *ARPA rivista n.4 luglio-agosto*, 2009.
- Tomasicchio, U. *Manuale di ingegneria portuale e costiera*, HOEPLI, Milano, 2011
- Van Dalfsen, J.A., Essink K., Toxvig Madsen H., Birklund J., Romero J., Manzanera M. Differential responses of macrozoobenthos to marine sand extraction in the North Sea and the Western Mediterranean, *ICES J. Mar. Sci.*, 57, 2000.
- Zanutigh, B. *Idraulica Marittima*. edito da ALMA-DL Alma Mater Università di Bologna e depositato presso la BNCF, 2006.
- Zanutigh, B., Zoppi, C. *Modellazione numerica 2dh di interventi di ripascimento sottocosta*, 2012