

# Studi costieri

Dinamica e difesa dei litorali - Gestione integrata della fascia costiera

N. 23  
2016



# Studi costieri

**Dinamica dei litorali - Gestione integrata della fascia costiera**

Collana diretta da:

**Enzo Pranzini**

Dipartimento di Scienze della Terra  
Via Micheli, 6 - 50121 Firenze  
Tel. 055 2756547

Redazione: **Marco Piccardi**

m.piccardi@tin.it

## **Comitato scientifico**

Segreteria: **Pierluigi Aminti**

Dipartimento di Ingegneria civile  
Via S. Marta, 3 - 50139 Firenze  
Tel. 055 2758840  
E-mail: aminti@dicea.unifi.it

**Carl Leonetto Amos** - Southampton (UK)

**Giorgio Anfuso** - Cadice (Spagna)

**Edoardo Benassai** - Napoli

**Antonio Brambati** - Trieste

**Mario Calabrese** - Napoli

**Lorenzo Cappietti** - Firenze

**Nicola Corradi** - Genova

**Leandro D'Alessandro** - Chieti

**Giuliano Fierro** - Genova

**Leopoldo Franco** - Roma

**Giovan Battista La Monica** - Roma

**Alberto Lamberti** - Bologna

**Elvidio Lupia Palmieri** - Roma

**Alessandro Mancinelli**, Ancona

**Alberto Noli** - Roma

**André Ozer** - Liegi (Belgio)

**Piero Ruol** - Padova

**Giulio Scarsi** - Genova

**Umberto Simeoni** - Ferrara

**Adrian Stanica** - Bucarest (Romania)

**Sandro Stura** - Genova

**Giuseppe Roberto Tomasicchio** - Bari

**Lilian Wetzel** - Rio Grande (Brasile)

Stampato presso  
**Tipografia Il Bandino**

# Studi costieri

**Dinamica dei litorali - Gestione integrata della fascia costiera**

**Numero 23**

## Indice

Studio dell'evoluzione del litorale pisano tramite rilievi con GPS differenziale (2008-2014) Nicola Casarosa	p. 3 - 20
Le foci del Serchio e del Fiume Morto nelle restituzioni cartografiche pre-geodetiche Marco Piccardi ed Enzo Pranzini	p. 21 - 58
G3 - 2014 e G3 - 2015 Lorenzo Cappietti	p. 59
Master Plan degli interventi di mitigazione del rischio di erosione costiera in Calabria Giuseppe Barbaro	p. 61 - 68
Valutazione dello stato di conservazione delle praterie di Posidonia oceanica di Ospedaletti (IM) mediante l'utilizzo di modelli predittivi Gloria Misson	p. 69 - 76
Modellazione fisica e numerica di un canale di rip Alessandro Capobianco	p. 77 - 78
Monitoraggio degli arenili: breve speculazione sulla qualità dei dati Fanny Kihlgren	p. 79 - 80
Marina di Pisa: ripristino della funzionalità difensiva delle barriere emerse Ilaria Nieri	p. 81 - 82
Assessment and prediction of coastline erosion using airborne Lidar: an example from the East Sussex, UK Luigi Parente	p. 83 - 84
Carichi d'onda agenti su una turbina eolica off-shore. Analisi numeriche e sperimentali Maria Letizia Pecora	p. 85 - 86
Indagine sperimentale sulla portata di overtopping di un muro paraonde protetto da berma Daniela Salerno	p. 87 - 88
Studio di fattibilità per la realizzazione degli interventi necessari alla difesa delle coste per la ridefinizione degli equilibri ambientali nelle aree a rischio di erosione nel settore Nord Occidentale della Sardegna Alice Scanu	p. 89 - 90
Confronto fra le distribuzioni di Weibull e generalizzata di Pareto nell'analisi delle altezze d'onda estreme Massimiliano Ventroni	p. 91 - 92

Valutazione dell'efficacia degli impianti di depurazione: aspetti chimici e biologici ed importanza dell'approccio biotecnologico Francesca Zuardi, Simona Panariello, Rosanna Brienza	p. 93 - 94
Erosione al piede delle strutture di banchina prodotta dai propulsori navali Antonio Francone, A. Mujal e X. Gironella	p. 95 - 102
Individuazione delle <i>rip currents</i> : sviluppo, validazione e valutazione mediante l'utilizzo di modello numerico e immagini video-derivate Luca Carpi	p. 103 - 104
Modelli di trasporto sedimentario in ambiente costiero basati sulle caratteristiche tessiturali Irene Cinelli	p. 105 - 106
Progetto e realizzazione di un sistema client-server per la gestione di dati ondametrici Davide Samuele Franchi	p. 107 - 108
Medonia Clelia De Simone	p. 109 - 110
Studio propedeutico alla progettazione di un'opera di difesa della falesia tramite l'utilizzo del modello matematico XBeach-G Elisa Mammi	p. 111 - 112
Mappatura dei <i>beach ridges</i> nel delta del Fiume Ombrone (Toscana) Irene Mammi	p. 113 - 114
Modellistica numerica per la ricostruzione del moto ondoso nel Mediterraneo Dario Pelli	p. 115 - 116
La cartografia storica per la lettura della dinamica dei litorali (secc. XVI-XIX) L'esempio di Bocca d'Arno Marco Piccardi	p. 117 - 118
Il Porto di Venezia: passato, presente e futuro Nicola Torricella e Gianluca Artuso	p. 119 - 121
Gruppo Nazionale per la Ricerca sull'Ambiente Costiero. Statuto	p. 123 - 125
Norme per gli Autori	p. 126 - 127

Gruppo Nazionale per la  
Ricerca sull'Ambiente Costiero

ISSN 1129-8588

## Studio dell'evoluzione del litorale pisano tramite rilievi con GPS differenziale (2008-2014)

Nicola Casarosa

nicolacasarosa@hotmail.com

### Riassunto

I processi erosivi, già in atto alla fine del '800 sul litorale pisano, hanno subito un'intensa accelerazione nei primi anni '20 del secolo scorso, con profonde differenze fra i due tratti di litorale posti a nord e sud della foce del F. Arno. Rilievi effettuati fra il 2008 e il 2014 hanno permesso di evidenziare scostamenti dai trend "storici" di spostamento medio della linea di riva rispetto al periodo precedente 1938-2004.

Il tratto meridionale presenta, nel suo insieme, una leggera rotazione con una parte centrale mediamente stabile ed i due estremi con evoluzione opposta (rispettivamente +1 m/a tratto estremo Sud e -2 m/a tratto estremo Nord). Complessivamente si ha una progradazione media pari +0,33 m/a, contro quella di +0,61 m/a del periodo 1938-2004.

La costa posta a nord di Bocca d'Arno può essere divisa in due parti: fino alla foce del F. Serchio è caratterizzata da una forte erosione (-1,99 m/a), mentre quella che si spinge fino a Torre del Lago risulta in evidente progradazione (+6,63 m/a).

Fra le foci dell'Arno e del Serchio alcune opere di difesa realizzate negli anni '60 e all'inizio di questo secolo interagiscono con la dinamica sedimentaria: la spiaggia posta subito a nord di Bocca d'Arno è stata stabilizzata all'inizio degli anni 2000 con pennelli prolungati con setti sommersi, mentre quella posta fra il Gombo e il Serchio mostra una crescente accelerazione dei processi erosivi nonostante la presenza di vecchie scogliere parallele e di nuove opere realizzate con geocontenitori. A nord del pennello di foce del F. Morto Nuovo l'arretramento medio della linea di riva procede con un tasso di circa 5 m/a, con importanti demolizioni degli apparati dunali frontali, raggiungendo nel periodo 2008-2014 un valore mai registrato nel periodo 1938-2004.

**Parole chiave:** linea di riva, GPS differenziale, difese costiere, litorale pisano

### Abstract

*The erosive processes, started at the end of the XIX century on the Pisan coast, have undergone intense acceleration in the early '20s of last century, with strong differences between the two coastal segments to the north and south of the mouth of the R. Arno. Surveys carried out between 2008 and 2014 allowed to evidence deviations from the average "historical" trend of the shoreline displacement from the previous period 1938-2004. The southern part presents, as a whole, a slight rotation with a stable central part and the two extremes with opposite evolution (respectively +1 m/yr to extreme tract South and -2 m/yr to extreme tract North). Overall, there is an average progradation of +0.33 m/yr, compared to +0.61 m/yr of the 1938-2004 period. The coast to the North of Bocca d'Arno can be divided into two parts: the one to the mouth of R. Serchio is characterized by a strong erosion (-1.99 m/yr), while the one that goes up to Torre del Lago shows a strong progradation (+6.63 m/yr). Between the mouths of the R. Arno and the R. Serchio some shore protections made in the 60s and at the beginning of this century interact with the sedimentary dynamics: the beach just north of Bocca d'Arno was stabilized*

*at the beginning 2000s with short groins with submerged extensions, while the stretch between Gombo shows an increasing acceleration of erosive processes despite the presence of old detached breakwaters and new structures built by geobag. To the North of the jetty of the R. Morto Nuovo the average retreat of the shoreline proceeds at a rate of approximately 5 m/yr, with foredune demolition and reaching, over the period 2008-2014, a value never recorded in the period 1938-2004.*

**Key words:** shoreline, differential GPS, shore protection, Pisa coast

## Introduzione

Il litorale pisano, che si estende per circa 25 km dal Porto di Livorno a Marina di Torre del Lago (Lucca), mostra caratteristiche geomorfologiche e paesaggistiche uniche, nonché diverse tendenze evolutive che spiegano l'elevato numero di studi condotti sulla variazione della linea di riva in questa area a partire dai primi del '900; effettuati essenzialmente tramite documenti cartografici storici, rilievi diretti e immagini telerilevate (Toniolo, 1910, 1927; Albani, 1940; Vittorini, 1977; Federici, 1983; Palla, 1983a, 1983b; Pranzini, 1983, 2001, 2004, 2008; Noli e Franco, 1989; Milano, 1994; Cipriani et al., 2001; Bini et al., 2008; Sarti et al., 2010). La Provincia di Pisa dal 2008 ha attivato un servizio di monitoraggio costiero che ha permesso di acquisire annualmente, nel periodo 2008-2014, la linea di riva del litorale pisano e la morfologia dei fondali antistanti tramite rilievi batimetrici. Il presente lavoro si inserisce nella numerosa bibliografia con dati inediti ed aggiornati del litorale pisano e si propone di quantificare i tassi di spostamento medio della linea di riva dell'ultimo decennio.

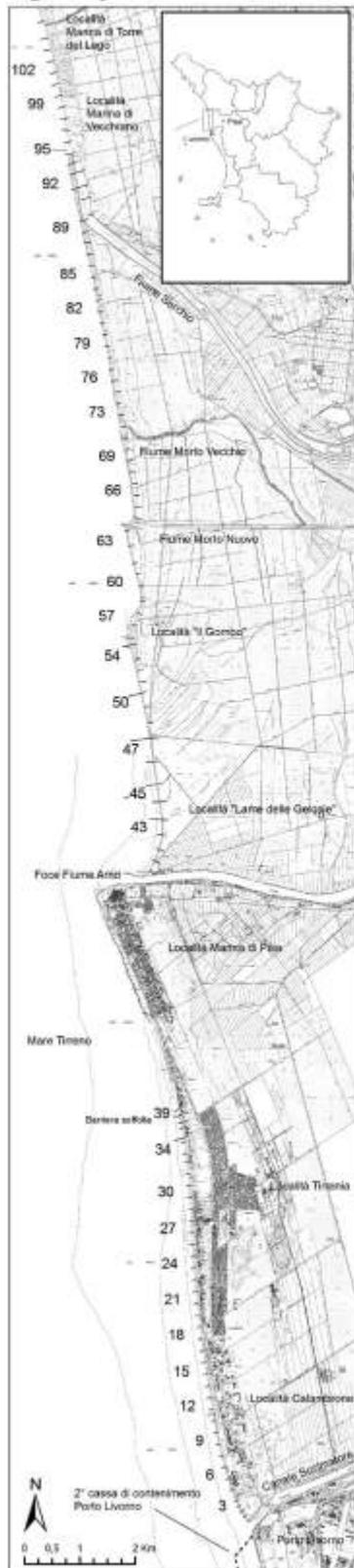
L'indagine impostata su di un arco temporale ridotto di sei anni, ma con frequenza di monitoraggio annuale e una "alta" risoluzione spaziale delle indagini (Pranzini e Simonetti, 2008), si discosta dai numerosi lavori precedenti basati su dati con frequenza temporale superiore all'anno e permette di quantificare variazioni contenute dei tassi di spostamento medio della linea di riva ed evidenziare i meccanismi di trasporto litoraneo per settori di ridotta lunghezza. Il bilancio areale complessivo 2008-2014, esteso ai due tratti meridionale e settentrionale del litorale pisano, permette inoltre di valutare eventuali scostamenti nei trend storici individuati da studi precedenti e fornisce una stima aggiornata delle variazioni areali di spiaggia emersa in relazione alla presenza in alcuni tratti di strutture antropiche e difensive.

## Inquadramento geografico

Il litorale pisano, posto nel tratto meridionale dell'unità fisiografica costiera della Toscana settentrionale che si estende da Livorno a Bocca di Magra (Aiello et al., 1976), presenta due corsi d'acqua principali, i fiumi Arno e Serchio (Fig. 1). La foce dell'Arno divide il litorale in un tratto meridionale ed uno settentrionale, delimitati rispettivamente dal Canale Scolmatore e dal Canale della Bufalina. A ridosso dei depositi di spiaggia attuale la pianura costiera presenta numerosi cordoni dunali (Federici e Mazzanti, 1993; Pranzini, 2007; Sarti et al., 2010), che risultano antropizzati e parzialmente demoliti nel tratto meridionale, mentre sono preservati in quello settentrionale. Il settore meridionale è caratterizzato dalla presenza delle Secche della Meloria, poste a circa 3 miglia a largo di Livorno: si tratta di un banco roccioso ampio circa 40 km<sup>2</sup>, a forma di triangolo equilatero, con profondità variabile da un minimo di 1.5 m fino a circa 50 m (Casarosa et al., 2011), che condiziona la propagazione del moto ondoso a costa. Le località di Calambrone, Tirrenia e Marina di Pisa, interessate da numerose infrastrutture turistiche, mostrano un elevato grado di antropizzazione, mentre il tratto posto a nord della Foce dell'Arno mantiene discrete caratteristiche di naturalità.

L'evoluzione geomorfologica del litorale nell'ultimo secolo è strettamente correlata all'evoluzione del delta dell'Arno ed alle sue variazioni nel trasporto solido (Toniolo 1910, 1927; Pranzini, 1983, 1989, 2001; Milano, 1986, 1994). Dopo una importante fase di costruzione con pronunciato avanzamento dell'apparato deltizio verso mare e progradazione delle ali verso sud (Marina di Pisa e Tirrenia) e verso nord (Lame delle Gelosie, Gombo, fino alla foce del Fiume Serchio) ha seguito una intensa e veloce fase erosiva causata essenzialmente dalla drastica diminuzione del trasporto solido. L'evoluzione successiva del litorale pisano è tendenzialmente *relitta*, cioè strettamente legata allo smantellamento progressivo della morfologia aggettante del delta e la redistribuzione del materiale eroso verso tratti di litorale sempre più distanti dall'area di immissione (Pranzini, 1989). Questa fase provoca la continua progradazione delle spiagge di Calambrone,

complessivamente in avanzamento negli ultimi 100 anni, e lo spostamento verso Marina di Vecchiano di ingenti quantitativi di materiale sabbioso.



Marina di Pisa, per la salvaguardia dell'abitato, è stata pesantemente difesa (Aminti et al., 2003) ed ha mantenuto la posizione della linea di costa degli anni '20 del secolo scorso. La cronologia degli effetti erosivi iniziata dall'apice deltizio e progressivamente migrata verso le "ali" settentrionale e meridionale del delta corrisponde alla successiva migrazione delle difese costiere nell'area. La costruzione della foce armata nel 1926, necessaria per equilibrare la elevata asimmetria della foce fluviale e per ridurre i problemi di insabbiamento, ha intensificato i processi erosivi nel tratto sottoflutto, specialmente nelle spiagge delle Lame delle Gelosie (Cipriani et al., 2001; Bini et al., 2008) con tassi di arretramento che tra il 1928 e il 1944 sono stati di circa 20 m/a, ed ha generato una complessiva riduzione dell'esiguo trasporto solido del Fiume Arno verso il tratto settentrionale del litorale pisano. I processi erosivi amplificati dalla costruzione della foce armata si sono rafforzati sulla località balneare di Marina di Pisa con la completa scomparsa della spiaggia, che ha portato nel 1928 alla costruzione di un muro radente in massi a protezione dell'abitato. Dal 1938 al 1965 si è visto la costruzione, da nord verso sud, di 10 scogliere parallele emerse davanti a Marina di Pisa, e dal 1975 al 2014 (Fig. 3) di una seconda serie di barriere emerse ed una soffolta al confine meridionale del centro abitato. La costruzione o sostituzione dei sistemi difensivi non si conclude con il secolo scorso: fra il 2001 e il 2003 sono stati realizzati 9 pennelli, alcuni estesi come setti sommersi, fra la foce dell'Arno e il Gombo, nel 2007 viene completata la sostituzione delle barriere emerse n°6 e n°7 con un sistema sperimentale sommerso associato a spiaggia in ghiaia, e fra il 2015 e il 2016 la sostituzione delle barriere emerse n°4 e n°5 con il medesimo sistema.

Al Gombo, nell'inverno-primavera 2009, il Servizio Difesa del Suolo della Provincia di Pisa ha attuato un sistema difensivo sperimentale a basso impatto ambientale il cui scopo era quello di diminuire il trasferimento di materiale sabbioso verso nord. Il sistema è costituito da un tombolo artificiale delimitato da geotubi ed in parte reso semi-emerso da ripascimento di materiale sabbioso all'interno, due pennelli di geotubi a nord, salpamento della barriera più settentrionale (resa soffolta) ed infine una duna artificiale costruita con materiale sabbioso dragato dalla barra esterna (nel settore 58) allo scopo di difendere e di creare un apporto di materiale sabbioso al sistema.

### Clima meteomarinario e trasporto litoraneo:

Gli studi sul clima meteo-marino condotti dagli anni '70 in poi mostrano per il litorale pisano una polarizzazione delle mareggiate principali dal settore 240°-270°N (Cipriani et al., 2001) in accordo con il regime dei venti, i dominanti appartengono infatti al III quadrante, con massimi per le direzioni OSO e SO (Rapetti e Vittorini, 1978).

Studi più recenti sul clima marino al largo (Studio di progettazione della Provincia di Pisa, Servizio Difesa Suolo "Adeguamento idraulico del Canale Scolmatore d'Arno - Studio morfodinamico ed analisi degli effetti della nuova foce armata, dicembre 2012") del tratto di litorale pisano meridionale, effettuati sulla base dei dati della boa di Gorgona relativi

Figura 1. Inquadramento geografico del litorale pisano e delimitazione dei settori di analisi.

al periodo compreso tra il 1 ottobre 2008 e il 1 maggio 2012, evidenziano un trend consolidato con risultati compatibili con gli studi passati. L'analisi direzionale dei dati (eseguita tramite il software MIKE 21), accorpata per direzione media di provenienza e per classe di altezza, mostrano come le onde più frequenti e di maggior intensità provengano nettamente dal settore sud-ovest. Nel dettaglio, i dati della boa (Fig. 2) mostrano come le calme ( $H_s < 0,5$  m) costituiscano il 35% del totale delle registrazioni, le onde con altezza compresa tra 0,5 m e 2 m rappresentano il 57% del totale e provengono per più della metà (30% del totale) dal settore  $220^\circ$ - $260^\circ$  N. Le onde di altezza compresa fra 2 e 4 m provengono quasi interamente dal settore  $220^\circ$  -  $260^\circ$  N (3,2% del totale contro il 3,6% valutato sull'intera rosa), dato che risulta ancor più evidente per quelle con altezza maggiore di 4 m (pari a 0,51% del totale per il settore  $220^\circ$ - $260^\circ$  N contro lo 0,53% se valutato su tutte le direzioni).

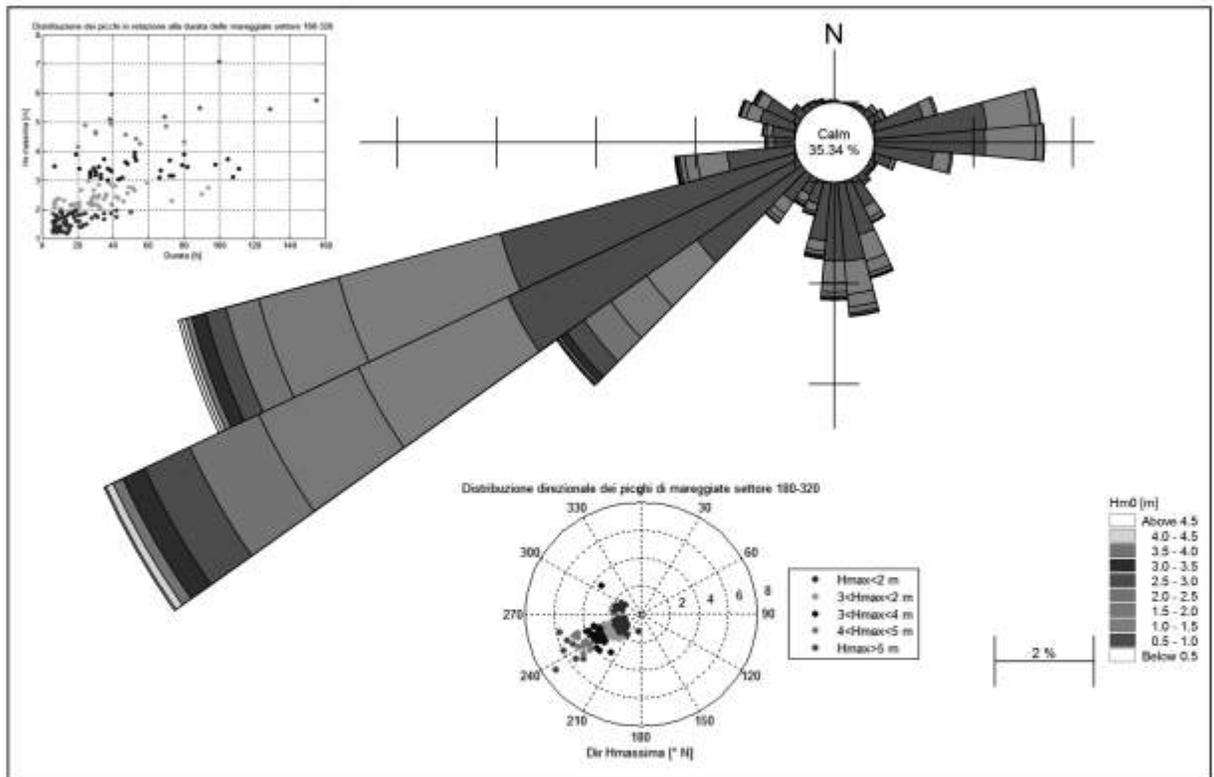


Figura 2. Inquadramento meteo marino.

L'analisi sugli eventi di mareggiata conferma la predominanza del settore di provenienza  $220^\circ$ - $260^\circ$  N, con il 93% delle mareggiate che si verificano ogni anno (in media 48 eventi). Dal settore  $270^\circ$ - $320^\circ$  N si sono verificati in media meno di 3 eventi ad anno, mentre dal settore  $210^\circ$ - $180^\circ$  N meno di un evento ad anno (Fig. 2). La stima del trasporto solido medio annuo e degli effetti (in termini di peso sul trasporto complessivo) dovuti alle singole onde è stata condotta mediante il modulo LITDRIFT, di tipo monodimensionale, che in base alle caratteristiche del profilo (batimetria, caratteristiche granulometriche) e del moto ondoso consente di stimare il trasporto solido dovuto a ciascuna onda e di conseguenza il valore medio annuo; mentre l'applicazione del modello LITPACK ha permesso l'individuazione della rosa del clima ondoso sottocosta non in termini di frequenza delle mareggiate ma in termini di peso delle stesse sul trasporto litoraneo annuo. Le analisi della risultante dell'energia del moto ondoso evidenziano come il trasporto litoraneo verso NO sia nettamente prevalente rispetto a quello verso SE. Le onde principalmente responsabili del trasporto litoraneo in questo tratto meridionale sono quelle provenienti da libeccio con altezza media  $1\text{ m} < H_s < 3\text{ m}$  ed in misura minore quelle più alte ( $3\text{ m} < H_s < 5\text{ m}$ ; (Boninsegni e Mori., 2014).

Studi passati sulla composizione provenienza e dispersione delle sabbie (Gandolfi e Paganelli, 1975) e più recenti sullo studio delle linee di riva (Bini et. al., 2008; Sarti et al., 2010) evidenziano per il tratto meri-

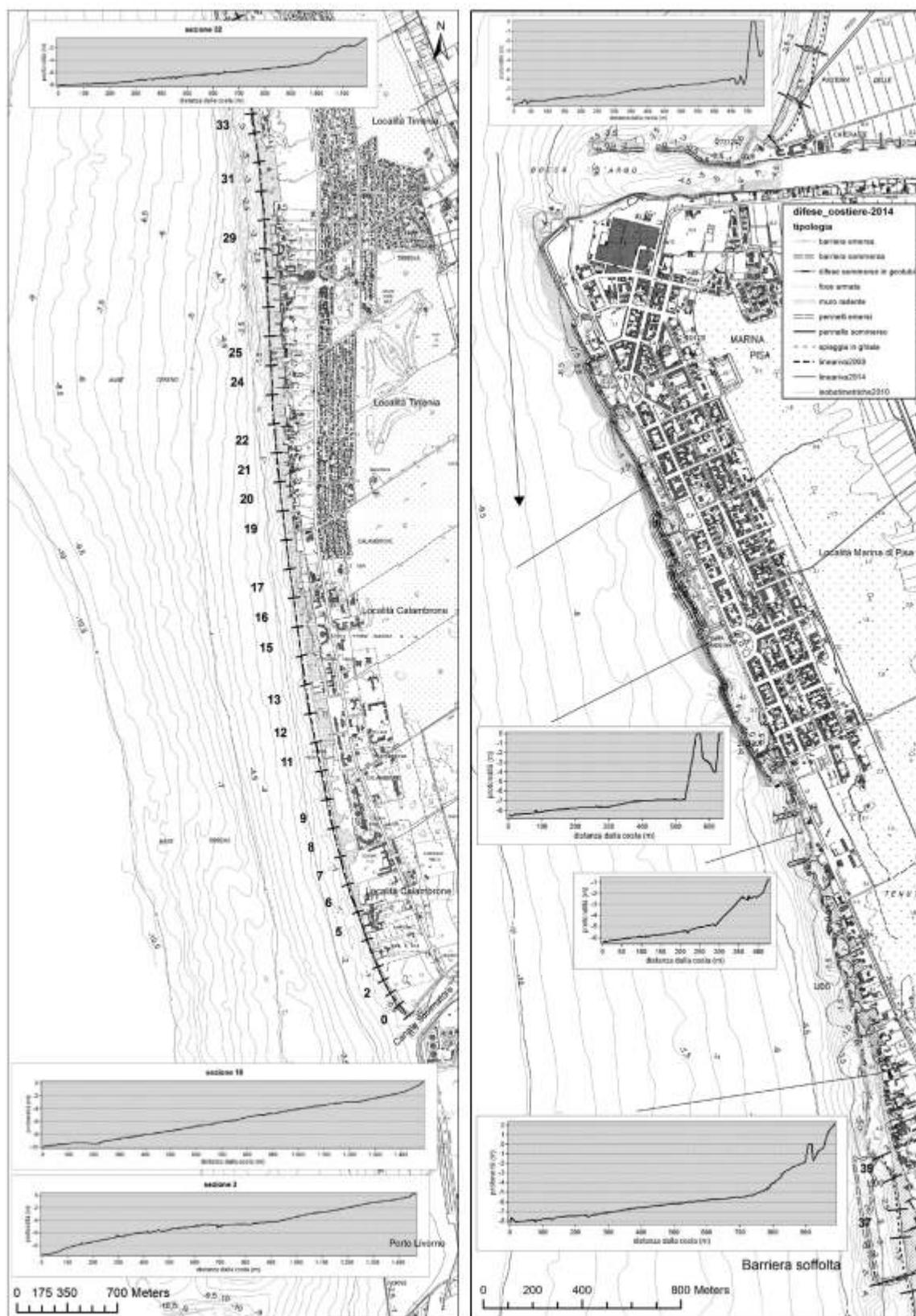


Figura 3. Morfologia e sezioni batimetriche del tratto meridionale del litorale pisano.

dionale una alimentazione sia da sud, dalle "Secche delle Melorie", che da nord grazie al rimaneggiamento dei fondali di Marina di Pisa e dalle spiagge di Tirrenia; mentre a nord della foce dell'Arno si ha una preponderanza di eventi di provenienza da 240° ed un trasporto litoraneo diretto essenzialmente verso nord (Rapetti e Vittorini, 1978, 1983; Baldini e Rigattieri, 1983; Baldini et al., 1983; Pranzini, 2008).

### **Inquadramento morfo-batimetrico**

L'analisi quantitativa dell'evoluzione della linea di riva è stata integrata con descrizioni qualitative dei fondali allo scopo di creare una connessione tra le variazioni osservate e la morfologia della spiaggia sommersa. I rilievi batimetrici eseguiti dal 2008 al 2014 dal Servizio Difesa Suolo della Provincia di Pisa permettono di suddividere, dal punto di vista morfo-batimetrico, i fondali del litorale in tre settori, due meridionali (a sud della foce dell'Arno; Fig. 3) ed uno settentrionale (a nord della stessa foce; Fig. 4). Il primo settore meridionale, che si estende dal Canale Scolmatore fino a Tirrenia (in prossimità di una barriera soffolta; Fig. 3) mostra fondali a bassissima pendenza costituiti da sedimenti molto fini (da sabbia fine a sabbia molto fine). In questo tratto si registrano profondità esigue in relazione alla distanza dalla costa: -1,5 metri a 200 metri e -3 m a circa 450 metri; la batimetrica dei 10 m viene raggiunta ad una distanza dalla costa di circa 1,3 – 1,5 km. Spostandoci verso l'abitato di Tirrenia, i fondali mostrano caratteristiche ben strutturate con alternanza continua di barre e truogoli per una fascia mediamente di 200 metri dalla costa. La profondità di -3 m si raggiunge in media a circa 170 m dalla linea di riva e la granulometria degli arenili diventa più grossolana, si passa infatti da sabbia fine a sabbia media. Le sezioni batimetriche (Fig. 3) mostrano verso nord un graduale incremento della pendenza nel primo tratto della spiaggia sommersa, in virtù dell'aumento della granulometria e dei primi effetti erosivi indotti dalla presenza delle prime opere emerse di difese costiere (sezioni a nord della barriera soffolta). Verso Marina di Pisa il litorale risulta inizialmente interessato da piccole barriere emerse distaccate, costruite a più riprese dal 1975 al 2001 (Bini et al., 2008), dove la linea di costa risulta artificialmente immobile, per la presenza dei sistemi difensivi emersi, ma con fondali ancora interessati da morfologie deposizionali, con barre e esigue profondità in prossimità del piede delle strutture foranee. Il passaggio verso l'abitato di Marina di Pisa (secondo tratto meridionale) mostra caratteristiche dei fondali completamente differenti e peculiari. L'abitato, totalmente interessato per la sua lunghezza da opere di protezione (scogliera radente e barriere emerse, sommerse distaccate e pennelli), presenta una linea di riva immobile e consolidata dagli anni '20. La massiccia presenza di barriere emerse ha scongiurato un ulteriore arretramento della linea di costa (ed un abbandono dell'abitato), ma ha generato una concentrazione dei processi erosivi sui fondali antistanti, che hanno progressivamente incrementato la loro profondità (anche in relazione ai processi riflessivi innescati dalle barriere distaccate-emerse) che ora risulta essere tra i 6 e i 7 metri al piede delle dighe foranee di protezione dell'abitato (Fig. 3).

Il terzo settore, che si sviluppa in destra idraulica della foce dell'Arno fino al confine settentrionale della Provincia di Pisa (Fig. 4), ha subito anch'esso dagli anni '20 una intensa fase erosiva, con importanti arretramenti generalizzati della linea di costa. I fondali sono caratterizzati dall'alternanza di diverse barre sommerse fino alla isobata 6 m e da un canale continuo che si sviluppa da sud verso nord a profondità variabile tra 5 e 6 m. La spiaggia sommersa mostra una pendenza maggiore di quella del tratto meridionale, con i -3 m a circa 100-130 m dalla costa e i -10 m a circa 1,2 km.

### **Materiali e metodi**

Il Servizio Difesa Suolo della Provincia di Pisa ha condotto, fra il 2008 e il 2014 e con propria strumentazione e natanti, un monitoraggio dell'evoluzione del litorale pisano con il rilievo sia della posizione della linea di riva sia della morfologia dei fondali. In tutti la posizione è stata acquisita con GPS differenziale in modalità RTK (accuratezza x, y = 8 mm), mentre il rilievo batimetrico è stato eseguito con strumentazione single beam (accuratezza z = 15 mm). Il rilievo diretto ha permesso di eliminare l'errore indotto dall'interpretazione soggettiva della posizione della linea di riva su immagini telerilevate.

La linea di riva è stata rilevata con cadenza annuale nei mesi di giugno e luglio; la batimetria, sempre annualmente fra giugno ed agosto, con rilievi estesi dall'isobata 0 alla 10 m.

Nel presente lavoro le variazioni areali della spiaggia emersa e i tassi di spostamento della linea di riva vengono analizzati per intervalli biennali (2008-2010, 2010-2012 e 2012-2014) e per l'intero periodo 2008-2014. Il tratto di litorale che si estende a nord della barriera soffolta fino al porto di Marina di Pisa in sponda sini-

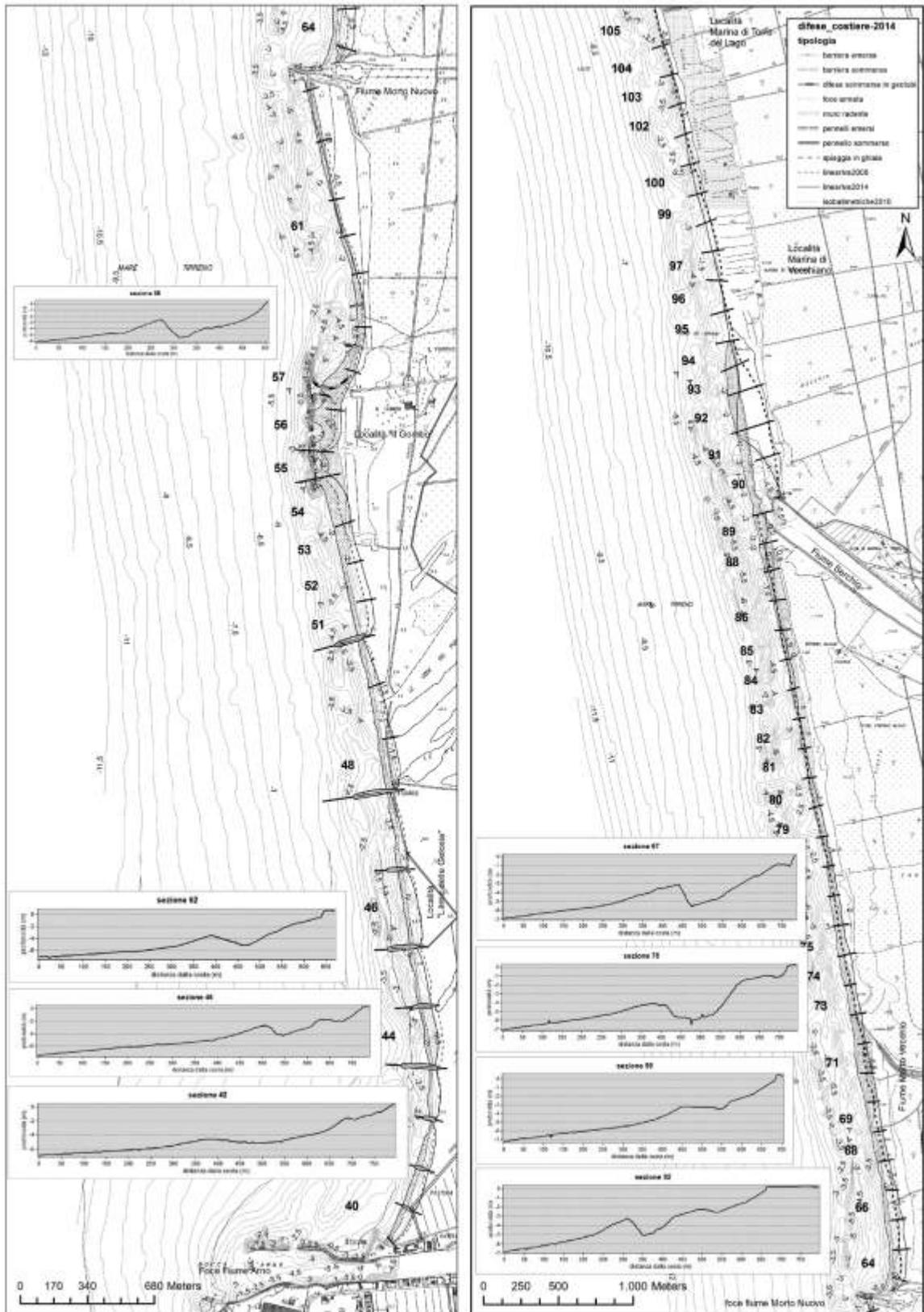


Figura 4. Morfologia e sezioni batimetriche del tratto settentrionale del litorale pisano.

stra del fiume Arno è stato escluso dallo studio in quanto interessato per tutta la sua lunghezza da numerose difese costiere che impediscono lo spostamento della linea di costa. La linea di riva del 2013 risulta completa fino al transetto numero 80, inoltre per evidenziare l'entità degli spostamenti della linea di costa degli ultimi 70 anni è stata inserita in alcuni elaborati grafici la linea di costa del 1938, che deriva da foto restituzione di riprese aeree I.G.M.

I dati topografici e batimetrici acquisiti nelle campagne di rilievo in formato x,y,z sono stati elaborati in ambiente GIS (ESRI Arc GIS, vers. 10) per la ricostruzione di modelli digitali del terreno (raster e DEM) necessari al calcolo areale della spiaggia emersa all'interno dei singoli settori. La rappresentazione digitale del fondale è stata utilizzata per la costruzione delle sezioni batimetriche oltre che per tracciare le isobate con equidistanza di un metro.

I rilievi topografici della linea di riva negli intervalli di tempo considerati sono stati analizzati suddividendo il litorale pisano (circa 25 km) in 105 settori di lunghezza media di 200 metri ad esclusione di tratti interessati da difese costiere come pennelli e barriere emerse e sommerse dove la lunghezza del settore è stata diminuita o aumentata in relazione alla distanza tra le singole opere. L'estensione dei singoli settori è stata scelta in relazione alla lunghezza del litorale pisano, alla necessità di evidenziare l'efficacia di sistemi di difesa costiera e alla cadenza temporale annuale dei rilievi delle linee di riva, con una "alta" risoluzione spaziale delle analisi come proposto da Pranzini e Simonetti (2008). Utilizzando come linea di riva di riferimento quella del 2008 ( $t_0$ ), è stata calcolata la variazione positiva o negativa di spiaggia emersa ( $m^2$ ) dal confronto con la linea di riva degli anni successivi. La variazione areale di spiaggia ( $m^2$ ) divisa per la lunghezza di ciascun settore ha dato lo spostamento medio della linea di riva (m), che suddiviso per i rispettivi intervalli temporali ha permesso di calcolare il tasso di spostamento medio annuo (m/a). Il bilancio areale complessivo tra la linea di riva 2008 e 2014 calcolato nei 4 settori "storici" del litorale pisano, 0-39 (tratto meridionale), 40-63, 64-89, 90-105 (tratto settentrionale) ha permesso di comparare i risultati del presente lavoro con quelli prodotti da Bini et al. (2008) sulla base del confronto di immagini aeree georeferenziate allo scopo di evidenziare eventuali variazioni nei trend storici.

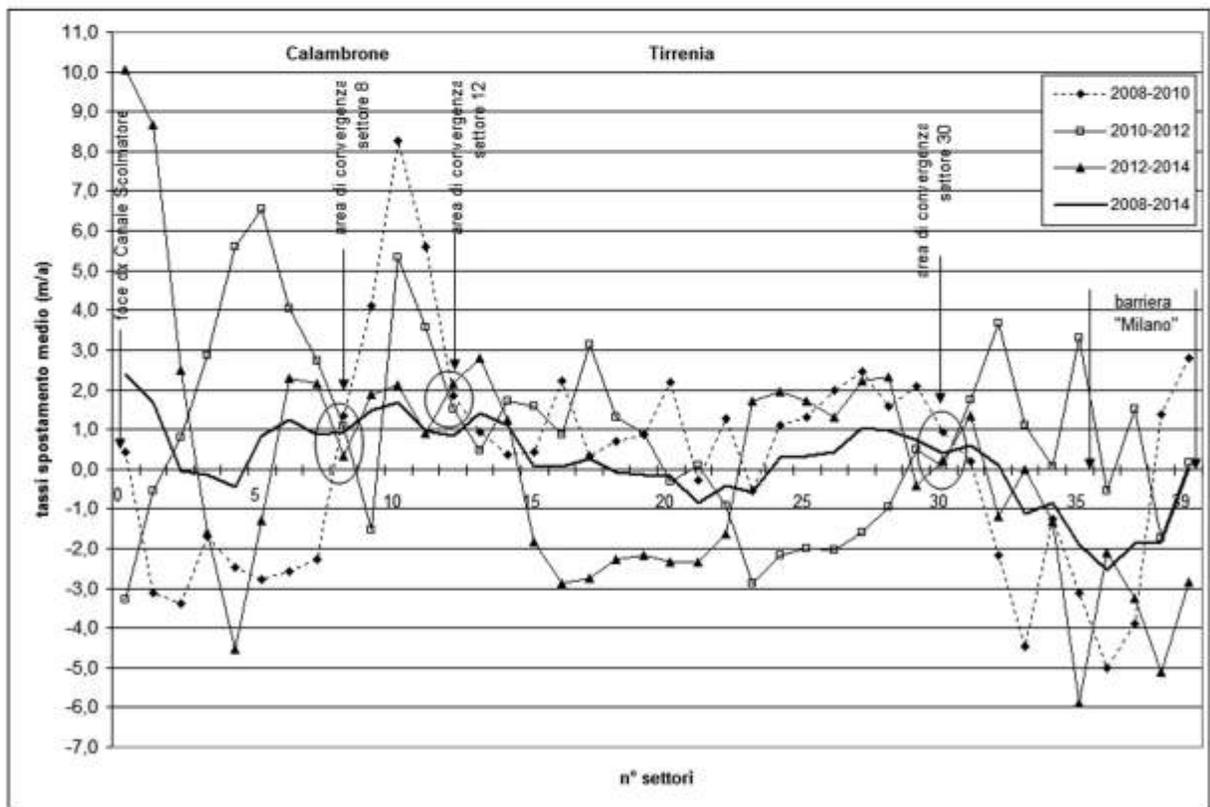


Figura 5. Tasso di spostamento medio annuo della linea di riva del tratto meridionale del litorale pisano.

### Evoluzione della linea di riva 2008 – 2014

Il tratto meridionale tra il settore 0 e 39 (cfr. Fig. 1) mostra entrambi gli estremi confinanti con tratti di costa interessati da strutture difensive antropiche: la terminazione meridionale, in sinistra idraulica del Canale Scolmatore, con due casse di contenimento del porto di Livorno costruite rispettivamente nel 2000 e nel luglio – agosto 2013, e quella settentrionale con la barriera soffolta seguita da numerose micro difese emerse presenti fino all'abitato di Marina di Pisa. Il tratto centro meridionale (località Tirrenia - Calambrone) risulta totalmente libero da difese costiere. La Figura 5 riassume il tasso di spostamento medio della linea di riva nei vari settori del tratto meridionale del litorale pisano. Fra il settore 0 e il settore 8, in località Calambrone, si ha un'accentuata variabilità sia di avanzamento che di arretramento della linea di riva nei rispettivi bienni, con variazioni nei pressi dei transetti prossimi alla foce di anche 10 m/a e -4,5 m/a. Verso nord, il tratto 8-12 mostra marcati valori di progradazione dal 2008 al 2014, anche se lo spostamento medio, sebbene di valore positivo, tenda a diminuire nel tempo (2008-2010: circa 8 m/a; 2010-2012: circa 5 m/a; 2012-2014: circa 2 m/a).

Il tratto successivo, dal settore 12 al 30 (lunghezza circa 3,7 km), mostra un segmento di costa compreso tra Calambrone e Tirrenia privo di strutture portuali o difensive e con alterne variazioni dello spostamento della linea di riva che vedono susseguirsi fasi erosive e deposizionali, ma con variazioni annuali contenute nell'ordine dei 2 m ed un bilancio complessivamente stabile. L'ultima zona si estende dal transetto 30 fino alla chiusura verso nord della cella soffolta (transetti 36 – 39 tratto di litorale delimitato da cella soffolta) e mostra una marcata variazione del trend delle curve di spostamento medio della linea di riva con valori compresi tra 4 m/a e -5 m/a ed un bilancio complessivamente negativo. Le 4 zone descritte, delimitate rispettivamente dal settore 8, 12 e 30, sono tratti dove nei diversi intervalli temporali la velocità di spostamento medio della linea di riva è rimasta pressoché costante e positiva nei periodi di studio: settore 8 circa 1,00 m/a, settore 12 circa 2 m/a e settore 30 circa 0,5 m/a e possono rappresentare aree di convergenza della linea di riva.

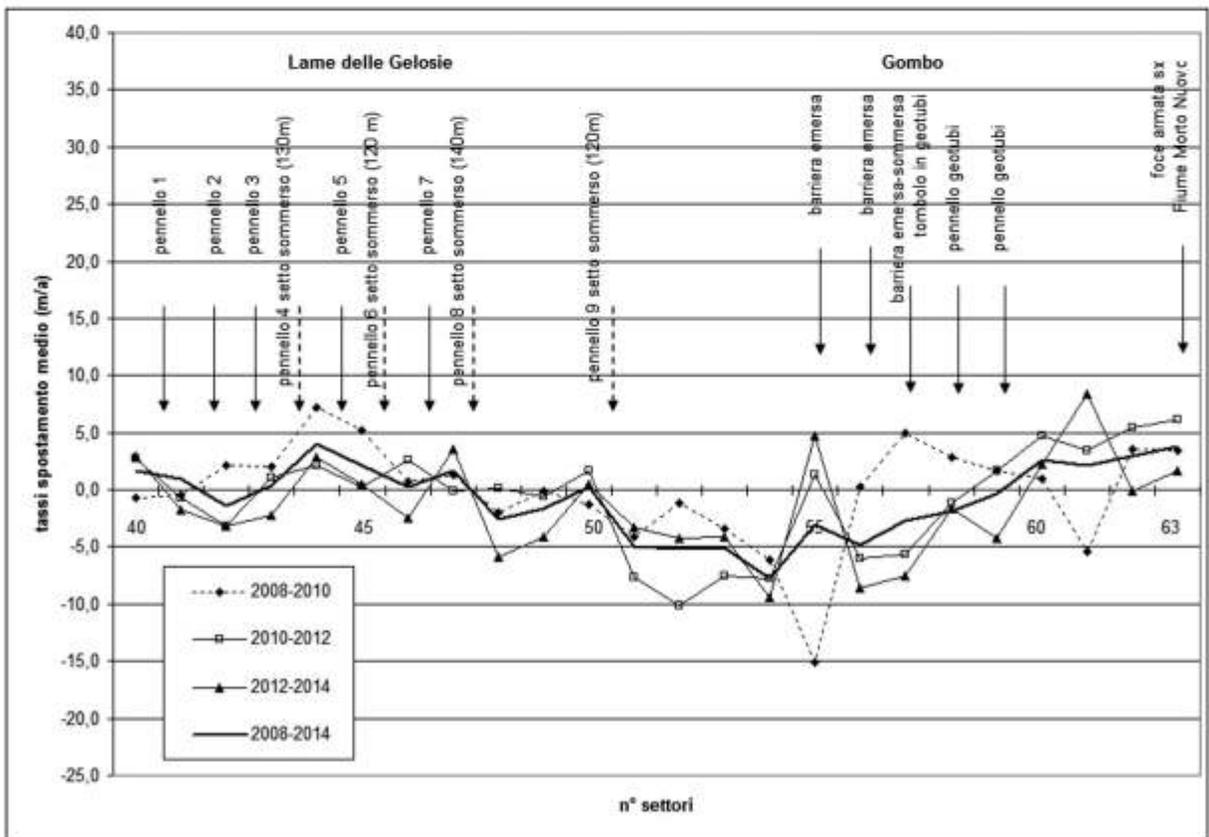


Figura 6. Tassi di spostamento medio della linea di riva del 1° tratto settentrionale del litorale pisano.

Le curve biennali del tratto 12-30 presentano un andamento caratterizzato dall'alternanza temporale e spaziale con tratti in arretramento ed avanzamento: la curva di spostamento medio 2010-2012 mostra un avanzamento di circa 1-2 m/a nei settori 13-21 ed una inversione di tendenza nei successivi transesti più settentrionali 21-30, con una fase di erosione mediamente di 2 m/a. La curva successiva del 2012-2014 mostra un trend simile ma invertito: una fase erosiva nel tratto 16-23 di circa 2 m/a ed una fase di avanzamento nel tratto seguente 24-30 di circa 2 m/a. I transesti più meridionali (13-21), che nel biennio 2010-2012 sono in avanzamento, mostrano nello stesso periodo transesti settentrionali in erosione (22-29), mentre nel biennio successivo 2012-2014 i transesti meridionali risultano in erosione e quelli settentrionali in avanzamento con velocità di spostamento particolarmente costanti. Questo sviluppo temporale ad impulsi alternati caratterizzato dalla migrazione dei processi deposizionali ed erosivi dai transesti più meridionali a quelli settentrionali, seguendo la sequenza temporale 2008-2014, può evidenziare una continua migrazione longitudinale del materiale sabbioso in accordo con quanto esposto dallo studio della direzione del trasporto solido.

I grafici delle Figure 6 e 8 mostrano le tendenze evolutive della parte settentrionale del litorale pisano (settori 40-105) nei diversi settori suddivisi in due tratti: il primo (Fig. 6) si estende dalla destra idraulica della foce dell' Arno fino alla sinistra idraulica della foce del Fiume Morto Nuovo, il secondo (Fig. 8) dalla destra idraulica della foce del Fiume

Morto Nuovo fino al Canale della Bufalina.

La spiaggia delle Lame delle Gelosie, a nord di Bocca d'Arno (settori 40-50) è da tempo interessata da intensi processi erosivi (Bini et al., 2008; Pranzini, 2008) ed è stata difesa con 9 pennelli di lunghezza variabile costruiti negli anni 2002 e 2003. I pennelli numero 1, 2, 3, 5 e 7 si estendono per 60 - 80 m con una testata tra l'isobata 1,5 m e 2,5 m, mentre i pennelli numero 4, 6, 8 e 9 sono provvisti di setto sommerso e lunghezza totale (emerso + sommerso) variabile tra 120 e 140 metri e testata che raggiunge i 3 m o 4 m di profondità.

Il grafico di Figura 6 mostra l'evoluzione della linea di riva in questo tratto: le curve rivelano un andamento simile nei vari bienni, con alternanza tra variazioni positive e negative in un intervallo ristretto di litorale di circa 3 km. In un primo tratto (settori 40 e 41) la linea di riva risulta variamente stabile, nel tratto successivo (43-47) è in avanzamento con valori variabili tra 1 e 7 m/a, mentre fino al settore 49

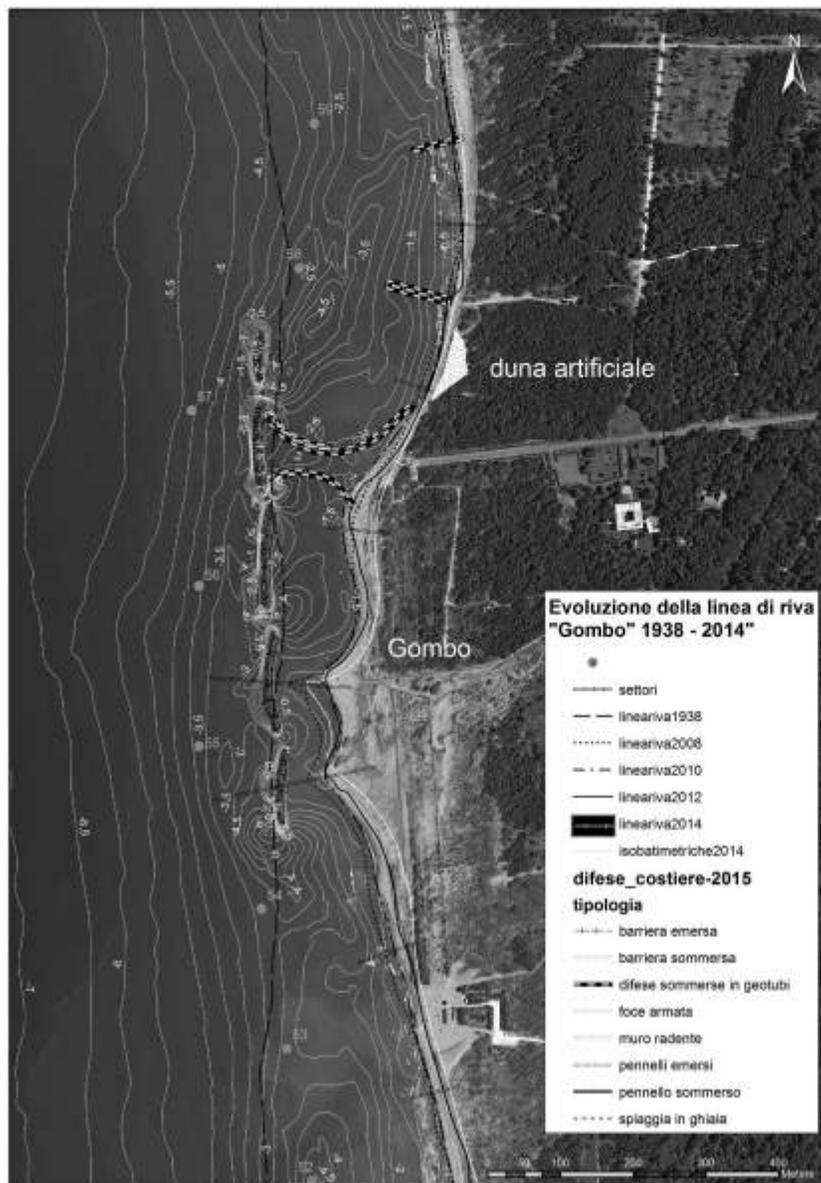


Figura 7. Evoluzione della linea di riva nell'area del Gombo dal 1938 al 2014.

la costa è in erosione con valori variabili tra -1 e -5 m/a. Il settore 50 mostra una rottura nel trend erosivo dei tratti precedenti, con una linea di riva generalmente stabile, mentre nei settori da 51 a 54 riprende il processo erosivo con valori compresi fra -1 e -10 m/a. I settori che si estendono da 54 a 63 vanno dal Gombo alla sinistra idraulica della foce del Fiume Morto Nuovo (Fig. 6); qui la posizione delle 5 barriere emerse (quella più settentrionale, come abbiamo visto, è stata ribassata nel 2009) ricade approssimativamente sulla linea di riva del 1938 (Fig. 7).

Il tasso di spostamento medio della linea di riva (Fig. 6) mostra in questa area un trend abbastanza simile, caratterizzato da una marcata erosione al Gombo (ad esclusione del biennio 2008-2010) a cui corrisponde una continua progradazione nei settori 59-63 nel 2010-2012 e nel 2012-2014 (fa eccezione il biennio 2008-2010 limitatamente ai settori 60 e 61 dove si osserva un brusco arretramento).

Spostandoci verso nord, in destra idraulica del Fiume Morto Nuovo i settori 64-66, (Fig. 8) mostrano un arretramento progressivo della linea di riva; si passa infatti da -5 m/a nel biennio 2008-2010, a -6,5 m/a in quello successivo, per arrivare fino a quasi -8 m/a nel biennio 2012-2014. Il tratto seguente (settori 67-89) che arriva alla foce del Serchio è caratterizzato da un'alternanza di settori in erosione ed avanzamento: nel 2008-2010 i settori 75-79 sono in erosione, 81-83 in avanzamento e 84-89 in erosione. Nel biennio successivo (2010-2012) i settori 75-78 sono stabili o in avanzamento, mentre i settori 79-85 risultano erosione e quelli fra 86 e 90 in avanzamento. L'alternanza di fasi alterne nei rispettivi settori durante i diversi periodi è il risultato della migrazione degli stock sabbiosi dalla foce del Fiume Morto Nuovo verso nord, fino alla foce del Fiume Serchio.

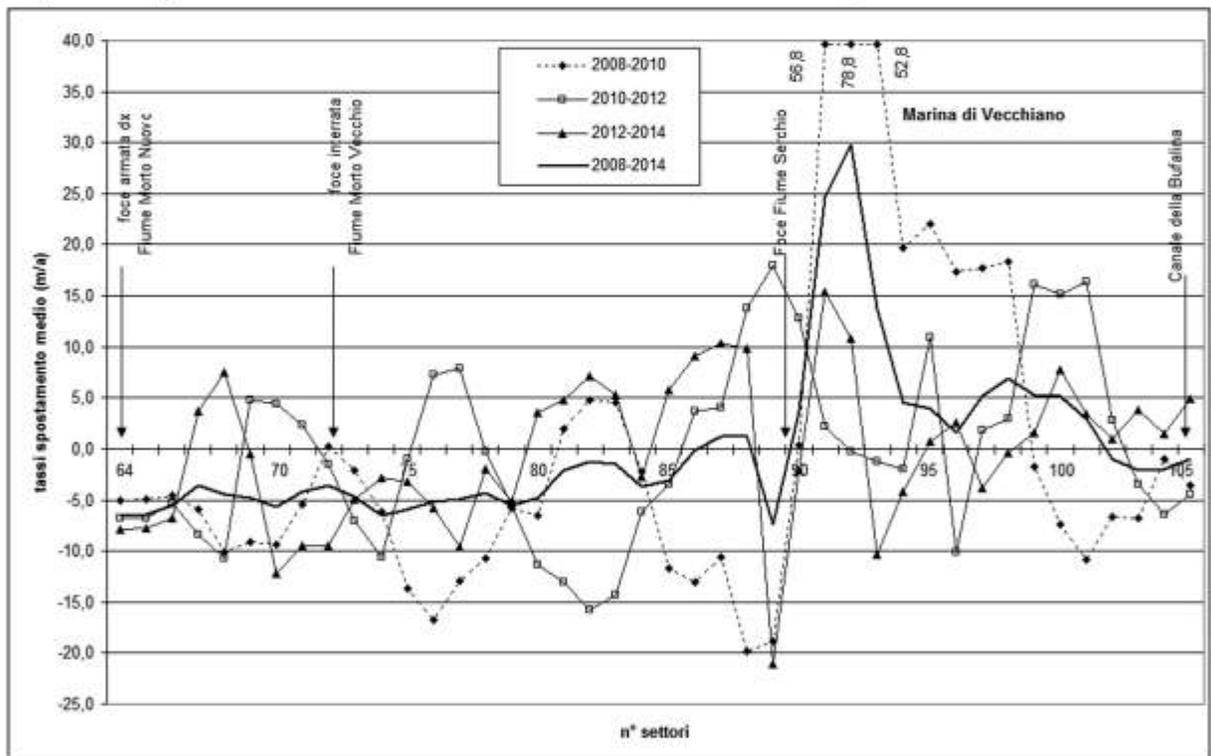


Figura 8. Tasso di spostamento medio della linea di riva del 2° tratto settentrionale del litorale pisano.

Nel biennio 2008-2010 a nord della foce del Serchio si ha una progradazione particolarmente forte nei settori 91, 92 e 93 (tra 53 e 80 m/a), e comunque significativa (5-20 m/a), nel tratto che arriva fino a Marina di Vecchiano (94-98), mentre più a nord si ha un evidente processo erosivo. Nei periodi successivi le variazioni sono meno intense e mostrano l'alternarsi di processi opposti.

### Evoluzione della linea di riva e difese costiere del tratto meridionale

L'interazione tra la dinamica litoranea, le difese costiere e le opere portuali risulta evidente anche nei due estremi del tratto meridionale. Quello delimitato dai transesti 0 e 12 mostra un avanzamento mediamente

tra 1 e 2 m/a, ad esclusione del tratto 2-5 dove si osserva un leggero arretramento nel periodo 2008-2014 e più marcato nel periodo 2012-2014 (Fig. 5). Questa interruzione delle condizioni di progradazione nei settori 2-5, già evidenziata a seguito della costruzione della prima cassa di contenimento del porto di Livorno, nel periodo 2000-2003 tra il settore 2 e 6 (Cappiotti et al 2003; Bini et al 2008) si ripete successivamente alla realizzazione della seconda cassa di contenimento e può dipendere da perturbazioni e variazioni nella direzione delle correnti e del trasporto solido causate dalla geometria e ubicazione della nuova struttura.

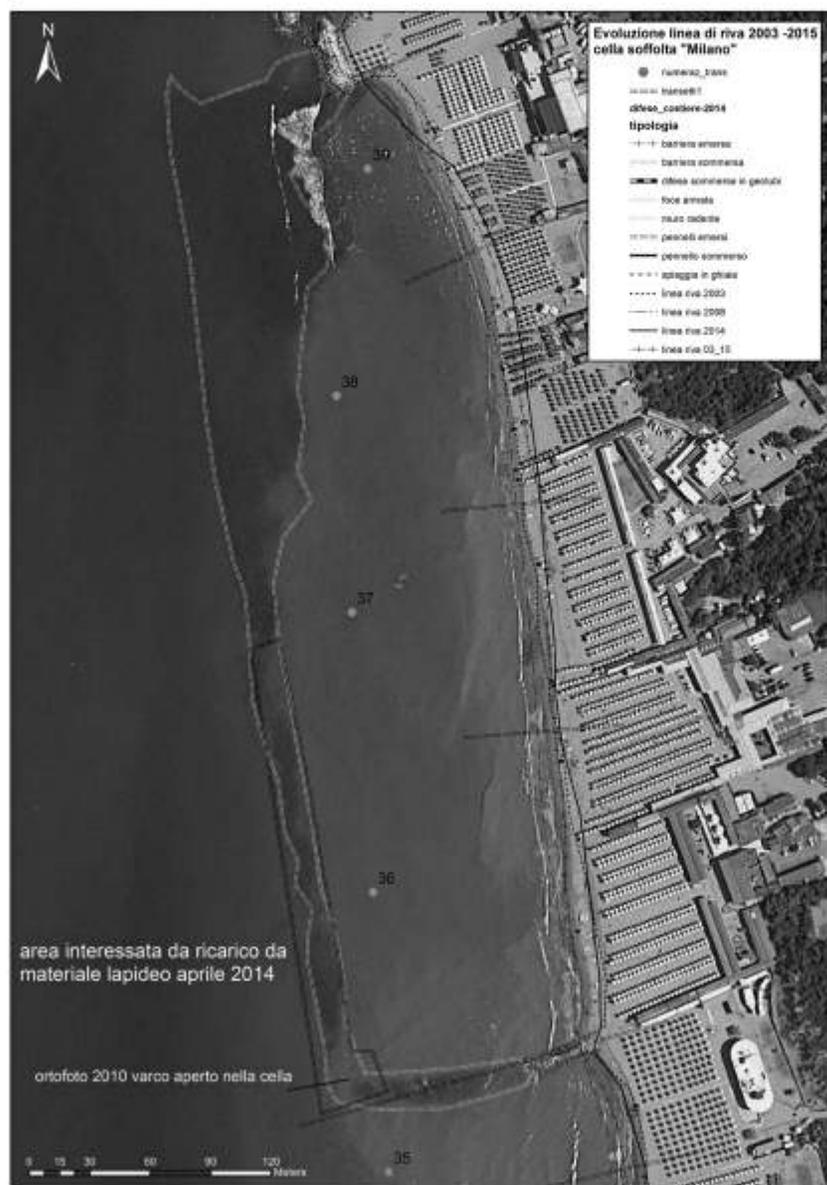
Verso il tratto settentrionale di Tirrenia, i rilievi batimetrici eseguiti dal 2008 sulla barriera soffolta evidenziano una diffusa perdita di forma della cresta sommersa, sprofondamenti ed un profondo varco di 4-5 metri nel tratto tra l'intersezione della barriera sommersa ed il pennello che rendeva di fatto la cella soffolta aperta verso mare. Queste variazioni geometriche risultavano associate ad un'inversione di trend all'interno della cella: in avanzamento fino al 2008, in erosione dal 2008 al 2014. Durante il mese di aprile 2014 la barriera è stata ricaricata con circa 1500 t di scogli di 3° e 4° categoria, in particolar modo il tratto centrale e meridionale (Fig. 9), dove è stato ricostruito e rafforzato il tratto di cresta soffolta esistente ed inoltre è stato eliminato il varco, rendendo di fatto continuo il perimetro della cella. A conferma della interazione tra le caratteristiche geometriche della barriera soffolta e l'evoluzione della linea di riva, il rilievo dell'aprile 2015 evidenzia un ripristino dell'arenile emerso nel

trasetto 36, una migrazione di materiale verso nord ed un ulteriore avanzamento nei trasetti 38 e 39.

### Evoluzione della linea di riva e difese costiere del tratto settentrionale

Lo studio dello spostamento della linea di riva del tratto di costa posto a nord della foce dell'Arno, alle Lame delle Giosie (Fig. 6), mostra andamenti particolarmente alterni e discontinui. Una possibile chiave di lettura può essere quella di associare tale comportamento alle caratteristiche geometriche del sistema difensivo che interagisce dinamicamente con la porzione sommersa di spiaggia. I settori che mostrano variazioni positive, o che sono relativamente stabili, come i settori 43-45 ed i settori 47 e 50 corrispondono a tratti di costa disposti sopraflutto ai pennelli dotati di setto sommerso, viceversa i settori interessati dai pennelli numero 1, 2, 3, 5 e 7, che sono privi di setto sommerso, mostrano valori negativi o positivi sempre inferiori rispetto a quelli dei tratti precedenti.

Figura 9. Evoluzione della linea di riva del tratto di costa interno alla cella soffolta 2003-2015.



La Figura 10 mostra il profilo batimetrico di una sezione “tipo” del tratto interessato dai pennelli dove i fondali mostrano due barre con la cresta rispettivamente a circa -2 m e a -3 m, ed un truogolo la cui profondità massima raggiunge i 4 m.

La morfologia del fondale evidenziata dalle curve batimetriche della Figura 4 mostra l'estensione longitudinale di un sistema a barre e truogoli e la presenza di una canalizzazione sottomarina continua diretta sud – nord che veicola il materiale sabbioso tramite un trasporto *long-shore* verso nord in accordo con la direzione del trasporto solido dominante (Fig. 10).



Figura 10. Sezione batimetrica “tipo” del 1° tratto settentrionale del litorale pisano.

I pennelli dotati di setti sommersi dispongono le rispettive testate all'interno del truogolo, limitando di fatto il trasporto *long-shore* verso i tratti sottoflutto e conseguentemente trattenendo una maggiore quantitativo di sabbia nel rispettivo tratto sopraflutto, risultato (come già evidenziato nel medesimo tratto nel periodo 2003-2007 da Pranzini, 2008) che non viene raggiunto dai pennelli di dimensioni inferiori e non provvisti di setto sommerso. Un ulteriore allungamento dei setti sommersi fino al raggiungimento della superficie della seconda barra (circa 200 m di distanza dalla costa) porterebbe ad una drastica diminuzione del trasporto longitudinale all'interno della canalizzazione con ulteriori avanzamenti della linea di riva nei tratti sopraflutto, ma con possibilità non remote di rafforzamenti dei processi erosivi nei tratti sottoflutto.

A conferma degli effetti indotti sottoflutto dai pennelli, i settori 51-54 (Fig. 6) disposti immediatamente a nord di essi mostrano valori importanti di arretramento della linea di riva in tutti i bienni di analisi con tassi medi variabili tra -1 e -10 m/a.

Anche l'evoluzione complessiva (2008-2014) della linea di costa dell'area del Gombo (55-59) risente della presenza delle strutture difensive sperimentali precedentemente descritte. L'andamento anomalo della linea 2008-2010 nei settori 57 e 58, con valori positivi fino a 5 m/a, è da correlarsi al loro effetto; in particolar modo si può notare come il maggiore avanzamento della linea di riva sia ubicato nel settore 57, all'interno dell'area della radice del tombolo artificiale, oltre che nei settori 58 e 59, dove sono presenti i pennelli in geotubi. Anche il settore 56, disposto sopraflutto del sistema tombolo, mostra una stabilizzazione della linea di riva. Questo effetto migliorativo è da ricondursi all'iniziale efficacia dell'intervento, in particolar modo al mantenimento delle caratteristiche strutturali e geometriche dei geotubi oltre che alla presenza dello stock sabbioso della duna artificiale. Negli anni successivi le diverse campagne di rilievo hanno evidenziato un graduale peggioramento delle caratteristiche dei geotubi a cui corrisponde il ripristino del trend erosivo all'interno dell'area del Gombo: i settori 56-59 tornano a mostrare nei bienni 2010-2012 e 2012-2014 importanti valori negativi, fino a quasi -9 m/a. In accordo con le precedenti indicazioni sulla direzione del trasporto solido, tutto il materiale eroso nell'area del Gombo viene ridistribuito e depositato a nord, fino alla sinistra idraulica della foce armata del Fiume Morto Nuovo (settore 63). L'erosione del settore 61 nel periodo 2008-2010 può essere il risultato della efficacia del sistema difensivo sperimentale, che trattenendo più materiale nei settori 56-59 tende a diminuire il trasporto solido verso il successivo tratto sottoflutto. Il profilo batimetrico delle sezioni 58 e 62 della Figura 4 evidenzia la geometria dei fondali interessati da differente evoluzione: la concavità del tratto compreso fra la linea di riva e l'isobata dei 5 m della sezione 58 (Gombo) denota un marcato processo erosivo, mentre la convessità rivolta verso mare del profilo 62 (sx idraulica Fiume Morto Nuovo) mostra un accumulo di materiale.

### Analisi delle variazioni di superficie del litorale pisano 2008-2014 e 1938-2014

La Figura 11 rappresenta le variazioni areali della spiaggia emersa nei singoli settori del litorale pisano negli ultimi 6 anni.

Dal 2008 al 2014 il tratto meridionale subisce variazioni areali contenute e tendenzialmente positive, ad esclusione dei settori delimitati dalla barriera soffolta; il bilancio totale è positivo per 13.297 m<sup>2</sup>.

Nello stesso periodo il litorale settentrionale mostra tendenze opposte in due tratti ben delimitati: nel primo, che si estende dalla Foce dell'Arno fino alla Foce del Serchio (11,7 km), prevalgono i processi erosivi (-140.353 m<sup>2</sup>), mentre nel secondo, dalla Foce del Serchio alla Foce del Canale della Bufalina (3,5 km), prevalgono i processi deposizionali (131.457 m<sup>2</sup>).

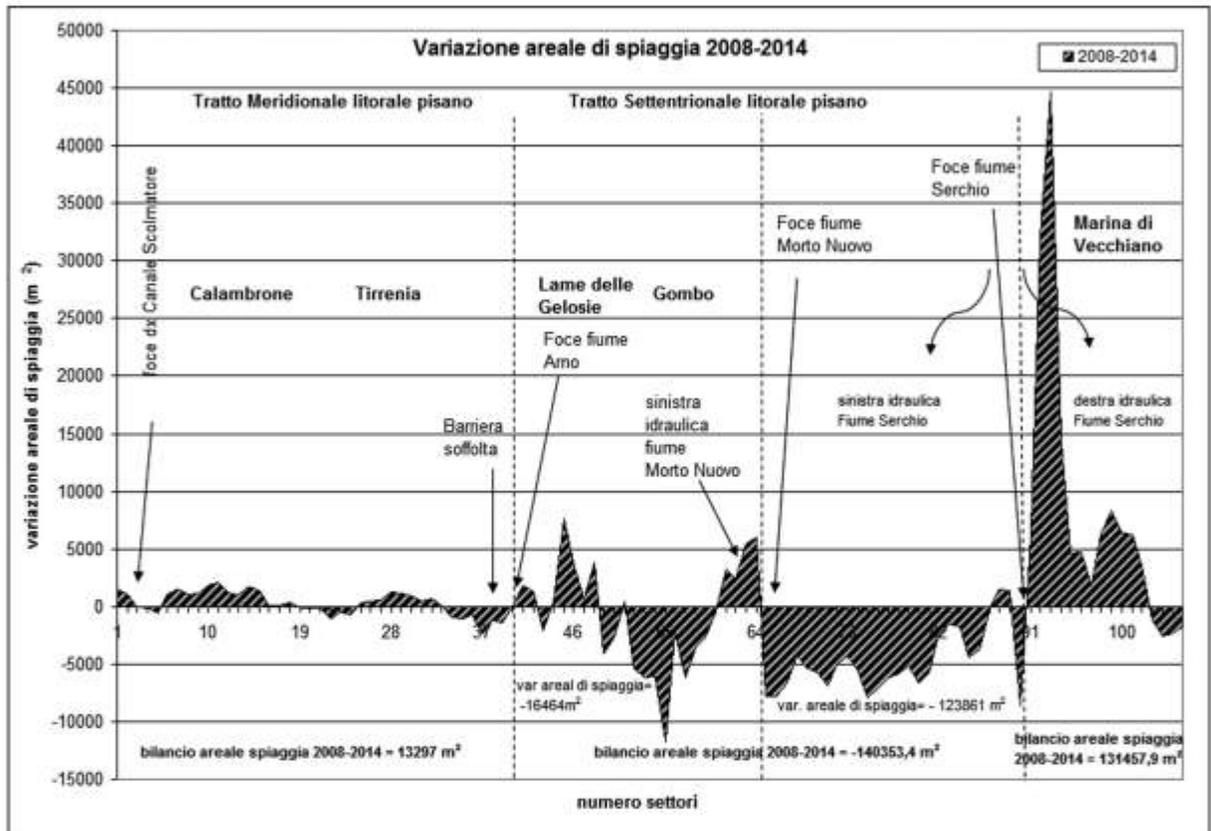


Figura 11. Variazione areale di spiaggia emersa del litorale pisano 2008-2014.

Il deficit del primo tratto deriva dai 16.464 m<sup>2</sup> persi dalla spiaggia delle Lame delle Gelosie e del Gombo e dai 123.861 m<sup>2</sup> persi fino alla foce del Fiume Serchio. La superficie di spiaggia emersa persa del primo tratto è analoga a quella guadagnata dal secondo. Questi valori particolarmente simili, ma di segno opposto, evidenziano come il materiale eroso nel tratto delle Lame delle Gelosie, del Gombo ed in particolar modo nel tratto posto immediatamente a nord dalla foce del fiume Morto Nuovo venga riversato completamente nel tratto di litorale che si sviluppa fino alla foce del Serchio.

Inoltre, la corrispondenza in valore assoluto tra la variazione areale di spiaggia emersa dei due tratti a sud e nord della foce del Fiume Serchio (-140.353 m<sup>2</sup> contro 131.457 m<sup>2</sup>) fa ipotizzare che il Serchio immetta nel sistema costiero un quantitativo di sedimenti molto scarso.

Per evidenziare eventuali variazioni nel trend storico del litorale pisano sono stati paragonati i risultati del presente lavoro con quelli calcolati per il periodo 1938 – 2004 da Bini et al. (2008).

La Tabella 1 mostra il confronto tra i valori di spostamento medio della linea di riva tra il 1938-2004 ed il periodo 2008-2014. Il tratto meridionale (tratto A, settori 0-39) mostra un rallentamento nel processo di progredazione da 0,61 m/a del periodo 1938-2004 a 0,33 m/a del periodo 2008-2014.

Tabella 1. Variazione areale della spiaggia per ogni tratto o raggruppamento di settori.

Valori ricavati da Tab. 2 in Bini et al., 2008			Valori ricavati dal presente lavoro			
	Tratto (m)	1938-2004	66 anni	Intervallo settori	2008-2014	6 anni
	m		m/a		m	m/a
A: Canale Scolmatore-Marina di Pisa	40,23		0,61	0 - 39	2,01	0,33
C: F.Arno - F.Morto Nuovo	-232,35		-3,52	40 - 63	-2,69	-0,44
D: F.Morto Nuovo - F.Serchio	-170,67		-2,58	64 - 89	-22,94	-3,82
E: F.Serchio - Canale Bufalina	120,8		1,83	90 - 105	39,83	6,63

Il tratto settentrionale, nel periodo 2008-2014, tra i settori 40-63 (tratto C) evidenzia una significativa diminuzione dei processi erosivi, causata essenzialmente dalla stabilizzazione ed avanzamento della spiaggia delle "Lame delle Gelosie", processo già in atto (2003-2007) successivamente alla costruzione dei 9 pennelli (Pranzini, 2008) ed al costante incremento nel tratto in sinistra idraulica del Fiume Morto Nuovo, la cui causa può essere associata alla presenza dell'intervento di difesa sperimentale nell'area del Gombo. Contrariamente, i settori 64-89 (tratto D) tra il Fiume Morto Nuovo e la Foce del Serchio mostrano un forte aumento dei processi erosivi rispetto al periodo 1938-2004, a cui corrisponde nel successivo tratto a nord della foce del Serchio (tratto E, settori 90-105) un marcato incremento del tasso di progredazione: da 1,83 m/a nel periodo 1938-2004 a 6,63 m/a nel periodo 2008-2014.

### Conclusioni

Le analisi svolte sull'evoluzione della linea di riva della costa pisana tramite rilievi diretti e frequenti in un intervallo temporale ridotto di sei anni ha permesso di ricostruirne l'attuale tendenza evolutiva e di evidenziare, con settori di analisi lunghi mediamente di 200 m, tratti dal comportamento difforme rispetto alla tendenza generale. Si è potuto anche valutare l'efficacia o meno delle opere di difesa realizzate negli ultimi anni.

Il tratto meridionale mostra una complessiva stabilità della linea di costa, con tassi tendenzialmente positivi, variabili tra 1-1,5 m/a per il tratto di Calambrone e negativi, -1,5 m/a nel tratto di costa delimitato dalla barriera soffolta la cui evoluzione è strettamente collegata alle caratteristiche geometriche e strutturali dell'opera di difesa. Lo studio ha permesso di evidenziare il meccanismo di spostamento del materiale sabbioso tendenzialmente verso nord e di localizzare tre zone con tasso di spostamento della linea di riva rimasto pressoché costante e positivo.

L'elevata variabilità del tasso di spostamento medio nei settori estremi del tratto meridionale è determinata dall'effetto delle opere antropiche poste ai loro margini. Le aree di convergenza che delimitano tratti di costa con particolari ed autonomi trend evolutivi possono così rappresentare i limiti esterni di influenza delle rispettive opere portuali o di difesa costiera sulla evoluzione e migrazione longitudinale del trasporto solido e di conseguenza sulla evoluzione della linea di riva. L'influenza della costruzione della seconda cassa di contenimento del porto di Livorno (chiusura perimetro esterno nell'estate 2013) registrata dalle variazioni fuori scala della curva 2012-2014 evidenzia un effetto che si manifesta fino a circa 3 km a nord, mentre l'area di convergenza al settore 30, ubicata a circa 600 m a sud dal pennello meridionale della barriera soffolta, demarca verso sud l'influenza di quest'opera sulla dinamica costiera. Il confronto con il periodo di osservazione 1938-2004 evidenzia una riduzione del tasso di crescita di questa parte del litorale pisano.

Le analisi svolte sul tratto settentrionale mostrano una continuità nel processo di stabilizzazione del tratto delle Lame delle Gelosie ad opera dei pennelli dotati di setto sommerso, ma una marcata fase erosiva nel tratto posto sottoflutto fino al Gombo. Qui, il sistema difensivo sperimentale installato nel 2009 non ha indotto effetti positivi sulla stabilizzazione della linea di riva, mentre ha generato una marcata fase deposizionale, mai verificatasi in precedenza, nei settori 59-63 in sinistra idraulica della foce del Fiume Morto Nuovo. Il tratto successivo, fino alla foce del Fiume Serchio, mostra i maggiori valori negativi del tasso di spostamento dell'intero litorale pisano, con alcuni settori che arretrano anche di 15-20 m/a. Questi valori, associati a intense modifiche della morfologia dei sistemi dunali frontali, spiegano l'evoluzione del tratto di costa posto a nord del Fiume Serchio, caratterizzato da una generalizzata ed estesa fase di progredazione costiera, con

settori i cui tassi di spostamento raggiungano anche gli 80 m/a.

La comparazione tra le variazioni areali di spiaggia dei due periodi di indagine evidenzia una migrazione verso nord del punto in cui si hanno i più intensi processi erosivi; dalla spiaggia delle Lame delle Gelosie (periodo 1938-2004) verso il tratto Fiume Morto Nuovo-Serchio (2008-2014). Inoltre, i due tratti mostrano valori di arretramento simili in differenti periodi di analisi e di intervalli temporali (rispettivamente -3,52 e -3,82).

Lo studio della linea di riva nel periodo 2008-2014 ha evidenziato come i sistemi difensivi che maggiormente hanno contribuito e contribuiscono a stabilizzare la linea di riva del tratto settentrionale siano i pennelli con setto sommerso realizzati alle Lame delle Gelosie grazie ad un trasporto litoraneo diretto prevalentemente verso nord. Tale tipologia di sistema difensivo esportato nel tratto a maggiori tassi erosivi potrebbe interrompere l'eccessiva migrazione verso nord del materiale sabbioso, anche se non è da escludere una successiva fase erosiva nel tratto sottoflutto che interesserebbe inizialmente l'area della foce del Fiume Serchio e successivamente le spiagge di Marina di Vecchiano. Il mantenimento (o l'incremento) nei prossimi anni degli attuali tassi erosivi sull'interno del tratto di costa del Parco Regionale di Migliarino-SanRossore-Massaciuccoli avrà come conseguenza importanti modificazioni geomorfologiche del litorale e dell'ambiente dunale, già oggi esposto a intense fasi di demolizione con conseguenti ripercussioni sull'habitat naturale, in particolar modo nel tratto che si estende dal Gombo alla foce del Serchio.

### Ringraziamenti

Questo lavoro è stato svolto tramite rilievi ed elaborazioni eseguite direttamente dalla Provincia di Pisa. Il Dirigente del Servizio Difesa Suolo, G. Bracci ed il Funzionario A. Carli.

I rilievi sono stati eseguiti da N.Casarosa, L.Sardi, A. Pannocchia e S. Matteoni.

### Bibliografia

- Aiello E., Bartolini C., Caputo C., D'Alessandro L., Fanucci F., Fierro G., Gnaccolini M., La Monica G.B., Lupia Palmieri E., Piccazzo M. e Pranzini E. (1976) - *Il trasporto litoraneo lungo la costa toscana fra la foce del Fiume Magra ed i Monti dell'Uccellina*. Boll. Soc. Geol. It., 94: 1519-1571.
- Albani D., (1940). *Le spiagge della toscana settentrionale dalla foce del fiume Magra ai Monti Livornesi*. in: Albani d., Griselli A., Mori A., Ricerche sulle variazioni delle spiagge toscane, 2. CNR Roma: 11-8.
- Aminti P.L., Cipriani L.E., e Pranzini E. (2003) "*back to the beach*": *converting seawalls into gravel beaches*. In Soft Shore Protection, Coastal System and Continental Margins Volume 7, C. Goudas et al. (eds), Kluwer Academic Publishers, 2003, pp.261-274
- Baldini A., Regattieri M., (1983). *Correnti prossimali e apporto solido tra la Foce dell'Arno e la Foce del Fiume Morto Nuovo*. Atti Soc. Tosc. Sci. Nat., Mem. Serie A, suppl. XC: 21-34.
- Baldini A., Regattieri M. e Tongiorgi M., (1983). *Analisi granulometrica delle sabbie e dinamica del litorale di S. Rossore (Pisa): un anno di osservazioni (aprile 1979 - aprile 1980)*. Atti Soc. tosc. Sci. Nat., Mem. Serie A, suppl. XC: 35-79.
- Bini M., Casarosa N., Ribolini A., (2008). *L'evoluzione diacronica del litorale pisano (1938-2004) sulla base del confronto delle immagini aeree georeferenziate*. Atti Soc. tosc. Sci. nat., Mem., Serie A, 113 pagg. 1-12
- Boninsegni G., Mori E., (2014) *Studio Idrodinamico e Morfodinamico Marino: Progetto Esecutivo "Adeguamento idraulico del canale scolmatore d'Arno lotto 1 - opere a mare"*. Provincia di Pisa, Servizio Difesa Suolo, U.O. Opere Idrauliche e Marittime.
- Cappietti L., Cammelli C., Farrell E., Ferri S., Aminti P.L., Pranzini E., (2003). *A case of updrift erosion induced by a Harbour-breakwater*. Medcoast 2003, Ravenna:1701-1718.
- Casarosa N., Bini M., DeBiasi A., (2011) *Morfologie relitte e antiche linee di riva delle "Secche della Meloria"* Studi costieri 2011-18:43-52
- Cipriani L.E., Ferri S., Iannotta P., Paolieri F., Pranzini E., (2001) *Morfologia e dinamica dei sedimenti del litorale della Toscana settentrionale*. Studi Costieri 4: 119-156.
- Federici P.R., (1983). *Lineamenti geografici e geomorfologici*. In «Dal Calambrone al Burlamacca: Guida alla natura del Parco Migliarino-S. Rossore-Massaciuccoli», Nistri-Lischi Editori, Pisa: 3-17.
- Federici P.R., Mazzanti R., (1993). *Note sulle pianure costiere della Toscana. Aspetti fisici e problemi ambientali delle pianure italiane*. Mem. Soc. Geogr. It. 53: 165-270.
- Gandolfi G., Paganelli L., (1975). *Il litorale pisano versiliese (area campione Alto Tirreno) composizione prove-*

- nienza e dispersione delle sabbie*. Boll. Soc. Geol. It. 94: 1273-1295.
- Milano V., (1994). *L'evoluzione e le caratteristiche meteo-marine del litorale compreso tra i porti di Livorno e Viareggio dal 1864 al 1983*. in «L'evoluzione e la dinamica del litorale prospiciente i bacini dell'Arno e del Serchio e i problemi di erosione della costa». Quaderni dell'Autorità di Bacino dell'Arno e del Serchio 3: 53-90.
- Noli A., Franco L., (1989). *L'evoluzione del litorale pisano: risultati di uno studio con impiego di modelli matematici*. Camera di Commercio industria Artigianato di Pisa, Amministrazione Provinciale di Pisa, Comune di Pisa. Giardini Editore: 1-37.
- Palla B., (1983). *Tre anni di osservazioni (1978-1981) sulla morfologia della spiaggia campione dalla foce dell'Arno al Gombo (Tenuta di S. Rossore - Pisa)*. Atti Soc. tosc. Sci. Nat., Mem, suppl. XC: 99-124.
- Palla B., (1983). *Variazioni della linea di riva tra i Fiumi Arno e Serchio (Tenuta di S. Rossore - Pisa) dal 1878 al 1981*. Atti Soc. tosc. Sci. Nat., Mem. Serie A, suppl. XC: 125-149.
- Pranzini E., (1983). *Studi di geomorfologia costiera: IX - L'erosione del delta dell'Arno*. Quad. Mus. St. Nat. Livorno 4: 7-18
- Pranzini E., (1989). *A model for cusped delta erosion*. 6th Symp. On Coastal and Ocean Management / ASCE. Charleston, SC. Coastal Zone 89. Pp. 4345-4357.
- Pranzini E., (2001). *Updrift river mouth migration on cusped deltas: two examples from the coast of Tuscany (Italy)*. Geomorphology 38: 125-132.
- Pranzini E., (2004). *Caratteristiche morfologiche e sedimentologiche di una zona di convergenza del trasporto litoraneo (Versilia, Toscana)*. Studi Costieri 8:135-149.
- Pranzini E., Simonetti D., (2007). *Beach evolution monitoring: Surface Variation Analysis vs Transept Based Analysis*. Beach Erosion Monitoring result from BEACHMED-c/OpTIMAL PROJECT. 25-31
- Pranzini E., (2008). *L'intervento di stabilizzazione del litorale delle Lame (Parco San Rossore Migliarino Massaciuccoli, Toscana)*. Studi Costieri 14: 29-42.
- Pranzini E., Simonetti D., (2008). *Influenza del fattore scala sulla classificazione delle spiagge in base alla loro tendenza evolutiva*. Studi Costieri 14: 14-38
- Pranzini E. (2007), *Airborne LIDAR survey applied to the analysis of historical evolution at the Arno River delta (Italy)* in «Journal of Coastal Research» SI 50 (Proceedings of the 9th International Coastal Symposium), pp. 400 – 409 <http://www.griffith.edu.au/conference/ics2007/pdf/ICS078.pdf>.
- Rapetti F., Vittorini S., (1978). *Osservazioni sul clima del litorale pisano*. Riv. Geogr. It. LXXXV (1): 1-22.
- Rapetti F., Vittorini S., 1983. *Brevi considerazioni sull'influenza dei venti riguardo alle fluttuazioni della linea di costa del litorale di S. Rossore-Massaciuccoli*. Atti Soc. tosc. Sci. Nat., Mem. Serie A, suppl.13-20.
- Sarti G., Bini M., Giacomelli S. (2010), *The growth and decline of Pisa (Tuscany, Italy) up to the Middle Ages: correlations with landscape and geology* in «Il Quaternario Italian Journal of Quaternary Sciences», 23(2Bis), Volume Speciale, pp. 311-322
- Toniolo A.R., (1910). *Sulle Variazioni di spiaggia a foce d'Arno (Marina di Pisa) dalla fine del secolo XVIII ai nostri giorni: Studio storico fisiografico*. Comune di Pisa (a cura di), Tipografia Municipale, Pisa: 1-93.
- Toniolo A.R., (1927). *Variazioni storiche del litorale toscano tra l'Arno e la Magra*. Atti X Congresso Geografico Italiano, Milano.
- Vittorini S., 1977. *Variazioni della linea di costa al Gombo (litorale pisano)*. Atti Soc. tosc. Sci. Nat., Mem. Serie A: 91-103.

**Ricevuto il 18/07/2015, accettato il 02/04/2016.**

## Le foci del Serchio e del Fiume Morto nelle restituzioni cartografiche pre-geodetiche

Marco Piccardi ed Enzo Pranzini

Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Firenze.  
Borgo Albizi, 28 - 50122 Firenze. Tel.: 055 2479241.  
m.piccardi@tin.it, epranzini@unifi.it

### Riassunto

Vengono analizzate le fonti cartografiche dei secoli XVI – XVIII per la ricostruzione dell'evoluzione del litorale sul quale insistono le foci del Fiume Morto e del Fiume Serchio, con particolare attenzione alle trasformazioni naturali e antropiche delle loro aste terminali che scorrono nella parte settentrionale della pianura pisana.

Si rileva una eccezionale coerenza, sia fra i vari documenti cartografici prodotti da autori diversi per varie committenze, sia fra questi e le fonti descrittive che accompagnano i progetti idraulici portati avanti nei tre secoli studiati.

In tutto ciò appare evidente come l'evoluzione di questo litorale sia influenzata dall'input sedimentario dell'Arno, che sfocia poco più a Sud e i cui sedimenti vanno ad ostruire o deviare le foci dei corsi d'acqua minori. Le opere idrauliche, spesso deviazioni delle aste terminali o la loro unione, erano volte proprio a garantire il deflusso delle acque attraverso una foce che tendeva a chiudersi. Solo in un breve periodo, nel XVIII sec., il Serchio raggiunge portate sedimentarie tali da consentirgli di sviluppare un accenno di delta oggi riconoscibile dalle convergenze dei cordoni dunari.

### Parole chiave:

Cartografia storica, rete idrografica, progradazione costiera, delta fluviali, trasporto litoraneo.

### Abstract

*In this paper cartographic sources from XVI - XVIII centuries are analysed to reconstruct coastal evolution at the mouth of Morto and Serchio rivers. Special attention is given to natural and anthropogenic changes at their terminal courses, which flow in the northern part of the Pisan plain.*

*The study points to outstanding consistency between the different cartographic documents produced by several authors for their varying clients, and between these and the technical notes that are part of the hydraulic projects developed in the three centuries studied.*

*This research demonstrates that evolution of this coastal stretch is highly influenced by the sediment input from the Arno river: it discharges just south of the stretch studied and its sediments block or divert the mouth of minor rivers. Hydraulic works often consisted of deviation or union of watercourses and were conducted to allow water to flow through a mouth that tended to close. Only for a short period in the eighteenth century, the Serchio river had a sedimentary input sufficiently high to allow a "hint" of a delta to develop, which we can today detect in the convergence of foredunes.*

### Keywords:

*Historical maps, hydrographical network, coastal progradation, river delta, longshore transport.*

**Premessa**

I circa venticinque chilometri della fascia costiera pisana sono segnati, dal XVI al XIX secolo, da quattro foci a mare. Due di queste, quelle di Serchio ed Arno, raccoglievano quelle che efficacemente furono definite "acque straniere" (ovverosia le acque di fiumi portate dai luoghi più lontani) mentre quelle del Fiume Morto e del Calambrone convogliavano le acque "naturali o locali" (le meteoriche che cadono sopra la stessa pianura e sui rilievi adiacenti).

Negli studi sul litorale pisano manca una trattazione organica sulla dinamica delle foci negli ultimi cinquecento anni, anche se in letteratura si incontrano spunti sugli interventi più impattanti (i tagli e le deviazioni delle foci di Serchio e Arno, rispettivamente nel XVI e XVII secolo) o ricostruzioni di paleoalvei, anche se prive di una precisa sistemazione cronologica. Inutile sottolineare la difficoltà, una volta individuato un letto abbandonato, nel determinarne tempi e permanenza, ma si tratta di una difficoltà destinata a stemperarsi quando si sposta l'attenzione verso secoli a noi più vicini, quelli del periodo moderno in particolare.

Di contro, ad un non agevole confronto tra i dati anche discordanti prodotti nei diversi studi che hanno guardato alla dinamica di questa fascia litoranea, resta il fatto che, a partire dal cinquecento, le ricostruzioni possono essere confortate prima dall'emergere e poi dal diffondersi di una ampia produzione cartografica. Questa, una volta sottoposta ad una analisi comparativa di carattere sincronico e diacronico, nonché rapportata all'ancor più abbondante messe di fonti descrittive, è in grado di definire dei punti fermi sia sulla dinamica della linea di costa sia sulla fitta maglia dei paleoalvei presente nella pianura pisana.

Del resto, la lettura di ciò che accade alle aste terminali dei corsi d'acqua toscani tra il XVI e il XIX secolo può risultare di estremo interesse dal momento che essa viene ad intercettare, prima i tempi di una rapida progradazione del litorale, per poi toccare l'inizio di quella fase erosiva che è in atto. All'interno di questa dinamica generale si inserisce la migrazione delle foci del Serchio e del Fiume Morto, che insieme a quelle dell'Arno e del Calambrone, rappresentano un buon punto di osservazione sull'interazione tra fenomeni naturali ed interventi antropici.

Le foci abbandonate e i paleoalvei vengono identificati nelle fonti descrittive e iconografiche come fiumi vecchi o fiumacci. Il plurisecolare succedersi di questi processi che interessano l'asta terminale del Serchio, magari in modo effimero e col successivo recupero dell'alveo antico, complica la ricostruzione dell'evoluzione di questo fiume, che si sovrappone a quella, ancor più complessa, dell'Auser, dell'Auserculus e del Tubra, quale emerge dall'intricata rete dei paleoalvei di questi corsi d'acqua.

In queste pagine si farà riferimento a quattro Serchi vecchi che, secondo le fonti e la ricostruzione della linea di costa qui proposta, hanno identificato il fiume tra il XV e il XVI secolo. I più antichi sono il Fiumaccio e il Serchio Vecchio, oggi evidenti solo per la presenza delle due lame che occupano l'area di Migliarino.

E' molto probabile che la parte più a monte di uno dei due corsi d'acqua trovasse continuità nel tracciato abbandonato del Serchio, che dopo Arbavola, correva lungo la strada maestra pietrasantina (Fig. 8b). A complicare le cose, il meandro del Metato che, ancora più a monte e dopo il taglio ricondotto al 1579, prenderà i nomi di Serchio Vecchio e Fiumaccio.

Tra la seconda metà del XVI e il XVIII, il Serchio conoscerà prima una repentina migrazione verso Sud di circa due chilometri, e immediatamente dopo quella, in direzione opposta, che risulta essere tutt'ora in corso. Un movimento che, associato all'avanzamento della linea di riva, prolungherà il tratto finale del fiume di ben tre chilometri in altrettanti secoli, e che ha visto, tra le metà dei secoli XVI e XVII, occasionali confluente con il Fiume Morto.

L'evoluzione dell'asta terminale del Serchio si fa allora interessante, non solo per le dimensioni, ma anche perché influenzata dal flusso di sedimenti provenienti da Sud, ossia dalla foce dell'Arno. Per la gran parte del tempo qui analizzato il Serchio appare quindi succube dell'Arno, e solo in rari momenti di maggiore apporto sedimentario sembra in grado di affermare la propria dignità andando a formare un accenno di delta cuspidato.

Lo studio di questi processi consente quindi di valutare quanto il bilancio sedimentario del tratto di costa in esame sia stato condizionato dell'input di questi due fiumi, variabile in assoluto e nei rapporti reciproci.

## Introduzione

A guardare alla stratificazione di quella ampia messe di fonti cartografiche e descrittive prodotta dalle diverse magistrature medicee e lorenese impegnate nel governo del territorio, le foci del Serchio e del Fiume Morto non hanno goduto di quella attenzione che è stata dedicata ai tratti terminali di altre, più o meno importanti, aste fluviali. E' così che un contributo fondamentale a questo studio viene dalle fonti conservate in quei depositi che raccolgono la documentazione della proprietà privata della famiglia medicea, di quella lorenese, dei Salviati o dai depositi dell'arcivescovado pisano (la Mensa Arcivescovile pisana era la più ricca della Toscana per estensione dei possedi).

Fiume Morto è toponimo che può trarre in inganno. Non si tratta di un fiume ma del tratto finale di un collettore delle acque reflue della pianura pisana settentrionale organizzate nella fitta rete idrografica dell'area delimitata a Sud dall'Arno, a Nord dal Serchio, ad Est dai Monti pisani e ad Ovest dal mare (Fig. 1). Tra Caprona a Ripafratta i collettori raccolgono sia le acque pluviali sia, con il Canale di Ripafratta aperto nel 1568 (Zagli, 2001, p. 37), i deflussi dei Monti pisani.

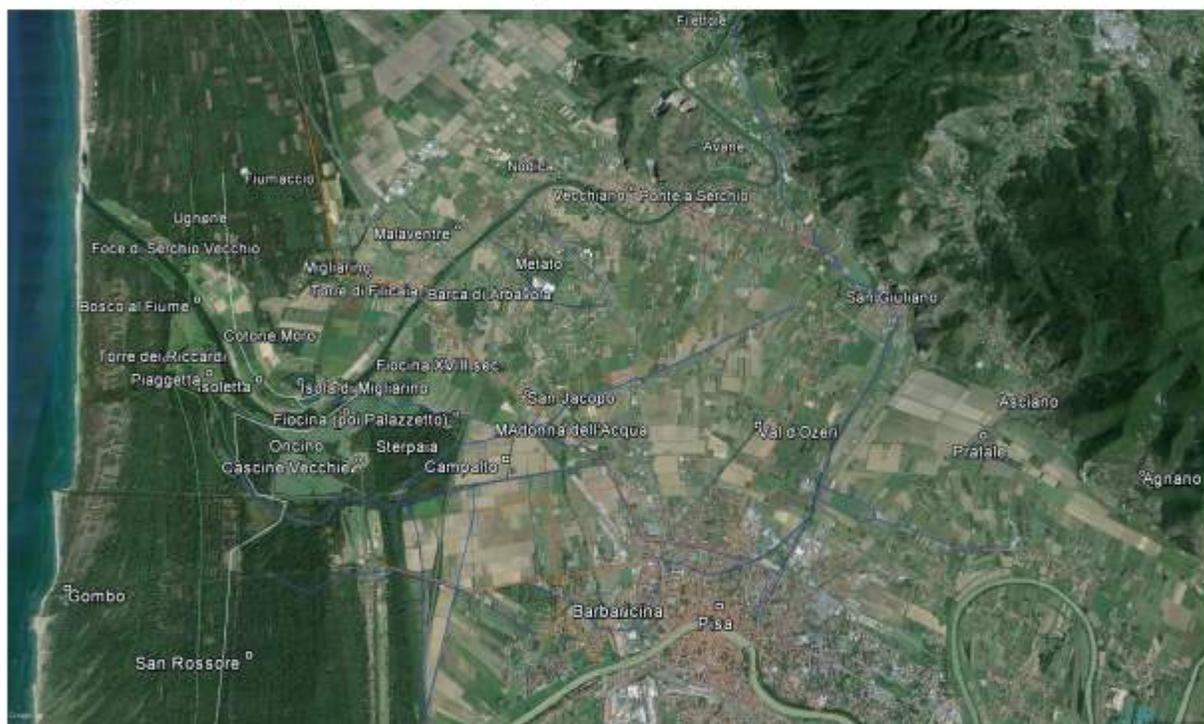


Figura 1. Tra Arno e Serchio. Idrografia, viabilità, toponomastica e linea di costa di inizio (cfr. Fig. 2a, bianco) e seconda metà (cfr. Fig. 7, verde) del XVI secolo su DTM, ADBS (2006) e AIRT (2008).

Al tempo di Leonardo da Vinci un raccordo tra le acque dell'Arno e del Serchio era garantito da un canale che collegava Ponte a Serchio all'area umida del Pratale. Da qui si distaccava l'Oseri, che raccoglieva gli scoli del padule. Giunto sotto le mura di Pisa, quello che poi sarà chiamato Fosso delle Mulina, incontrava una cateratta che si adoperava per dirottare le acque nell'Oseri (l'Oseretto), verso il Fiume Morto, o in direzione opposta, a sfociare in Arno (Figg. 2a, b). Il Fiume Morto scorreva completamente all'interno della proprietà granducale, divenendone una sorta di affare privato che poteva sfuggire al controllo esercitato dalle magistrature e dagli uffici territorialisti statali. Si tratta probabilmente di un fattore determinante nella cronica successione di interventi sull'asta terminale, non riscontrabile sulle altre presenti nella piana pisana. A primavera e in inverno vi defluivano abbondanti portate, ma lo smaltimento, proprio quando più necessario, era spesso impedito dall'ostruzione della bocca; e già qui si intuisce l'importanza dei sedimenti portati dall'Arno e che fluivano lungo riva con senso prevalente verso Nord (Aiello et al, 1976). L'intasamento provocava rigurgiti, esondazioni e allagamenti che nel XVI secolo arrivavano ad interessare le terre di Campalto e la strada maestra pietrasantina, che all'epoca si trovava a quattro - cinque chilometri dalla spiaggia, mentre oggi ne dista otto.

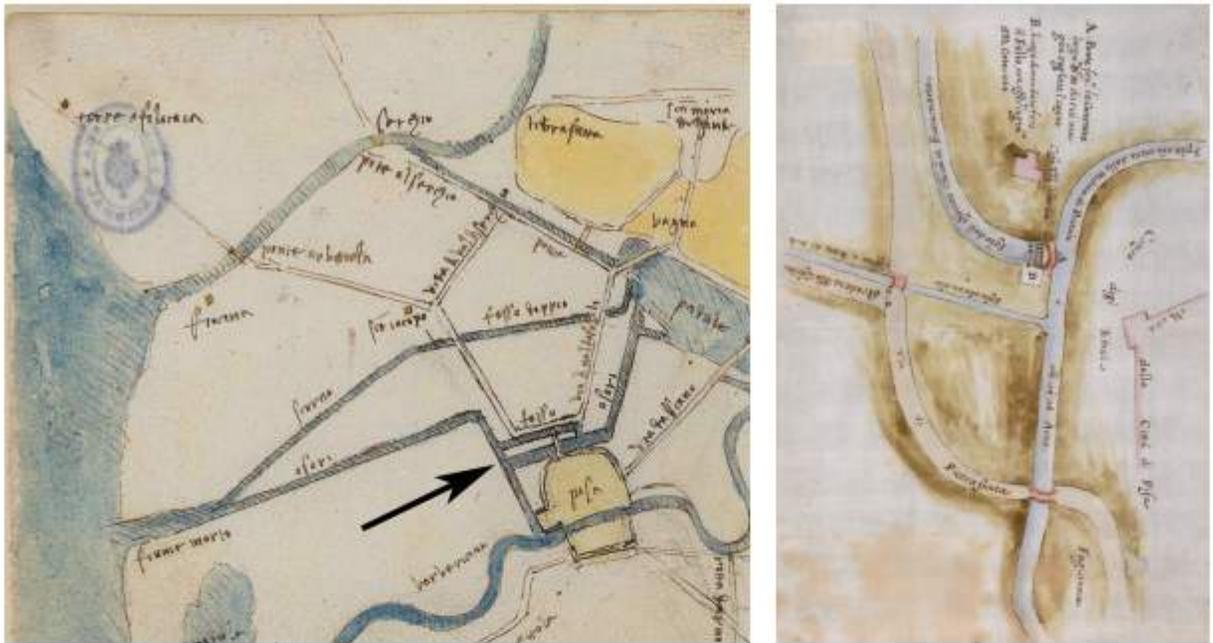


Figura 2. La partizione delle acque del Fosso delle Mulina di Pratale (l'Oseri di Leonardo) sotto le mura di Pisa. Leonardo da Vinci, a. 1503, BNE, Codice di Madrid II, ff. 52v-53r. (a); ASF, Miscellanea di Pianta, 353, fine XVII inizio XVIII secolo (b).

Il Fiume Morto attuale (la cui foce è stata chiusa per lasciare spazio al Fiume Morto Nuovo scavato tra 1926 e 1930) finirebbe in mare a circa 3700 m a Sud della foce del Serchio, ma fino ad un passato non troppo lontano la distanza era più contenuta e lo fu ancora di più nel XVI e XVII secolo, fino ad arrivare, nei decenni a cavaliere del 1600, alla foce unica.

Le acque del Serchio nella corsa dalla sorgente alla foce attraversavano tre stati: quello Estense nell'Alta Val di Serchio, la Repubblica di Lucca e il Granducato nel breve tratto finale tra la soglia di Ripafratta e la foce. Di conseguenza lo stato lucchese, che fin dall'inizio del XVI secolo aveva una magistratura specificatamente dedicata al fiume (l'*Offizio sopra il Fiume Serchio*, che raccoglie documenti che risalgono fino al XIV secolo), non poteva operare sulla foce che si trovava in territorio granducale; d'altra parte, nel Granducato si era perfettamente consci degli scarsi risultati che si potevano ottenere operando solo negli ultimi chilometri, magari con interessi contrapposti rispetto a quelli esercitati da Lucca sul bacino superiore.

Diversamente dall'Arno, che scorre a lungo in una pianura prima di giungere al mare, il Serchio sfocia, in linea d'aria, ad una dozzina di chilometri dalla soglia di Ripafratta che taglia la catena del monte pisano. Giorgini (1839, p. 176) calcola in poco meno di 14 braccia (8 m ca.) il dislivello del Serchio nelle 12 miglia tra la pescaia di Ripafratta e il mare. Il Serchio si distingue anche per una foce non troppo vicina ad una grande città che, come Pisa, potrebbe essere stata soggetta alle inondazioni provocate dai rigurgiti della foce. Ciò non ha risparmiato a Lucca gravi alluvioni che tuttavia risultano determinate non tanto dalle condizioni a valle quanto dalla situazione a monte e intorno alla città. Va osservato che - nonostante quelli che Zagli (2001, p. 53) correttamente definisce come interessi assolutamente inconciliabili - il Granducato si trovò a condividere con la Repubblica di Lucca il Lago di Sesto o di Bientina, con lunghissime dispute ma, tutto sommato, senza grandi conflitti (e soluzioni) almeno fino alla metà del XIX secolo, quando, una volta caduta la repubblica antagonista, si decise la colmata del palude alimentato dall'Ozzeri/Rogio, una derivazione del Serchio (Fig. 3). Viene da pensare che si fosse troppo impegnati a risolvere la secolare disputa sul Lago di Bientina per pensare di mettere sul piatto anche la questione del tratto terminale del Serchio. Questo verrebbe almeno in parte a spiegare l'assenza di un piano di bacino che invece, pur tra mille difficoltà e insuccessi, si viene a configurare per il basso corso del maggiore fiume toscano.

Gli alvei di fiumi e canali possono prestarsi a confinare gli stati, ma il Serchio lo fu solo parzialmente tanto che, proprio sul tratto terminale sulla sponda destra, si individua la continuità del Granducato che prende la forma di una enclave nello stato lucchese (Fig. 3). Ciò dipende non solo dal fatto che i confini vennero

stabiliti prima di una accelerazione del ritmo di progradazione del litorale, ma anche perché sin dal medioevo, sulle comunità disposte sulla bassa sponda destra del Serchio (Nodica, Vecchiano, Avane, Filettole e Malaventre) l'Arcivescovado pisano aveva esercitato la propria protezione (Roveda, 1984, p. 410).



Figura 3. Il corso del Serchio e il lago di Sesto (Bientina) nella carta dello stato lucchese (in verde). Alessandro Resta (a. 1569), ASLU, Fondo stampe.

Tra Serchio e Fiume Morto non mancarono gli interventi granducali ma - a differenza di quanto accadrà a partire dal XVIII secolo poco a Sud dell'Arno per le terre più occidentali della Fattoria di Casa Bianca e per l'area di Stagno a partire dal XVII secolo - le colmate qui si avvieranno solo alla fine del XVIII secolo e insisteranno a 3 km e oltre dalla spiaggia.

Le terre conquistate alle acque dolci e salmastre grazie al taglio di meandri e alle bonifiche, una volta consolidate, costituirono una parte consistente del patrimonio mediceo e questo vale anche per le aree generate dalla progradazione del litorale. In questo senso sulla costa toscana fattorie e tenute medicee si estenderanno quasi senza soluzione di continuità dal Serchio alla Maremma meridionale. La regimazione dei fiumi necessitava dell'accordo e dei capitali delle proprietà che si affacciavano sulle sponde, molto attente alla logica costi-benefici. E qui emerge una differenza con quanto avveniva sulle sponde opposte del tratto finale dell'Arno, dove si incontravano solo due proprietà (a Nord, anche se di carattere enfiteutico, quella medicea e a Sud quella arcivescovile), mentre sulla sponda settentrionale del Serchio si affacciavano numerose proprietà disposte a macchia di leopardo.

A guardare alla quantità di carte conservate all'Archivio di Stato di Firenze dedicate all'area di San Ros-

sore, sembra che la documentazione degli interventi sul Fiume Morto sia molto più consistente di quella dedicata a quelli sul Serchio. La regimazione della maglia idrografica pisana fu operazione titanica che richiese grandi investimenti. Un compito difficile, sottolineato nelle righe di Tommaso Perelli che, nella visita a queste terre, paragona la tessitura della pianura pisana ad una spugna *dal che ne viene che nel mezzo a una campagna di questa sorta poco giova, lo scavare canali, e il formare argini perché l'acqua che inzuppa il terreno degli spazi intermedi non si separa [...] ma resta sempre come in una spugna legata, e mescolata col terreno, che se ne impasta, e se ne imbeve, senza che vi sia arte che vaglia a separare le parti aride dalle umide* (Perelli, 1747, p. 127).

Il corso del Serchio misura 135 chilometri e negli ultimi 20 km circa, da Ripafratta al mare, è contrassegnato dal meandro che racchiude Avane e Vecchiano, dall'ansa di Isola di Migliarino e da una foce orientata a Nord-Ovest: un tracciato che si è venuto a configurare solo nella seconda metà del XVIII secolo. Nel medioevo la situazione era ben più complessa. L'interpretazione di immagini aeree e satellitari ha condotto ad identificare numerosi paleoalvei ma, a tutt'oggi, si discute sul la loro attribuzione ai diversi rami del Serchio (Tubra, Auser, Auserculus, Ozzeri, Serchio, Fiume Morto del Serchio, Fossa Salaria) (Redi, 1990, Tavola I; Gattiglia, 2013) senza che si possano escludere sovrapposizioni toponomastiche o di tracciati.

Se possiamo immaginare l'impegno profuso nel medioevo per risolvere l'intricata rete dei *Serchi*, in periodo moderno, quando si escluda il taglio e il raddrizzamento della metà del XVI secolo, la foce del Serchio sembra non aver impegnato molto gli amministratori toscani. Al di là del ripristino della foce a mare del Fiume Morto, trasformato per qualche decennio in un affluente del Serchio, gli interventi, una volta escluse le colmate dell'Oncino e Piaggetta (comunque avviate alla fine del XVIII secolo, quando il ritmo della migrazione si era ridotto) sono sporadici e si concentrano sugli affluenti di destra che scorrono intorno a Isola di Migliarino (Traversagna, Storigliana, Righinella e Baldinacca) impegnati ad adattarsi ai movimenti del tratto finale del Serchio (Figg. 20 e 21).

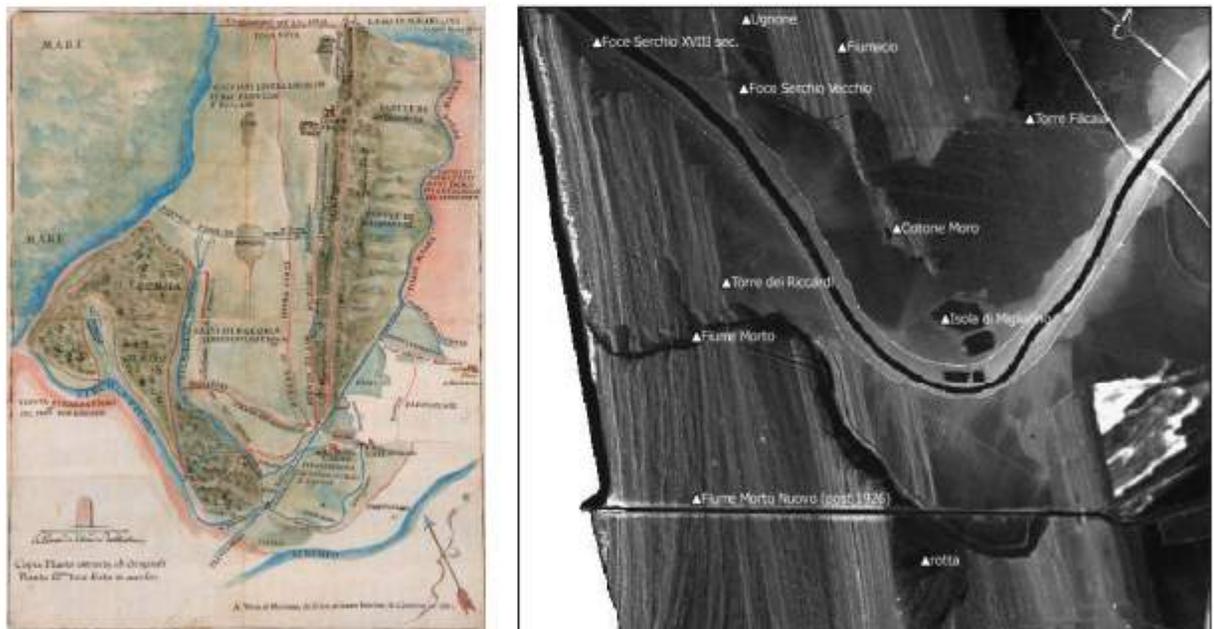


Figura 4. Migliarino, Serchio Vecchio, Ugnone e Fiumaccio (copia da Francesco Gaeta a. 1662), ASF, Miscellanea di Piante 609 (a); le stesse località su DTM, ADBS (2006).

Il progressivo slittamento verso Nord della foce è costantemente illustrato nei documenti storico iconografici: una migrazione naturale verso la posizione dell'antica bocca che segue immediatamente al taglio e al raddrizzamento dell'ansa di Serchio Vecchio, comunemente ricondotta al 1560. Un movimento di lunga durata, determinato dal drift sedimentario diretto verso Nord (Aiello et al., 1976) e dal progressivo accumulo sulla sinistra della foce dei sedimenti provenienti dalla foce dell'Arno e descritto in molteplici carte prodotte

tra il XVII e il XIX secolo, che mettono in evidenza le tappe e i passaggi di quella migrazione capace di riportare l'ultimo tratto del corso a scorrere parallelo e a circa 300 m dal vecchio alveo, recuperando anche l'orientamento medioevale della foce. In questa fluttuazioni si apprezza la prevalenza dei fattori naturali su quelli antropici nell'impostazione della direzione dell'asta terminare del fiume.

Mancano invece carte prodotte quando la foce del Serchio Vecchio si apriva in mare e lo stesso dicasi per quella ancor più antica del Fiumaccio (oggi i due toponimi identificano altrettante lame), tanto che per una loro restituzione dobbiamo guardare a carte e disegni prodotti dopo che il fiume avrà trovato foce 1700-1800 m più a Ovest (Fig. 4). Un'assenza che una volta messa in relazione ad una toponomastica che si fa insidiosa nel caso degli alvei abbandonati (cartografia storica, fonti descrittive e letteratura replicano per aree diverse e distanti toponimi quali *Serchio Vecchio*, *Fiumaccio*, *Arnaccio* e *Arno Vecchio*) rende ancor più intricata la ricostruzione dell'evoluzione della rete idrografica nel periodo moderno.

## Il XVI secolo

Andando per gradi e mettendo da parte la cartografia nautica medioevale, ovvero sia quel paio di centinaio di carte portolano a piccolissima scala che, con inevitabile approssimazione, a partire dalla fine del XIII secolo illustrano le sponde dell'intero Mediterraneo e parte dell'Oceano atlantico (Lepore et al., 2011 e 2012), le prime chiare rappresentazioni dell'area fociale del Serchio e del Fiume Morto risalgono al XVI secolo.

Sono tre, a oggi, le carte cinquecentesche cui possiamo guardare con una certa fiducia grazie al fatto che i segni lasciati sul territorio dagli alvei e dalle foci antiche insieme a più stabili elementi antropici (come ad esempio la viabilità e l'insediamento) sono ben riconoscibili sulle attuali superfici. Quella di Leonardo da Vinci, disegnata nel 1503 (Fig. 2a), resta la prima carta dedicata alla pianura pisana. Nel luglio di quell'anno Leonardo, accompagnato da Gerolamo da Filicaia e Alessandro degli Albizi, fu inviato a Pisa durante la rivolta anti fiorentina. In quella occasione egli progettò una deviazione del corso dell'Arno per *levare l'acqua ai pisani*: un progetto da realizzare con l'incisione di due canali, il primo diretto al Serchio, il secondo verso Stagno.

Quello che però a noi interessa sono le perplessità sollevate sulla affidabilità della restituzione leonardesca parzialmente chiarite per il corso dell'Arno (Piccardi e Pranzini, 2014). Nel dettaglio di Figura 2a si riconoscono, da Nord a Sud, la Torre a Filicaia, il Ponte al Serchio, il ponte Arbarola, Fiocina. Oggi il toponimo Fiocina, uno dei rari punti di riferimento per la ricostruzione della linea di costa di inizio '500 (per tutti Gattiglia, 2013, Fig. 2.1.1), identifica una ex fattoria fondata nel XVIII secolo. Insiste vicino all'ampia curva che segna la Via Vecchia Pietrasantina a poco più di un kilometro da quello che era l'antico attraversamento di Arbavola e qui è stata riconosciuta anche da Redi (1990, Tavola II) nella sua ricognizione sulla toponomastica medioevale: una delle tappe obbligate per ogni ricostruzione della piana settentrionale pisana del passato. Così non è nella carta di Leonardo (Figg. 1 e 2a) dove l'edificio appare lontano dalla strada pietrasantina e più vicino al mare.

L'area tra la strada pietrasantina e la Fossa Cuccia resterà, come nel caso di Campalto, a lungo soggetta ad esondazioni ed allagamenti senza rinunciare ad accogliere incursioni e raid ottomani. Questa situazione rendeva esoso, prematuro e pressoché fallimentare ogni investimento per lo sviluppo agricolo. Ciononostante, la carta del 1503 evidenzia tra Pisa e Serchio un tentativo di organizzazione razionale della rete idrografica indirizzato alla progressiva conquista dei suoli umidi che, nei secoli a venire e a partire dalle pendici dei monti pisani, si estenderà verso le aree più vicine al mare. Questi suoli furono occupati da una grande laguna su cui, a partire dal 3000 a. C., si è andata a sostituire una pianura deltizio costiera *con lo sviluppo di estese aree intercanale palustri, scarsamente ossigenate e probabilmente acide attraversate da paleocorsi fluviali* (Amorosi et al., 2012, p. 254) primi fra tutti *gli Auser*. Così per il Pratale (Fig. 2a): un'area umida collegata al Serchio da un canale parallelo alla strada che da Ponte a Serchio va a lambire le pendici dei Monti Pisani. Nella carta di Leonardo, il Pratale si estende in senso Nord-Sud tra San Giuliano Bagni, Asciano e Agnano fin quasi a toccare l'omonimo meandro d'Arno. Le sue acque dovevano essere poco profonde se potevano essere attraversate, con tutta probabilità solo nelle stagioni migliori, dalla via di Val d'Ozeri e dalla Via che da Pisa conduceva ad Asciano. Dall'area a Nord-Ovest del Pratale si staccavano tre emissari. Tra quelli più settentrionali, sotto la strada pietrasantina, il Fosso Doppio prende il nome di Scorno e punta diritto al mare. Diversamente, l'Ozeri era indirizzato a Sud dove, a Pisa, si faceva fosso murario. Dalle mura, ben incanalato, voltava a Nord dove, vicino alla Madonna dell'Acqua, voltava secco verso il mare. Il Fiume Morto, nella carta di Leonardo altro non è che la foce unificata di Ozeri e

Scorno (oggi Fiume Morto Nuovo e Anguillara) ma da allora fino alla tura artificiale della foce effettuata tra il 1926 e il 1930 il percorso si allungherà di quasi 4 km.

Nel vasto *thesaurus* iconografico dei secoli XVI-XIX, la carta di Leonardo è importante anche perché lascia traccia, appunto nell'Ozeri, di quell'intricata e complessa rete dei *Serchi* e degli *Auser* con un Ozeri che nelle carte seicentesche prenderà prima il toponimo di Scorno e poi quello di Anguillara. La Figura 1, che ricostruisce l'idrografia cinque- e seicentesca, palesa come l'attuale rete idrografica della piana settentrionale pisana (pur con i 4 km ca. del Fiume Morto Nuovo) sfrutti ancora la maglia idrica ordita quattro o cinque secoli fa. Nella carta anonima di metà '500 (Figg. 5a e 7) le aree umide (lame e paludi) sono in colore beige mentre i cotoni sono in marrone. La rada maglia insediativa viene segnalata da punti rossi privi di toponimo. Uno di essi si trova dove il Fosso Doppio si biforca nei fossi del Feminello e dell'Anguillara a circa 1000 m a Sud-Ovest dell'attuale Fattoria di Fiocina. Ci troviamo ai margini settentrionali di un'area, la Sterpaia di San Rossore, dove si riscontrano quote fino a 17 m e che è costituita dalle Sabbie dell'Isola di Coltano e di Vicarello che, nel bordo occidentale, segnano il limite raggiunto dalla trasgressione Versiliana (Della Rocca et al., 1987). Qui sono state trovate tracce di frequentazione di età neolitica, dell'età del ferro e di età ellenistica (Codagnone, 1992, in particolare pp. 50-52). Sempre sulla sponda destra dell'Ozeri di Leonardo (Fig. 6a) insistevano le chiese di S. Stefano di Riglione e di San Bartolomeo di Scorno o Servadio e, sui primi cotoni paralleli alla linea di costa il porto medioevale di Leccio (Redi, 1990, tavola II; Fig. 5).

Il toponimo Fiocina si riscontra nel XII secolo come adiacente ai corsi di Auserculus ed Auser quando si scrive anche di un terreno a Riglione confinato da Serchio e *Flumine mortuo* (Ceccarelli Lemut M. L., Mazzanti R., Morelli P., 1994, pp. 408-409). Ciò conforta il nostro riposizionamento del toponimo dove intorno al 1550, probabilmente profittando dei resti di Fiocina, Eleonora da Toledo fonderà Palazzetto (Fig. 5b). A supporto del riposizionamento di Fiocina viene lo stesso toponimo che, in altre aree del pisano, individua una zona che vede la biforcazione dei corsi d'acqua disegnando la forma dell'attrezzo da pesca. Del resto i margini settentrionali e meridionali della Sterpaia sono da tempo identificati come ospiti delle foci ballerine di Serchio e Auser mentre tra i cotoni del Fico, del Palazzetto e di Poggio di Mezzo si insinua ancora oggi l'Anguillara e, fino a tutto il XIX secolo, un altro breve corso d'acqua privo di toponimo (Fig. 5b). L'infittirsi dell'insediamento rustico sui cotoni ortogonali conforta l'idea di una situazione idrografica non effimera.



Figura 5. I tratti terminali di Serchio e Fiume Morto nei dettagli di Figura 7 (1562-1565) e 27b (1785). Nella carta a destra si riconoscono i cotoni ortogonali della Sterpaia, lo Scorno e l'Ozeri della carta di Leonardo, nonché le tracce di una rotta fluviale.

Nella carta di Leonardo le foci di Serchio e Fiume Morto sono ben distinte e così lo sono nella figura 7 composta tra 1562 e 1565. Conseguentemente il taglio del Serchio che porterà alla foce unica dei due fiumi, come verremo meglio più avanti, va collocato tra 1562 e 1574. La carta individua correttamente l'ansa di

Ponte a Serchio e, dopo l'attraversamento di questa località, il fiume continua a dritto superando la barca di Arbavola/Albavola e la strada pietrasantina per la Torre a Filicaia. Nel disegno manca il meandro del Metato (tagliato nel 1579), cosa che al momento non trova giustificazione, se non volendo pensare ad una sua rapidissima formazione.

Sempre in Figura 2a, il Serchio sfocia poco dopo Fiocina, con un'asta terminale allargata e leggermente deviata verso Nord; forse a creare quell'ampia curva che oggi fa il fiume intorno ad isola di Migliarino (Fig. 9). Questa rappresentazione dell'area fociale, dove la sponda sinistra del Serchio cinge solo parzialmente Isola di Migliarino, risulta coerente con la rappresentazione datane da Pietro del Massaio poco meno di mezzo secolo avanti. Nel dettaglio della Figura 6b si rappresentano i tratti terminali dell'Arno e del Serchio da Ripafratta al mare: dopo l'ampia ansa che cinge Avane e Ponte al Serchio, il fiume punta dritto alla foce.

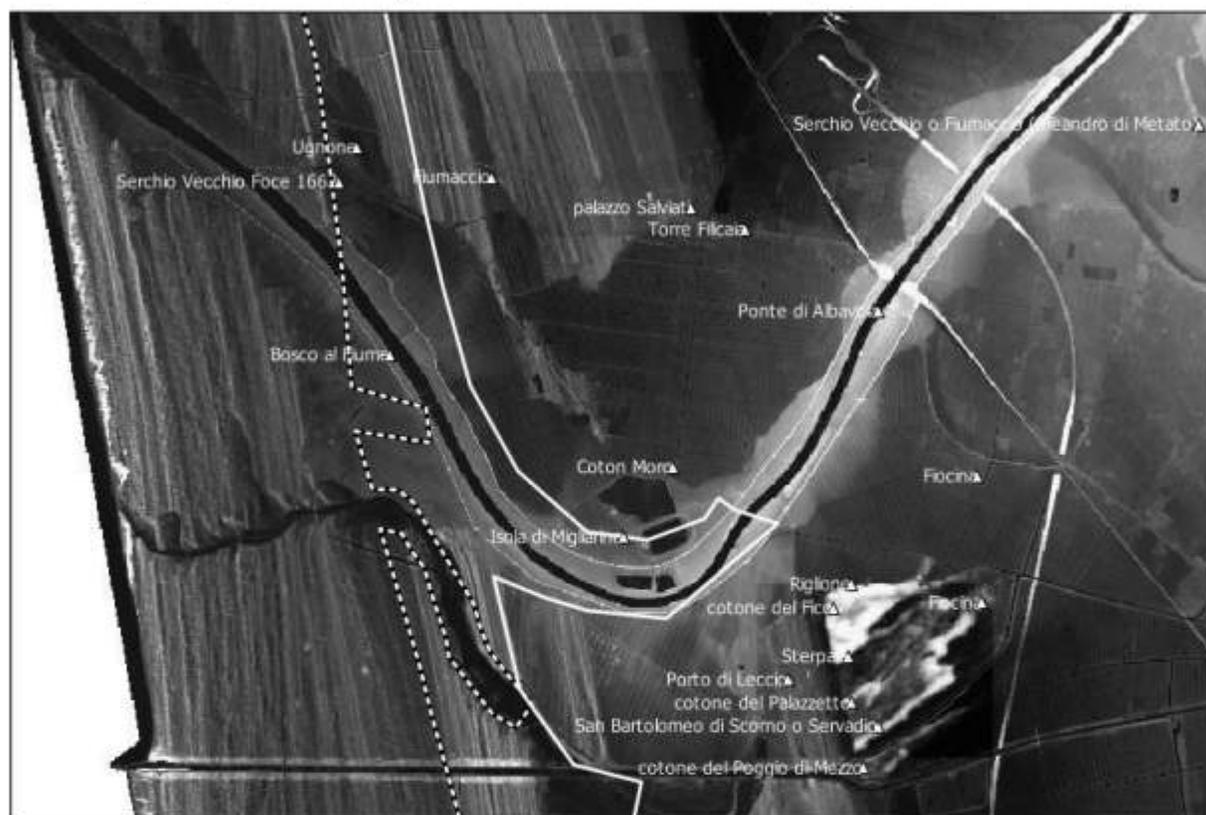


Figura 6. Linee di costa e foci prima (1503, bianco) e dopo (post 1560, tratteggio) il taglio di Serchio Vecchio su DTM, ADBS (2006) (a); le foci di Arno e Serchio in un dettaglio della carta della Toscana di Pietro del Massaio (1460 ca), in Claudius Ptolemaeus, *Cosmographia*, Jacobo Angelo interprete (b).

E' allora probabile, visto il disegno della linea di costa nella carte del 1503 e del 1562-1565, che il Serchio Vecchio, così come nei disegni seicenteschi della Figura 9, si sia venuto a formare nel tempo che separa la redazione delle due carte. La sua formazione potrebbe essere conseguente allo sviluppo di una barra di foce - alimentata anche dai sedimenti provenienti da Sud, in particolare dalla foce dell'Arno e subordinatamente da quella del Fiume Morto - che avrebbe occluso la bocca e a formare un effimero tratto finale orientato in senso SE-NO (Fig. 6a); un processo analogo a quello già riscontrata tra 1681 e inizio XVIII secolo a Bocca d'Arno (Piccardi e Pranzini, 2014). Tuttavia, seppure ad una scala minore, un processo analogo viene ampiamente documentato in queste pagine nel caso della Foce del Serchio degli anni 1759-1780.

Agli inizi del XVI secolo questa area era, se possibile, in condizioni peggiori di quella di sinistra d'Arno e non esistevano percorsi praticabili come nel caso della strada livornese che da Pisa scendeva alla marina di Grado. Mezzo secolo più avanti, sempre nel periodo estivo (12 giugno 1565) e dunque con suoli più favorevoli all'esplorazione, Luigi Dovara (generale di cavalleria e diplomatico granduca) scrive a Francesco I della difficoltà nella sorveglianza dell'area delle due foci, resa impraticabile anche ai cavalli a causa dell'impaludamento *Se li dui cavallegg.ri che sono di guardia fra Arno e Fiume Morto potessero haver comodità di passar' quel fosso che si è fatto che va in Serchio, che quando vi fusse un ponte sopra quel fosso i cavallegg.ri assicurarebbono la bocca di Fiume Morto e di Serchio ma così non è possibile passare* (BIA, Mediceo del Principato f. 516, Folio, 239). E' dunque probabile che Leonardo non abbia visitato l'area di foce, ma resta da osservare che, nell'avvicinamento al mare, il tratto leonardesco del Fiume Morto (allora lungo 2500 m e oggi circa 6500 m) si fa sempre più ampio, e la sua foce risulta anche più avanzata in mare rispetto a quella del Serchio, quasi a testimoniare un suo maggiore input fluviale rispetto a quello del fiume attualmente più importante.



Figura 7. Carta della piana pisana, anonimo (1562-1565), ASE, Miscellanea di Pianta, 379.

Le portate sedimentarie dei fiumi naturalmente risentono delle opere di sistemazione idraulica sviluppate nella porzione più arretrata della piana pisana e non si può escludere che nei secoli XV e XVI le acque del Fiume Morto (o dell'Ozeri) siano state più abbondanti di quelle del Serchio, come dovrebbe essere accaduto in un

periodo più lontano, stando ad un confronto toponomastico, per Auser ed Auserculus (proto toponimo del Serchio). Del resto le portate del Fiume Morto devono diminuire dopo la costruzione del Canale di Ripafratta (a. 1568) e la sistemazione del Fosso delle Mulina con uno sbocco in Arno a Nord di Pisa. Nel 1773 si osserverà che *la forza dell'acqua corrente di detto canale [Fiume Morto] è piccolissima onde non può respingere l'arena che si solleva in molta quantità quando il mare è fortemente agitato dal fondo della spiaggia del medesimo, e che viene trasportata dall'onde verso il lido ove si ammassa in tanta quantità che serra affatto lo sbocco del nominato canale, come segue in tutte le spiagge simili alla nostra in cui la profondità dell'acqua del mare è piccolissima, ed in conseguenza dove ancora sono più sensibili le deposizioni* (ASF, Scrittoio delle regie possessioni, 3538, documento del 30 maggio 1773). Il Fiume Morto continuerà comunque ad ospitare oltre alle acque meteoriche *le continue della polla di Caldaccoli, che non sono rimesse nel fosso di Libafratta, quelle del Bagno, e quelle, che cascano dalle cateratte delle Mammozze, e della Figuretta, e quelle delle polle del Padule d'Agana, e quelle del molino di Pratale, ed altre, le quali son corporee e tengono luogo* (Castelli, 1822, p. 39). E' dunque probabile che il rapporto tra la portata delle acque dei due fiumi non fosse uguale a quello odierno, come sembrerebbero suggerire documenti più tardi. Ma ciò che trova difficile spiegazione è il maggiore aggetto della foce del Fiume Morto, associabile ad un consistente apporto sedimentario, mal conciliabile con le caratteristiche morfologiche del suo bacino idrografico.

Nel 1730 Eustachio Manfredi, chiamato ad esprimersi sulle cause delle eccezionali piene che nell'ultima metà del secolo hanno investito Lucca e la bassa valle del Serchio scrive *Seppi in primo luogo, e da' pubblici registri, e dalla viva voce di molti, che questo fiume prima dell' anno 1700 non era dalla parte di levante fiancheggiato, come ora, da una linea continuata d'argini reali, ma avendo solo da luogo a luogo qualche difesa di privati e non seguiti ripari, versava nell'escrescenze gran copia delle sue acque sopra le campagne a sinistra. Fu dunque solo dell' anno 1700 costrutta l'arginatura seguita, che dalle vicinanze dello sbocco della Fraga lo costeggia sino a quello dell' Ozzari (giacché dal ponte a Moriano al detto sito della Fraga l'altezza del terreno risparmiava la necessità di una tal difesa) e con ciò venne raffrenata, e incassata dentro l'alveo del fiume tutta quella mole d' acque, che ora egli porta nelle sue piene; ed ecco una certissima cagione per cui dovevano seguire in buona parte quegli effetti, che l' esperienza ha comprovati* (Manfredi E., 1826, p. 10). I deflussi di bocca di Serchio cresceranno anche per effetto delle opere di sistemazione della rete idraulica alla sinistra del Serchio. Vincenzo Pitti (1616), scrive di un Fosso Doppio (Fig. 2a) che lascia il Fiume Morto per scaricare in Serchio e ci da un'idea della sua portata: *Il fosso dell'Orsaletto fuor della porta nuova e corre dell'acqua che esce dal Serchio et la piglia dal mulino a Pratale: nell'andare in qua riceve il fosso del Mugnaio et poi il fosso del Mar traverso, il qual fosso del Martraverso si chiama dal incrociata in qua il fosso dello Scorno, seguita il fosso dell'Orsaletto sino che incontra il Fosso Doppio et si chiama poi il Fosso Doppio, il quale entra in Serchio et è stato navigabile, et sarebbe, ma in su la bocca, dove entra in Serchio, s'è fatto renaio et la chiude* (Grazzini, 1898, p. 120).

Ad ostacolare i deflussi venivano poi i meandri che segnavano il corso a valle della stretta di Ripafratta, dove il fiume segnava il confine tra i due stati. La loro formazione non era completamente naturale ma in parte da imputare a interventi intesi ad evitare esondazioni sull'una o l'altra sponda e *ad alcuni lavori avanzati fatti con sassi dalla parte pisana disotto allo sbocco dell' Ozzari, i quali obbligavano il Serchio a torcer cammino, sempre più internandosi dalla parte lucchese* (Manfredi, 1826, p. 11). Lo stesso facevano i frontisti della sponda opposta, come si legge in un documento del marzo 1541 vergato da Cosimo I e indirizzato a Agnolo di Matteo Niccolini (nella contingenza ambasciatore a Lucca) *E Lucchesi di propria auctorità erano entrati in questa iurisdictione [di Pisa] per voler' mettere in disputa e' confini di Felectole [Filettole, un borgo sotto Ripafratta] et di certi monti che sono dello arcivescovado cavandone gran' quantità di sassi et portandoli a un riparo che hanno fabricato nel fiume del Serchio da la banda loro, lungo più di 300 braccia [174 m ca] et largo più di XII [7 m ca], al quale hanno aggiunto un puntone che entra non poche braccia dentro a detto fiume. [...] In' tanto s'era mandato dui architetti a visitar' quei luoghi, per intender' se vi era modo alcuno da la banda nostra di poter resistere alla forza dell'acque di detto fiume* (BIA, Volume 4, Folio 217). In sostanza la portata del Serchio (Auserculus) era limitata dai rami degli Auser che scendevano verso Pisa, dall'insufficiente arginatura, da temporanei letti alternativi al principale, da una rete idrica che favoriva i deflussi della piana di Pisa verso il Fiume Morto e dall'assenza di un piano di regimazione del Serchio che trovasse concordi la repubblica di Lucca e Firenze. In questo senso acquista legittimità il disegno leonardesco che mostra una foce del Fiume Morto più avanzata di quella del Serchio dove il canale allarga il proprio alveo verso una foce, la cui progressiva occlusione porterà ad una temporanea deviazione dalla direzione E-O a quella SE- NO: una situazione ben riconoscibile nel rotta delle Figure 4b e 16.

Solo in periodo moderno il Serchio sembra assumere il predominio sul Fiume Morto e una parte importante deve essere stata giocata dal taglio e riorientamento cinquecenteschi della foce.

Se dobbiamo credere alla date fornite da una letteratura non sempre precisa e coerente, il taglio di Serchio Vecchio, ovvero il più importante intervento sul tratto terminale del fiume nel periodo moderno, venne progettato da Giovanni Caccini (Castelli, 1822) solo nel 1560.

La seconda metà del XVI secolo vede lo sviluppo del porto e della città di Livorno segnando l'avvio di lavori idraulici di grande impatto sulla pianura pisana. Opere monumentali che si risolvono nella risistemazione dell'intera rete idrografica. Sul bacino del Serchio il ritmo è meno frenetico, tanto che possiamo per il momento concentrare la nostra attenzione sul già ricordato raddrizzamento della foce, sugli effimeri e ripetuti tentativi di dare una foce unica a Serchio e Fiume Morto (1500 ca. - 1650 ca.) e sul taglio del meandro del Metato (ricondotto al 1579). Ad illustrare la pianura pisana con i primi grandi interventi della seconda metà del XVI secolo (tra i più semplici da individuare l'escavazione della Serezza Nuova e il taglio Montecchio - Calcinai) viene la carta anonima e priva di data ma riconducibile agli anni 1562 - 1565. E' stata oggetto delle osservazioni, tra gli altri, di Rombai che l'ha definita *un prodotto cartografico d'impostazione prettamente topografica zenitale, che meraviglia non solo per la modernità del linguaggio, ma anche per la precisione dei contenuti geografico - topografici [...]* (WTTI).

Il corso del Serchio è rappresentato solo da Isola di Migliarino alla foce, dove il margine del supporto risulta leggermente lacerato. Questo non ci impedisce di leggere due foci indipendenti e due aste fluviali che da un orientamento SE-NO, in prossimità della foce si flettono più o meno decisamente in senso E-O. Purtroppo la sponda destra del Serchio non viene rappresentata, ma con in mente la stretta sequenza delle rappresentazioni cartografiche che incontreremo nelle pagine successive, possiamo affermare che la vecchia foce del Serchio (il Serchio Vecchio delle Figure 4 e 9) si è ormai definitivamente trasformata in lama. Essa continuerà ad essere alimentata dagli scoli di Migliarino (Storigliana, Righinella, Baldinacca, e in certi periodi dalla Traversagna e dal Fiumaccio, Fig. 20), che troveranno sbocco alternativamente in Serchio e in Serchio Vecchio (Fig. 9). Apporti che hanno favorito lo stiramento della lama in senso parallelo alla linea di costa (Fig. 24e) in un'area connotata da un dissesto idrogeologico se possibile ancor più grave di quello registrato per la sponda sinistra.

Le carte della Figura 8 disegnano la sponda destra del Serchio dall'ultimo anno del XVI secolo ai primi decenni del successivo. Nel disegno del 1599 (Fig. 8b) la lente si stringe sulla zona della Barca di Arbavola, dove la strada maestra pietrasantina è interrotta dal Serchio. Da sinistra verso destra sono indicati il letto del Serchio e il grande renaio depositatosi sulla sponda destra. Una doppia fila di alberi viene a rinforzare l'argine e, come vedremo senza grande successo, a difendere dalle esondazioni il residuo rurale della famiglia Campiglia sui suoli della mensa arcivescovile pisana (Fig. 8a). Un altro filare si dispone sul fianco destro della strada pietrasantina e segna il confine con il letto *dove andava prima il Serchio*. Il paleoalveo non pare abbandonato da molto tempo ma le ragioni del disegno così come esplicitato nei documenti di corredo (le piantate occupano la strada e si configura una vertenza che ha a che vedere con l'occupazione di suolo pubblico) non aggiungono informazioni su tempi e persistenza del paleoalveo. Resta però da sottolineare che posizione e orientamento del paleoalveo rendono plausibile una continuità con i letti e le antiche foci di Serchio Vecchio e/o di Fiumaccio di Figura 8c. In questa carta anonima e priva di data, la relazione è invece inserita nel lungo riquadro a destra della pianta. Vi si rappresenta un progetto di sistemazione idraulica dei terreni di Isola e Bosco al Fiume danneggiati *dall'esondazioni del Serchio che affogano ogni anno le sementi*. Per avere un'idea di cosa poteva accadere in queste aree Giorgini (1839, p. 177) ci ricorda che le piene del Serchio, sotto Avane, arrivavano *all'altezza di 12 braccia [7 metri ca] sopra la superficie dei paduli non lontani che formano la gronda del Lago di Massacciucoli*. Due gli argini di destra, uno a fianco del fiume ed uno più interno a circondare Isola. Le difese sono risultate efficaci nel contrastare le acque del Serchio *ma non già le acque piovane raccolte da Storigliana e Traversagna che nel caso delle frequenti piene del Serchio non vi trovano più sfogo*. Ancora peggiore la situazione nella adiacente tenuta dell'Isoletta, che nella stagione invernale è *coperta dalle acque piovane, e almeno in modo tale che malamente le bestie vi possono pascolare*, documento che ci da conferma dell'ininterrotta alimentazione del Serchio Vecchio che nel XVII secolo restava un recipiente delle acque della lama dell'Isoletta che *poi mediante la Righinella scola in Serchio Vecchio e questo finalmente mediante il nuovo fossetto fatto pochi anni sono, quasi in fondo alla tenuta di Bosco al Fiume porta tutte l'acque nel Serchio*. La stessa cosa ci racconta il Serchio Vecchio illustrato (prima nel disegno preparatorio e poi nella carta di Gaeta del 1662; Fig. 9) dove quella che appare come l'antica bocca risulta molto più avanzata rispetto alle ricostruzioni delle linee di costa al momento del raddrizzamento ricondotto in letteratura al 1560. Una continuità nell'alimentazione sottolineata anche nelle osservazioni di Tommaso Perelli (1747, p. 129) sulle aree umide e sulle lame di Migliarino, dove si annota che in estate molte di esse si prosciugavano a differenza di Ugnone e Serchio Vecchio che rimanevano sempre impaludate.

Tornando al confronto tra le due carte cinquecentesche della pianura pisana, possiamo osservare che tra il 1503 e gli anni '60 dello stesso secolo, la foce del Fiume Morto si sposterà per più di 1600 m (25-26 m l'anno) verso il Serchio prima di riprendere, appunto intorno alla metà del XVI secolo, una direzione E-O (Fig. 1).

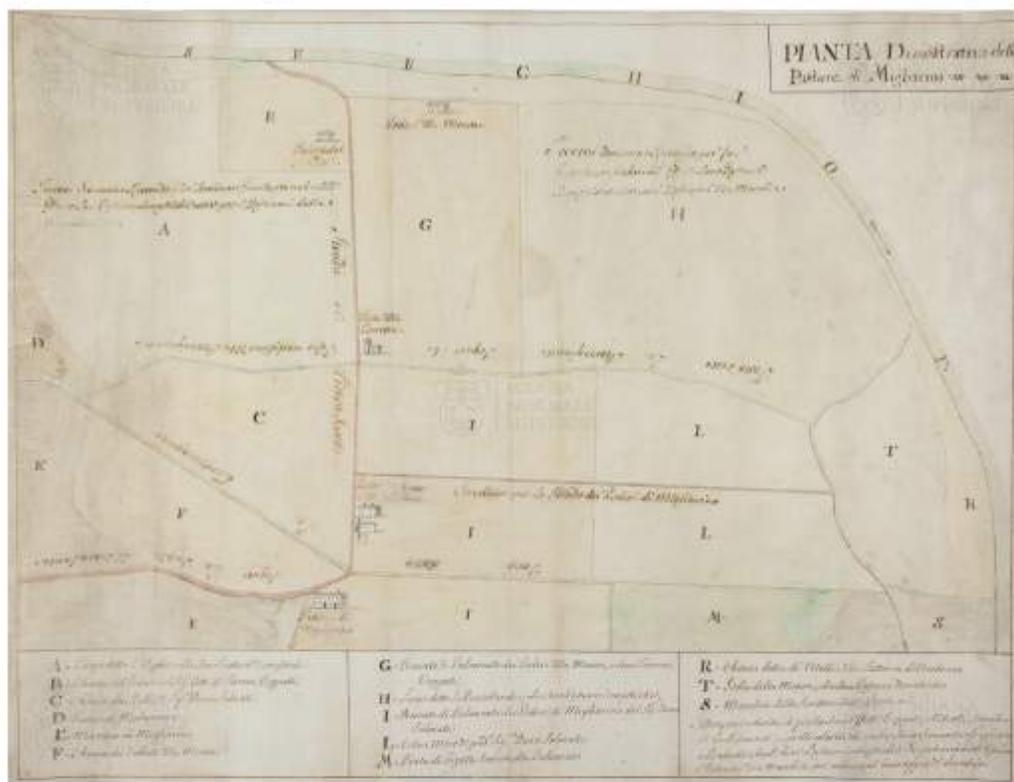


Figura 8. Arbavola e Isola di Migliarino nei decenni a cavaliere del 1600. AFSP 178 (a), SASP Fiumi e Fossi, f. 148 c. 124 (b) e ASF Piante dello scrittoio delle Regie Possessioni, Tomo IV, c. 17 (c).



Figure 9. Il Serchio con le lame di Serchio Vecchio, Ugnone e Fiumaccio. Schizzo originale e copia da Francesco Gaeta, a. 1662 ASF, Pianta dello Scrittoio delle Regie Possessioni Tomo I, c. 15 (a); AFSP, Pianta e disegni (b).

Questo forte avanzamento risulta coerente sia con quanto accaduto in occasione dell'intervento alla foce dell'Arno del 1606, sia con l'ingente migrazione della Foce del Serchio della metà del XVIII secolo che presenteremo più avanti. Come nel caso del taglio d'Arno del 1606, quello del Serchio pone la foce in una posizione più arretrata rispetto all'antica e da allora in poi *le correnti indotte dal moto ondoso saranno impegnate a colmare il disallineamento, mentre un eccezionale apporto sedimentario verrà velocemente ad ostruire la nuova foce* (Piccardi e Pranzini, 2014). Successivamente il Serchio profittando della progradazione del litorale e della *scarsa resistenza opposta dai terreni ancora non consolidati* migrerà in direzione Nord e si scaverà una nuova foce che guarda, diversamente dall'Arno, a Nord-Ovest. In questo caso la direzione opposta è determinata dal grande accumulo sedimentario sulla sponda sinistra del Serchio, prodotto dai sedimenti che vengono da Sud.

Naturalmente l'avanzamento dei litorali adiacenti risulta più contenuto, ma si tratta comunque di un notevole aumento del ritmo di progradazione della spiaggia, probabilmente correlato ad un periodo di intense precipitazioni che andavano ad incidere su di un territorio ampiamente deforestato. Zagli (2001, p. 32, n. 14) ci ricorda che *Per rimanere agli anni intorno alla metà del secolo, la pubblicistica ricordava come anni estremamente piovosi il 1539, il 1542 (freddissimo), il 1543, il 1544 (freddissimo con allagamenti provocati dall'Arno a Firenze e Pisa nel mese di novembre dopo due giorni di continue nevicate seguite da un repentino scioglimento della neve sui rilievi), il 1545, il 1547 (inondazione a Firenze e in tutte le pianure nel mese di agosto dopo quasi sei mesi di piogge ininterrotte) ed infine e soprattutto le grosse alluvioni del 1557 che ridussero Firenze a un lago (l'acqua giunse ad altezze variabili da 2 a 8 braccia, cioè fra m 1,2 e m 4,6)*. Così, tra 1503 e 1562-1565, in una sessantina d'anni, la spiaggia di Migliarino cresce intorno ai 600 m (10 m annui), mentre per il litorale di San Rossore l'avanzamento va progressivamente contraendosi dai 700-750 m circa in vicinanza della foce del fiume Morto ai 300 m ca. davanti al Boschetto. Se possiamo guardare con una certa tranquillità alle ricostruzioni della linea di costa intorno al II-I secolo a. C. non resta che ricordare che la stessa spiaggia di San Rossore ha impiegato almeno 16 secoli per avanzare di 2500-3000 metri, mentre dal XVI al XVIII secolo è avanzata di oltre 3500 m.

Il *Ragionamento sopra il bonificare il paese di Pisa fra Messer Gio. Caccini, maestro Davitte Fortini e Lorenzo Albizi* (Albizi L., s.d ma II metà XVI sec.) e i ripetuti interventi sul Fiume Morto vengono incontro alle esigenze di espansione della proprietà dei Medici nella piana e sul litorale pisano. Una politica avviata già nella seconda metà del XV secolo (Roveda, 1984, p. 401). Ciononostante solo dopo che Cosimo avrà sistemato questioni di diritto internazionale e liquidato definitivamente l'autonomia senese, i Medici potranno dedicarsi al consolidamento dei beni pisani (Panattoni e Garbari, 2010, pp. 61-75). Eleonora da Toledo, sposata da Cosimo nel giugno 1539 e impegnata ad amministrare i beni propri e del marito, *si trovò al vertice di una struttura amministrativa piramidale in grado di gestire una vasta rete di tenute ereditate o acquistate* (Edelstein, 2008, p. 750). Per quanto riguarda la piana pisana, dove la stessa acquistò terreni tra Arno e Serchio, i progetti e gli interventi sul territorio furono supervisionati da Luca Martini, Provveditore delle Fortezze e Fossi e Provveditore delle Galere, lo stesso che una volta ritratto dal Bronzino stringe in mano una pianta dedicata alla bonifica di queste superfici. Nel frattempo Pisa diviene la residenza invernale della corte medicea e Cosimo ottiene da Margherita d'Austria la fattoria di Casabianca (Mineccia, 1983; e Parigino, 1999).



Figura 10. Luca Martini con un progetto di bonifica della piana settentrionale pisana, Firenze, Palazzo Pitti, Galleria Palatina.

*mezzo luglio* (BIA, Volume 479, Folio, 735). I lavori intrapresi avevano dato solo risposte effimere e il problema degli allagamenti delle aree messe o che si intendeva mettere a coltura era tutt'altro che risolto. Si chiamò allora ad intervenire l'architetto Giovanni Caccini, nel frattempo subentrato ai ruoli pisani del Martini. L'8 settembre 1565 Cosimo I redarguisce Zanobi Marignolli, Governatore delle Possessioni di Pisa *Le fosse che ci scrivete per la vostra delli 5 che sarebbe di necessità rimettere per beneficio della nostra lavoriera di Campalto et Barberecina, ci pare che habbiate tardato un poco troppo a ricordarcelo. Non di meno siatene con Giovanni Caccini che è venuto costà et mostrateli tutto il bisogno che al suo avviso resolveremo quanto ci parrà si faccia* (BIA, volume 225, Folio 10). E' probabile che questo documento non sia molto lontano dalla realizzazione della foce unica di Serchio e Fiume Morto.

A fine settecento è ancora evidente sull'ansa di Isola di Migliarino (Fig. 11a) la diversione cinquecentesca del Serchio. La carta del Piazzini richiama anche l'espediente diffuso nella progettazione delle bonifiche del

Se nei terreni più vicini al mare le aree impaludate potevano rappresentare una sorta di valore aggiunto della tenuta (sfruttati per il pascolo, la pesca, il taglio del legname ma soprattutto deputati all'attività venatoria e alla pesca della famiglia reale o dei loro ospiti illustri), diversa era la situazione sopra alla Fossa Cuccia, sulle terre di Campalto. Qui, intorno alla metà del cinquecento, si sviluppano i primi tentativi di colonizzazione agricola poi organizzati nella estesa Fattoria di Casabianca. Si tratta di terreni attraversati dallo Scorno, dai Fossi Doppi e dall'Anguillara, comunque tutti tributari, almeno in modo intermittente, del Fiume Morto e per ciò soggetti ai rigurgiti della sua foce.

Solo dopo il 1587, con Ferdinando I, i Medici entreranno nel pieno ed effettivo possesso di gran parte dei beni del pisano, ma già precedentemente si era iniziato ad investire sulla regimazione idraulica di San Rossore. Nel luglio del 1559, Luca Martini così riferisce a Cosimo I *Sono stato allo Scorno, et dal Ponte della Fienora di lama piena in giù si può lavorar et arginarlo fino in Fiume Morto sì come desidera Vostra Eccellenza Illustrissima, ma dal Ponte delle Fienora fino alla strada di Pietrasanta dove si ha allargare vi è assai acqua, et è lungo un miglio, et dicono che l'altra volta che si votò si cominciò prima che*

recupero di quelli che furono gli alvei di canali o corsi d'acqua abbandonati. Una tecnica che da un lato rendeva meno onerosi e più rapidi gli scassi e, dall'altro, permetteva il mantenimento dei confini delle unità produttive agro silvo pastorali e dei più antichi confini di proprietà.



Figura 11. Le colmate di Oncino e Piaggetta e il progetto di rettificazione del Fiume Morto, Stefano Piazzini (1780 ca.) e le tracce del taglio del XVI secolo, SASP, Piante dell'ufficio Fiumi e Fossi, 158 (a); il DTM (ADBS, 2006) in cui sono evidenziate le foci e le linee di costa di inizio (bianco) e fine (tratteggio) XVII secolo (b).

L'intervento, come nel caso del taglio della foce d'Arno del 1606, si poteva realizzare solo dopo la chiusura del flusso delle acque del Serchio verso la foce indirizzata in senso SE a NO (il Serchio Vecchio della Figura 9) e con la realizzazione di un canale di 7-800 m che puntava più decisamente ad Ovest. La migrazione a Nord-Ovest del Fiume Morto, mentre il Serchio era impegnato a circoscrivere Migliarino, aveva avvicinato i due letti che adesso distavano 500 m ca. mentre, solo il secolo avanti, la distanza era di circa 1800 m. Poco più a monte della foce le distanze si riducevano a 500 m ca.: la foce unica su Piaggetta era adesso un progetto possibile e dal costo contenuto. Sappiamo che la foce unica risale agli anni di Cosimo I (morto nel 1574) che si servì di un progetto di Giovanni Caccini. Questi aveva osservato che la foce del Serchio era meno soggetta all'insabbiamento e che la maggior portata garantita da un nuovo affluente avrebbe favorito il deflusso, liberando una volta per tutte la piana pisana settentrionale dai problemi provocati dai ripetuti insabbiamenti della bocca del Fiume Morto. Si trattò di un'idea infelice e destinata a sollevare numerose proteste. Con la foce unica infatti, nel caso di forti e continue precipitazioni, il letto del Serchio si alzava ad ostruire l'ingresso delle acque del Morto aggravando il problema tanto che l'inondazione era *alle volte arrivata fino alla strada di Pietrasanta, e alle volte fino alla strada del Bagno* oggi a più di una dozzina di chilometri dalla linea di costa.

Già nel 1588 le rimostranze devono aver condotto ad un ripensamento. La Figura 12a disegna l'ansa di Isola di Migliarino con i letti del Serchio vecchio (non si intenda quello ormai fattosi lama), il nuovo canale

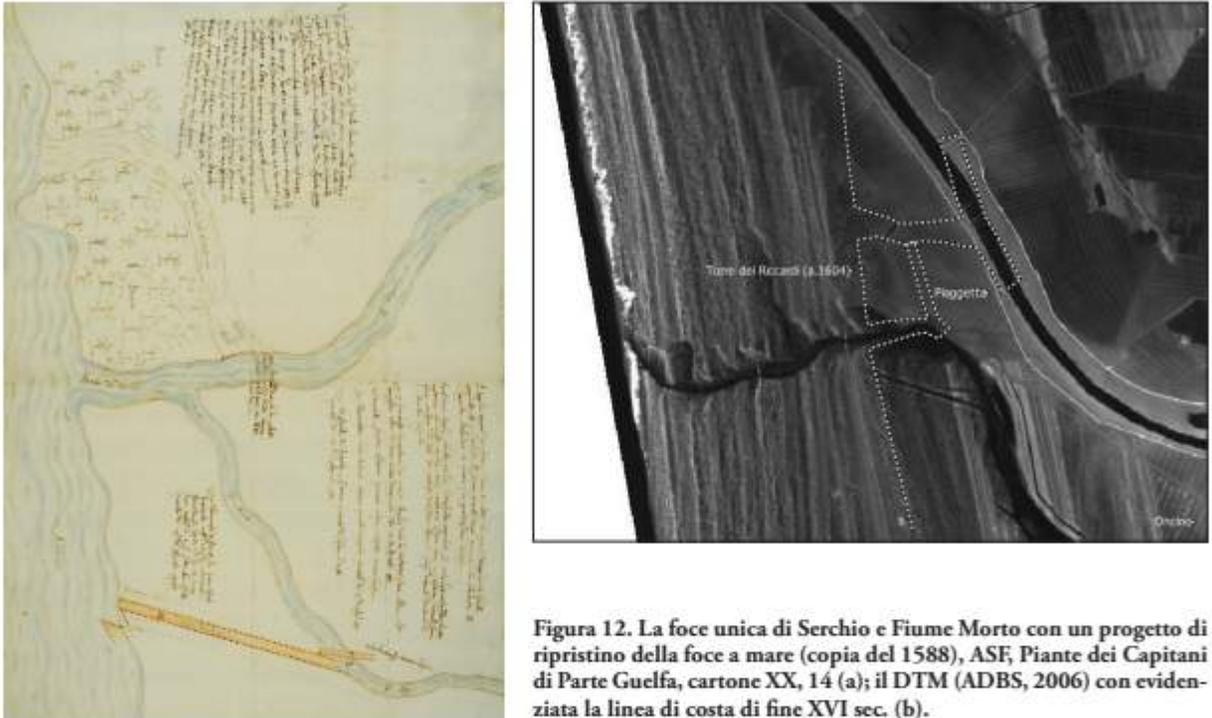


Figura 12. La foce unica di Serchio e Fiume Morto con un progetto di ripristino della foce a mare (copia del 1588), ASF, Piante dei Capitani di Parte Guelfa, cartone XX, 14 (a); il DTM (ADBS, 2006) con evidenziata la linea di costa di fine XVI sec. (b).

scavato in direzione Est-Ovest, la foce unica col fiume Morto e il progetto di una nuova foce a mare per quest'ultimo. Si tratta di un disegno noto ai commentatori, ed è accompagnato da un testo a margine che ha indotto in errore diversi autori (per tutti cfr Baroni e Gorreri, 2006, p. 120).

L'autore non è Lorenzo Lapini e resta anonimo perché si tratta di una copia eseguita da Lorenzo Lucini nel 1588. La fedeltà all'originale è sottoscritta da figure del calibro di Davide Fortini (ingegnere e capo mastro della Parte), Bernardo Buontalenti (architetto, ingegnere e pittore), Donato dell'Antella (tra l'altro consigliere di Stato di Ferdinando I e di Cosimo II, soprintendente delle fortezze e fabbriche medicee, ufficiale dei Capitani di Parte Guelfa) e Raffaello di Pagno (architetto ed esperto di acque).

Come per il taglio di Bocca d'Arno del 1606, ogni intervento di riposizionamento di una foce, che liberava terre dal letto del fiume e ne sommergeva altre, comportava una delicata e complessa operazione di revisione dei confini delle proprietà su cui potevano innestarsi lunghissime diatribe legali. Per questo quando, come in questo caso, si produceva copia di un progetto approvato, la stessa copia necessitava di essere autenticata da tecnici autorevoli. In questo senso vanno lette sottolineature degli uomini di scienza che si incontrano nel disegno come *questo taglio di non potersi fare altrove oppure che non si possa far meglio*. D'altro canto il progetto non può essere attribuito a Cosimo Pugliani (che sarà responsabile dell'Ufficio dei Fossi di Pisa solo a partire dal secolo successivo) anche perché, sempre nelle note a margine, si legge: *io Paciotto inventore di questo taglio dico non potersi fare altrove che meglio stia che come si vede disegnato 13 di agosto [15]88*. Il riferimento più probabile dovrebbe essere allora a Francesco Paciotto architetto urbinato consultato anche dalla Repubblica di Lucca in occasione della progettazione cinquecentesca della nuova cerchia muraria (Ragni N., 2001, Coppa A., 2002). La nuova bocca a mare avrebbe profittato della pendenza, "la grande scarpa", lasciata dalla foce a mare abbandonata. Per il Serchio una volta aperta la porta in CC per dirottarne le acque verso l'alveo antico, si prospettavano due soluzioni. Se le torbe avessero definitivamente riempito il canale del Serchio Vecchio la foce sarebbe rimasta sulla posizione più recente. Differentemente, se le acque avessero approfondito l'alveo del Serchio vecchio, si sarebbe tornati alla foce più antica. Così, appunto, nelle annotazioni a destra del disegno che rimandano alle lettere CC *Qui fare dua tagli ai letto vecchio come si vede segnato C acciò l'acqua torba possa entrare ne letto vecchio se la riempierà sarà bene e se farà canale farà bene ancora che così se restato d'accordo. Assieme Donato de lantella e li sotto scritti*. Altre note segnalano in B la steccata che doveva chiudere lo sbocco di Fiume Morto in Serchio e con A *il taglio [canale] nuovo da farsi [...] per disbochare in mare*. Difficile dire se il progetto prenderà corpo ma se così è stato si tratterà, ancora un volta, di una soluzione temporanea.

## Il XVII secolo

Mentre l'Arno, sia prima che dopo il taglio del 1606, era bene o male presidiato, sul Serchio (un punto certo meno strategico per la sicurezza e i commerci granducali) all'avanzamento della linea di costa non era seguito il riposizionamento delle strutture di difesa costiera, lasciando il litorale sguarnito sia dal punto di vista della difesa militare come da quello della vigilanza sanitaria. Conseguentemente Ferdinando I, l'undici maggio 1604, aveva concesso a Giovanni Riccardi il livello o censo perpetuo su quei terreni posti *nel Contado di Pisa tr'a il Fiume Morto e la bocca di Serchio in luogo detto la punta di Serchio di saccate 60 70 in circa* [38-44 ettari]. Si tratta di una misura di superficie ancora una volta per noi estremamente utile nell'indagine comparativa sincronica e diacronica adottata in questo studio, anche perché in grado di validare la ricostruzione della linea di costa nonché le posizioni assunte dalle foci di Serchio e Fiume Morto (Fig. 13b) in quell'anno. Il prezzo della concessione è relativamente contenuto, non a caso i Riccardi si impegnano a spendere *fra [entro] tre anni scudi mille cinquecento il meno in una torre e cascinetta da farsi sui detti beni*. Come si legge nello stesso contratto, i costi del personale militare di sorveglianza sarebbero rimasti a carico della Dogana di Pisa obbligata a tenervi *dua guardie pagate come vi tiene di presente* (ASF, Scrittoio delle Regie Possessioni, 3554, affitto Riccardi). Il presidio, in mezzo ad un acquitrino, si troverà al centro di una arginatura circolare larga una decina di metri con un diametro di 230 m ca. Successivamente, nell'intento di consolidare i terreni impaludati, i Riccardi avevano pensato di ridare al fiume Morto una foce a mare. Per questo il Sovrintendente alle Possessioni granducali ritorna sugli impegni assunti dai Riccardi nella stipula del livello e in particolare *sul tener netto detto Fiume Morto la bocca del quale ad ogni di poco di libecciate vien turata et se ella non si fa aprire dai ministri di detti Riccardi, come ho fatto fare io più volte molto paese e in particolare Camp'alto ne viene danneggiato [...]* Egli è ben vero che dicano che già la bocca di Fiume Morto entrava in Serchio e non danneggiava tanto ma nel farsi da detti Riccardi quella torre alla Marina con consenso di S.A.S. di gloriosa memoria serrassimo quella bocca mandandola in mare tanto sottoposto a libeccio (SASP, Fiumi e Fossi, f. 34).



Figura 13. La Torre dei Riccardi nell'Atlante di Odoardo Warren (1739-1749), ASF, Segreteria di Gabinetto, n. 695, dettaglio (a); DTM (ADBS, 2006) con la posizione delle fortificazioni di Bocca di Serchio e la linea di costa della fine del XVI sec (bianco) e del terzo decennio del XIX sec (tratteggiato) (b).

In quegli anni l'asta terminale del Fiume Morto era larga appena 25 braccia (14,5 m ca., SASP, Fiumi e fossi, 32, c. 58) e la distanza da Bocca di Serchio non superava di molto i 500 m: la Torre dei Riccardi (Fig. 13) stava praticamente nel mezzo. Il presidio rimarrà, almeno fino alla seconda metà del secolo successivo, uno dei rarissimi punti di riferimento per identificare la linea di costa del passato, ma le misure appena fornite sono destinate a cambiare velocemente per la progradazione della costa e per la migrazione verso Nord della foce del Serchio. Tra l'altro e poco dopo, Cosimo Pugliani (lo stesso che tre anni avanti aveva portato a ter-

mine le operazioni per il taglio ferdinando sull'Arno) intende realizzare uno scolmatore di Fiume Morto in Serchio regolato da una cataratta che *si debba fare nel luogo dove hanno fatto la tura detti Riccardi per tenersi serrata nel tempo delle piene del Serchio e negli altri tempi aperta et il detto Fiume Morto scoli in Serchio* (SASP, Fiumi e Fossi, f. 34).

Nella carta dell'Antoniacci del 1610 (Fig. 14a) le due foci sono nettamente distinte, ma il collegamento per la foce unica è ancora ben visibile. Il 14 marzo 1612 Cosimo Pugliani è ancora chiamato ad intervenire su uno *scialo* del Fiume Morto. La relazione è accompagnata dal disegno di Figura 14b che illustra i dintorni del presidio e permette di riconoscere la foce aperta e quella tamponata (*il taglio che entrava in mare serrato*), il punto della rottura e quello di immissione nel Serchio (*la rotta che sciala Fiume Morto in Serchio di presente*), la sede scelta per il nuovo collegamento tra i due fiumi (*taglio nuovo da farsi incontro al diritto di Fiume Morto no ci metto quanto sia lungo no l'havendo misurato*).

La proposta viene considerata positivamente, ma prima di intervenire si vuole essere certi dell'effettiva necessità dell'ennesimo intervento. Per questo, una decina di giorni più tardi, un rescritto granducale propende per una soluzione temporanea. Con questo, il granduca vuole che *l'exequitione di questa resolutione per quest'anno si sospenda et solo s'attenda l'effecto che farà la bocha che vi è di presente: et farla però nettare et levare tutti gli impedimenti che dalla parte del fiume vi sono et accommodarla anchora di più in conformità del disegno che' notato nella pianta dal signor don giovanni et indirizzare per canale secondo le basse l'acqua verso la bocha et corrente del fiume [...]* (SASP, Fiumi e fossi, 164 A, c. 269, 29 marzo 1612). Don Giovanni de Medici (1567-1621), secondogenito di Cosimo I, fu, tra l'altro, ingegnere e architetto ed operò anche a Pisa e Livorno.



Figure 14. Le foci di Fiume Morto e Serchio nel 1610, Cesare Antonacci, Pisa, Palazzo del Consiglio dei XII (dettaglio) (a) e nel 1612, Cosimo Pugliani, SASP, Fiumi e fossi, f 164, c 269 (b).

Amministrava anche beni a Campalto ed intervenne con suggerimenti e progetti sui lavori che riguardavano un Fiume Morto continuamente sotto sorveglianza, anche perché alla foce operavano quei pescatori spesso chiamati in causa quando il canale non era più in grado di scaricare a mare (ASF, Scrittoio delle Regie Possessioni, 3534, c. 98). La carta di Figura 14b risulta essere la prima testimonianza precisa e affidabile del XVII secolo delle due aree di foce ma è anche utile, visti i diversi elementi ancora oggi perfettamente riconoscibili, ad una percezione più precisa della linea di costa di quegli anni. Simili disegni a grandissima scala oggi ci permettono di ricostruire con estrema precisione le aree degli interventi e ci forniscono preziosi punti di riferimento. A partire dal XVII secolo, il ripetersi delle operazioni sulle foci, testimoniate in documenti spesso accompagnati da carte, consentono una ricostruzione della linea di costa che da una scansione secolare passa ad una cronologia decennale, tanto da consentirci di evidenziare variazioni degli apporti sedimentari.

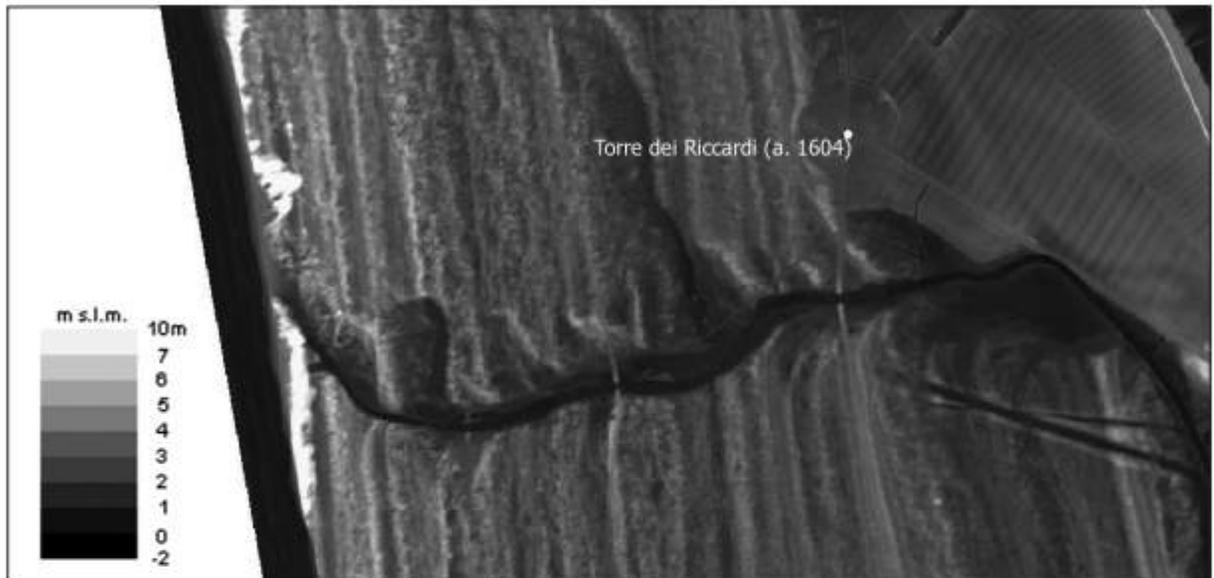


Figura 15. Il ripetuto interrimento della foce del Fiume Morto evidenziato dai cottoni retroflessi su DTM, ADBS (2006).

Sempre all'inizio del XVII secolo, Grassotti di Ripafratta aveva presentato un progetto dove dopo aver avvertito che *tutto quello si spenderà in far palate alla foce del Fiume Morto o fossi che sbocchino in Serchio o alla foce di Serchio sarà spesa assolutamente gettata via* prospettava la riapertura di una foce a mare (ASF, Miscellanea Medicea, 40/57). Grassotti offre anche interessanti spunti sull'ambiente circostante. Una palata per tener aperta la foce del Morto, suggeriva Grassotti, può *aver l'effetto di tener la bocca aperta quando spira libeccio ma lo stesso vento che chiude la foce in tre ore impedirà il deflusso delle acque*: Una bocca aperta favorirà la penetrazione verso l'interno delle acque salse marine che una volta sparse nelle campagne renderanno i terreni sterili. Lo stesso vale per lo sbocco dei fossi in Serchio che vanno evitati *perché quando spira libeccio la foce si tura e non scarica*. Il libeccio compare spesso nelle relazioni di periti e scienziati idraulici che affermano che, *differentemente dagli scirocchi, mezzi giorni o altri venti*, è raramente associato a piogge continue sul litorale perché *spinge lontano le nuvole e fa piovere nei luoghi più alti* (ASF, Miscellanea Medicea, 40, 57). In tempi normali la foce nuova scaricava bene in mare *tanto più felicemente quanto più diluviosa è la pioggia [...] di più il tramontano e i levanti aiutano il corso delle acque*. In occasione di forti libecciate la foce si chiudeva *in tre hore, ma l'acqua essendo per prima sgorgata e rimanendone solo pochissima per i fossi del piano non fanno danno alcuno e non di meno corrono et hanno luogo per lor bastante e più che capace nella bassezza de paduli vicino al mare*. L'esperienza suggeriva che il libeccio *durando assai durerà sei o sette giorni* ed anche se la foce del Morto poteva restare chiusa per dieci o quindici giorni bastava riaprirli *come si faceva in antico quando due huomini con sei o otto scudi l'anno tenevano aperta la foce et l'aprivano ogni volta che veniva serrata*.

La semplicità dell'operazione si scontrava con opinioni diffuse e consolidate tra coloro che erano deputati alla regimazione dei fossi che però non potevano negare i disastrosi effetti della foce unica e i buoni risultati

di un tentativo appena operato quando *in pochissimi giorni anzi in pochissime hore* si era visto che quanto dal letto di Serchio fu levata l'acqua dello Smerigliario fu chiuso il taglio del Bocciantino, il canto al Leone e fu aperta la foce di fiume Morto a dirittura in mare subito fatto questo si vedde ad onta dell'erba che quasi impenetrabile era per tutti i fossi, scemar l'acque e restar meravigliosamente la campagna asciutta.

I canali che collegavano il Fiume Morto al Serchio s'interravano velocemente ed era necessario scavarne di nuovi. La Figura 16 è frutto di una visita di Gherardo Mechini del 15 agosto 1615. Si era appena osservato che *quando questa vernata è stato pieno il fiume e la champania choperta dalaqua e che roppeno largine rincontro alla bocha di un fosso vecchio che sul disenio che ho fatto è seniato di lettera b il qual talio oltre al solito esito che a detto fiume facilita più di sei giorni lucita delaqua e chalata del fiume*. Per questo Mechini suggerisce il ripristino del vecchio condotto e lo scavo di un nuovo canale nella *dirittura che fa il fiume in questo medesimo luogho apresso e più sotto al detto fosso vecchio circa braccia 80 [46-47 m] dove si potrebbe fare un fosso di lunghezza circha braccia 260 [151 m ca] larghezza braccia 10 [6 m ca]*. Entrambi dovevano entrare in funzione (anche per evitarne il precoce riempimento) *solo per laque alte E per laque ordinarie operassi solo il fosso solito dove è il ponte*. (SASP, Fiumi e fossi, 168, c.150).



Figura 16. Serchio, Fiume Morto e Torre dei Riccardi (a. 1615, Gherardo Mechini, SASP, Fiumi e fossi, f. 168, c. 150. Sopra la torre dei Riccardi si evidenzia una rotta le cui tracce sono oggi riconoscibili in Figura 4b.

che il problema maggiore della foce unica emerge in tempo di grandi portate, quando il letto del Serchio si alza tanto da togliere sfogo all'affluente. Lo stesso Castelli, una ventina di anni più tardi, proporrà una deviazione del Fiume Morto in Arno (Barsanti 1989, p. 92), ma nell'opuscolo egli sembra sostanzialmente condividere le idee già espresse dal Grassotti nel conformarsi al giudizio non del tutto negativo sull'interimento della bocca del Morto. Meglio dunque che le campagne siano invase dai trabocchi delle acque dolci piuttosto che dalle acque salse, come invece era già accaduto a Viareggio con la bocca a mare del canale emissario responsabile della salinizzazione del Lago di Massaciuccoli.

Pugliani, chiamato in causa dallo stesso Mechini, non solo concorderà su un progetto che in sintesi prevede l'apertura intermittente di tre scolmatori del Fiume Morto in Serchio, ma suggerirà anche di non aspettare la visita del Granduca a Pisa perché *questi lavori si fanno di state et non di verno*. Il Granduca approverà dando il via all'immediata esecuzione dei lavori così come si può intendere dalla descrizione di Vincenzo Pitti (1616): *Il fosso dello Scorno entra nel fiume Morto quale entra in Serchio, appunto dove il Serchio entra in mare, et perché detto fiume Morto sbocchi meglio, se gli sono fatte due aperture nuove ed i punti da passare sopra con le quali sbocca l'acqua divisa, et sgorga meglio, perché prima, essendo con una bocca sola, non poteva sgorgare tutta l'acqua che sgorga in esso*.

Tra il 1623 e il 1624, dopo le rinnovate proteste dei sementatori di Val di Serchio, un benigno rescritto granducale concesse *che per una prova per un anno s'aprisse in mare una bocca di fiume Morto (scolo unico, reale, e naturale di tutto il vallo) con serrare due altre bocche dello stesso fiume Morto, le quali riuscivano in Serchio*. Il 24 febbraio 1624 l'arciduchessa Maria Maddalena visita l'area delle due foci e propone il definitivo ripristino delle foci autonome chiamando a sostegno l'opinione dell'Abate Benedetto Castelli, ora ingegnere dell'Ufficio dei Fossi di Pisa, che era intervenuto anche nell'area del Lago di Bientina. Castelli scrive in questa occasione il suo noto opuscolo *Intorno l'aprire la bocca di Fiume Morto in mare, e chiuderla in Serchio*. Egli osserva

Quella della foce unica sarà comunque un'idea che tarda a morire, e che ancora alla fine del XVII secolo viene ripensata e proposta. Così appare nella Figura 17a, che sfrutta il rilievo originale di Francesco Gaeta del 1681 (Fig. 23) e dove è il Fiume Morto ad accogliere le acque del Serchio. D'altro canto, dividere le due foci non era solo un problema di ingegneria idraulica: come vedremo più avanti, quando torneremo sulla migrazione a Nord della foce del Serchio, la tenuta di Bosco al Fiume rischiava di essere divisa a metà dal ripristino delle due foci analogamente a quanto era successo nel 1609 per le terre di San Rossore con il taglio e il riorientamento ferdinando della foce d'Arno, dove il preventivo riassetto dei confini delle proprietà interessate fu operazione resa relativamente semplice dal fatto che le proprietà interessate su entrambe le sponde erano solo due.



Figura 17. Un progetto di foce del Serchio in Fiume Morto (a. 1681 ca., Anonimo (da) Francesco Gaeta, ONB, Kartensammlung und Globenmuseum, AB 43 (53) Kar, dettaglio).



Figura 18. Il Serchio a Migliarino (1679. Anonimo), ASF, Pianta dello Scrittoio delle Regie Possessioni Tomo I, c. 56.

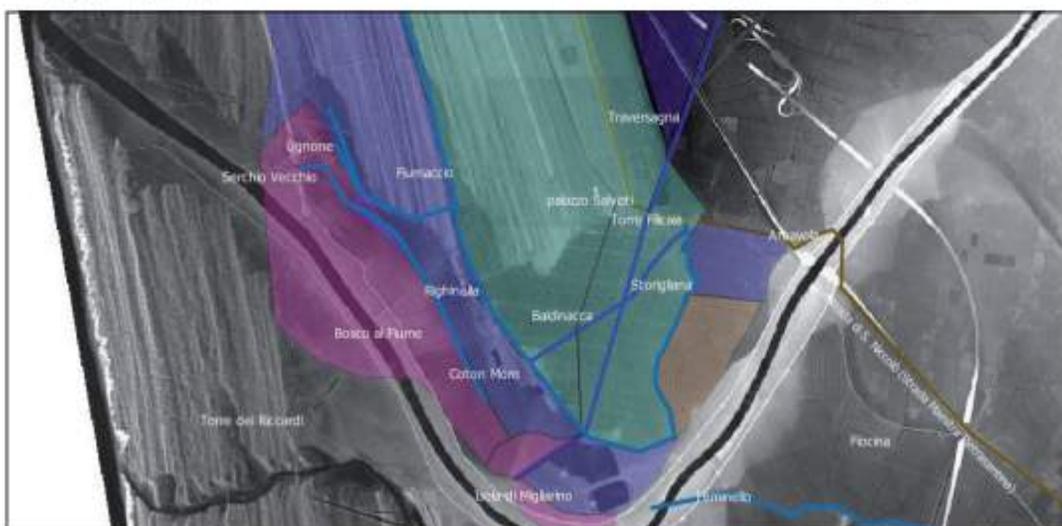


Figura 19. Ricostruzione del reticolo idrografico di fig 9a e delle proprietà alla destra del Serchio (in bordeaux la proprietà medica, in blu quella dell'Arcivescovato di Pisa, in verde quella dei Salviati, in seppia le terre spezzate di diversi proprietari) su DTM, ADBS (2006).

Nell'ottobre del 1675 l'ingegnere Giuseppe Santini indaga sulle acque del Fiume Morto per dare risposta ad una disputa insorta tra Niccolao Pettinini (fittuario dei terreni di Campalto) e tale Cantagalli (titolare dei diritti sulla pesca sul Fiume Morto) dove il primo lamentava danni ai terreni determinati dalle installazioni per la pesca che avevano *ristrinto il canale per dove passano le acque et anco con il traversare detto canale con rete rade e fitte*. Santini visita più volte tutto il fiume Morto fino alla sua bocca dove entra in mare et ho visto che a pescare alla bocca di detto fiume Morto non resta pregiudicata la campagna perché non si trattiene il corso all'acqua perché resta sul piano del mare dove l'acqua non anno più cadenza e vi vanno senza moto e quivi l'acqua fa il flusso e reflusso come fa il mare quando però larena non à serrata la bocca di detto fiume Morto. Che le acque arrivino al mare senza moto si vede dal fondo grande che vi è perché a navigare per detto fiume Morto per tutto si va con la stanga ma più vicino alla sua bocca non vi si tocca con la stanga segno evidente che le torbe non vi arrivano; dunque, le reti da pesca non dovrebbero causare nessun problema ai deflussi. Quando nel 1609 si concessero i diritti di pesca *la campagna non era così e la bocca del fiume Morto era più in dentro che non è ora perché si vede che le torbe del fiume del Serchio anno fatto de cotoni avanti la bocca di detto Fiume Morto e di continuo le vanno facendo perché le sue torbe sempre aumentano il terreno* (ASF, Scrittoio delle Regie Possessioni, 3534, c. 36). Alla luce delle conoscenze attuali, la chiusura della foce del Fiume Morto da parte dei sedimenti portati dal Serchio sembra improbabile, dato che il trasporto litoraneo è diretto verso nord. E' più probabile che questo processo fosse dovuto ai materiali immessi dall'Arno che sfocia più a sud.

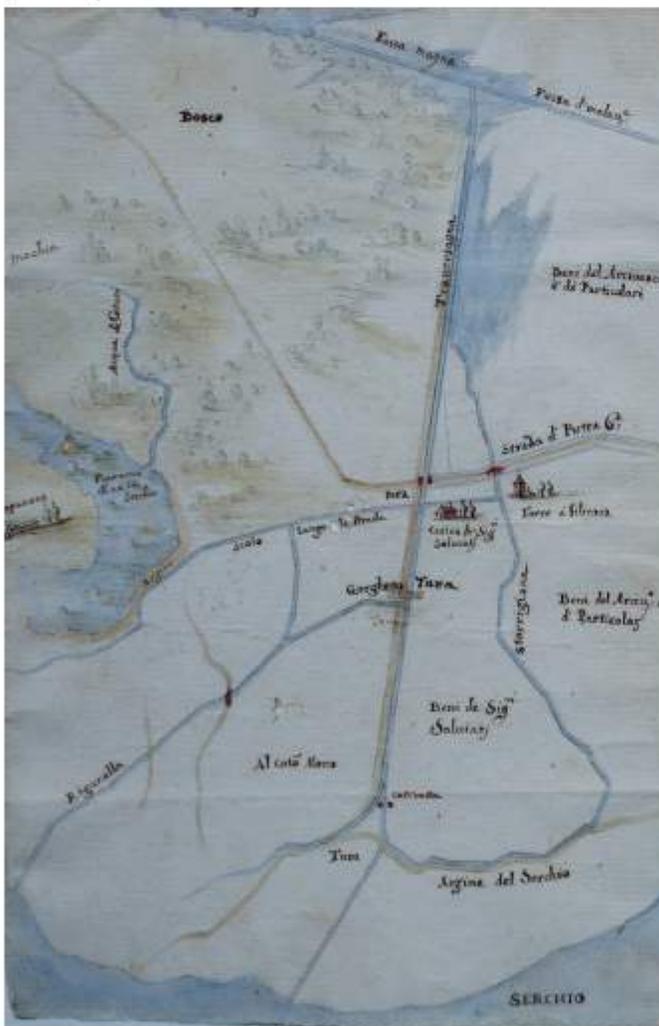


Figura 20. Migliarino con Storigliana, Traversagna, Righinella e il Fiumaccio che va in Serchio, Anonimo, quarto decennio XVII sec, SASP, Fiumi e Fossi, Disegni vari, filza 81 c. 77v-76r.

La sponda destra del Serchio è illustrata in più carte del XVII secolo dedicate a Migliarino (le Figure 4 e 9, derivate dalla matrice di Francesco Gaeta) o alla pianura pisana (Figg. 14a, 17, 22, 23). Tutte mantengono testimonianza del letto del Serchio vecchio, dell'Ugnone e del Fiumaccio. Le tre lame (senza che questo possa escludere un comune passato di foce) lambiscono Isola di Migliarino, mentre tra la foce vecchia e nuova del Serchio si è estesa la tenuta che prende, non a caso, il nome di Bosco al Fiume: un temporaneo recupero di terreni che saranno poi rioccupati dalla migrazione verso Nord dello stesso Serchio. L'orientamento delle lame conferma che in periodo basso medioevale ed almeno fino all'avvio del XVI secolo il Serchio, differentemente dall'Arno che volgeva a Sud-Ovest, era orientato a Nord-Ovest. Questa tendenza, interrotta dal taglio e raddrizzamento della metà del cinquecento (o, per quanto detto avanti, della fine del XV secolo) verrà presto recuperata come si legge nell'ultima carta del XVII secolo che viene ad illustrare la pianura pisana (Fig. 23). Si dimostra quindi ulteriormente come la foce del Serchio venisse costantemente spostata verso Nord dai sedimenti in arrivo da quella dell'Arno.

La carta di Francesco Gaeta del 1681 è di estremo interesse per la ricostruzione del paesaggio della pianura pisana dell'ultimo quarto del XVII secolo. E' designata l'anno successivo alla grande piena che investì Pisa e che lo stesso Gaeta descrive in una lettera inviata il 17 luglio 1680 a Monsignore Mariani, Spedalino di S. Maria Nuova in Firenze (Morozzi, 1762, p. 48).



Figura 21. Viabilità, idrografia ed insediamento alla destra del Serchio nella seconda metà del XVII secolo. ASF, Miscellanea di Pianta, 485.

della fine del secolo XVII vedrebbe la foce autonoma del Fiume Morto ed un tratto terminale del Serchio che si allunga e lentamente torna ad occupare buona parte del meandro dell'Isola di Migliarino.

Le migrazioni tardo medioevali del Serchio, così come le cinque e seicentesche del Fiume Morto che assumono una direzione marcatamente Est-Ovest, lasciano oggi traccia nelle aree di colmata dell'Oncino e di Piaggetta (Fig. 29).

Cosimo III, nonostante gli insuccessi nella messa in atto dei rimedi fino allora proposti dalla comunità scientifica, non intendeva arrendersi alle acque e questa volta, a fianco del meglio della scienza idraulica del periodo, stimolò anche le proposte di *chiunque avesse qualche rimedio da proporre per esimersi la città per l'avvenire da simili disgrazie* (Perelli, 1747, p. 93). E' dunque probabile, una volta considerata la data, che la rappresentazione di Francesco Gaeta sia servita come carta di base per le proposte di professionisti e figure un po' più improvvisate. Tra i primi l'esperto dei Paesi Bassi Cornelis Meijer, già chiamato nel 1675 a Venezia e poi a Roma per ripristinare la navigazione del Tevere. Vista la presenza in Italia e la fama (a dire il vero non sempre meritata) degli scienziati idraulici olandesi, il Granduca pensò bene di inviargli una carta accurata ed invitarlo ad una sopralluogo alle foci del pisano, poi effettuato nel marzo 1684 in compagnia di Vincenzo Viviani. Meijer (1685) e nel 1688 Viviani (1765-1774), lasceranno testimonianza scritta delle loro proposte rimaste, in gran parte inavute. In ogni caso la fotografia



Figura 22. Il litorale di San Rossore nell'ultimo quarto del XVII secolo (dettagli). ASF, Piante dei Capitani di Parte, cartone XI, 37 (a); ONB, Kartensammlung und Globemuseum, AB 43 (52) Kar. (b) e ASF Piante dello scrittoio delle Regie Possessioni, Tomo III, c. 35 (c).

Le carte della pianura pisana di Antoniacci (a. 1610) e Gaeta (fig. 22 b e 23) una volta comparate con i disegni a scala più grande dello stesso secolo dedicate alle foci di Arno (Piccardi e Pranzini, 2014), Serchio e Calambrone, così come il raffronto con il ben più ampio *thesaurus* cartografico settecentesco capace di fornirci affidabili punti di riferimento *ante quem*, ci permettono di valutare la progradazione litoranea nel secolo in esame. L'imponente avanzamento rilevabile sul lobo settentrionale di bocca d'Arno (fino al massimo di 1500-1600 m calcolabile sull'apice) viene ad esaurirsi a circa 3000 metri dalla foce; da qui il litorale arretra tanto da giungere a poche decine di metri dalla linea di costa di inizio seicento. Ad un paio di chilometri dalla foce del Fiume Morto la linea di costa riprende la progradazione che tra il canale ed il Serchio può essere calcolata in 200 m ca. (2,5 m annui). Ben diverse sono le misure rilevabili nel litorale meridionale fino all'attuale Tirrenia, dove l'avanzamento raggiunge gli 800 m (10 m annui).

Con in mente le valutazioni espresse sulla dinamica cinquecentesca si può osservare una pesante riduzione della progradazione delle spiagge di San Rossore (interrotta dalla grande protusione del lobo destro sviluppatosi a seguito del taglio ferdinandeo) cui fa riscontro un avanzamento costante sulla fascia litoranea della costa meridionale fino a Tirrenia. Nei tre documenti rappresentati in Figura 22 compare un saliente fra la foce dell'Arno e quella del Fiume Morto, che potrebbe indicare la presenza di un delta non più alimentato da un corso d'acqua.

### XVIII Secolo

Per avere un primo panorama sufficientemente completo della pianura pisana e del suo litorale nel XVIII secolo bisogna attendere la già rammentata visita del maggio-giugno 1740 della deputazione capitanata da Pompeo Neri (1747), cui si aggiunse l'ingegnere Antonio Falleri, considerato il miglior cartografo dello stato che si adoperò nella produzione di una carta generale della piana pisana e alla rappresentazione delle diverse sub aree (Barsanti D., Rombai L., 1994). Il rigore della visita ordinata dalla Reggenza Lorenese si manifesta anche nella mole documentaria prodotta tra cui spiccano osservazioni, rilievi, disegni, piante e relazioni su tutti i corsi d'acqua della piana.



Figura 23. La pianura pisana (1681, Francesco Gaeta), ONB, Kartensammlung und Globenmuseum, AB 43 (52) Kar.

Molte delle osservazioni di Tommaso Perelli e dei colleghi vennero più tardi condivise da Piero Ferroni, a sua volta interprete di un'altrettanto monumentale visita al Valdarno Pisano, nei progetti degli anni 1771 – 1775 per il risanamento della campagna meridionale Pisana (Rombai L., 2001).

Gli atlanti si distinguono perché uno è volto alla rete idrografica (dove si trovano scoli, fossi e canali, soprattutto quelli abbandonati, ignorati dall'atlante Paganini) mentre l'altro allarga il panorama sugli elementi territoriali trascurati dal primo (Guarducci A., Piccardi M., Rombai L., 2009, pp. 40-42).

Una lettura comparata, anche grazie al disegno di lame e cotoni e nonostante evidenti imprecisioni nella posizione di alcuni edifici (come per la torre dei Riccardi), ci permette di individuare la linea di costa della metà del XVIII nel settore a Nord del Serchio poco avanti alla lama dei Ginepri (Fig. 24c) e nel settore meridionale immediatamente alle spalle del Cotone del Mare, non più lontana di 200-250 metri dal luogo dove sorgerà il primo fortino di bocca di Serchio (Fig. 25).

Ciò sta a significare che tra il 1681 e il 1750 il litorale è avanzato nell'area di Migliarino di 500 - 550 metri (7-8 m/anno, fino ad arrivare a circa 750 metri, 10-11 m annui, intorno alla foce del Serchio). A San Rossore l'avanzamento è stato ancor più consistente: dai circa 850 m (12 m/anno) del settore più a Nord per crescere progressivamente fino ai 2000 metri riscontrabili in sponda destra d'Arno (29 m/anno) (Fig. 25).

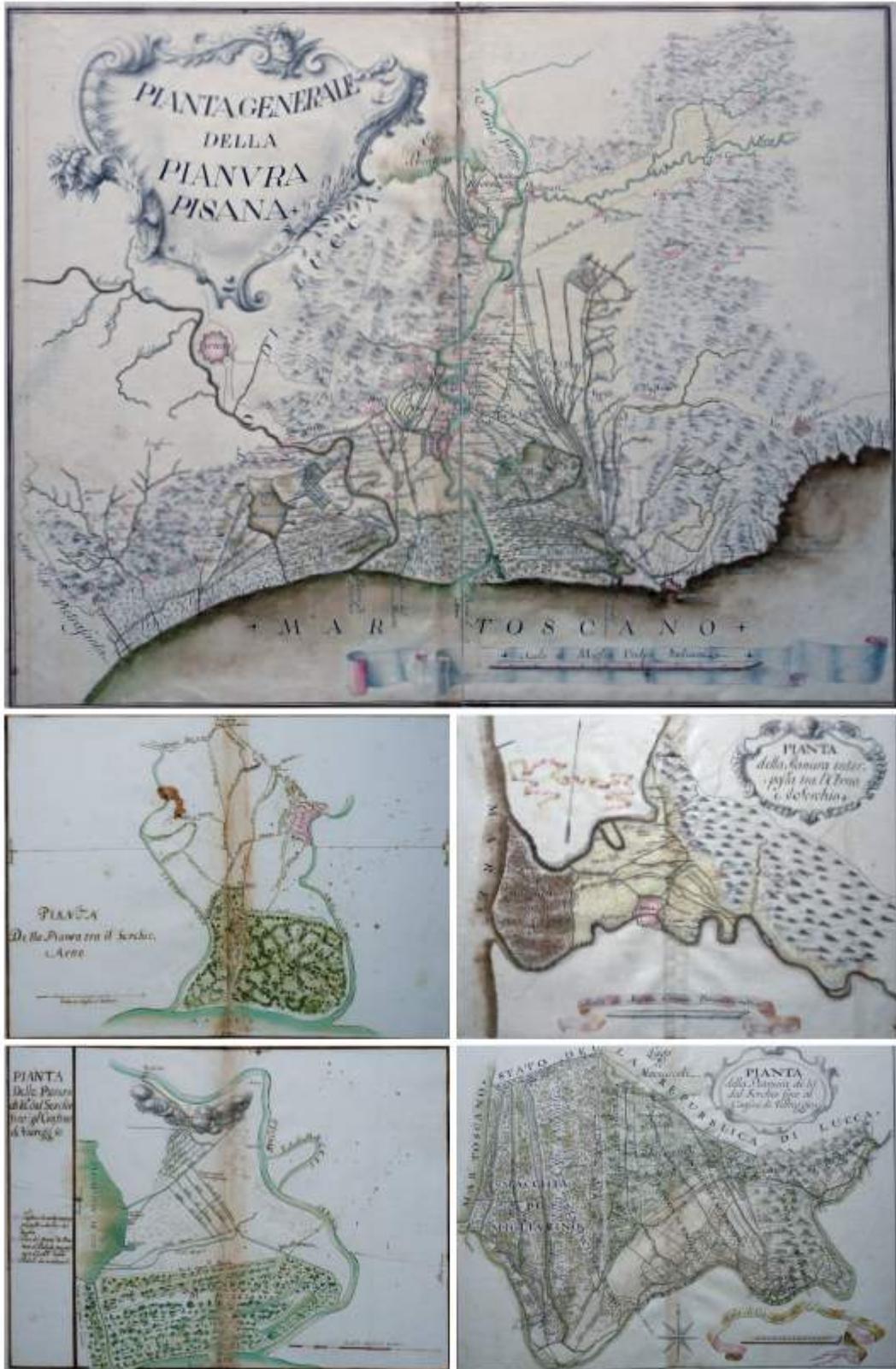


Figura 24. La pianura pisana, Migliarino e San Rossore nelle carte della visita di Pompeo Neri del 1740, SASP, Fiumi e Fossi, 3681 (a) e Legato Paganini, reg. n. 11 (b, c, d, e).

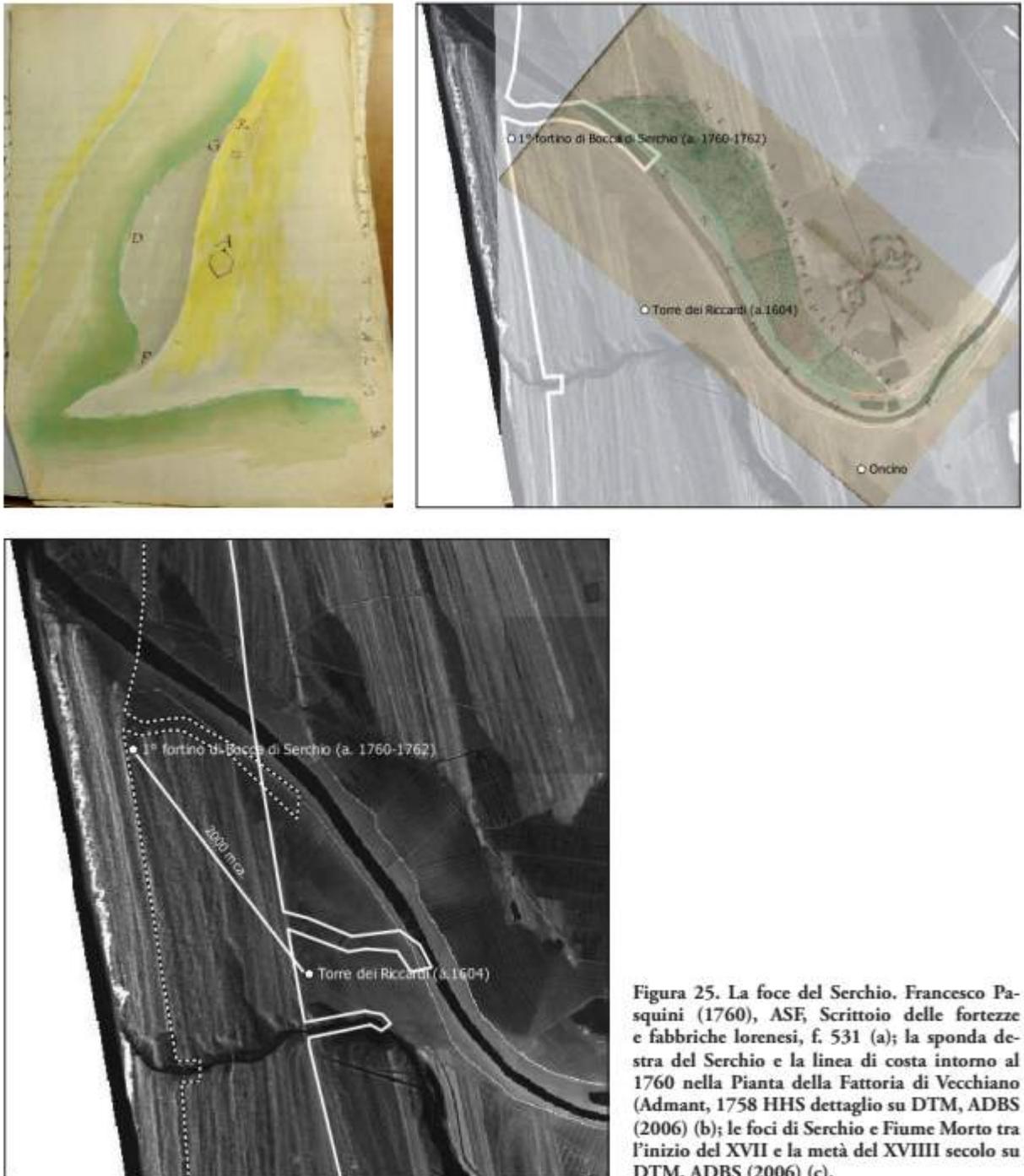


Figura 25. La foce del Serchio. Francesco Pasquini (1760), ASF, Scrittoio delle fortezze e fabbriche lorenese, f. 531 (a); la sponda destra del Serchio e la linea di costa intorno al 1760 nella Pianta della Fattoria di Vecchiano (Admant, 1758 HHS dettaglio su DTM, ADBS (2006) (b); le foci di Serchio e Fiume Morto tra l'inizio del XVII e la metà del XVIII secolo su DTM, ADBS (2006) (c).

Questo avanzamento rende inutile sia la Torre dei Riccardi, sia la Torre della Foce Nuova sull'Arno. Il 10 maggio 1758 Antonio Stassi visita le due torri seicentesche e la sua relazione arriva ad offrire involontari spunti umoristici per l'inadeguatezza della posizione e delle strutture delle fortificazioni esistenti. Alla Torre della Foce Nuova, intesa a sorvegliare una Bocca d'Arno ancora rapsodicamente navigabile da piccoli bastimenti fino a Pisa, ormai su un fronte marino avanzato di oltre due chilometri (*pertiche 780 di braccia 5* [2262 m]) il castellano vive al piano terreno di una torre circondata da pagliai e abitata al piano superiore da una famiglia contadina per cui se questi intende salire al terrazzo per gli avvistamenti deve chiedere il permesso al mezzadro (ASF, Scrit-

toio delle fortezze e fabbriche lorenese, f. 1953). La torre dei Riccardi, destinata a sorvegliare le foci di Serchio e Fiume Morto sulle cui acque potevano scorrere solo *barchetti*, anche se in buono stato di conservazione si trova adesso ad una distanza, in linea retta, di poco meno di 1500 m dal mare (un avanzamento della linea di costa calcolabile intorno ai 9 m annui dal 1600 al 1760) e a 2500 m ca. dalla foce del Serchio, il cui tratto finale ha accelerato i ritmi della migrazione e si è allungato di poco meno di due chilometri (Tabella 1).

Dal 1758 si iniziò a pensare alla costruzione di un fortino esagonale sulla bocca del Serchio, terminato, insieme al gemello di bocca d'Arno, solo nel 1763. Un disegno e una carta redatti a due anni di distanza con soggetti e scale diverse ci permettono di ricostruire il tratto terminale del Serchio poco dopo la metà del XVIII secolo. La pianta della fattoria di Vecchiano con le terre spezzate di Isola di Migliarino e di quella che fu la tenuta di Bosco al Fiume è del 1758 (Fig. 25b) e guarda al Serchio dall'Isola di Migliarino alla foce. Nella grandissima scala del disegno del 1760 (Fig. 25a) si identifica, poco più a valle di un casotto delle guardie sanitarie (E), la posizione su cui verrà ad insistere il primo fortino di Bocca di Serchio (A).

Il disegno si accompagna ad una supplica di Francesco Pasquini, trasportatore su navicello di Arena nonché *impresario del provvedimento de' sassi e calcine a ridotti di Bocca d'Arno e Serchio*, che chiede una proroga per la consegna dei materiali dalle cave di Filettole (nella gola di Ripafratta) al fortino. I costi erano stati preventivati per un trasporto esclusivo su navicello, ma la formazione, dopo la stipula del contratto, di una estesa spiaggia (Fig. 25a, GDF) che aveva allontanato le fondamenta (A) imponeva che l'ultimo tratto del trasporto fosse a spalla (ASF, Scrittoio delle fortezze e fabbriche lorenese, f. 531). L'accumulo sedimentario spiega il meccanismo della migrazione a Nord della foce del Serchio e può essere interessante notare che negli stessi anni, a Bocca d'Arno, i sedimenti si depositano sulla sponda Nord provocando un costante restringimento verso Sud della foce. Pasquini conosce bene le acque del Serchio e spiega che *l'alveo del fiume è per la maggior parte dell'anno asciutto in maniera che non è navigabile neppure da navicelli vuoti, e solamente ne mesi di novembre e dicembre e gennaio puol fare qualche escrescenza, e alcuna quantità conveniente d'acqua in alcuni anni si mantiene per lo scioglimento delle nevi né mesi di aprile e maggio, in alcuni anni però si è osservato che anche nella stagione d'inverno si mantiene scarso d'acque come è accaduto nell'inverno prossimo passato. Qualunque escrescenza è sempre di pochissima durata talmente che per alcuni giorni è sufficientemente pieno, per moltissimi altri poi è quasi asciutto*. La temporanea navigabilità del Serchio spinge il capitano ingegnere Fei (responsabile in sito dei lavori) ad esaudire subito la richiesta del trasportatore, in modo che i materiali siano pronti per la costruzione da avviarsi non appena la stagione lo permetterà, altrimenti *lo sconcerto allora si accrescerebbe all'infinito et il male si farebbe irrimediabile e l'impresa del travaglio ne resterebbe interrotta del tutto per mancanza del materiale necessarissimo non condottovi*. Quello che a noi più interessa è che il trasportatore chiede anche di conoscere il nuovo sito per lo scarico dei materiali e per questo si hanno misure estremamente precise dell'area. Scaricando nel punto D ad una distanza di 600 passi (480 m ca.) dal fortino le pietre sarebbero state portate via dal fiume o affondate nei suoli ancora molto instabili e comunque poco adatti ad essere calpestati dai trasportatori. Meglio allora scaricare nel punto E che, anche se più distante dal fortino (700 passi, 630 m ca.) avrebbe assicurato i massi dalle piene e garantito un trasporto a mano o a cavallo su *un suolo più fermo e più praticabile*. Naturalmente conoscere con precisione posizione e distanza dal mare del fortino permette di estendere, con il supporto del disegno dei cotoni offerto da immagini LIDAR, la ricostruzione della linea di costa a tutto il litorale di San Rossore.

La Figura 26d è volta all'organizzazione della sorveglianza con la disposizione di sentinelle e picchetti attorno all'area E precedentemente liberata da *tutti i Ginepri e gli alberetti per rendere il paese scoperto e libero agl'occhi delle sentinelle* (operazione che non eviterà la fuga di due forzati). Le Figure 26b,c si concentrano sul luogo di scarico dei sassi prima e dopo la formazione del banco.

La Figura 26d è accompagnata da una relazione dell'11 dicembre 1761 spedita da Fei al De Baillou (Direttore Generale di Artiglieria e Fortificazioni) che si sofferma sugli eccezionali accumuli sedimentari del periodo. La lettera A identifica il luogo a fianco del fortino ove il Pasquini aveva iniziato a scaricare. Dopo la formazione della spiaggia (ACE) ampia fino a 700 braccia [400 m ca.] egli aveva concordato di proseguire lo scarico più a monte in (C) di fianco alla capanna della sanità. Purtroppo in pochissimo tempo il banco si era allungato a valle (CEF) per *braccia 590 [340 metri ca.] di estensione* ed era avanzato verso il mare lungo (EE) allontanando il fortino di *almeno a 1000 braccia*, poco meno di 600 m. Ciò significa che in meno di tre anni era affiorata una superficie superiore ai 15 ettari.

Un'altra relazione del 6 gennaio 1762 sull'andamento dei lavori (che illustra quanto in Fig. 25e) riassume

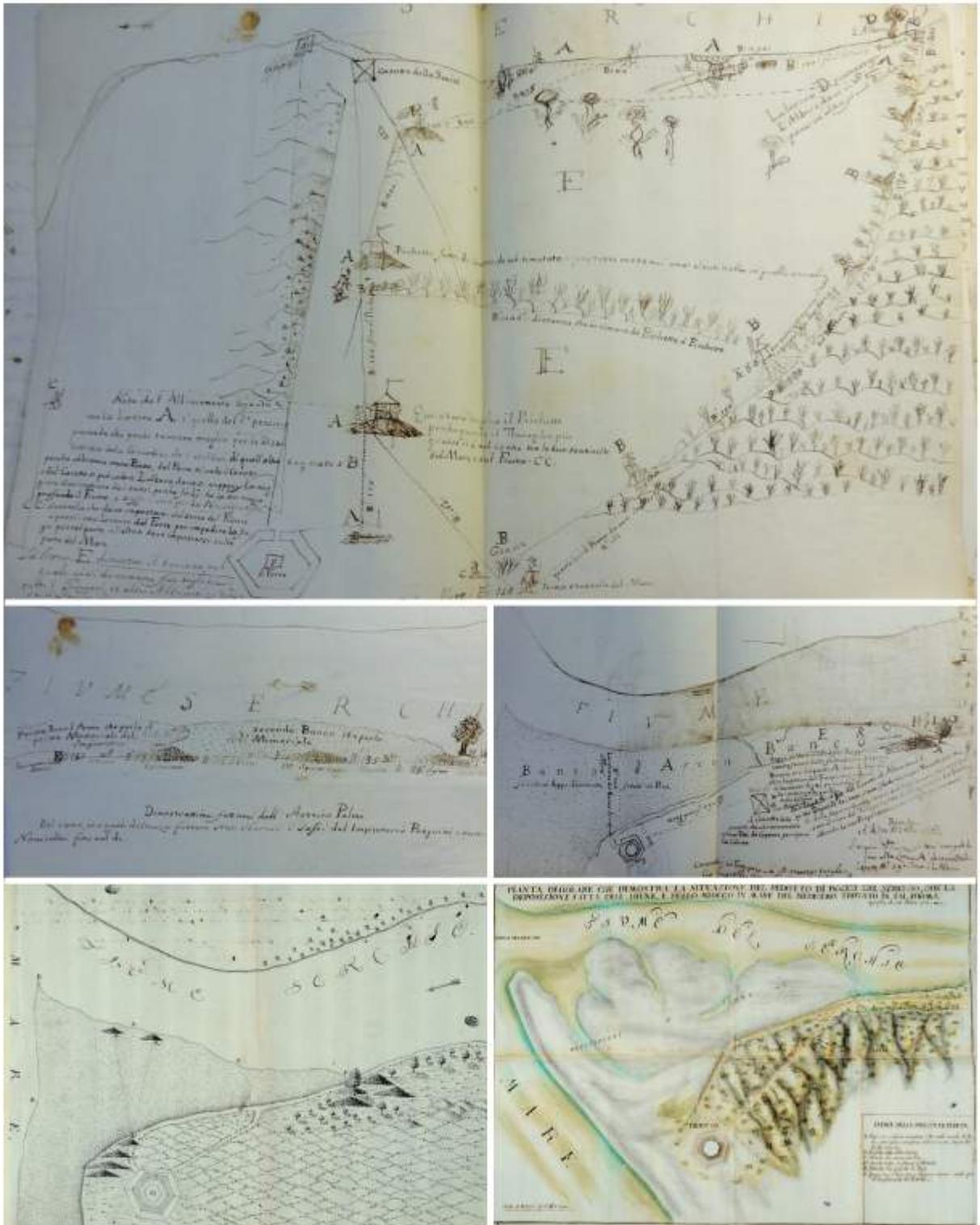


Figure 26. Il fortino di Bocca di Serchio (1760-1761): l'organizzazione del campo di lavoro e la deposizione dei sedimenti sulla sponda sinistra, ASF, Scrittoio delle fortezze e fabbriche lorenesi, f. 531 (a, b, c) e f. 1951, ins. 750 (d, e).

così l'eccezionale migrazione *Credo però di mia obbligazione il dover osservare[...] che allorquando fu costruito il ridotto di bocca di Serchio, il terrapieno di esso non era distante dal fiume che circa a 160 braccia (93 m ca.)*

e poco più del doppio dalla di lui foce. Laddove presentemente resta lontano dal mezzo di detto fiume [...] circa a braccia 900 [522 m ca.] in dirittura del ridotto e circa a braccia 1200 [696 m ca.] dalla foce del medesimo: e secondo il corso dell'acqua che si vede aver ora preso, sono d'assoluto parere, che anderà sempre più allontanandosi tanto da chiedersi se possa essere inutile lo spendere molto a quel ridotto essendo restato tanto lontano dalla Bocca del fiume e sempre più s'allontanerà avendo voltato tutto il suo corso dalla parte opposta. La pessimistica previsione sarà confermata in un documento del 26 agosto 1763, che attesta come dal ridotto alla foce del Serchio attualmente v'è la precisa distanza di braccia 1350 [763 m ca.] (ASF, Scrittoio delle fortezze e fabbriche lorenese, f. 1951, ins. 750). La Tabella 1 riassume le variazioni della foce dal XVI secolo ad oggi, ed è frutto di un'analisi comparativa che evidenzia la concordanza fra fonti iconografiche e descrittive.

La prima cosa da annotare è che la distanza tra le due foci cresce, tra XVII secolo e 1881 di poco meno di 3 km e che oggi si possono riscontrare le stesse distanze nonostante l'intermittente affacciarsi di uno spit che dalla sponda sinistra si allunga ad occludere parzialmente la foce.

Quando si guarda alla contrazione delle distanze del XVII secolo rispetto al precedente, occorre tenere in mente il taglio e il riorientamento della foce d'Arno del 1607 e, per il 1681, la chilometrica estensione della foce d'Arno che allarga la sponda destra sui terreni di San Rossore allora ancora sommersi (Fig 23; Piccardi e Pranzini, 2014). A questo fenomeno si contrappone l'accumulo sedimentario sulla sponda sinistra del Serchio che abbiamo già individuato come responsabile della migrazione della stessa foce. La portata sedimentaria trova un picco eccezionale tra 1759 e 1762 riscontrabile anche sulla foce d'Arno. Questi valori vengono via via diminuendo fino a trovare un sostanziale equilibrio che si mantiene, guardando ai dati Lidar (ADBS e AIRT) quantomeno fino al 2006.

**Tabella 1** Posizione della foce del Serchio rispetto a quella attuale tra XVI sec e XIX sec. e distanza dalla foce dell'Arno. Il circa è d'obbligo

Anno	Anni	Posizione della foce del Serchio rispetto a quella attuale [m]	Tasso di spostamento [m/a]	Variazione Nord-Sud	Distanza foci di Arno (sponda dx) e Serchio (sponda sx) [m]
1563		-3.800		-3.000	9.000
1609-1610	47	-3.400	8,5	-2.800	8.500
1681	71	-2.800	8,4	-2.200	8.000
	79	-1.450*	17,0	-1.250	9.800
1762	3	-1.000	150,0	-800	10.300
1785	23	-700	13,0	-600	10.500
1830	45	-400	6,6	11	10.700
1881	51	-100	1,9	-100	11.300
2006					11.300

Gli oltre 25 km di costa che corrono da Livorno al confine con la Repubblica di Lucca restano comunque sorvegliati solo dai due nuovi fortini di Bocca d'Arno e di Bocca di Serchio. Le preoccupazioni di carattere igienico sanitario, o peggio epidemico (specialmente dopo la peste di Messina, l'ultima in Italia efficacemente combattuta grazie ad un rigido cordone sanitario), legate ai commerci marittimi, più che le esigenze di difesa rendevano improcrastinabile una più fitta rete di sorveglianza su sbarchi di uomini e merci (Guarducci et al., 2014). Fin dal 1761 si pensò alla costruzione di tre nuove torri e il 22 dicembre del 1762 il Maggiore De Maillard presentò i progetti relativi alle torri di Mezzapiaggia, Gombo e, sul confine di stato, Migliarino) presidi che entreranno in esercizio solo nel 1766 (ASF, Segreteria di Gabinetto, Appendice, 220).

Con in mente il ricco *thesaurus* storico iconografico a nostra disposizione, si può comprendere come l'infittirsi della maglia difensiva in un litorale pressoché privo di insediamento e la precisa conoscenza della cronologia di costruzione, garantisca a noi sempre più precise ed affidabili misurazioni che dalle foci si allargano all'intera linea di costa.

Le due carte delle Figure 27, nell'illustrare l'area di San Rossore con le foci di Arno, Fiume Morto e Serchio prima e dopo la costruzione del primo fortino di Bocca di Serchio e della torre del Gombo, ci forniscono un'idea di quale fosse la realtà litoranea intorno alla metà del secolo XVIII. Il confronto delle figure è em-

blematico del ruolo assunto dalla committenza nella produzione di carte e si fa inclemente verso quelle ricostruzioni della linea di costa condotte sull'analisi di un paio di prodotti cartografici. La toponomastica della Figura 27a – una carta priva di data dedicata a Vincenzo Riccardi (1705-1752) Soprintendente delle Reali Possessioni - esalta le molteplici aree di caccia ad uso delle famiglie granducali e dei loro illustri ospiti. La Figura 27b risponde invece alle esigenze di controllo e sfruttamento della tenuta e non può prescindere dal massimo rigore topografico. Qui, alle aree di caccia si sostituiscono, pasture, cotoni, lame macchie e pinete, distinguendo quelle di nuovo impianto tra il cotone degli Ontanelli e quello del Mare. Il vedutismo scelto nella rappresentazione degli edifici del parco lascia spazio al rigore planimetrico della Figura 27b.



Figure 27. San Rossore in due carte del XVIII secolo: Filippo Santini (1730 ca.), ASF, Pianta dello Scrittoio delle Regie possessioni, tomo 48, c. 21 (a) e, Stefano Piazzini (1785), SASP, Fiumi e fossi, 165 (b).

Il 27 settembre 1762 tocca ancora al Maggiore Maillard ad obbedire ad un ordine trasmessogli dal Consiglio di Reggenza circa tre settimane avanti. Si intende accelerare i lavori alle tre nuove torri che devono integrarsi con le due appena costruite in un unico sistema di vigilanza capace di comunicare con "trombe marine". Prima di decidere la sede dei nuovi presidi è opportuno che un esperto visiti quel tratto di litorale in costante movimento. Dopo avere descritto le spiagge di Migliarino, egli prosegue la passeggiata verso Sud a partire dalla sponda sinistra del Serchio e trova

*il mare con poca differenza dell'accennato [ovverosia agitato come quello di Migliarino], quasi gonfio e fluttuante, principiava a rompersi sopra le secche e banchi di arena (per quanto si pote giudicare e come fu confermato da più pescatori marzolini) un mezzo miglio circa in distanza dal lido alla qual distanza possono veleggiare con vento prospero e tranquillo, bastimenti di forza come sarebbero piccole Fregate, Pollacche, Tartane e pinchi armati in guerra. Li cotoni di arena quivi sono alquanto più alti che nel lido di Migliarino e si distendono quasi come una catena paralleli a detto lido in distanza di pertiche 24 [70 m circa], dal battito attuale del mare il quale in tempo burrascoso (essendo il terreno tra questi e il mare non molto elevato sopra il pelo dell'acqua) giunge coll'impeto della sua corrente a lambirli*

Ciò significa che con mare agitato la spiaggia viene sommersa per 70 m e lo stesso vale per le spiagge di Migliarino. Resta da osservare che oggi l'unico cotone alto, sulla foce del Fiume Morto dista tra i 20 e i 30 metri da riva. La maggiore altezza delle dune di questo tratto di costa, rispetto a quella del litorale più vicino alla foce dell'Arno, ben si inquadra nel modello proposto da Psuty (1992) che vede dune più basse laddove la progradazione della costa è più rapida.

De Maillard guarda anche alla foce del Fiume Morto che è *larga circa pertiche 4 [11,5 m ca.]*, *ne può guardarsi, che nell'estate, ed in certi giorni di calma nell'Inverno* e del Serchio, dove osserva il *nuovo Ridotto di Bocca del Serchio, dal quale la Foce del detto Fiume si trovò che si era allontanata da esso punto fino a Pertiche 282 [820 m ca.]*. Confrontando le altezze dei cotoni, conclude che quelli della zona del Tombolo (tra Arno e Calambrone) sono *infinitamente più alti di quelli che si vedano in Migliarino ed in S. Rossore*. Anche in questo caso le osservazioni di allora concordano con il modello di Psuty appena citato.

La relazione si chiude con un rapido esame sui fondali osservando che se l'onda davanti a San Rossore si frange a circa 800 metri dalla riva, i bassi fondali di Migliarino sono più distanti e l'onda si frange *sopra le secche, e banchi d'arena (per quanto si poteva giudicare e per quanto fu assicurato) in distanza della riva o battito attuale del lido di circa miglia uno, e mezzo [2400 m ca.]*.

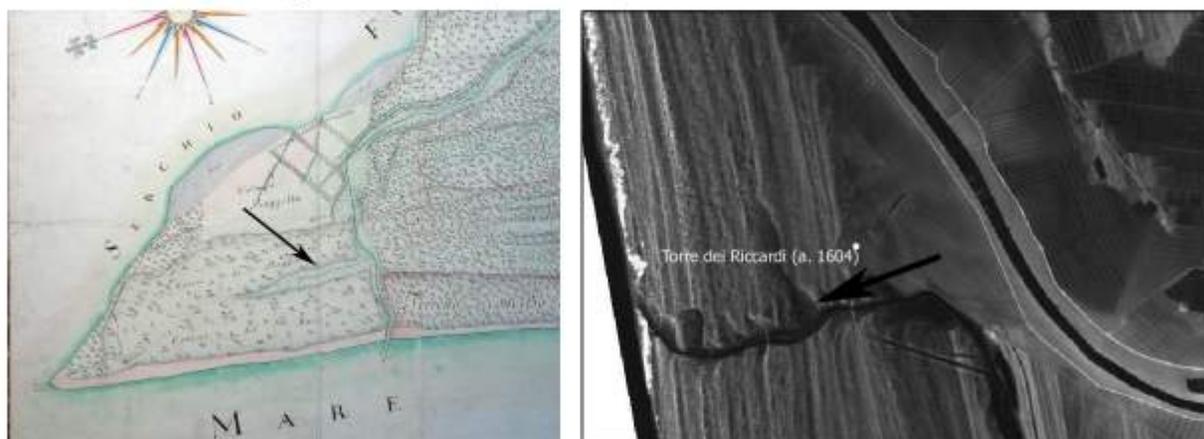


Figure 28 Il Fiume Morto: insabbiamento della foce e lame ortogonali all'alveo (dettaglio di Figura 27b) a confronto con il DTM, ADBS (a. 2006).

Queste osservazioni, seppure qualitative, ben si inquadrano nel modello proposto da Anfuso et al. (2011), nel quale si spiega come la pendenza dei fondali, da riva alla profondità di chiusura, sia maggiore nelle zone in rapida progradazione; e qui San Rossore, più vicino alla foce dell'Arno, aveva un tasso di crescita certamente superiore a quello del litorale di Migliarino.

La dinamica del tratto finale del Fiume Morto si distingue da quella del Serchio (Fig. 28). Dal XIV secolo gli alvei di canale e fiume scorrono paralleli verso NO, ma a partire dalla seconda metà del XVI secolo (quando i due corsi d'acqua non distano più di 500 m e poco di più le foci) il canale prenderà la direzione E-O mentre, il Serchio appena riorientato tornerà alla direzione SE-NO allungando il corso tra metà XVI secolo e fine XIX secolo di oltre 3500 m. Nello stesso periodo il Fiume Morto si stenderà per poco più di 2700 m. La misura tiene conto di una ripresa dell'orientamento SE-NO analogo a quello del XIV secolo che, tra la metà del secolo XVIII e l'occlusione artificiale del terzo decennio del XX secolo, sposta la bocca del canale circa 300 m a Nord.

Nell'ultimo quarto del XVIII secolo, come per i terreni di San Rossore che lambiscono la sponda destra del tratto finale d'Arno, si avviano le colmate dell'Oncino e della Piaggetta sulla sponda sinistra del Serchio. Giuseppe Salvetti, in una relazione del 1775 raccomanda per Piaggetta *che non andasse perso tempo ad introdurre l'acqua del Serchio nella detta Colmata per profitare della deposizione delle torbe delle prime piene del prossimo autunno, che sono le più cariche di terra* (ASF, Scrittoio delle regie possessioni, 3540, documento del 7 febbraio 1775).

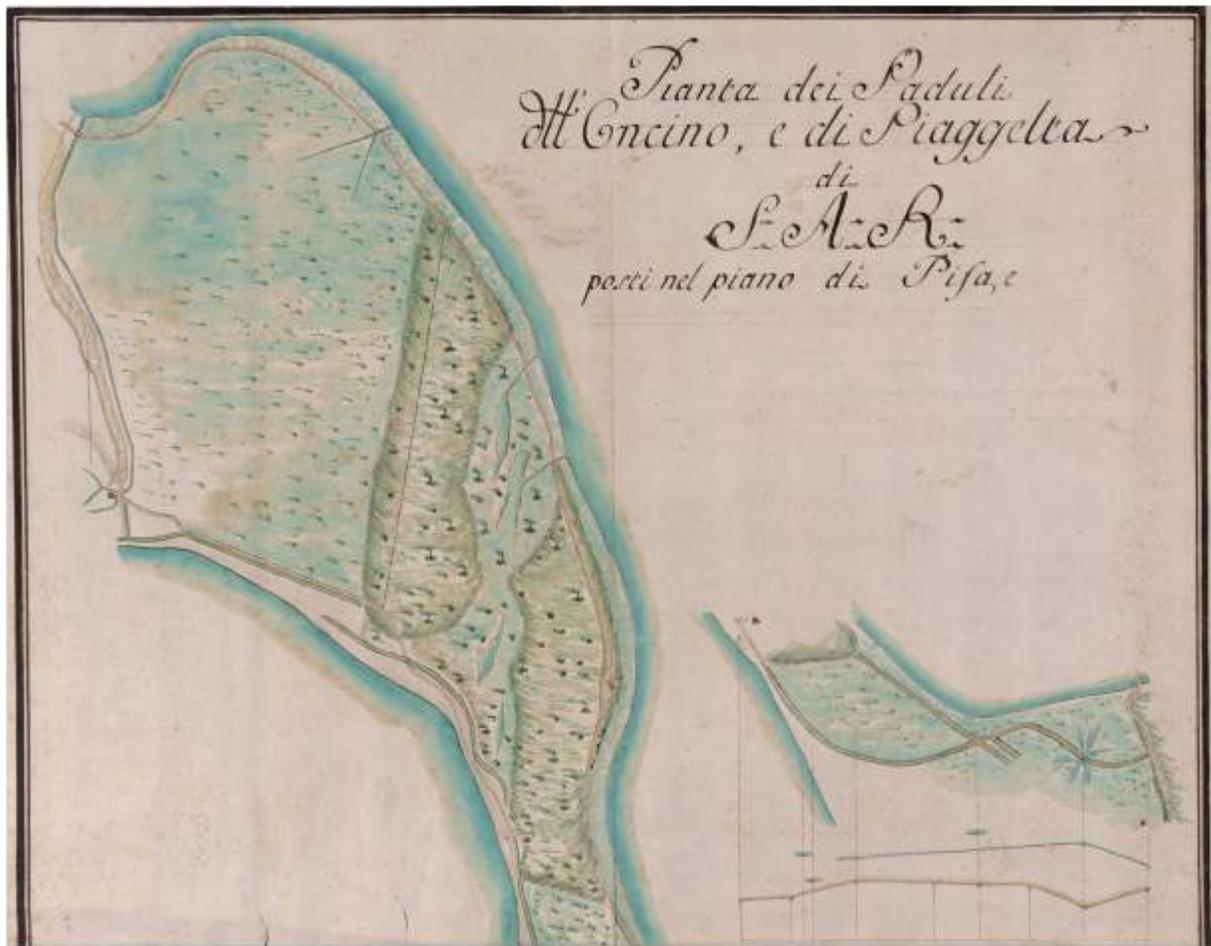


Figura 29. Le colmate della Piaggetta e dell'Oncino, ASF, Pianta dello Scrittoio delle Regie Possessioni, piante sciolte, 100 (dettaglio).

La superficie interessata dalla colmata dell'Oncino (Fig. 30) copre circa 141 ettari. Per avere una idea delle quantità di sedimenti sottratti al mare possiamo volgerci ad una relazione del settembre 1795 di Giuseppe Salvetti sullo stato di avanzamento della bonifica *Dopo molti anni che non avevo veduto questo luogo già nido di serpi e di ranocchi, mi ha fatto molto piacere di vederlo così ben ridotto e risanato* e la bonifica è stata efficace in almeno 2/3 della sua estensione. Qui i terreni si sono rialzati in relazione alla distanza dal Serchio di due,

tre e fino di braccia quattro di altezza [1,60 – 3,20 m]. Nel restante terzo l'innalzamento non supera i 2/3 o 1 braccio [38- 58 cm ca.] (ASF, Scrittoio delle fortezze e fabbriche lorenese, f. 531). Prendendo come punto di riferimento un innalzamento del terreno di 2 braccia [1,16 m] il volume depositato dal 1775 al 1795 supera abbondantemente il milione e mezzo di metri cubi. Una deposizione coerente con quella registrabile al momento della progettazione del primo fortino di Bocca di Serchio, che in poco meno di tre anni ha fatto emergere una superficie di oltre 15 ettari di terreno.

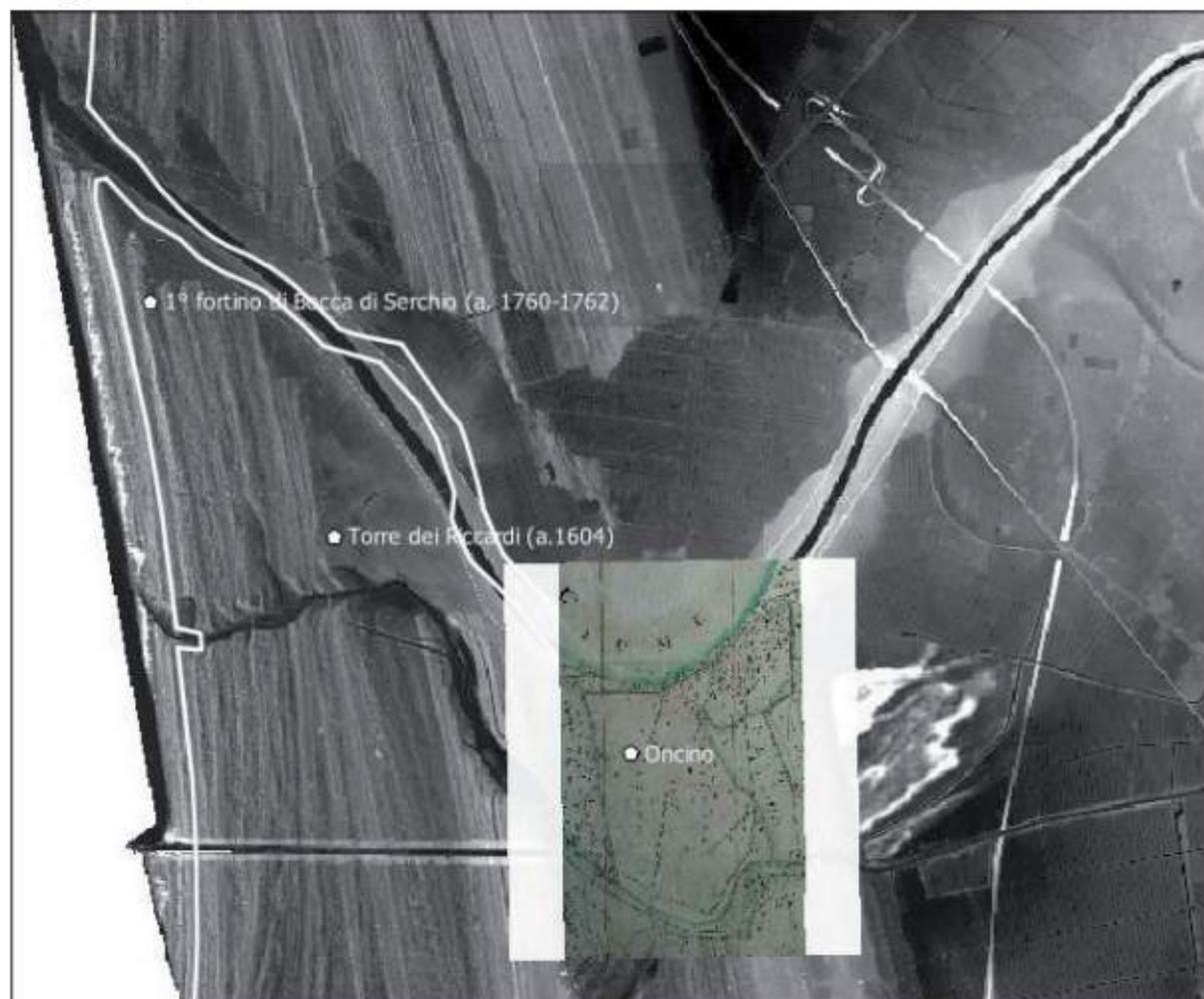


Figura 30. La linea di costa della fine del XVIII sec. e sovrapposizione di un dettaglio di Figura 27 su DTM, ADBS (2006) .

E' un calcolo che contrasta con la valutazione dell'attuale portata sedimentaria del Serchio, che risulta assai scarsa pur nella continuità di piene e fenomeni alluvionali. Il ritmo di avanzamento della linea di costa del litorale pisano, già dalla fine del XVIII secolo inizia a ridursi, fenomeno che per Bocca d'Arno prelude ad una breve fase di equilibrio tra erosione e ripascimento per poi lasciare spazio a quell'imponente processo erosivo tutt'ora in atto e che recentemente raggiunto anche la foce del Serchio. Ma da questo momento in poi sarà la cartografia geodetica a guidare gli studi sull'evoluzione di litorale.

### Conclusioni

L'area racchiusa dai tratti terminali di Serchio e Fiume Morto testimonia di un intervento dell'uomo che si fa intenso nei 50 anni che seguono la realizzazione della foce unica (tra 1562 e 1574). A questo periodo fanno seguito quattro secoli (dal secondo decennio del XVII secolo a terzo decennio del secolo scorso (quando si scava il Fiume Morto Nuovo) in cui fiume e canale sono sostanzialmente lasciati liberi di disegnarsi letto e

foce e della stessa libertà hanno goduto fino a tempi recenti le fasce litoranee a Sud (San Rossore) e a Nord della foce (Migliarino e Vecchiano) dove fino a Viareggio ci si è limitati alla sistemazione degli scoli del lago di Massaciuccoli.

Inoltre e a differenza di quanto accade a bocca d'Arno dove - per difendere il fortino e il litorale che poi ospiterà Marina di Pisa da un forte fenomeno erosivo della sponda sinistra d'Arno - si costruirono ripari ed argini a partire dal 1763 e su cui si è continuato ad intervenire fino ai nostri giorni, il Serchio ancora nel 2016 scende a mare libero da arginature, se non per degli esili e bassi muretti di sponda appena percettibili. Tra XVII e XX secolo gli interventi si concentrano piuttosto nella risistemazione degli scoli della piana tra il lago di Massaciuccoli e Migliarino, molti dei quali trovavano sbocco in Serchio ad Isola o nelle lame più occidentali.

A fine settecento si iniziano le colmate di Oncino e Piaggetta su superfici di gran lunga inferiori -come nel caso dei circa quattro ettari della colmata della Piaggetta (la più occidentale) - a quelle che abbiamo visto interessare le sponde destra sinistra del tratto terminale d'Arno e l'area di Stagno soggetta, fin dal XVI secolo, ad interventi di risistemazione e canalizzazione della maglia idrica verso la foce a Calambrone. Così guardando alla linea di costa ottocentesca, la progradazione riscontrabile tra le foci di Serchio e Arno da fine settecento a fine ottocento segnala che tra 1785 e 1830 ca, il lobo destro d'Arno e il litorale di Marina di Pisa avanzano in misura di 2,5 - 3 m annui, che si riducono a 0, 5 cm annui tra 1825-1830 (anni in cui si producono i fogli di mappa del catasto geometrico particellare) e 1878-1881 (quelli delle tavolette IGM 1:25000 e del rilievo idrografico del Magnaghi). Nel resto del litorale di San Rossore, tra 1785 e 1830 ca., si ha conferma della progradazione (dai 3 m ai 2 m annui mano a mano che si scende da nord a Sud). Del tutto diverso quello che accade tra 1830 e 1878-1881 dove da 600/700 m a sud del Gombo fino a Bocca di Serchio, la progradazione procede con ritmi analoghi a quelli del periodo precedente. Diversamente al limite del lobo destro si affaccia un primo fenomeno erosivo che si esaurisce intorno al suo apice, che manifesta un accrescimento verso sud che va a stringere la foce dell'Arno.

La migrazione verso Nord-Ovest della foce del Serchio, cui fa da contrappunto, dall'inizio del XVII secolo al 1881, il progressivo restringimento verso sud della foce d'Arno ha fatto sì che in 3 secoli le due foci si siano allontanate di oltre 3000 m.

### Abbreviazioni

ADBS Regione Toscana ADB Serchio - Asta del Serchio con i principali affluenti, Fiume Morto, Fosso della Bufalina, Canale Burlamacca, Fiume Camaiore (2006)

AFSP Archivio Salviati, Biblioteca della Scuola Normale Superiore di Pisa, Piante e disegni

AIRT Ministero dell'Ambiente Aree Interne Regione Toscana, (2008)

ASF Archivio di Stato di Firenze

ASLU Archivio di Stato di Lucca

BIA The Medici Archive project in <http://bia.medici.org/>

BNE Biblioteca Nacional de España. Madrid

HHS Haus- Hof- und Staatsarchiv, Wien

ONB Österreichische Nationalbibliothek, Wien,

SASP Archivio di Stato di Pisa

WTTT <http://www.toscanatirrenica.it/>

### Ringraziamenti

Le carte conservate negli Archivi di Stato di Firenze, Pisa e Lucca (prot. 1112) e la Figura 14a sono pubblicate "su concessione del Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo con espressa avvertenza del divieto di ulteriore riproduzione o duplicazione con qualsiasi mezzo", la Figura 8a "per concessione della Scuola Normale Superiore di Pisa, ogni diritto riservato".

### Bibliografia

Aiello E., Bartolini C., Caputo C., D'Alessandro L., Fanucci F., Fierro G., Gnaccolini M., La Monica G.B., Lupia Palmieri E., Piccazzo M., Pranzini E. (1976) - *Il trasporto litoraneo lungo la costa toscana fra la foce del Fiume Magra ed i Monti dell'Uccellina*. Bollettino della Società Geologica Italiana, 94: 1519-1571.

- Albizi L. (1768) - *Ragionamento sopra il bonificare il paese di Pisa fra Messer Gio. Caccini, maestro Davitte Fortini e Lorenzo Albizi*. In: Raccolta d'autori che trattano del moto delle acque edizione seconda [...]. Tomo IV, Stamperia Reale, Firenze, pp. 1-13.
- Amorosi A., Giacomelli S., Ribecai C., Rossi V., Sammartino I., Sarti G. (2012) - *Il sottosuolo dell'area urbana e periurbana di Pisa: architettura deposizionale ed evoluzione paleoambientale durante il medio - tardo olocene*. In: MapPapers. 7-II, pp.247-256.
- Anfuso G., Pranzini E., Vitale G. (2011) - *An integrated approach to coastal erosion problems in northern Tuscany (Italy): littoral morphological evolution and cells distribution*. *Geomorphology*, 129: 204-214.
- Baroni B., Gorreri L. (2006) - *Il Fiume Morto. Il territorio, la storia, i progetti*. Pacini, Pisa, (si veda anche <http://dante.di.unipi.it/ricerca/html/dpp.html>).
- Barsanti D. (1989) - *La scuola idraulica galileiana operante in Toscana*. Bollettino storico pisano, LVIII, pp. 83-129.
- Barsanti D., Rombai L. (a cura di) (1994) - *Scienziati idraulici e territorialisti nella Toscana dei Medici e dei Lorena*. Firenze, Centro Editoriale Toscano.
- Castelli B. (1822) - *Intorno l'aprire la bocca di Fiume Morto in mare, e chiuderla in Serchio*. In: Raccolta di autori italiani che trattano del moto delle acque. Edizione quarta arricchita di molte cose inedite, e d'alcuni schiarimenti, Tomo III, Opuscoli idraulici di Archimede, Galileo Galilei, Benedetto Castelli, Alfonso Borelli, Evangelista Torricelli, Vincenzo Viviani, Marsigli, Bologna.
- Ceccarelli Lemut M. L., Mazzanti R., Morelli P. (1994) - *Il contributo delle fonti storiche alla conoscenza della geomorfologia*. In: Mazzanti R. (a cura di), *La pianura di Pisa e i rilievi contermini – la natura e la storia*. Memorie della Società Geografica Italiana, 50:401-429.
- Pietro del Massaio (1460 ca) - *Tuscia Novela*. In: *Claudius Ptolemaeus, Cosmographia Jacobo Angelo interprete*, Bibliothèque nationale de France, Département des manuscrits, Latin 4802
- Codagnone A. (1992) - *Foglio 104 Pisa*. In: Torelli M. et alii (a cura di), *Atlante dei siti archeologici della Toscana*. L'Erma di Bretschneider, Roma, pp. 37-54.
- Coppa A. (2002) - *Francesco Paciotto, Architetto Militare*. Unicopli, Milano
- Della Rocca B., Mazzanti R., Pranzini E. (1987) - *Studio geomorfologico della Pianura di Pisa*. In: *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*. 10, 1987, pp. 56-84. lo inserisci quando ti sofermi sulla sterrrrpaia?
- Edelstein B. L. (2008) - *Eleonora di Toledo e la gestione dei beni familiari: una strategia economica?* In: Arcangeli L. e Peyronel S., *Donne di potere nel rinascimento*. Viella, Roma, pp. 743-764.
- Gattiglia G. (2013) - *MAPPa. Pisa medievale: archeologia, analisi spaziali e modelli predittivi*. Nuova Cultura, Roma, anche in [http://www.academia.edu/4328783/MAPPa\\_Pisa\\_medievale\\_archeologia\\_analisi\\_spaziali\\_e\\_modelli\\_predittivi](http://www.academia.edu/4328783/MAPPa_Pisa_medievale_archeologia_analisi_spaziali_e_modelli_predittivi).
- Giorgini G. (1839) - *Ragionamento sopra il regolamento idraulico della pianura lucchese e toscana interposta fra l'Arno ed il Serchio del cav. professore Gaetano Giorgini*. Stamperia Pieraccini, Pisa.
- Grazzini G. (1898) - *Le condizioni di Pisa alla fine del XVI e sul principio del XVII secolo sotto il Granducato di Ferdinando I de' Medici*. Tipografia Edisso Traversari, Empoli.
- Guarducci A., Piccardi M., Rombai L. (2009) - *Acque di costa tra mare e terra: il paesaggio della pianura costiera di Pisa e Livorno secondo la cartografia del XVIII secolo*, *Storia Urbana*, Milano, 125, pp. 35-58.
- Lepore F., Piccardi M., Pranzini E. (2011) - *Costa e Arcipelago Toscano nel Kitab i Bahriye Un confronto cartografico (secoli XIII-XVII)*. Felici, Ghezzano [San Giuliano Terme].
- Lepore F., Piccardi M., Pranzini E. (2012) - *The autumn of mediaeval portolan charts. Cartometric issues*. *E-Perimetry*, vol. 1, pp. 16-27.
- Manfredi E. (1826) - *Relazione all' illustrissimo ufficio del fiume Serchio sopra il regolamento generale di esso fiume*. In: Raccolta d'autori italiani che trattano del moto dell' acque edizione quarta arricchita di molte cose inedite, e d'alcuni schiarimenti. Tomo X, Tipografia Cardinali e Frulli, Bologna, pp. 1-30.
- Meijer C. (1685) - *L' arte di restituire à Roma la tralasciata navigazione del suo Tevere divisa in tre Parti [...]*, Stamperia del Lazzeri Varesa, Roma, anche in <http://www.e-rara.ch/doi/10.3931/e-rara-13446>.
- Mineccia N. (1983) - *Note sulle fattorie granducali del pisano occidentale nell'età moderna: Antignano, Casabianca, Collesalveti, Nugola, S. Regolo e Vecchiano*. In: Coppola G. [a cura di], *Agricoltura e aziende agrarie nell'Italia centro-settentrionale (secoli XVI-XIX)*. Franco Angeli, Milano.
- Morozzi F. (1762) - *Dello stato antico e moderno del fiume Arno e delle cause e de' rimedi delle sue inondazioni*

- ragionamento storico matematico dell'ingegnere Ferdinando Morozzi di Colle Valdelsa [...] Parte prima contenente la storia delle inondazioni.* Gio. Batista Stecchi all'Insegna di S. Ignazio Lojola, Firenze.
- Neri P. (1747) - *Relazione della visita fatta all'Uffizio de Fossi di Pisa l'anno 1740, e diretta a Sua Altezza Reale il Serenissimo Gran Duca di Toscana nostro clementissimo signore dall'auditor Pompeo Neri segretario del suo consiglio di Reggenza, e uno dei deputati della predetta visita sotto di 9 ottobre 1743 e approvata dalla Reale Altezza Sua dopo la di lei esaltazione al trono imperiale per suo benigno dispaccio segnato in Vienna sotto di 26 ottobre 1746 e pubblicata per susseguente rescritto del consiglio di reggenza del di 12 aprile 1747.* (<http://ww2.bibliotecaitaliana.it/xtf/view?docId=bibit000515/bibit000515.xml&chunk.id=d73e204&toc.id=&brand=bibit>).
- Parigino G.V. (1999) - *Il tesoro del Principe. Funzione pubblica e privata del patrimonio della famiglia Medici nel Cinquecento.* Olschki, Firenze.
- Perelli T. (1774) - *Sopra la campagna pisana, ragionamento del signor dottor T. P., pubblico professore dell'Università di Pisa e matematico, scritto dal medesimo nell'anno MDCCLXXIV.* In: Raccolta d'autori che trattano del moto delle acque - edizione seconda corretta ed illustrata con annotazioni, aumentata di molte scritture, e relazioni, anco inedite, e disposta in un ordine più comodo, per gli studiosi di questa scienza. Gaetano Cambiagi, Firenze, tomo IX, pp. 87-154.
- Piccardi M., Pranzini E. (2014) - *Carte a piccola, grande e grandissima scala negli studi sull'evoluzione del litorale. Cosa è successo a Bocca d'Arno tra il XVI e il XIX secolo?* L'universo, 5: 760-790.
- Pitti V. (1616) - *Descrizione di Pisa fatta da Vincenzo Pitti l'anno 1616.* Ora in <http://dante.di.unipi.it/ricerca/html/dpp.html>.
- Psuty N.P. (1992) - *Spatial variation in coastal foredune development.* In: Coastal dunes: Geomorphology, Ecology and Management. A cura di R.W.G. Carter, T.G.F. Curtis e M.J. Sheehy-Skeffington. Balkema, Rotterdam, pp. 3-13.
- Ragni N. (2001) - *Francesco Paciotti, Architetto Urbinate (1521-1591).* Accademia Raffaello, Urbino.
- Redi F. (1990) - *Ambiente naturale e intervento dell'uomo nel Medioevo.* In: San Giuliano Terme. La storia, il territorio. Giardini, Pisa, pp. 187 - 300.
- Rombai L., (2001) - *La costruzione dell'immagine regionale: i matematici territorialisti nella Toscana dell'illuminismo. l'esempio della relazione generale sulla pianura pisana di Pietro Ferroni (1774).* In: La geografia delle sfide e dei cambiamenti (Trieste, 21-25 maggio 1996), vol. primo, pp. 145-156.
- Roveda E. (1984) - *Le proprietà fondiari dell'arcivescovado di Pisa dal XV al XVII secolo.* In: La città e il contado di Pisa nello Stato dei Medici (XV-XVII secolo). Ricerche di Storia Moderna. III, Pacini, Pisa, pp. 391-420.
- Viviani V. (1765-1774) - *Relazione al Serenissimo Gran-Duca di Toscana Cosimo Terzo intorno al riparare, per quanto possibil sia, la Città, e campagne di Pisa dall'inondazioni ec.* In: Raccolta d'autori che trattano del moto dell'acque. Stamperia Reale, Firenze, tomo IV <http://www.e-rara.ch/zut/content/structure/3539384>).
- Zagli A. (2001) - *Il lago e la comunità. Storia di Bientina un «castello» di pescatori nella Toscana moderna,* Polistampa, Firenze, 495 pp.

**Ricevuto il 13/09/2015, accettato il 09/03/2016.**

## G3 - 2014 e G3 - 2015

Care Lettrici e Cari Lettori di Studi Costieri,

in questo numero pubblichiamo i lavori presentati in occasione delle edizioni 2014 e 2015 dell'evento G3-GNRAC. Questo evento, nato nel 2010, è maturato nel corso degli anni fino ad assumere l'attuale formulazione, che prevede una presentazione ad invito, alcune presentazioni di autori provenienti da università ed enti di ricerca e altre di professionisti e dipendenti da enti territoriali.

Durante queste prime 5 edizioni l'evento ha avuto una partecipazione annuale media pari a 10 presentazioni e circa 70 uditori in sala.

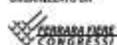
Questi numeri testimoniano che il G3-GNRAC sta offrendo la risposta ad un'evidente richiesta di un forum strutturato dove discutere tematiche inerenti all'ambiente costiero.

In questo numero pubblichiamo ben 21 contributi, che spaziano da temi inerenti allo studio e previsione di dinamiche costiere mediante simulazioni numeriche, modellistica sperimentale, ricostruzioni sulla base di carte storiche, gestione e utilizzo di basi di dati, analisi chimiche e biologiche, problemi portuali, e molto altro. Tutti i contributi sono limitati a due pagine ad eccezione di quelli ad invito e di quelli dei vincitori del premio "G3-GNRAC Miglior Presentazione di Studi Costieri", che sono estesi a 8 pagine.

Speriamo che questi lavori attraggano il vostro interesse e possano stimolarvi la curiosità di partecipare come autori o come uditori al settimo G3 che si terrà, come al solito, nell'ambito della rassegna COAST in programma a Settembre 2016 presso Ferrara Fiere.

Per il GNRAC  
Lorenzo Cappietti

ORGANIZZATO DA



PARTNER



SEZIONE SPECIALE DI



# Gestione e Tutela della Costa e del Mare

F E R R A R A F I E R E

# Coast

## 21 - 22 - 23 settembre 2016

### Assoporti - Associazione Porti Italiani



Coast si svolge in parallelo a RemTech ed è l'unico evento nazionale dedicato alla gestione e alla tutela della costa e del mare, con la partecipazione delle imprese più competitive del settore e delle principali autorità, tra le quali i Ministeri, i Porti, le Regioni e gli organi di controllo.

Il ricco e diversificato programma congressuale tratta i temi della protezione delle coste, i fenomeni di erosione,

le opere di difesa, il monitoraggio, i dragaggi, la gestione dei sedimenti, le attività portuali, la Marine Strategy e offshore. Da segnalare, la **II Conferenza Nazionale dei Porti** e la presentazione dei lavori del **Tavolo Nazionale sull'Erosione Costiera**, promosso dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, insieme alle quindici Regioni costiere italiane.

Via della Fiera, 11 - 44124 Ferrara / Tel. +39 0532 909495 - 900713 / Fax +39 0532 976997



### REGISTRAZIONE ONLINE

[www.coastexpo.com](http://www.coastexpo.com) | [info@coastexpo.com](mailto:info@coastexpo.com) | 

## Master Plan degli interventi di mitigazione del rischio di erosione costiera in Calabria

Giuseppe Barbaro

Università degli Studi "Mediterranea" di Reggio Calabria, Dipartimento DICEAM, Via Graziella località Feo di Vito  
giuseppe.barbaro@unirc.it

### Introduzione

Nella memoria viene descritta la procedura di redazione del Master Plan degli interventi di mitigazione del rischio di erosione costiera in Calabria con i principali risultati ottenuti.

La Calabria è una regione caratterizzata da un territorio prevalentemente collinare (49%) e montuoso (42%), con solo il 9% di pianure e con un notevole sviluppo costiero (oltre 700 km). La conformazione stretta ed allungata del territorio e la disposizione dei rilievi comportano l'assenza di fiumi con sviluppo significativo (ad eccezione di Crati e Neto) e la presenza di un numero elevato di corsi d'acqua a regime torrentizio. I litorali calabresi sono caratterizzati da un'alternanza di spiagge sabbiose e ciottolose e di coste alte (concentrate prevalentemente nei promontori di Capo Vaticano e Capo Rizzuto e nel tratto tra Palmi e Scilla) e sono fortemente antropizzati (in particolare nei capoluoghi di provincia di Crotone, Reggio Calabria e Vibo Valentia e nella fascia tirrenica cosentina), con presenza di numerose attività turistiche e di stabilimenti balneari che rendono la fascia costiera di fondamentale importanza nell'economia regionale. Negli ultimi decenni gran parte dei litorali ha subito rilevanti fenomeni di arretramento della linea di riva a causa di:

- antropizzazione a fini turistici e industriali;
- riduzione dell'apporto solido fluviale;
- subsidenza di origine tettonica.

Per contrastare i fenomeni erosivi sono state realizzate svariate opere di difesa costiera ma, nella maggior parte dei casi, si tratta di "interventi tampone" realizzati con carattere di urgenza ed in aree limitate, che rimandano la soluzione del problema erosivo in quanto molti di essi sono privi di una progettazione oculata ed efficace e di una visione generale del problema. È ormai riconosciuto che, pur in presenza di una pluralità di soggetti che operano nel governo del territorio, le strategie corrette sono quelle in cui è individuato un unico soggetto istituzionale che conserva, coordina e documenta le diverse attività in materia di difesa del suolo, fungendo da collegamento fra tutti gli altri soggetti. Pertanto, il Master Plan degli interventi di mitigazione del rischio di erosione costiera si pone l'obiettivo di pianificare il riequilibrio complessivo dei litorali calabresi, mediante la redazione di uno strumento conoscitivo di medio-lungo termine che consenta di valutare in maniera chiara e completa le conseguenze delle diverse soluzioni progettuali e di fondare, quindi, le scelte su analisi attendibili, documentate ed estese agli aspetti fisici, ambientali, sociali ed economici, tra loro strettamente connessi.

Nella memoria sarà descritta la metodologia adottata nella redazione del Master Plan degli interventi di mitigazione del rischio di erosione costiera in Calabria, approfondendo in particolare le fasi di analisi morfologica, di caratterizzazione e classificazione del clima ondoso di largo e di individuazione delle aree a rischio erosione costiera, che rivestono interesse scientifico in quanto prevedono la definizione di specifici indici. La procedura descritta ha permesso di ottenere un valido livello di conoscenza delle problematiche che interessano i litorali calabresi ma è, tuttora, passibile di miglioramenti, illustrati nella sezione in cui vengono analizzati i risultati ottenuti.

### Metodologia adottata

La redazione del Master Plan si sviluppa in due parti, la prima delle quali si articola in:

- raccolta dati (reperimento cartografia; raccolta del materiale disponibile su indagini batimetriche, topografiche, sedimentologiche, meteomarine e su progetti di opere marittime realizzate o in corso di esecuzione; raccolta di dati ondametrici, anemometrici, correntometrici e mareografici);
- indagini conoscitive (indagine sullo stato attuale della linea di costa; indagine storiografica sull'evoluzione della linea di costa; censimento delle opere marittime esistenti; indagine e caratterizzazione dei bacini idrografici per quantificare, approssimativamente, il relativo apporto di materiale sui litorali limitrofi);
- studi preliminari (caratterizzazione del moto ondoso di largo; analisi della propagazione del moto ondoso da largo a riva; analisi approssimata della dinamica costiera in senso trasversale e longitudinale e valutazione del trasporto solido; analisi della tendenza evolutiva della linea di costa);
- analisi speditiva degli aspetti insediativi e socio-economici della fascia costiera (indagine sugli usi del suolo; analisi del tessuto urbano, del sistema infrastrutturale, delle attività economiche presenti, dei vincoli con individuazione di parchi, riserve naturali, piani paesistici, aree archeologiche, vincoli idrogeologici delle aree protette presenti sul territorio oggetto di studio);
- implementazione di un Sistema Informativo Geografico.

La seconda parte si articola in:

- analisi dei dati raccolti;
- caratterizzazione generale dei litorali;
- evoluzione dei litorali negli ultimi decenni, con catalogazione dei tratti in erosione ed individuazione dei tratti critici sia su larga scala che su scala locale;
- definizione e classificazione delle aree di pericolosità e dei livelli di rischio associati a ciascuna area.

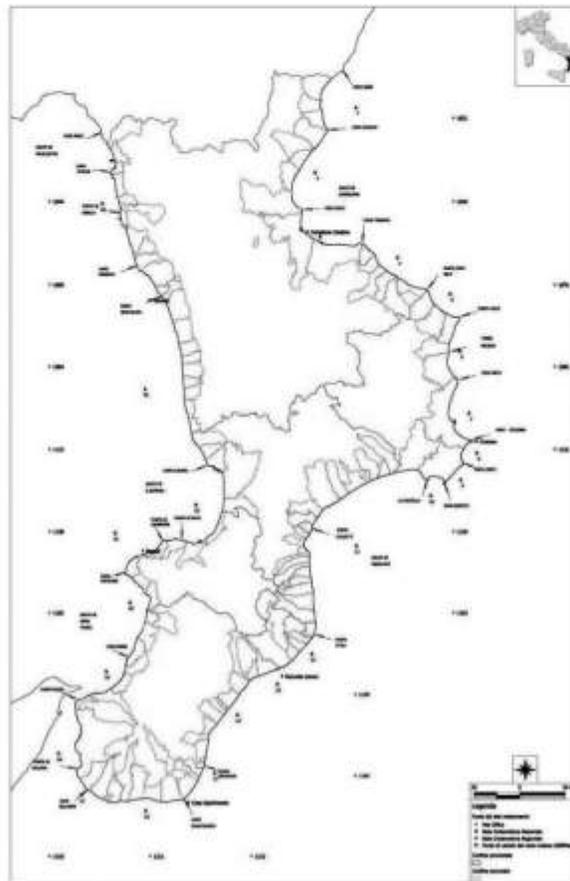


Figura 1 – Aree di studio in cui è stato suddiviso il litorale calabrese.

### Analisi morfologica

L'analisi morfologica delle coste calabresi è stata articolata nelle seguenti fasi:

- digitalizzazione della linea di costa e della linea di retrospiaggia degli anni 2008, 2012 e 2013;
- analisi storica dell'evoluzione della linea di costa;
- creazione di un database delle opere di difesa costiera e delle infrastrutture portuali.

Nel corso dell'analisi sono stati presi in esame diversi parametri: area totale in erosione ed in avanzamento, lunghezza caratteristica della spiaggia in erosione ed in avanzamento, arretramento ed avanzamento della linea di riva e velocità media annua di erosione e di avanzamento (definendo: avanzamento per  $\Delta L > 1$  m/anno, avanzamento debole per  $0.5 < \Delta L < 1$  m/anno, stabile per  $-0.5 < \Delta L < 0.5$  m/anno, arretramento debole per  $-1 < \Delta L < 0.5$  m/anno, arretramento per  $\Delta L < -1$  m/anno).

Per classificare dal punto di vista morfologico i litorali sono stati proposti due indici:

- indice di dinamicità del litorale – tiene conto della quantità effettiva di sedimenti movimentati, indipendentemente dalla tendenza evolutiva;
- indice di uniformità del litorale – tiene conto dell'omogeneità del comportamento di ciascun tratto di litorale ed è pari al rapporto tra la variazione netta della superficie di spiaggia (pari alla somma algebrica delle superfici erose ed accumulate) e la variazione totale della superficie di spiaggia (pari alla somma dei valori assoluti delle superfici erose ed accumulate).

### Caratterizzazione e classificazione clima ondoso di largo

L'attività di caratterizzazione e classificazione del clima ondoso di largo ha richiesto, preliminarmente, la suddivisione dei litorali calabresi in aree di studio: allo scopo sono state individuate 24 aree, delimitate da significative variazioni della morfologia costiera (promontori, foci di corsi d'acqua, opere portuali) e numerate procedendo in senso orario a partire dal confine con la Basilicata sul litorale ionico.

Il clima ondoso di largo è stato caratterizzato a partire dai dati ricavati applicando il software ABRC-MACRO, sviluppato dalla società HR Wallingford Ltd, che permette di ricostruire, in ambiente GIS, serie temporali di dati meteomarini a partire dai dati di vento della banca dati del Met Office ed è stato tarato utilizzando i dati registrati dalle stazioni RON di Cetraro e Crotona e dalle stazioni della Rete Ondametrica Regionale della Calabria (Tropea, Capo Spartivento, Roccella Jonica, Corigliano Calabro). Per caratterizzare il clima ondoso di largo sono stati determinati:

- frequenze;
- altezze significative;
- periodi di picco;
- flusso di energia;
- settore di traversia principale;
- probabilità di superamento omnidirezionale e direzionale;
- periodo di ritorno omnidirezionale;
- persistenza media.

La procedura di classificazione del moto ondoso è stata articolata nelle seguenti fasi:

- suddivisione delle coste calabresi in oltre 700 transetti omogenei dal punto di vista morfologico e di esposizione al moto ondoso;
- raggruppamento dei transetti in 161 tratti con caratteristiche sufficientemente omogenee;
- valutazione dell'inclinazione media di ciascun transetto;
- calcolo dell'indice caratteristico del moto ondoso per ciascun tratto, ottenuto come media pesata degli indici dei transetti presenti in ciascun tratto e definito come:

$$I = I_{\Phi} I_{\alpha} I_{\lambda} I_{h(R)}$$

con:

$$I_{\Phi} = \frac{\Phi_{\text{transetto}}}{\Phi_{\text{max}}} \quad \text{indicatore del flusso di energia;}$$

$$I_{\alpha} = \frac{\alpha_{\text{transetto}}}{90^{\circ}} \quad \text{indicatore dell'inclinazione del settore di traversia principale;}$$

$I_{\lambda} = \frac{\lambda_{\text{transetto}}}{\lambda_{\text{max}}}$       indicatore della pendenza del fondale;

$I_{h(R)} = \frac{h(R)_{\text{transetto}}}{h(R)_{\text{max}}}$       indicatore della variazione di altezza significativa al variare di R.

La procedura di normalizzazione dei risultati ottenuti è stata condotta considerando separatamente le due macro-aree tirrenica e ionica a causa della differente esposizione al moto ondoso, ed inglobando lo Stretto di Messina (caratterizzato da clima ondoso medio annuo di modesta entità a causa dei fetch ridotti lungo la maggior parte delle direzioni) nella macro-area ionica.

### Individuazione aree a rischio erosione costiera

L'individuazione delle aree a rischio erosione costiera è stata articolata nelle seguenti fasi:

- suddivisione delle coste calabresi in 3900 transetti (di lunghezza compresa tra 150 e 200 m), raggruppati in 21 macro-aree;
- individuazione delle classi di pericolosità da erosione costiera (che comprende la valutazione della velocità di avanzamento/arretramento della linea di riva per ciascun transetto, la determinazione dell'indice di pericolosità e l'inserimento dei fattori correttivi, dipendenti dalla disomogeneità spaziale dei principali fattori meteomarini e dalla presenza di opere portuali e di difesa costiera);
- individuazione delle aree soggette a pericolosità da erosione costiera;
- individuazione delle aree a rischio erosione costiera.

La delle aree a rischio erosione costiera e degli elementi esposti ha permesso di valutare le priorità di intervento (sia a livello di macro-aree che di singoli comuni).

In tutte le fasi è stato utilizzato un Sistema Informativo Territoriale appositamente predisposto, all'interno del quale sono state inserite:

- linea di costa degli anni 1954, 1985, 1998, 2003, 2008, 2013;
- linea di retro spiaggia degli anni 2003 e 2012;
- interventi di protezione delle coste ad oggi realizzati;
- Carta dell'Uso del Territorio della Regione Calabria;
- banca dati della Cartografia Tecnica Regionale.

### Individuazione classi di pericolosità

L'individuazione delle classi di pericolosità è stata articolata nelle seguenti fasi:

- valutazione della velocità di avanzamento/arretramento della linea di riva per ciascun transetto (nei periodi 1998-2003, 2003-2008 e 2008-2013);
- determinazione dell'indice di pericolosità, pari al rapporto tra la lunghezza della spiaggia ed il valore massimo della velocità di spostamento della linea di riva (esprime la dinamicità dell'evoluzione della linea di riva e rappresenta il tempo necessario affinché l'intera spiaggia venga erosa nell'ipotesi di velocità di erosione pari al valore massimo rilevato in condizioni di fenomeno evolutivo costante);
- inserimento dei fattori correttivi:

- fattore locale, assume valori compresi tra 0.2 e 0.8 e tiene conto della disomogeneità delle diverse macro-aree riguardo:

- energia del moto ondoso;
- apporto di sedimenti dai corsi d'acqua;
- pendenza del fondale;
- tipologia della spiaggia;
- fattore delle opere portuali, tiene conto dell'effetto di protezione garantito dalla presenza di opere portuali ed è pari a 0 nel caso di presenza di opere portuali e pari a 1 nel caso di loro assenza;
- fattore delle opere di difesa dei litorali, tiene conto della presenza di opere di protezione realizzate in passato e di quelle che saranno realizzate in futuro (permette, quindi, di riclassificare la pericolosità da erosione

costiera in funzione della realizzazione di nuove opere);

- definizione delle classi di pericolosità, determinate in funzione dell'indice di pericolosità (ottenuto accorpando i transetti in macrotransetti con lunghezza media di circa 1 km ed operando sul valor medio di 5 transetti consecutivi invece che sul valore ottenuto per ogni singolo transetto).

**Tabella 1. Classi di pericolosità in funzione dell'indice di pericolosità corretto.**

INDICE DI PERICOLOSITÀ CORRETTO	CLASSE DI PERICOLOSITÀ
$I_{pc} < 20$	P3 (alta pericolosità)
$20 < I_{pc} < 40$	P2 (media pericolosità)
$40 < I_{pc} < 60$	P1 (bassa pericolosità)

### Individuazione aree soggette a pericolosità

Per individuare le aree soggette a pericolosità sono stati seguiti i seguenti criteri:

- la spiaggia, cioè l'area compresa tra la linea di riva più recente (2012 – 2013) e la linea di retro-spiaggia, è stata perimetrata come area ad alta pericolosità (P3);
- nei transetti con associata una qualsiasi classe di pericolosità, a ridosso della linea di retro-spiaggia è stata individuata una fascia, di ampiezza pari all'ampiezza della spiaggia (LFP), soggetta alla pericolosità massima;
- nei transetti con classe di pericolosità alta o media, è stata individuata una seconda fascia, di larghezza pari a LFP/2, soggetta rispettivamente a media o bassa pericolosità;
- nei transetti con classe di pericolosità alta, è stata individuata anche una terza fascia, di ampiezza pari a LFP/2, soggetta a bassa pericolosità.

### Individuazione aree a rischio erosione costiera

Per individuare le aree a rischio erosione costiera, le aree a diversa pericolosità da erosione costiera sono state sovrapposte agli elementi vulnerabili, estratti dalla Carta dell'Uso del Territorio della Regione Calabria e dalla banca dati della Cartografia Tecnica Regionale. Le diverse classi di rischio sono state individuate secondo lo schema riportato nella figura sottostante.

**Tabella 2. Classi di rischio in funzione delle classi di pericolosità e delle classi di danno.**

CLASSI DI RISCHIO		CLASSI DI PERICOLOSITÀ		
		P2	P1	
CLASSI DI DANNO	D4	R4	R4	R2
	D3	R4	R3	R2
	D2	R3	R2	R1
	D1	R2	R1	R1

Tale metodologia ha permesso di valutare:

- aree soggette ai vari livelli di rischio (da R1, minimo, a R4, massimo);
- superficie di strade e ferrovie ricadenti nelle aree soggette a rischio;
- numero di edifici ricadenti nelle aree soggette a rischio.

### Risultati ottenuti e sviluppi futuri

Dall'analisi dei risultati ottenuti è possibile osservare che:

- l'alto Tirreno presenta i fenomeni di evoluzione più intensi (indice di maggiore instabilità) mentre i litorali ionici presentano un'evoluzione, mediamente, meno marcata;
- le opere di difesa non risultano distribuite in maniera omogenea in quanto il litorale ionico è caratterizzato da una minore densità di opere rispetto al litorale tirrenico mentre la maggiore densità si osserva nella parte meridionale della Calabria, dove le pressioni ambientali hanno comportato la realizzazione di numerose

opere eseguite con carattere di urgenza e senza un preciso programma funzionale degli interventi;

- le opere portuali esistenti sono ubicate principalmente nella fascia ionica e nel basso Tirreno;
- la zona della Calabria maggiormente soggetta ad interventi di ripristino delle opere di difesa esistenti e di costruzione di nuove opere è quella tirrenica; gli interventi previsti sulle infrastrutture portuali interessano, principalmente, strutture esistenti (ampliamenti di banchine, dragaggi, prolungamento di moli);
- il clima ondoso di largo che caratterizza le macro-aree ionica e tirrenica presenta significative differenze: nei litorali tirrenici si raggiungono le soglie di altezza significativa maggiori, inoltre i valori del flusso sono maggiori ma sono concentrati su poche direzioni mentre, nel litorale ionico, i valori del flusso sono, generalmente, inferiori ma esiste un maggior numero di direzioni da cui proviene moto ondoso di entità rilevante.

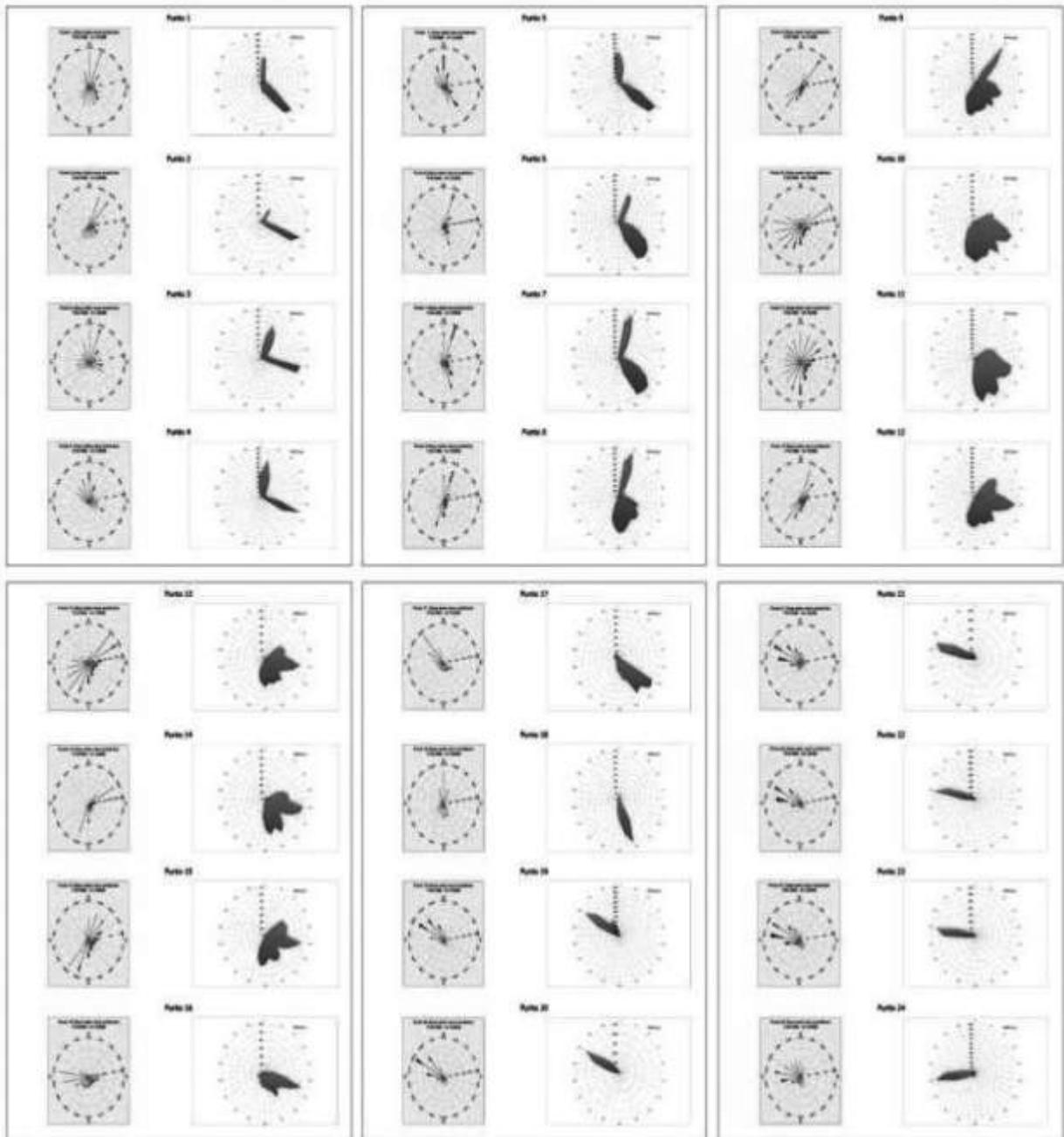


Figura 2. Clima ondoso di largo per ciascuna delle 24 aree in cui sono stati suddivisi i litorali calabresi.

Tabella 3. Indice caratteristico del moto ondoso per ciascun'area in cui sono stati suddivisi i litorali calabresi.

	AREA	$I$	$I_{\phi}$	$I_u$	$I_k$	$I_{(R)}$
MAR IONIO	1	0.411	0.725	0.586	0.021	0.508
	2	0.364	0.187	0.782	0.028	0.378
	3	0.253	0.171	0.269	0.073	0.279
	4	0.179	0.238	0.156	0.026	0.337
	5	0.266	0.476	0.147	0.045	0.370
	6	0.411	0.534	0.458	0.053	0.374
	7	0.365	0.525	0.373	0.026	0.362
	8	0.471	0.629	0.556	0.040	0.508
	9	0.440	0.401	0.843	0.034	0.513
	10	0.376	0.322	0.268	0.023	0.607
	11	0.395	0.421	0.469	0.038	0.507
	12	0.401	0.469	0.630	0.082	0.527
	13	0.353	0.448	0.377	0.111	0.547
	14	0.471	0.622	0.709	0.090	0.549
	15	0.506	0.591	0.846	0.057	0.528
	16	0.387	0.343	0.255	0.116	0.348
STRETTO DI MESSINA	17	0.293	0.151	0.081	0.435	0.419
	18	0.266	0.076	0.060	0.446	0.317
MAR TIRRENO	19	0.604	0.640	0.676	0.339	0.677
	20	0.592	0.628	0.609	0.214	0.829
	21	0.610	0.791	0.500	0.071	1.000
	22	0.588	0.974	0.725	0.028	0.667
	23	0.645	0.966	0.647	0.029	0.796
	24	0.413	0.336	0.861	0.044	0.467

Tabella 4. Velocità di avanzamento/arretramento, lunghezza dei tratti in avanzamento/arretramento e relativa percentuale.

	VELOCITÀ ARRETRAMENTO	LUNGHEZZA COSTA	% COSTA
	m/anno	m	%
AVANZAMENTO		48661	6.78
ARRETRAMENTO	0 - 1	211840	29.54
	1 - 5	399147	55.65
	5 - 10	42608	5.94
	10 - 20	10428	1.45
	20 - 30	1376	0.19
	30 - 40	1289	0.18
	40 - 50	682	0.10
	> 50	1158	0.16
TOTALE		717189	100.00

Tabella 5. Classi di pericolosità e relative lunghezza e superficie.

CLASSE PERICOLOSITÀ	LUNGHEZZA COSTA	% COSTA	SUPERFICIE
	m	%	km <sup>2</sup>
N.P.	80446	11.22	nd
P1	180971	25.23	13007
P2	162964	22.72	14439
P3	292808	40.83	48420
TOTALE	717189	100.00	75886

Tabella 6. Superfici esposte alle diverse classi di rischio.

CLASSE DI RISCHIO	EDIFICI	STRADE	FERROVIE	SUPERFICIE
	Numero	km <sup>2</sup>	km <sup>2</sup>	km <sup>2</sup>
R1	999	0.000	0.000	13374
R2	6589	0.898	0.467	44391
R3	6589	0.000	0.000	2403
R4	306	2.608	1.267	15699
TOTALE	14483	3.506	1.733	75866

La procedura descritta prevede degli aggiornamenti semestrali che tengano conto dei fattori non analizzati nella prima stesura, in particolare:

- trasporto solido litoraneo e fluviale;
- tipologie di edifici esposti al rischio;
- numero di abitanti residenti esposti al rischio.

Inoltre, per migliorare la valutazione della pericolosità sono previste:

- taratura dei pesi da assegnare alle grandezze in gioco nel calcolo del fattore locale;
- calibrazione dei valori dei fattori correttivi.

### Conclusioni

Nella memoria è stata descritta la metodologia adottata nella redazione del Master Plan degli interventi di mitigazione del rischio di erosione costiera in Calabria, approfondendo in particolare le fasi di analisi morfologica, di caratterizzazione e classificazione del clima ondoso di largo e di individuazione delle aree a rischio erosione costiera, che rivestono interesse scientifico in quanto prevedono la definizione di specifici indici.

Il Master Plan degli interventi di mitigazione del rischio di erosione costiera in Calabria si pone l'obiettivo di pianificare il riequilibrio complessivo dei litorali calabresi, mediante la redazione di uno strumento conoscitivo di medio-lungo termine che consenta di valutare in maniera chiara e completa le conseguenze delle diverse soluzioni progettuali e di fondare, quindi, le scelte su analisi attendibili, documentate ed estese agli aspetti fisici, ambientali, sociali ed economici, tra loro strettamente connessi.

L'analisi dei risultati ottenuti ha messo in evidenza che l'alto Tirreno presenta i fenomeni di evoluzione più intensi (indice di maggiore instabilità) mentre i litorali ionici presentano un'evoluzione, mediamente, meno marcata. In termini di clima ondoso, nei litorali tirrenici si raggiungono le soglie di altezza significativa maggiori, inoltre i valori del flusso sono maggiori ma sono concentrati su poche direzioni mentre, nel litorale ionico, i valori del flusso sono, generalmente, inferiori ma esiste un maggior numero di direzioni da cui proviene moto ondoso di entità rilevante. Le opere di difesa non risultano distribuite in maniera omogenea in quanto il litorale ionico è caratterizzato da una minore densità di opere rispetto al litorale tirrenico mentre la maggiore densità si osserva nella parte meridionale della Calabria, dove le pressioni ambientali hanno comportato la realizzazione di numerose opere eseguite con carattere di urgenza e senza un preciso programma funzionale degli interventi. Inoltre, la zona della Calabria maggiormente soggetta ad interventi di ripristino delle opere di difesa esistenti e di costruzione di nuove opere è quella tirrenica.

La procedura descritta ha permesso di ottenere un valido livello di conoscenza delle problematiche che interessano i litorali calabresi ma è, tuttora, passibile di miglioramenti e prevede aggiornamenti semestrali che tengano conto dei fattori non analizzati nella prima stesura (trasporto solido litoraneo e fluviale, tipologie di edifici esposti al rischio, numero di abitanti residenti esposti al rischio). Inoltre, per migliorare la valutazione della pericolosità sono previste una fase di taratura dei pesi da assegnare alle grandezze in gioco nel calcolo del fattore locale ed una fase di calibrazione dei valori dei fattori correttivi.

### Ringraziamenti

L'Autore ringrazia l'Autorità di Bacino della Regione Calabria e la società HR Wallingford Ltd per il prezioso supporto e per il materiale fornito nell'ambito della Convenzione "Modellazione del moto ondoso e indagini per la mitigazione del rischio di erosione costiera in Calabria".

## Valutazione dello stato di conservazione delle praterie di *Posidonia oceanica* di Ospedaletti (IM) mediante l'utilizzo di modelli predittivi

Gloria Misson

Università degli Studi di Genova, Corso Europa 26  
gloria.misson@edu.unige.it

### Riassunto

*Posidonia oceanica* (L.) Delile è una fanerogama marina endemica del Mar Mediterraneo. Essa è in grado di sviluppare ecosistemi molto produttivi e le praterie sono classificate come Siti di Interesse Comunitario con l'obbligo di piani di gestione per tali aree. Tuttavia, la maggior parte dei posidonieti sono in regressione in tutto il bacino mediterraneo a causa dei notevoli impatti antropici i quali generano danni diretti e indiretti alla fanerogama.

In questo lavoro, sono stati applicati modelli predittivi geospaziali al fine di quantificare la regressione dei limiti superiore e inferiore della prateria di *P. oceanica* dinanzi a Ospedaletti (IM) causata dagli interventi effettuati sul litorale e determinare in tal modo le condizioni di riferimento, ovvero le condizioni ideali di sviluppo in assenza di impatti antropici. I risultati hanno evidenziato come la prateria dinanzi alla discarica a mare abbia subito una notevole regressione, in quanto il materiale versato presentava una rilevante percentuale di pelite. Inoltre, confrontando la situazione attuale con le condizioni di riferimento, è stato possibile quantificare gli ettari di posidonieto scomparsi.

**Parole chiave:** Modello predittivo, condizioni di riferimento, *Posidonia oceanica*, Ospedaletti, Liguria

### Abstract

*Posidonia oceanica* (L.) Delile is an endemic seagrass of the Mediterranean Sea. It is able to develop highly productive ecosystems and its meadows are classified as Sites of Community Interest: all Member States of European Community are obliged to undertake management plans for these areas. However, most of meadows are suffering regression in the whole Mediterranean basin because anthropogenic coastal impacts generate direct and indirect damages to *P. oceanica*.

The meadow occurring in the Ospedaletti Bay (IM) has been affected by significant coastal interventions from the earliest years of the '900 (i.e. protection structures for railway and sea-dump), which have produced a retreat of the meadow.

In this work, geospatial predictive models have been applied in order to quantify the regression of the upper and lower limits of *P. oceanica* of Ospedaletti caused by human coastal interventions. These models allowed to define the reference conditions, i.e. the ideal conditions in the absence of anthropogenic impacts. The results showed that the meadow before the sea-dump underwent a obvious regression due to considerable quantity of pelitic material versed on the seacoast. In addition, comparing the current situation of *P. oceanica* with reference conditions, it was possible to quantify the meadows hectares that have been lost.

**Keywords:** Predictive model, reference conditions, *Posidonia oceanica*, Ospedaletti, Liguria

## Introduzione

La Direttiva Europea 2008/60/CE nota come Marine Strategy Framework Directive (MSFD) obbliga gli Stati Membri alla determinazione dello stato di conservazione degli ambienti marini considerando non solo i singoli elementi che compongono l'ecosistema ma anche la struttura, le funzioni e i processi che lo governano. Lo scopo della Direttiva è il conseguimento o il mantenimento di un "Buono Stato Ambientale" (GES: Good Environmental State) dell'ambiente marino entro il 2020, al fine di ridurre il fenomeno dello "spostamento delle condizioni di riferimento" (shifting baselines). Per il raggiungimento del GES, ad ogni Stato Membro è richiesta la determinazione dello stato ambientale della regione marina competente mediante la misurazione di alcuni descrittori qualitativi: la loro analisi è fondamentale per l'individuazione delle condizioni di riferimento tipiche e specifiche per il corpo idrico analizzato. Le condizioni di riferimento di un determinato ambiente possono essere definite mediante tre modalità: 1. comparazione dell'area con i siti di stato elevato quali le aree marine protette; 2. confronto delle condizioni attuali con i dati storici, dove disponibili; 3. modellizzazione (CE, 2008).

*Posidonia oceanica* (L.) Delile è la fanerogama marina dominante nel Mar Mediterraneo, dove forma estese praterie dalle quali si sviluppano ecosistemi altamente produttivi e svolge un ruolo chiave nei sistemi biotici delle acque costiere (Boudouresque et al., 2012). La maggior parte delle praterie di *P. oceanica* sono classificate come SIC (Siti di Importanza Comunitaria; Relini, 2000): la Comunità Europea prevede piani di gestione per i SIC (EEC, 1992) e richiede che gli habitat prioritari presenti nei Siti siano in condizioni soddisfacenti, ciò comporta la conservazione dello stato di salute generale dell'habitat. Nello scorso secolo il continuo e crescente sviluppo demografico ed economico delle città costiere ha causato la regressione delle praterie di *P. oceanica*. La fanerogama presenta un basso tasso di crescita e la ricolonizzazione dei posidonieti degradati è praticamente irreversibile a scala umana (Boudouresque et al., 2009). La distruzione e l'alterazione delle praterie per cause antropiche può essere diretta, mediante danni fisici e chimici, o indiretta, causando un'alterazione dei processi ambientali (Boudouresque et al., 2009). Spesso si assiste a una sinergia dei diversi impatti, i quali non sempre sono facilmente isolabili (Boudouresque et al., 2012). Tuttavia, tale regressione può essere generata anche dall'interazione con fattori naturali, in particolare con l'idrodinamismo, come confermano diversi studi (La Loggia et al., 2004; Occhipinti-Ambrogi, 2007; Giovannetti et al., 2008; Vacchi et al., 2010, 2012, 2013). Infatti, il limite superiore della prateria solitamente è presente all'interno della regione più dinamica del fondo marino (Vacchi et al., 2010, 2012) ma questa zona è spesso sottoposta all'influenza degli impatti antropici, che causano una regressione del limite verso il largo (Montefalcone et al., 2010). Il limite inferiore è soggetto ai cambiamenti fisici generati dal moto ondoso lungo la colonna d'acqua oltre che dalle alterazioni determinate dall'inquinamento (Vacchi et al., 2012).

Nel SIC marino IT1316274 presente nella regione Liguria e denominato "Fondali di Sanremo-Arziglia", si sviluppa una prateria di *P. oceanica* che si estende da Punta di Miglierese ad Ospedaletti (IM). La baia di Ospedaletti, fin dai primi anni del '900, è stata interessata da notevoli interventi costieri, come opere di difesa per la protezione del tratto ferroviario e versamento di materiale fine a mare, i quali hanno in parte determinato un arretramento del posidonieto. In questo lavoro, sono stati applicati modelli predittivi geospaziali su base cartografica 2D al fine di quantificare la regressione dei limiti superiore e inferiore della prateria di *P. oceanica* dinanzi a Ospedaletti causata dagli interventi effettuati sul litorale e determinare in tal modo le condizioni di riferimento. Tale applicazione permette di discriminare l'arretramento causato dalle attività umane rispetto a quello determinato da alterazioni naturali. I modelli identificano la porzione del fondo marino dove i limiti superiore e inferiore del posidonieto dovrebbero essere posizionati in condizioni di riferimento, ovvero nella condizione ideale di sviluppo in assenza di impatti antropici.

## Materiali e metodi

### Area studio

Il litorale oggetto di studio si trova nel tratto orientale della baia di Ospedaletti (Fig. 1), tra il centro cittadino (ovest) e Capo Nero (est). Il tratto costiero presenta un'orientazione NO-SE, con una spiaggia emersa di natura ghiaiosa-ciottolosa nel tratto centrale, mentre in prossimità di Capo Nero la costa è prevalentemente rocciosa. La spiaggia sommersa presenta una tessitura riferibile alle peliti (Fierro et al., 2010), con un profilo morfodinamico con caratteristiche intermedie tra i profili dissipativi e i profili riflettivi, essendo caratterizzato da pendenze comprese tra 8-15° (Ferrari et al., 2011).

Considerando il clima meteromarinario, l'area di indagine risulta essere interessata particolarmente dalle ondate di Libeccio, con un'orientazione del moto ondoso pari a circa 225°, mentre è colpita con un angolo ad elevata

incidenza dai mari meno energetici provenienti dal secondo quadrante. L'altezza dell'onda, con tempo di ritorno annuale, al largo ( $H_0$ ) è pari a 4,0 m e con periodo corrispondente a 7,5 sec (Ferrari et al., 2011) (Fig. 2). Fin dalla metà dell' 800 il comune di Ospedaletti è stato interessato da numerosi interventi litorali. Tra il 1860 e il 1870 è stata realizzata la linea ferroviaria, la quale percorreva la località per tutto il suo tratto costiero. L'opera ha comportato l'inizio di un'intensa fase erosiva e nel 1878 sono state realizzate le prime opere difensive per la protezione del rilevato ferroviario (Fierro et al., 2010). Inoltre, nello stesso periodo, il prelievo di inerti direttamente dalle spiagge e dai corsi d'acqua, in particolare dal Roia e dal Nervia, hanno fortemente ridotto il flusso detritico che alimentava la spiaggia di Ospedaletti (Fierro et al., 2010).

L'area è stata interessata anche da numerosi interventi di stabilizzazione dei versanti in roccia a picco sul mare, con un conseguente annullamento del contributo sedimentario da parte delle falesie (Fierro et al., 2010). Per tutto il '900 si è registrato un incremento delle opere di difesa, quali versamenti di massi a formazione di scogliere aderenti con un successivo spostamento a levante del fenomeno erosivo e realizzazione di pennelli, alternati ad operazioni di ripascimento con scarsi risultati positivi. Agli inizi degli anni '70, nel litorale di Ospedaletti è stata realizzata una discarica di materiale di risulta proveniente dalla realizzazione del raddoppio autostradale con lo scopo di contrastare il fenomeno erosivo. La presenza nel materiale di una notevole quantità di frazione pelitica, ha determinato un inquinamento dell'area (Fierro et al., 2010). Successivamente la discarica è stata stabilizzata e recentemente l'area è stata bonificata anche con la realizzazione di un porticciolo attualmente in via di ultimazione.



Figura 1. Area di studio, Comune di Ospedaletti (IM)

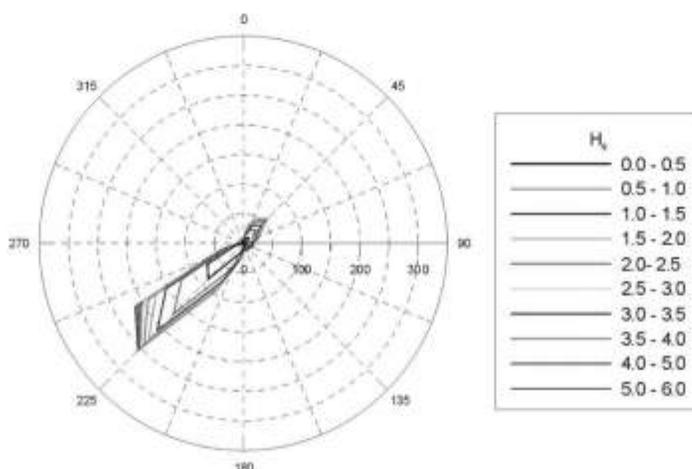


Figura 2. Diagramma polare del moto ondoso con le rispettive altezze d'onda significativa per il settore costiero della provincia di Imperia (Fierro et al., 2010). I dati sono stati desunti da MedAtlas. Dal grafico si evince che le agitazioni di Libeccio sono le più intense, con valori che superano i 5m con un tempo di ritorno 10 anni e valori medi compresi tra 1 e 1,2.

### **Prateria di *P. oceanica***

La prateria dinanzi al comune di Ospedaletti fa parte del SIC denominato "Fondali di Sanremo-Arziglia", il quale presenta un'estensione totale pari a 442,03 ettari circa. La prateria del litorale oggetto di studio è divisa di due aree da un profondo canale di sabbia con direzione perpendicolare alla costa.

Il posidonieto a occidente presenta un'estensione di 52,20 ettari ([www.cartografiarl.regione.liguria.it](http://www.cartografiarl.regione.liguria.it)) ed è insediato su sabbia e su matte. È costituito da una sottile striscia ed è distante dalla costa circa 100 - 150 m, con un limite superiore compreso tra -12/-14 m e un limite inferiore compreso tra -17/-25 m (Montefalcone, 2007). A partire dalla batimetrica dei -6 m fino al limite superiore della prateria sono visibili delle grosse chiazze di *Posidonia oceanica* tra la sabbia. Il posidonieto è interrotto da numerosi canali di sabbia e si presenta frammentato, soprattutto presso il limite inferiore, tuttavia il corpo principale della prateria appare continuo e moderatamente frammentato da aree di fondo nudo (Montefalcone, 2007). La copertura media presenta un valore pari al 70% circa: il posidonieto presenta un discreto stato di salute in quanto le superfici interessate da matte morta coprono solo il 2,6% della superficie totale (Montefalcone, 2007). Inoltre la prateria è intersecata dalla tubatura di scarico a mare, la quale si estende fino alla profondità di -47 m.

Il posidonieto presente nel lato orientale del litorale di Ospedaletti si estende per una superficie totale di circa 389,83 ettari ([www.cartografiarl.regione.liguria.it](http://www.cartografiarl.regione.liguria.it)), una lunghezza di 3 km ed un'ampiezza compresa tra 100 e 400 m (Ferrari et al., 2011). Tra Capo Nero e San Remo la prateria appare poco frammentata e rigogliosa, mentre tra Capo Pino e il porto di San Remo sono presenti significative erosioni della matte, che si fanno sempre più importanti spostandosi verso est, dove la densità e la copertura diminuiscono in modo evidente (Diviacco e Coppo, 2007). Il limite superiore è sfrangiato ed è compreso tra -7/-15 m, mentre quello inferiore tra -25/-30 m (Ferrari et al., 2011). Il posidonieto è impostato su sabbia e su matte, tuttavia in prossimità di Capo Nero si insedia su un substrato roccioso e in tale tratto il limite superiore raggiunge una profondità di -3 m (Diviacco e Coppo, 2007). Per questo studio si è considerato solo la porzione che insiste sulla baia di Ospedaletti, ad ovest di Capo Nero.

### **Parametri idrodinamici**

Per la definizione delle condizioni di riferimento specifiche per il posidonieto oggetto di studio, sono stati utilizzati il modello previsionale proposto da Vacchi et al. (2013) per la determinazione del limite superiore teorico ed il modello proposto da Vacchi et al. (2012) per la definizione del limite inferiore teorico.

In particolare sono stati determinati i parametri  $K_{min}$  e  $K_{max}$  corrispondenti, rispettivamente, alla minima e alla massima distanza teorica lineare prevista tra la profondità di breaking e il limite superiore della prateria.  $K_{min}$  e  $K_{max}$ , essendo equazioni predittive, delineano una regione del fondale che può essere considerata la zona con le condizioni di riferimento per la singola prateria (Vacchi et al., 2013). Tali parametri vengono espressi con le seguenti formule:  $K_{min}=5,94+0,29\epsilon$ ;  $K_{max}=17,83+0,14\epsilon$ ; dove  $\epsilon$  è l'indice di surf scaling.  $K_{min}$  e  $K_{max}$  rappresentano, rispettivamente, il 2,5% e il 97,5% dell'intervallo di confidenza atteso (Vacchi et al., 2013). La distanza del fondo tra  $K_{max}$  e il limite superiore arretrato può essere interpretata come la regressione in metri del limite superiore del posidonieto e determina la perdita lineare della prateria causata dalle attività antropiche. Tali equazioni sono applicabili per le praterie che si sviluppano su fondali sabbiosi e su matte (Vacchi et al., 2013).

Il parametro  $Z_c$  determina il limite inferiore teorico della prateria oggetto di studio e corrisponde a  $Z_c=0,32L_0+5,62$  (Vacchi et al., 2012), dove  $L_0$  è la lunghezza dell'onda annuale al largo (m). Vacchi et al. (2012) hanno infatti dimostrato che il limite inferiore non è mai stato trovato a una profondità maggiore della base delle onde di tempesta annuali, pari a  $L_0/2$ . Ciò viene spiegato in quanto il movimento superficiale dell'acqua produce un campo di velocità che si propaga lungo la colonna d'acqua, pari appunto a  $L_0/2$ , che interagisce con il fondale generando dei cambiamenti fisici.

### **Framework concettuale dell'analisi dei dati**

Il framework concettuale dell'analisi dei dati si basa su tre componenti essenziali (Tab. 1).

I. Definizione della geometria del limite di breaking mediante l'elaborazione dei dati ondametrici e batimetrici dell'area di studio. La profondità di breaking ( $d_b$ ) cioè la profondità alla quale le onde frangono, è stata calcolata utilizzando la formula  $d_b=H_b/\gamma_b$  (Smith, 2003), dove  $H_b$  è l'altezza dell'onda alla frangenza con un tempo di ritorno annuo;  $\gamma_b$  è l'indice di breaking e corrisponde a  $\gamma_b=b-a(H_b/gT^2)$  (Weggel, 1972),

dove  $H_b$  = altezza dell'onda alla frangenza,  $g$  = accelerazione di gravità,  $T$  = periodo dell'onda con tempo di ritorno annuale,  $a$  e  $b$  = parametri empirici determinati in funzione della pendenza della spiaggia. I dati batimetrici utilizzati per tale analisi sono stati ricavati da indagini di campo, effettuate con strumentazione singlebeam durante il progetto Gionha (EU programme Interreg IV Marittimo), e riportate su cartografia in formato digitale con scala 1:5.000 con fondali e isobate ogni metro (Ferrari et al., 2011). Successivamente la geometria del limite di breaking è stata georiferita mediante analisi geostatica.

II. Definizione dei limiti superiore e inferiore della prateria di *P. oceanica* mediante l'utilizzo di cartografie bionomiche di dettaglio (scala 1:10.000) in formato digitale (Diviacco e Coppo, 2006).

III. Definizione dello stato morfodinamico della spiaggia mediante l'applicazione dell'indice di surf scaling ( $\epsilon$ ). È stata applicata la seguente formula:  $\epsilon = aw^2/g \tan^2 \beta$ , dove  $a$ : ampiezza dell'onda, corrisponde a  $H_b/2$ ,  $w$ : energia radiante dell'onda incidente o pulsazione, espressa come  $2\pi/T$ ,  $g$ : accelerazione di gravità,  $\beta$ : pendenza della spiaggia nella surf-zone (Dean e Dalrymple, 2004). Tale indice ha permesso la determinazione dei parametri  $K_{min}$  e  $K_{max}$  (Vacchi et al., 2012). Infine il valore di  $L_0$  utilizzato per la definizione del parametro  $Z_c$  (Vacchi et al., 2010) è stato calcolato con la nota formula  $L_0 = 1.56T^2$ , dove  $L_0$  corrisponde alla lunghezza dell'onda al largo e  $T$  al periodo dell'onda con tempo di ritorno annuale.

Mediante un'analisi geospaziale, le tre componenti sono state organizzate in layer tematici, la cui sovrapposizione ha prodotto una cartografia 2D nella quale sono state riportate le condizioni di riferimento del posidonieto oggetto di studio: il confronto delle condizioni di riferimento della prateria con la sua estensione e geometria attuale ha permesso di quantificare la regressione in metri lineari dei limiti superiore e inferiore.

**Tabella 1. Framework concettuale dell'analisi dei dati**

INPUT	OUTPUT
Dati ondametrici e batimetrici	Geometria del limite di breaking
Cartografia bionomica	Limite superiore e inferiore della prateria di <i>P. oceanica</i>
Parametri idrodinamici	Condizioni di riferimento
	= Cartografia 2D finale

## Risultati

Lo studio ha evidenziato che nel litorale di Ospedaletti il limite di breaking si sviluppa alla profondità di -6m, mentre in prossimità di Capo Nero, in corrispondenza del fondale roccioso, la profondità di breaking è localizzata maggiormente verso la linea di riva in corrispondenza della batimetrica -4m.

Per tale tratto costiero è stato calcolato anche l'indice di surf scaling: esso presenta valori compresi tra 73,3 e 156,8; tuttavia in prossimità di Capo Nero, in corrispondenza del substrato roccioso, esso si riduce notevolmente fino a raggiungere un valore pari a 20,6.

La cartografia finale prodotta è riportata in Figura 3.

Considerando il posidonieto nel tratto occidentale del settore costiero, questo presenta un limite superiore reale compreso tra -12/-14 m. Tuttavia, l'applicazione delle due equazioni predittive, ha evidenziato che il limite teorico si posiziona in un'area compresa tra -9/-11 m. Per tale posidonieto il limite inferiore si trova alla profondità di -17/-25 m, mentre il calcolo di  $Z_c$  ha determinato che il limite teorico si posiziona alla profondità di -33 m. Si evince che sia il limite superiore sia quello inferiore sono regrediti, rispettivamente verso mare e verso terra, rispetto alle condizioni di riferimento.

Analizzando il posidonieto nel tratto orientale dell'area oggetto di studio, questo presenta un limite superiore reale compreso tra -7/-15 m mentre in prossimità del substrato roccioso di Capo Nero il limite superiore avanza verso riva fino a raggiungere la profondità di -3 m. L'applicazione delle equazioni predittive  $K_{min}$  e  $K_{max}$  ha determinato che la posizione del limite superiore teorico si trova alla profondità di -5 m. Per tale posidonieto il limite inferiore si sviluppa alla profondità di -26/-32 m. Il calcolo del parametro idrodinamico  $Z_c$  ha permesso di stabilire che il limite inferiore teorico si posiziona alla profondità di -33 m. Si evince che il posidonieto nel tratto orientale dell'area di studio presenta un limite superiore parzialmente arretrato verso il largo, ad accezione del tratto posizionato in prossimità di Capo Nero il cui limite avanza rispetto ai valori determinati dalle equazioni predittive; e un limite inferiore regredito verso costa, seppur tale arretramento è ridotto.

## Ospedaletti (IM)

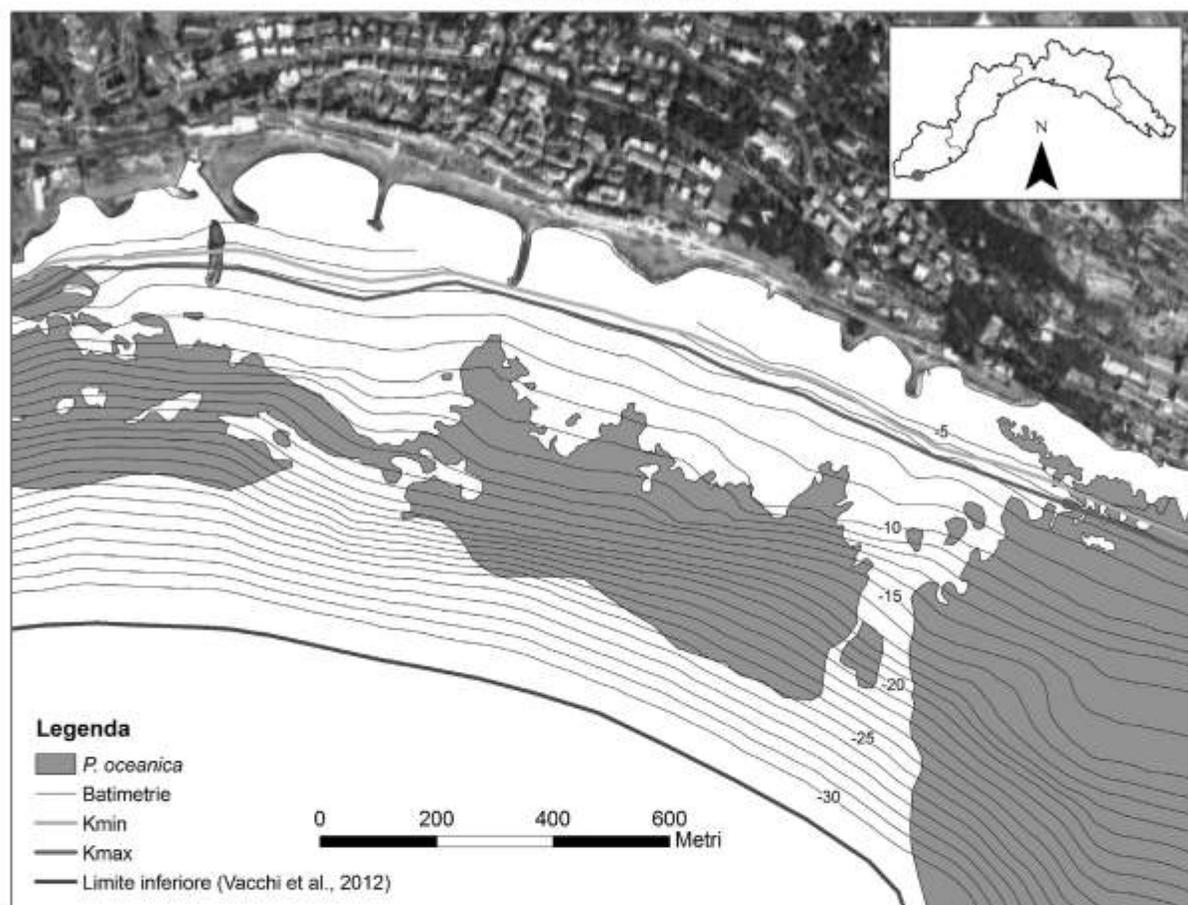


Figura 3. Determinazione teorica del posizionamento del limite superiore, espresso come area compresa tra i parametri Kmin e Kmax, e del limite inferiore della prateria di *P. oceanica* dinanzi al comune di Ospedaletti (IM).

### Discussioni e conclusioni

La valutazione dello stato delle praterie di *Posidonia oceanica* è parte dei programmi di monitoraggio richiesti dalla direttiva 2008/56/CE nota come Marine Strategy Framework Directive, la quale obbliga gli Stati Membri al raggiungimento o al mantenimento del "Buono Stato Ambientale" per ogni regione o sottoregione del corpo idrico analizzato entro il 2020.

Il modello predittivo applicato permette di individuare la regione del fondo marino dove i limiti superiore e inferiore della prateria dovrebbero trovarsi in condizioni naturali (o condizioni di riferimento), cioè quelle determinate dai diversi fattori idrodinamici in assenza di significativi impatti antropici.

Dallo studio si evince che il posidonieto nel tratto occidentale è in netta regressione e presenta un limite superiore regredito di circa 90-140 m lineari verso il largo rispetto a quanto determinato dalle condizioni di riferimento. Tale regressione è imputata presumibilmente all'inquinamento generato dall'ex discarica. La presenza di notevoli quantità di sedimento pelitico hanno causato sia danni diretti, ovvero il seppellimento dei rizomi della fanerogama, sia danni indiretti: il materiale fine versato per lungo tempo lungo costa, ha ridotto la penetrazione della luce lungo la colonna d'acqua, alterando in modo significativo la capacità di fotosintesi di *P. oceanica* (Boudouresque et al., 2012). Inoltre, l'analisi ha evidenziato che il limite inferiore del posidonieto presente sulla costa occidentale è traslato di circa 150-200 m lineari verso riva. Tale regressione è confermata anche dalla morfologia sfrangiata del limite inferiore.

Lo studio ha rilevato che il limite superiore della prateria nel tratto di costa orientale ricade parzialmente

all'interno dell'area buffer determinata dalle due equazioni predittive  $K_{min}$  e  $K_{max}$ . Tuttavia è presente un notevole arretramento, pari a circa 200-230 m, in prossimità del canale sabbioso che divide le due praterie. Nei pressi di Capo Nero, il limite superiore avanza rispetto alle condizioni di riferimento. Montefalcone et al. (2014) hanno dimostrato che, in presenza di un forte idrodinamismo (tipico in prossimità di fondali rocciosi), *P. oceanica* colonizza solamente litotipi rocciosi con una bassa porosità e con alti valori di resistenza e durezza, i quali sono meno erodibili dall'azione del moto ondoso. Tale tipologia di substrato permette l'attecchimento dei rizomi, in quanto fornisce delle nicchie di ancoraggio. In tali situazioni la fanerogama risente solo parzialmente dell'influenza dell'idrodinamismo ed è in grado di avanzare verso costa oltre il limite di breaking. Il calcolo del parametro idrodinamico  $Z_c$  ha determinato che il limite inferiore si presenta in alcuni tratti avanzato verso riva, di circa 30-50 m lineari rispetto al valore teorico.

L'analisi eseguita in questo studio ha evidenziato che la prateria di *P. oceanica* presente nel tratto occidentale è stata maggiormente influenzata dalle alterazioni antropiche, in particolare dai sedimenti prevalentemente di natura pelitica provenienti dalla ex discarica, i quali hanno causato sia danni diretti sia danni indiretti alla fanerogama. Considerando l'estensione attuale delle praterie e relazionandola con i metri lineari di posidonieto perso, è possibile stimare che la prateria presente nel lato occidentale dell'area studio ha subito una perdita di circa 50,6 ettari rispetto a quanto determinato dalle condizioni di riferimento, mentre il posidonieto presente a oriente ha subito una riduzione di 11,5 ettari. L'applicazione delle equazioni predittive ha permesso di stimare quanta superficie di prateria è andata persa. Tale aspetto risulta fondamentale per un miglioramento dell'analisi gestionale in quanto, dalla stima degli ettari perduti in un posidonieto, come conseguenza dell'arretramento dei suoi limiti superiori e inferiori, è possibile intervenire puntualmente in tali aree al fine di limitare ulteriori impatti antropici e favorire così la ricolonizzazione di *P. oceanica*.

Vista la notevole importanza di tale applicazione, al fine di rendere la determinazione delle condizioni di riferimento maggiormente fruibile per diversi enti operanti sul territorio, è necessario continuare la ricerca in tale ambito, applicando tale modello in altre aree studio non solo a scala regionale ma anche a scala mediterranea.

## Bibliografia

- Boudouresque C.F., Bernard G., Bonhomme P., Charbonnel E., Diviacco G., Meinesz A., Pergent G., Pergent-Martini C., Ruittons S., Tunesi L. (2012) - *Protection and conservation of Posidonia oceanica meadows*. RAC/SPA & RAMOGE pub., 202 pp.
- Boudouresque C.F., Bernard G., Pergent G., Shili A., Verlaque M. (2009) - Regression of Mediterranean seagrasses caused by natural processes and anthropogenic disturbances and stress: a critical review. *Bot. Mar.*, 52, 395-418.
- Dean R.G., Dalrymple R.A. (2004) - *Coastal processes with Engineering Applications*. Cambridge University Press.
- Diviacco G., Coppo S. (2007) - *Atlante degli habitat marini della Liguria: descrizione e cartografia delle praterie di Posidonia oceanica e dei principali popolamenti marini costieri*. Genova: Regione Liguria, 205 pp.
- EC (2008) - Council Directive 08/56/EC on establishing a framework for community action in the field of marine environmental policy (Marine Strategy Framework Directive). *Official Journal of the European Communities*, No L 164/19 on 17 June 2008.
- EEC (1992) - Council Directive 92/43/EEC on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora. *Official Journal of the European Communities*, No L 206 del 22 luglio 1992.
- Fierro G., Berriolo G., Ferrari M. (2010) - *Le spiagge della Liguria occidentale: analisi evolutiva*. Genova: Regione Liguria - Dipartimento Pianificazione Territoriale, Università degli Studi di Genova - Dip. Te. Ris., 174 pp.
- Ferrari M., Montefalcone M., Schiaffino C. F., Vacchi M., Demergasso A., Albertelli G. (2011) - Progetto Giohna: modello previsionale sulla variazione del limite superiore della prateria di *Posidonia oceanica* in funzione dell'idrodinamismo costiero. *Relazione di sintesi del progetto*. Dipartimento per lo Studio del Territorio e delle sue Risorse, Università degli studi di Genova, 231 pp.
- Giovannetti E., Lasagna R., Montefalcone M., Bianchi C.N., Albertelli G., Morri C. (2008) - Inconsistent responses to substratum nature in *Posidonia oceanica* meadows: an integration through complexity levels? *Chem. Ecol.*, 24(1), 145-153.

- Guza R.T., Inman D.L. (1975) - Edge waves and beach cusps. *J. Geophys. Res.*, 80, 2997-3012.
- La Loggia G., Calvo S., Circolo G., Mazzola A., Pirrotta M., Sara G., Tomasello A., Virzini S. (2004) - Influence of hydrodynamic conditions on the production and fate of *Posidonia oceanica* in a semi-enclosed shallow basin (Stagnone di Marsala, Western Sicily). *Chem. Ecol.*, 20, 183-201.
- Montefalcone M. (2007) - Relazione finale per l'anno zero del piano di monitoraggio della prateria di *P. oceanica* presente sui fondali dell'area di progettazione del Parco e Marina di Baiaverde, Ospedaletti (IM). Monitoraggio di 6 anni della prateria di *Posidonia oceanica* (SIC IT 1316274) presente sui fondali di Sanremo-Arziglia, in relazione alla realizzazione del progetto Parco e Marina di Baia Verde ad Ospedaletti (Imperia). Relazione depositata nel Comune di Ospedaletti, 98 pp.
- Montefalcone M., Parravicini V., Vacchi M., Albertelli G., Ferrari M., Morri C., Bianchi C.N. (2010) - Human influence on seagrass habitat fragmentation in NW Mediterranean Sea. *Est. Coast. Shelf Sci.*, 86, 292-298.
- Montefalcone M., Vacchi M., Schiaffino C. F., Morri C., Carbone C., Cabella R., Elter F. M., Bianchi C.N., Ferrari M. (2014) - Meadow development of the seagrass *Posidonia oceanica* on the rocky seabed: a preliminary study in the Ligurian Sea. EGU General Assembly 2014, 27 April - 2 May 2014, Vienna, Austria.
- Occhipinti-Ambrogi A. (2007) - Global change and marine communities: alien species and climate change. *Mar. Poll. Bull.*, 55, 342-352.
- Relini G. (2000) - Nuovi contributi per la conservazione della biodiversità marina in Mediterraneo. *Biol. Mar. Medit.*, 7(3), 173-211.
- Smith M.J. (2003) - Surf zone hydrodynamics. In: Demirbilek Z. (Ed.), *Coastal Engineering Manual, part II, Coastal hydrodynamics chapter II-4, Engineer manual 1110-2-1100*, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC.
- Vacchi M., Montefalcone M., Bianchi C. N., Morri C., Ferrari M. (2010) - The influence of coastal dynamics on the upper limit of the *Posidonia oceanica* meadow. *Mar. Ecol.*, 31, 546-554.
- Vacchi M., Montefalcone M., Bianchi C. N., Morri C., Ferrari M. (2012) - Hydrodynamic constraints to the seaward development of *Posidonia oceanica* meadows. *Est. Coast. Shelf Sci.*, 97, 58-65.
- Vacchi M., Montefalcone M., Schiaffino C., Parravicini V., Bianchi C.N., Morri C., Ferrari M. (2013) - Towards a predictive model to assess the natural position of the *Posidonia oceanica* seagrass meadow upper limit. *Mar. Poll. Bull.*, 83(2), 458-466.
- Weggel J.R. (1972) - Maximum breaker height. Journal of waterways, harbors, coastal engineering division. *ASCE*, 98 pp.
- [www.cartografiarl.regione.liguria.it](http://www.cartografiarl.regione.liguria.it)

## Modellazione Fisica e Numerica di un Canale di Rip

Alessandro Capobianco

Dipartimento di Ingegneria Civile Edile ed Ambientale. Università degli Studi di Napoli "Federico II",  
Via Claudio 21 – 80125 Napoli  
alecapob@gmail.com

Le *rip currents* sono intense correnti litoranee dirette verso largo, pressoché normali alla linea di riva, responsabili di intense erosioni localizzate e molto pericolose per la vita dei bagnanti (MacMahan et al., 2006). Tali correnti, interne alla zona dei frangenti, sono spesso dovute a discontinuità topobatimetriche ed a differenziali di altezze d'onda nella direzione parallela alla costa (Haller et al., 1997). Con il frangimento, infatti, la riduzione dell'altezza d'onda provoca una diminuzione di *radiation stress* (Longuet-Higgins e Stewart, 1965), ovvero del flusso di quantità di moto totale associato al moto ondoso, determinando dei gradienti compensati da variazioni del livello medio mare (*set-up/down*) o da sistemi di correnti (Bowen, 1969). Al fine di ottenere una stima sull'intensità di tali correnti di ritorno, è stata condotta una campagna sperimentale presso il bacino ad onde del dipartimento di Ingegneria Civile Edile ed Ambientale dell'Università di Napoli "Federico II". A tal fine è stata riprodotta, in scala 1:40 in similitudine di Froude (Hughes, 1993), la topografia della spiaggia dell'Aspra, in provincia di Palermo, la quale presenta un canale centrale con profondità maggiori rispetto alle zone latitanti. La spiaggia è stata sollecitata con treni d'onda regolari della durata di 120 secondi. Le caratteristiche idrodinamiche sono state acquisite mediante misure di altezze d'onda e di livello in 80 posizioni, con misure di velocità mediante *acoustic doppler velocimeter* in 34 posizioni (Fig. 1).

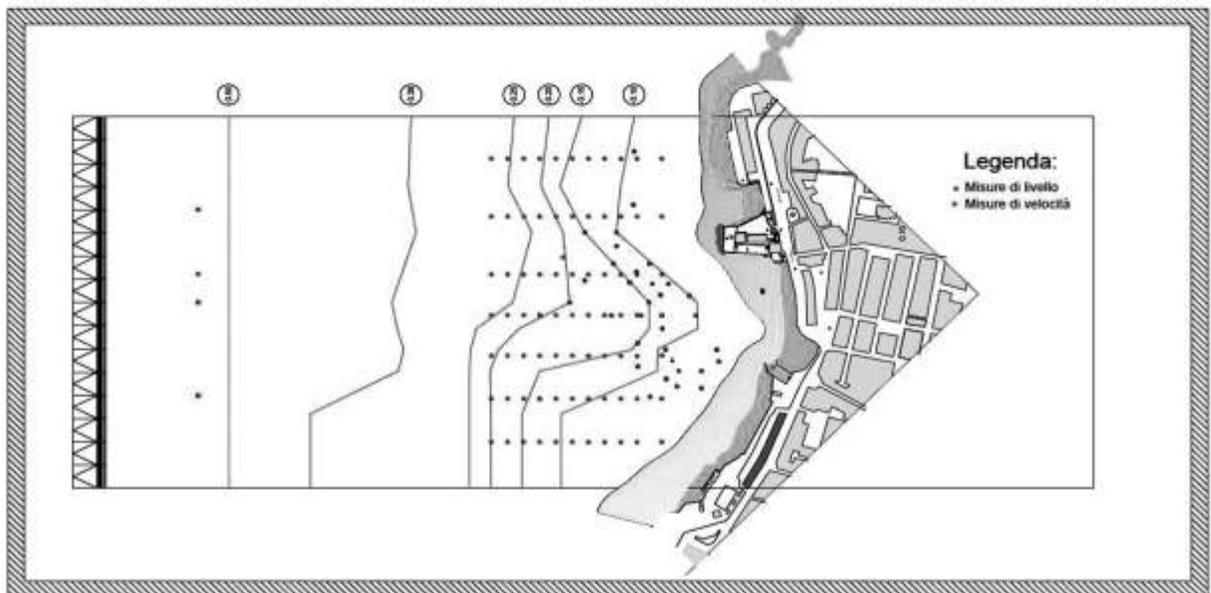


Figura 1. Riproduzione della batimetria con punti di misura di altezze d'onda e velocità.

E' stata inoltre condotta un'analisi visuale del campo di moto filmando la *nearshore zone* inseminata con dischi di plastica del diametro di circa 3 cm ed estraendo le linee di flusso medie nel periodo. Tali linee di flusso, che riproducono l'andamento delle correnti generate, sono state confrontate con i vettori sperimentali ricavati dalle misurazioni mediante *acoustic doppler velocimeter* (Fig. 2).

I risultati ottenuti a seguito dell'indagine sperimentale sono stati confrontati con quelli derivanti dalla modellazione numerica svolta attraverso l'impiego del software commerciale MIKE 21, sviluppato dal Danish Hydraulic Institute. In particolare è stato utilizzato il modello lineare di rifrazione-diffrazione basato su un'approssimazione parabolica della *mild slope equation* (Kirby, 1986) e il modulo idrodinamico che risolve l'equazione della conservazione e della continuità della quantità di moto integrata lungo la verticale e mediata nel periodo. Nella risoluzione del primo sistema di equazioni, al fine di ottimizzare le altezze d'onda e di conseguenza ottenere una congrua distribuzione dei *radiation stress* (che rappresentano le forzanti del sistema di circolazione), è stato fatto variare l'indice di frangimento che regola il rapporto tra altezza d'onda e fondale in situazione di acque basse. Tale indice è stato modificato punto per punto nel dominio di calcolo in maniera tale da ottenere il minor errore quadratico medio tra risultati sperimentali e simulazioni numeriche.

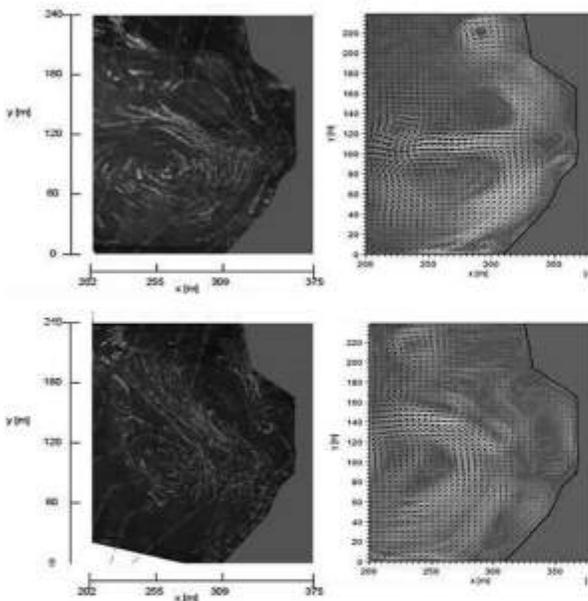


Figura 2. Confronto tra campo di moto sperimentale con linee di flusso medie nel periodo e vettori sperimentali ricavati dalle misurazioni mediante *acoustic doppler velocimeter* (sx) e MIKE 21 (dx).

Sebbene la modellazione numerica abbia mostrato una non perfetta corrispondenza della morfologia generale del campo di moto (Fig. 2), essa si è rivelata sostanzialmente efficace nello stimare l'ordine di grandezza di alcune variabili quantitative di carattere ingegneristico: massimo valore della *longshore current* (corrente parallela alla riva) che alimenta la rip, massimo valore della rip stessa e valore quadratico medio della velocità.

### Bibliografia

- Battjes J.A. (1974) - *Surf similarity*. Proceeding of the 14th Coastal Engineering Conference, ASCE: 466-479.
- Bowen A.J., Inman D.L. (1969) - *Rip current: 2. Laboratory and field observations*. Journal of Geophysical Research, 74: 5479-5490.
- Haller M.C., Dalrymple R.A., Svendsen I.A. (1997) - *Rip Channels and Nearshore Circulation*. Proceeding of Coastal Dynamics, Plymouth UK: 594-603.
- Hughes S. A. (1993) - *Physical Models and Laboratory Techniques in Coastal Engineering*. World scientific Publishing Co. Pte. Ltd, Singapore: 51-80.
- Kirby J. T. (1986) - *Rational approximations in the parabolic equation method for waves*. Coastal Engineering, 10: 355-378.
- Longuet-Higgins M. S., Stewart R. W. (1965) - *Radiation stresses in water waves; a physical discussion with applications*. Deep-Sea Research, 11: 529-562.
- MacMahan, J.H., Thornton, E.B., Reniers, A.J.H.M. 2006. - *Rip current review*. Coastal Engineering, 53: 191-208.

## Monitoraggio degli arenili: breve speculazione sulla qualità dei dati

Fanny Kihlgren

fanny.kihlgren@gmail.com

Il monitoraggio della dinamica del litorale è il punto di partenza per la gestione della fascia costiera. Ed anche una delle operazioni più complesse. L'evoluzione della linea di riva determina forma ed estensione della spiaggia emersa – la parte della fascia costiera con il più alto valore economico – e quindi deve essere studiata in dettaglio da coloro che pianificano e gestiscono i diversi usi del territorio (Pranzini e Wetzel, 2008). Gli istituti usano tecniche diverse per collezionare innumerevoli dati; questi, divisi in cartelle e sottocartelle, si accumulano e giacciono nei server e può accadere che, dopo anni, non sia più possibile recuperare informazioni sulle condizioni nelle quali sono stati collezionati. Si possono allora perdere elementi fondamentali per una corretta interpretazione: i dati furono rilevati dopo un periodo prolungato di tempeste? Si era appena completato un ripascimento? La sabbia era stata spostata dagli operatori turistici? Simili quesiti ci fanno riflettere su come sia difficile programmare un campionamento su un terreno dinamico e mutevole come un arenile, zona tampone tra terra e mare spesso molto sfruttata e modificata. La scelta del tipo di campionamento (con la valutazione del rapporto costi/benefici) e, ancor di più, la decisione di campionare un giorno piuttosto che un altro può avere forti ripercussioni sui dati, con differenze di metri rendendo un po' ridicolo il lavorare sugli elaboratori con tolleranze di mezzo millimetro.

Diviene sempre più difficile classificare l'aspetto della spiagge. Se un tempo si ragionava di profilo invernale ed estivo oggi si guarda al profilo di tempesta o di calma, a cui andrebbero aggiunte le informazioni puntuali del luogo: la registrazione dell'intensificarsi di eventi estremi, la costruzione o le modifiche delle circostanti opere di difesa costiera, i ricollocamenti di sedimento, ecc.; tante variabili che rendono difficile comparare due serie di dati. Il confronto delle linee di riva rimane in parte irrisolto, in quanto la componente a breve termine e quella a lungo termine si mascherano a vicenda. L'andamento e la posizione della linea di costa dipendono, nel breve periodo, giornalmente e stagionalmente, dall'azione del mare e del vento; l'evoluzione nel lungo periodo, invece, è per lo più da associare a quattro processi geologici fondamentali: l'erosione, la sedimentazione, la tettonica e l'eustatismo (Milli e Surace, 2011). Il ricercatore spesso insegue senza successo la componente a lungo termine. Le porzioni di spiaggia più condizionate dalle foci dei fiumi o dai progetti di ingegneria costiera potrebbero essere escluse dall'analisi di lungo termine perché mostrano un trend non lineare che complica le previsioni a lungo termine: un problema diffuso visto che le strutture di difesa costiera vanno diffondendosi (Bowman e Pranzini, 2008). E' allora lecito chiedersi se in un sistema costiero dinamico soggetto a rapidi cambiamenti, come è il caso della costa italiana, sia ancora sensato il grande lavoro di ricerca degli andamenti storico-geologici, oppure non sia più pratico concentrarsi solo sul breve periodo. A mio parere la ricerca della tendenza di lungo periodo è fondamentale, complicata ma utile, soprattutto nel nostro paese che gode di una documentazione storica eccezionale con cui possiamo studiare delle sequenze temporali che possono essere di estremo interesse. I cambiamenti a breve termine della linea di riva sono comparabili con la sua evoluzione di lungo termine. Le tempeste sono l'agente principale dello spostamento della linea di riva a breve termine, e possono causare negli anni cambiamenti di decine di metri: il mancato riconoscimento del processo di ricovero dopo tempesta di una spiaggia (processo a volte lungo) può portare a stime sbagliate dei movimenti a lungo termine della linea di riva, errore che può avere conseguenze serie nella pianificazione e gestione del territorio (Bowman e Pranzini, 2008). La sequenza storico-geologica va

dunque studiata, ma non si può trattare alla pari una linea di riva disegnata in una carta del XVII secolo e una misurazione odierna con l'altitudine 0.0 metri calcolata col DGPS di ultima generazione. Sarebbe auspicabile riuscire a collezionare tutti i dati sulla dinamica del litorale di tutte le coste italiane, per formare un database nazionale completo, ordinato e fruibile da tutti. Per questo è necessario che ogni serie di dati soddisfi dei requisiti minimi di qualità che dovrebbero essere fissati da un simposio di esperti di geomorfologia costiera e di monitoraggio: rilevanza (tipo di dato), accuratezza (del campionamento), precisione (metri), completezza (delle informazioni), confrontabilità. La confrontabilità è fondamentale e deve tenere conto dei cambiamenti intervenuti nelle definizioni di linea di costa e nelle caratteristiche tecnico-operative del processo di campionamento e produzione dell'informazione. Per essere più chiari, l'incertezza nel disegno della linea di riva non dovrebbe essere maggiore della tendenza all'erosione o all'accumulo nel tratto in esame. L'apparente semplicità nella compilazione della scheda è contraddetta dalla necessità di considerare i dati primitivi (o atomici) e i dati derivati: è l'elaborazione dei dati che porta alla conoscenza di un'informazione. I dati primitivi sono relativamente semplici da gestire, mentre i dati derivati necessitano dell'intervento di un operatore che, inevitabilmente, corre il rischio della soggettività. Una delle difficoltà nel posizionare il margine della massa d'acqua deriva dalla geometria del litorale che, quando è frastagliato o disseminato di scogli, si presta a differenti interpretazioni del concetto di "linea di costa", a seconda degli ambiti in cui lo si consideri (scientifico, applicativo, politico) e della scala di rappresentazione utilizzata (Milli e Surace, 2011). Mettere in ordine i dati derivati elaborati da persone diverse rischia di essere un lavoro immane, poiché bisogna andare a ritroso e capire che cosa ha pensato ogni singolo operatore nel momento in cui ha registrato il lavoro, e quindi viene la tentazione di eliminare tutti i dati derivati e ricominciare da capo partendo dai dati primitivi. Bisognerebbe capire quale sia la scelta più conveniente: se riordinare o se ricominciare da capo, consci che la quantità di dati prodotta dagli istituti di ricerca è grandissima, e altrettanto grande è il valore aggiunto che si avrebbe potendo confrontare questi dati sul database nazionale che auspico, anziché lasciarli separati a giacere nei server. L'ordine così formato andrebbe mantenuto anche nel futuro: il simposio di esperti di geomorfologia costiera e di monitoraggio dovrebbe compilare anche un'altra scheda, questa volta di lavoro, scheda a cui gli operatori dovrebbero attenersi. La scheda di lavoro dovrebbe dare le linee guida di raccolta, revisione, codifica, registrazione, analisi e catalogazione dei dati. Il punto principale è che tutti i dati futuri siano confrontabili tra loro, e che quindi abbiano la stessa qualità minima. Questo renderebbe omogenei i dati, e il lavoro di ogni operatore verrebbe valorizzato poiché la conoscenza creata in un laboratorio potrebbe essere utilizzata da altri e contribuire a un grande progetto. Oggi il confronto tra le statistiche già prodotte sui processi dell'evoluzione costiera realizzati su scala nazionale (es. per l'Italia – GNRAC, 2006), continentale (es. per l'Europa – EUROSION, 2004) o globale (es. per le coste mondiali – Bird, 1996), non può che essere molto difficile. Questi studi forniscono dati ottenuti utilizzando criteri e metodologie molto diverse, non normalizzati e spesso prodotti con scopi diversi (Pranzini e Wetzel, 2008). La conoscenza è per sua indole universale, e noi viviamo in un'epoca nella quale la tecnologia ci aiuta moltissimo a condividere le informazioni (basti pensare al progetto Wikipedia): a me sembra inevitabile e bello valorizzare il lavoro dei ricercatori con la creazione di un database di qualità, normalizzato e fruibile su scala nazionale e, magari, internazionale.

## Bibliografia

- Bird E.C.F. (1996) - *Beach management*. Wiley and Sons, Chichester, pp. 292
- Bowman D., Pranzini E. (2008) - *Shoreline monitoring: review and recommendations*. In E. Pranzini e L. Wetzel, Beach erosion monitoring: results from BEACHMED-e/OpTIMAL Project, Nuova Grafica Fiorentina, Firenze, pp. 232
- EUROVISION (2004) - *Living with coastal erosion in Europe: Sediment and Space for Sustainability*. European Commission, pp. 38.
- GNRAC (2006) - *Lo stato dei litorali italiani*. Studi costieri, 10: 1-174.
- Milli M., Surace L. (2011) - *Le linee della costa: definizioni, riferimenti altimetrici e modalità di acquisizione dei dati*. Alinea editrice s.r.l, Firenze, pp. 79
- Pranzini E., Wetzel L. (2008) - *Managing Mediterranean beaches: The need for quality and standardised data in beach monitoring at different scales*. In E. Pranzini e L. Wetzel, Beach erosion monitoring: results from BEACHMED-e/OpTIMAL Project, Nuova Grafica Fiorentina, Firenze, pp. 232.

## Marina di Pisa: ripristino della funzionalità difensiva delle barriere emerse

Ilaria Nieri

Provincia di Pisa  
 ilaria.nieri@tiscali.it

### Premessa

Il litorale pisano si estende dalla foce del canale Scolmatore d'Arno a Sud al fosso della Bufalina a Nord costituendo la parte meridionale di una unità fisiografica, lunga 65 km, delimitata a Nord da Punta bianca (ultima propaggine di Monte Marcello) e a Sud dal Porto di Livorno.

Dal 1878 al 1983 la parte più protesa del lobo destro dell'Arno ha subito un arretramento di 1200 m, mentre per il lobo sinistro tale fenomeno è risultato contenuto in circa 300 m, visto che già dal 1898 furono realizzate le prime scogliere per la difesa del litorale di Marina di Pisa.

Oggi il litorale di sinistra del fiume è più aggettante in mare di 700 m circa rispetto a quello di destra. La conclusione generale a cui portano le analisi condotte è che i fenomeni erosivi a sud dell'Arno sono dovuti a un deficit di sedimenti, essendo l'apporto solido del corso d'acqua notevolmente diminuito nel tempo, fino a risultare insufficiente a compensare il trasporto solido longitudinale e le perdite di materiale dovute all'asportazione verso il largo da parte del moto ondoso. Sino a oggi i processi erosivi in atto sul litorale di Marina di Pisa sono stati contenuti mediante la costruzione di scogliere radenti alla strada litoranea e, successivamente, di scogliere parallele alla riva nel tratto di mare antistante l'abitato, completate negli anni '60. I rilievi topografici di dettaglio, nel corso degli anni, hanno evidenziato che i fondali antistanti le scogliere parallele risultano essersi significativamente approfonditi per la notevole riflessione del moto ondoso sulle opere di difesa causando l'instabilità delle scogliere a protezione del centro abitato in caso di mareggiate di una certa importanza. Per far fronte a tale situazione sono stati recentemente attuati alcuni interventi di "protezione del centro abitato" localizzati a sud dell'abitato di Marina di Pisa e tra Piazza Gorgona e Piazza Sardegna. Nella sostanza si è proceduto a trasformare le esistenti scogliere foranee emerse in difese soffolte, prevedendo contestualmente di assorbire l'energia trasmessa a costa attraverso delle "spiagge di ghiaia". Nell'ambito dello stesso programma si prevedeva l'attuazione di un secondo lotto d'interventi finalizzato alla risoluzione delle analoghe problematiche di difesa interessanti il tratto litoraneo tra Piazza delle Baleari e Piazza Gorgona (celle 4 e 5). La sperimentazione e progettazione già condotta ha dovuto però subire un momento di arresto a seguito del verificarsi di un evento meteo marino estremo nel dicembre 2011 che ha fortemente danneggiato le scogliere emerse a protezione dell'abitato limitrofo alla foce del Fiume Arno (scogliere 1 e 2), per le quali è risultato necessario progettare e attuare d'urgenza un intervento di ripristino strutturale che ne ha sostanzialmente variato la geometria e la funzionalità. Le azioni di protezione dell'abitato (celle 4 e 5) hanno quindi trovato successiva definizione, riproponendo la scelta di difesa mediante scogliere soffolte e "spiagge di ghiaia", e attuazione a partire dal maggio 2014.

### L'intervento a difesa del centro abitato

Tale intervento ha interessato il tratto di litorale compreso fra piazza Gorgona e piazza Sardegna, protetto dalle scogliere foranee n. 6 e 7. Dalle prove sperimentali condotte su modello fisico è stato possibile calcolare il volume di ghiaia necessario al corretto dimensionamento della spiaggia. Dalle verifiche a suo tempo eseguite è stato ricostruito che il volume di ghiaia residuale era pari a circa 45 m<sup>3</sup>/m pertanto si è proceduto

alla stesa di ulteriori  $135 \text{ m}^3/\text{m}$  di riva. Per limitare gli spostamenti del materiale di ripascimento, sono stati adeguati i tre pennelli di contenimento disposti perpendicolarmente alla linea di riva. La parte emergente di tali strutture è stata prolungata in mare fino a raggiungere le barriere frangiflutti esistenti. Le scogliere antistanti la spiaggia di ghiaia sono state trasformate in scogliere sommerse portandone la sommità a una quota di circa  $-1 \text{ m s.l.m.}$ ; oltre a ciò, la sommità è stata allargata fino a  $20 \text{ m}$  e il lato inclinato verso il largo riprofilato con pendenza notevolmente più dolce. La modifica della pendenza del paramento delle scogliere ha ridotto i fenomeni di erosione causati dalla concentrazione di energia che si verifica al piede delle scogliere stesse, mentre il salpamento delle scogliere ha migliorato lo scambio di acqua fra il mare aperto e lo specchio idrico retrostante le scogliere, pur rappresentando ancora una superficie resistente sulla quale le onde possono frangersi dissipando la loro energia; si è però ridotta la differenza di livello idrico che si crea durante le mareggiate fra i due anzidetti specchi idrici condizione che ha portato comunque a una minor sollecitazione del litorale.

### Intervento a protezione del litorale a sud

Tale intervento ha interessato il tratto di litorale antistante la periferia Sud di Marina di Pisa e consiste essenzialmente nel completamento della spiaggia di ghiaia tra lo stabilimento balneare "Foresta" e "Barbarossa". La spiaggia realizzata in questa zona ha le stesse caratteristiche di quella realizzata a protezione del centro abitato.

### Ripristino della funzionalità difensiva delle barriere emerse 1 e 2

La barriera 1 e 2 ha subito modifiche nel corso degli ultimi 50 anni, in parte per opere di manutenzione e per opere di modifica della geometria della difesa. L'opera di ripristino della funzionalità difensive delle barriere si inserisce in un contesto morfologico di fondali marini molto compromesso che tende a facilitare lo scalzamento al piede delle barriere e che in virtù dell'elevata profondità dei fondali nel paramento di mare della barriera 1 e 2 ( $7 \text{ m}$ ) genera impatti ondosi con un'altezza d'onda molto elevata. Il calcolo volumetrico evidenzia una perdita approssimativa di materiale sabbioso nell'area di studio di circa  $13000 \text{ m}^3$  nell'intervallo temporale considerato. Tali processi che hanno interessato i fondali trovano analogo riscontro evolutivo sulle opere di difesa che hanno mostrato una accelerazione dei fenomeni di assestamento e conseguente cedimento in cresta delle scogliere. Lo stato di conservazione delle scogliere di difesa più vicine alla foce del fiume Arno, per questo anche più sollecitate, si è aggravata a fronte di alcuni intensi eventi meteo marini verificatisi nell'inverno 2011 - 2012. La vicinanza della foce del fiume Arno e la presenza della bocca di porto, oltre che le attività turistico - ricettive presenti all'interno della celle di difesa, non hanno consentito di ipotizzare una modificazione del sistema di difesa così come già condotto per altri tratti di litorale, ossia la trasformazione delle scogliere da emerse in sofolte con conseguente riduzione degli effetti di riflessione, delle correnti prossimali e ai varchi, che consentirebbero di creare il presupposto per un progressivo recupero naturale (innalzamento) del fondale. Le opere di ripristino sono consistite nella ringrosso e sovrizzo delle scogliere per uno sviluppo complessivo di circa  $400 \text{ m}$ , così da



Figura 1. Marina di Pisa: opere di difesa e "spiaggia di ghiaia".

riportare il profilo della sommità a quota  $+3 \text{ m s.l.m.}$  pari a quella realizzata all'atto della loro costruzione. Trasversalmente è stato invece adottato un profilo con larghezza in testa pari a  $4 \text{ m}$ , pendenza del paramento lato mare  $1:3$  e di quello lato terra  $2:3$ . Questo intervento, configurato come una manutenzione straordinaria delle opere, si inserisce nella programmazione regionale strategica di difesa del litorale, con i cui fondi è finanziato. Infatti il sistema di difesa di questo tratto di costa, per la presenza della nuova bocca di porto e dello stabilimento balneare "Gorgona", non potrà subire variazioni rispetto alle scelte condotte sino a oggi.

## Assessment and prediction of coastline erosion using airborne Lidar: an example from the East Sussex, UK

Luigi Parente

Università del Sannio, Dipartimento di Scienze e Tecnologie, Via Port'Arso 11, 82100 Benevento  
luigiparente88@gmail.com

Approximately 53% of the 6250 km length of coastline in England and Wales is characterized by cliffs. Much of the chalk cliff coast line of southeast England suffers from erosion processes, often manifested in the form of episodic slope failure, threatens public safety as well as public and private property.

The study area (about 11 km length) extends between Brighton Marina (Black Rock) and Newhaven (West side) in East Sussex (UK). It is representative of a protected and unprotected large sections of Cretaceous chalk cliff, where rock failures have occurred in the past. The main impact of coastal changes on which this paper focuses, is the recession process, which, in the study area, could influence resident's safety and critical infrastructures. The need to have reliable information about the cliff spatial variation retreat is vital to accurately evaluate and manage future risk, therefore, the objective of this study is to quantify cliff retreat and to predict coastline position scenarios in 2-5-10 and 20 years.

For the study area, the most of the available erosion rates were derived from historic mapping approaches (Cleeve and Williams, 1987; May, 1971; May and Heeps, 1985; Thorburn, 1977; Dornbusch et al., 2008a). The technique of manually tracing and overlaying cliff lines introduces errors associated with the accuracy of tracing the line, the pencil width and expansion or contraction of the paper. These errors are further aggravated by the necessity of enlarging or reducing maps to facilitate the comparison of maps of different scale (Dornbusch et al., 2006). The use of Light Detection and Ranging (LiDAR) for airborne topographic mapping began in the 1970's (Ackermann, 1999), but its accuracy was limited by poor determination of aircraft position and orientation. Over the last decades, the application of airborne LiDAR in the coastal zone for quantifying cliff erosion greatly increased. Many reasons led researchers to LiDAR use: sufficient accuracy for monitoring and planning, dense coverage, rapid survey, cost-effective, comparable to traditional survey and to future LiDAR, etc. In order to evaluate the topographic change of the cliffed coast, two airborne LiDAR data sets flown in November 2007 and November 2009 were used. For each site, the tiles were compared with corresponding aerial photographs using Global Mapper 15. The purpose of this was to be able to 'mask' the cliff data, at the cliff toe and the cliff top, so differences unrelated to cliff processes (e.g. due to beach change) could be excluded, and only changes to the cliff toe, face and top were considered. Also, during the mask step, the cliff was divided in sections according to the geological and morphological characteristics, and to the mitigation work realized on the cliff face (nails and steel mesh) and at the cliff toe (seawall). In this way, the study area was divided in 16 sections that were grouped in three main areas considering the sea influence: 1) AREA 1 (about 960.5m length), corresponding to the cliff protected by the Brighton Marina harbour and the seawall; 2) AREA 2 (about 6407.8m length), is the cliff protected by the seawall, and 3) AREA 3 (about 3543.2m length), which corresponds to the unprotected cliff.

The masked sections were converted into ASCII format to be exported for analysis. For each section, the changes in elevation (Zchange) were evaluated by subtracting the 2009 grid from the 2007 grid. Negative cells indicate erosion and positive cells indicate accretion. In the next step, the accretion cells are deleted and some statistical analysis are conducted on the erosion values. Also, the slope values, extrapolated for each

section from the most recent LiDAR (2009), were subject to statistical analysis.

Young and Ashford 2006, calculated the rates of retreat using the following equation:  $R = V / (Hc * Lc * T)$  where:  $R$ = linear rate of retreat ( $m yr^{-1}$ ),  $V$ = net volumetric erosion ( $m^3$ ),  $Hc$ = average cliff height (m),  $Lc$ = longshore length of cliff (m) and  $T$ = time interval between consecutive years (yrs). In the current study, a new approach to the rate of retreat equation was used as follow:  $R = Z_{change} * \cot \alpha$  where:  $\alpha$  = cliff slope value ( $^{\circ}$ ). For each section the retreat value was calculated considering the mean, median and mode values but the most representative retreat results seems to be those calculated considering the mean according to the comparison with the retreat values calculated by other authors as shown in Tab. 1.

AREA 1, the more protected from the sea influences, shows the lowest annual average retreat ranging between  $0.02 m yr^{-1}$  and  $0.09 m yr^{-1}$ . The harbour extension (more than 500m wide), the seawall and other mitigation works, are a great solution to decrease the cliff retreat that was  $1.3 m yr^{-1}$  during the period 1899-1908/1910 (Dornbusch et al., 2008a). The results measured by other authors (Tab. 1), respect to those evaluated in the current project, generally tend to change in a limited range; to explain these differences, the different approaches used in the retreat calculation, differences in terms of annual rainfall or storms and other events or modifications along the cliff face should be considered.

**Table 1. Retreat values calculated in different locations and different periods between Black Rock and Newhaven.**

Location	Average rate of retreat ( $m yr^{-1}$ ) <sup>a</sup>	Author and Reference Period	Average rate of retreat ( $m yr^{-1}$ )
Black Rock-Portobello	0.05	Stavrou et al. (2011): 1980-2005	0.05
Black Rock-Portobello	0.05	Stavrou et al. (2011): 1873-2005	0.22
East Saltdean-Portobello	0.11	Stavrou et al. (2011): 1873-2005	0.32
Black Rock-Rottingdean	0.05	Dornbusch et al.(2008a):1873-1925/1929	0.47
Saltdean-Newhaven	0.12	Dornbusch et al.(2008a): 1973-2001	0.2
Saltdean-Newhaven	0.12	Dornbusch et al.(2008a): 1873-2001	0.29
Peacehaven-Newhaven	0.26	Thorburn (1977): 1924-1955	0.3-0.9
Telscombe cliffs	0.08	Thorburn (1977): 1973-1975	0.45
Peacehaven	0.03	Howe (1967): 1875-1967	0.427
Roedean	0.05	May and Heeps (1985): 1826-1884	0.76
Rottingdean	0.04	May and Heeps (1985): 1873-1951	0.66
Rottingdean	0.04	May and Heeps (1985): 1951-1962	0.13

In the end, according to calculated retreat values and the current cliff top edge position, some projections were estimated by multiplying the average recession rates with the time period (2, 5, 10 and 20 years). This approach shows that along the 11 km studied, some buildings and infrastructure will suffer partial losses due to the coastline retreat process. This is a useful tool for local authorities for management plans to avoid economic losses to private or public properties. However, the coastal evolution is difficult to predict due to spatial and temporal pattern of coastal changes and more detailed analysis should be carried out.

## References

- Ackermann F. (1999) - *Airborne laser scanning - present status and future expectations*. In ISPRS, pp. 64-67.
- Cleeve J., Williams R.B.G. (1987) - *Cliff erosion in East Sussex*. GEMS, University of Sussex, Brighton, pp. 68.
- Dornbusch U., Robinson D. A., Moses C., Williams R., Costa S. (2006) - *Retreat of Chalk cliffs in the eastern English Channel during the last century*. Journal of Maps, 2: 71-78.
- Dornbusch U., Robinson D.A., Moses C.A., Williams R.B.G. (2008) - *Soft copy photogrammetry to measure shore platform erosion on decadal timescales*. Journal of Coastal Conservation, 11: 193-200.
- Howe D.J. (1967) - *Coast protection - Peacehaven and Telescombe cliffs*. Report.
- May V., 1971. *The retreat of chalk cliffs*. The Geographical Journal, 137: 203-206.
- May V., Heeps C. (1985) - *The nature and rates of changes on chalk coastlines*. Zeitschrift für Geomorphologie Supplementband, 57: 81-94.
- Moore L. J. (2000) - *Shoreline mapping techniques*. Journal of Coastal Research, 16(1): 111-124.
- Stavrou A., Lawrence J. A., Mortimore R. N., Murphy W. (2011) - *A geotechnical and GIS based method for evaluating risk exposition along coastal cliff environments: a case study of the chalk cliffs of southern England*. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 11: 2997-3011
- Thorburn A. (1977) - *Report on the problems of coastal erosion*. East Sussex County Council, Lewes.
- Young A. P., Ashford S. A. (2006) - *Application of airborne LIDAR for seacliff volumetric change and beach-sediment budget contributions*. Journal of Coastal Research, 22: 307-318.

## Carichi d'onda agenti su una turbina eolica off-shore. Analisi numeriche e sperimentali

Maria Letizia Pecora

DICEA, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale - Università degli Studi di Firenze  
Via di Santa Marta n.3 - 50139 Firenze  
Maria.Letizia.Pecora@dicea.unifi.it

La produzione di energia rinnovabile è in forte espansione a livello mondiale e in accordo con le linee programmatiche della Commissione Europea (SET-PLAN e EWI), lo sfruttamento del vento e del mare sta dimostrando di poter dare un contributo significativo alla produzione energetica. In questo contesto rientra a pieno titolo il presente lavoro che concentra l'attenzione sull'energia del mare proveniente da fonte eolica, studiando il comportamento strutturale di turbine eoliche off-shore soggette all'azione contemporanea di carichi aerodinamici e idrodinamici altamente variabili. Una corretta determinazione dell'interazione onde-vento-rotore e degli effetti delle forze d'impatto e del run-up causate dalle onde che si infrangono sulla struttura sono fondamentali per una progettazione sicura delle strutture di fondazione (Chellaa *et al.*, 2012; Oumeraci *et al.*, 2005).

Allo stato attuale, parchi eolici off-shore stanno avendo un considerevole sviluppo, basti pensare che agli inizi del 2014 si contavano nel mondo ben 2688 turbine eoliche ripartite in 74 parchi distribuiti per lo più nel Nord Europa su fondali medio bassi dove la maggior parte delle strutture di supporto, circa il 70%, è di tipo "monopalo" (LORC, 2010).

A tal proposito, l'obiettivo della ricerca è quello di caratterizzare gli effetti dei carichi d'onda agenti su una turbina eolica off-shore con struttura di supporto monopalo mediante lo sviluppo di modelli numerici e sperimentali per la valutazione dell'interazione dinamica onde-struttura in acque intermedio-basse (20 -30m).

Le prove sperimentali in scala vengono eseguite nel canale per la generazione di onde e correnti del DICeA-UNIFI ([www.labima.unifi.it](http://www.labima.unifi.it)); la scala utilizzata è 1:60 ed è applicata in accordo alla Legge di Froude.

Il modello di riferimento è la torre "NREL - 5 MW Off-shore Baseline wind turbine" su monopalo alla profondità dell'acqua di 20 m. A partire dalle proprietà della struttura è stato realizzato un modello numerico per valutarne il comportamento dinamico in vera grandezza.

Nelle prove sperimentali il modello è stato progettato in modo da avere una similitudine con il prototipo. Per una corretta caratterizzazione dell'interazione onde-struttura, sono stati realizzati due diversi modelli in scala: il primo è un cilindro rigido, il secondo è un cilindro elastico per tener conto del comportamento dinamico. In entrambi i casi, le proprietà dimensionali del cilindro e il materiale vengono mantenute invariate. La condizione per la quale il modello elastico si differenzia da quello rigido è legata alla distribuzione di massa che svolge un ruolo importante nel riprodurre le frequenze naturali di vibrazione: sono infatti aggiunte due masse concentrate in modo da ottenere le prime due frequenze naturali del modello sperimentale uguali a quelle del prototipo opportunamente scalate. Infatti, riproducendo semplicemente la geometria del palo con il diametro opportunamente scalato, è stato possibile agire sulla scelta del materiale e al contempo sulla disposizione di due masse concentrate così da scalare la rigidità della struttura globale e da riprodurre le prime due frequenze naturali della turbina eolica NREL 5MW installata su un monopalo di 6 m di diametro per una profondità del fondale di 20 e 30 m. In tal modo il rapporto tra le frequenze d'onda e le frequenze naturali della struttura è corretto e l'eccitazione dinamica è preservata (Bredmose *et al.*, 2013).

Il progetto dei due modelli in scala per le prove sperimentali nel canale marittimo è stato svolto attraverso analisi numeriche e modellazioni agli elementi finiti per la ricerca delle caratteristiche dinamiche desiderate. I risultati ottenuti hanno permesso la costruzione di due modelli con le seguenti caratteristiche.

**Tabella 1. Caratteristiche Modelli numerici per le prove in scala di laboratorio**

MODELLO RIGIDO		MODELLO ELASTICO	
Scala	1:60	Scala	1:60
Oggetto	Cilindro cavo	Oggetto	Cilindro cavo
Materiale	Plexiglass	Materiale	Plexiglass
Lunghezza	1420 mm	Lunghezza	1420 mm
Diametro esterno	100 mm	Diametro esterno	100 mm
Spessore	2 mm	Spessore	2 mm
Profondità acqua	33 – 50 cm	Profondità acqua	33 – 50 cm
		+ MASSE AGGIUNTE	M1 = 12.4 Kg – M2 = 10.5 Kg

Per la valutazione delle sollecitazioni, il modello è equipaggiato di 4 celle di carico monoassiali collegate alle piastre di fondazione in plexiglass; l'insieme realizza un vincolo di incastro tra il palo e il fondo del canale. Durante le prove sperimentali, vengono generate onde a ripidità variabile, di tipo regolare e irregolare e onde frangenti; l'acquisizione dei dati permette di misurare gli effetti dei carichi d'onda sul palo in termini di sollecitazioni mediante le celle di carico e in termini di vibrazioni mediante sensori di spostamento posizionati in corrispondenza di punti significativi lungo il palo.

### Ringraziamenti

L'attività di ricerca descritta in questo lavoro viene condotta nell'ambito del progetto NEMO – Numerical and Experimental Methods for Offshore Renewable Energies – Coordinatore Lorenzo Cappietti – Università degli Studi di Firenze.

### Bibliografia

- LORC (2010) - Foundation for offshore renewables energy. *www.lorc.dk*
- Bredmose H., Sahlberg-Nielsen L., Flemming Schlütter, Slabiak P. (2013) - *Dynamic excitation of monopoles by steep and breaking waves. Experimental and numerical study*. 32° ASME International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering.
- Chellaa M. A., Myrhauga D., Tøruma A. (2012) - *An Overview of Wave Impact Forces on Offshore Wind Turbine Substructures*. Norwegian University of Science and Technology, NO-7491 Trondheim, Norway Energy Procedia, 20: 217–226.
- Oumeraci H., Wienke J. (2005) - *Breaking wave impact force on a vertical and inclined slender pile theoretical and large-scale model investigations*. Coastal Engineering, 52: 435-462.

## Indagine sperimentale sulla portata di overtopping di un muro paraonde protetto da berma

Daniela Salerno

Università degli Studi di Salerno, Via Giovanni Paolo II, 132 - 84084 - Fisciano (SA),  
dsalerno@unisa.it

### Introduzione

La maggior parte delle infrastrutture costiere risultano protette dalla tracimazione delle onde a mezzo di *seawall* (muri paraonde). Questi ultimi possono presentare il paramento verticale debolmente inclinato o curvo nella parte sommitale e sono spesso protetti da berme o barriere distaccate a gettata di massi. Le conoscenze sugli effetti delle opere di protezione in termini di riduzione della portata tracimante, sono però assai limitate. Proprio in tale ambito è stata svolta una estesa indagine sperimentale bidimensionale, che ha consentito di studiare gli effetti di berme di differenti geometrie. I test sono stati eseguiti alternando alla configurazione di muro verticale quella di muro curvo in sommità.

### Esperimenti

Con lo scopo di riprogettare la sezione del *seawall*, noto come "Malecòn Tradicional", posto a protezione del lungomare della città dell'Avana (Cuba), spesso interessato da mareggiate invernali che limitano la fruibilità della strada costiera, è stata indetta una gara internazionale per la realizzazione di una campagna di prove sperimentali su modello fisico. Il CUGRI (Consorzio inter-Universitario per la previsione e prevenzione dei Grandi Rischi - Università di Napoli "Federico II" e Università di Salerno) si è aggiudicato la conduzione degli esperimenti, che sono stati eseguiti all'interno del bacino tridimensionale del Laboratorio di Ingegneria Costiera (LINC) dell'Università degli Studi di Napoli "Federico II". La vasca è provvista di un generatore dotato di 16 pale del tipo "a pistone", in grado di generare sia onde regolari che stati di mare irregolari. La realizzazione di un canale della larghezza di 1.56 m, che ospita il profilo caratteristico riprodotto in scala 1:30, ha consentito di ottenere condizioni idrodinamiche bidimensionali all'interno del bacino. La batimetria termina con il modello del Malecòn, realizzato anch'esso in scala 1:30, nelle diverse configurazioni testate (Figure 1a e 1b).

Al modello del muro attuale, che è verticale ed ha una quota di 3.96 m rispetto al livello medio, sono stati alternati quelli aventi quota maggiore di 50 cm e di 1 m. Le stesse quote sono state impiegate per la configurazione di muro curvo in sommità. Sulla base dei risultati ottenuti durante una fase preliminare di prove eseguite senza alcuna protezione del muro, i modelli che si riferivano alla condizione attuale ed a quella rialzata di 50 cm con profilo ricurvo, sono stati testati anche in presenza di berme a gettata di massi di differenti geometrie (Figure 1c, 1d e 1e).

Per la misura della portata di *overtopping*, alle spalle del modello del Malecòn è stato costruito un serbatoio che raccoglieva il volume idrico tracimato.

Un sistema di due pompe sommerse, appositamente progettato, provvedeva al ricircolo dell'acqua; un misuratore elettromagnetico collegato all'impianto (Figura 1f), consentiva di stimare il volume ricircolato a mezzo di un totalizzatore. È stato così possibile risalire, nota la durata di ogni test, alla portata media relativa a ciascuno stato di mare.

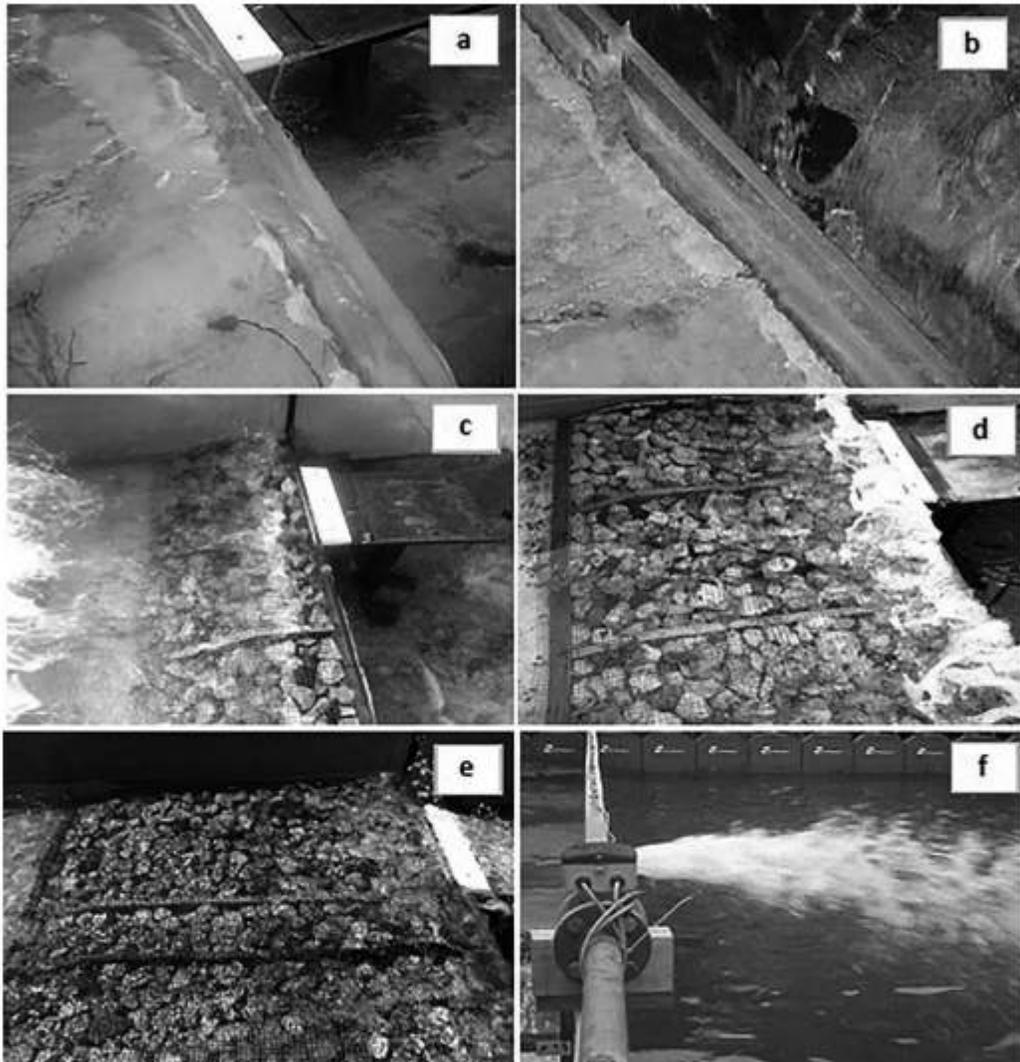


Figura 1. Le configurazioni di muro curvo e verticale (a, b). Le berme dalle differenti geometrie (c, d, e). Il misuratore elettromagnetico di portata (f).

### Analisi

Una delle problematiche di maggior rilievo nello studio del fenomeno, riguarda il fatto che il muro si trova nella zona dei frangenti. La presenza di set-up e di una rilevante aliquota di energia dislocata sulle basse frequenze, rendono difficile la definizione dell'altezza d'onda significativa da impiegare nella previsione della portata di overtopping. La cosa più semplice per un progettista sarebbe quella di trascurare la presenza delle long waves, ma i risultati del presente studio indicano chiaramente che ciò comporterebbe un incremento significativo della dispersione dei dati sperimentali, conducendo a una previsione peggiore della portata trascinata (van Gent e Giarrusso, 2003).

Parallelamente a questo aspetto si è indagato sulla ricerca di una formula di previsione dell'overtopping valida in presenza di berme protettive al piede del muro. I risultati ottenuti, sebbene preliminari, rappresentano un primo tentativo di affrontare sistematicamente questa problematica sorprendentemente poco approfondita dalla letteratura scientifica specializzata.

### Bibliografia

van Gent, M.R.A., Giarrusso C.C. (2003) - *Influence of low-frequency waves on wave overtopping*. Report - Delft Hydraulics - H4297.

## **Studio di fattibilità per la realizzazione degli interventi necessari alla difesa delle coste per la ridefinizione degli equilibri ambientali nelle aree a rischio di erosione nel settore Nord Occidentale della Sardegna**

Alice Scanu

MarTech Srl, Viale Trieste 65/i - Cagliari  
ali.scanu@gmail.com

Lo studio di fattibilità in esame è stato affidato all' ATP MarTech Srl - Prof. Ing. Gian Paolo Ritossa - Ing. Antonio Rujju - Geol. Mauro Pompei - Agr. Marco Perra - Prima Idea Srl mediante procedura di gara, dalla Regione Autonoma della Sardegna – Ass.to LL.PP. - Servizi interventi sul Territorio, e si inserisce all'interno del riparto programmatico previsto dalla Giunta Regionale della Sardegna in ottemperanza agli impegni definiti dalla Delibera CIPE n. 35/2005. Scopo dello SdF è la valutazione della fattibilità sotto il profilo tecnico, procedurale, ambientale, finanziario ed economico–sociale degli interventi di difesa costiera necessari nel settore nord occidentale della Sardegna. La necessità di un approccio integrato e multidisciplinare all'analisi ha richiesto che fossero presenti all'interno della struttura operativa professionalità multidisciplinari. Sono dunque stati coinvolti all'interno gruppo di lavoro professionisti di discipline ingegneristiche (MarTech Srl, Ing. Alessandro Lai, Ing. Alice Scanu, Prof. Ing. Gian Paolo Ritossa, Ing. Antonio Rujju), geologiche (Geol. Mauro Pompei, Geol. Laura Mascia, Geol. Roberto Pischedda), agronomiche (Agr. Marco Perra), economiche (Prima Idea Srl), biologiche (Biol. Bruno Paliaga). L'area costiera interessata dallo SdF è quella compresa tra la Spiaggia di Poglina (Comune di Villanova Monteleone) e il lungo litorale sabbioso sul quale sbocca il Fiume Coghinas, dopo aver percorso la Nurra e il Golfo dell'Asinara. Nel complesso, sono stati interessati dallo studio circa 200 km di costa ricadenti nei Comuni di Villanova Monteleone, Alghero, Stintino, Sassari, Porto Torres, Sorso, Castelsardo, Valledoria e Badesi. L'assenza di studi e piani con finalità simili a quelle del presente SdF ha richiesto un importante sforzo concettuale e di ricerca che ha condotto, nella fase propedeutica, alla determinazione di inediti indici sintetici relativi alla Vulnerabilità Geomorfologica, alla Valenza Ambientale e a quella socio-economica. Questi sono stati incrociati attraverso metodologie GIS, al fine di definire un nuovo indice sintetico di Criticità finalizzato all'individuazione della priorità di azione sui diversi tratti di litorale. Si è introdotto dunque il concetto di Criticità Geomorfologica, Ambientale e Socio-economica (Criticità G.A.S), ottenuto come combinazione degli indici di Vulnerabilità Geomorfologica (G), Valenza Ambientale (A) e Valenza Socio-economica (S).

### **Indice di Vulnerabilità Geomorfologica (G)**

L'indice di vulnerabilità geomorfologica è stato determinato separatamente per le coste alte e per quelle basse. Per le coste basse, sono stati identificati nell'area di studio 31 sistemi spiaggia, escludendo le pocket beaches poste ai piedi delle falesie (considerate nell'analisi della costa alta poiché caratterizzate dalla stessa dinamica.). La determinazione della vulnerabilità geomorfologica per le coste basse è scaturita dall'analisi combinata dell'evoluzione della linea di riva e dell'individuazione delle possibili cause di regressione. L'analisi dell'evoluzione della linea di riva è stata effettuata digitalizzando per ciascuna spiaggia considerata la linea di battigia dedotta da ortofoto. Utilizzando l'applicativo GIS Digital Shoreline Analysis System (DSAS) sviluppato dalla United States Geological Survey, sono stati valutati dei parametri statistici indicativi dell'arretramento del litorale. Considerando la disomogeneità delle immagini da cui sono state estratte le linee di riva, tale indice è stato ponderato con un indice di tipo geomorfologico per individuare le cause di regressione certe o supposte attraverso fonti bibliografiche, analisi dell'evoluzione del territorio e caratteristiche geomorfologiche. Incrociando i due parametri sopra descritti si è arrivati

ad associare a ciascun tratto di litorale l'indice sintetico di vulnerabilità geomorfologica.

Per ciò che concerne le coste alte, sulla base della letteratura reperita, dei sopralluoghi effettuati e delle immagini aerofotogrammetriche sono state valutate la tipologia di franosità, la velocità di arretramento, il grado di stabilità e la pericolosità geomorfologica. Tali parametri, incrociati alle carte tematiche a disposizione e agli studi reperiti, hanno consentito di valutare l'erodibilità delle coste alte e, sulla base di questa, la vulnerabilità geomorfologica. Sia per le coste alte che per quelle basse, l'indice di vulnerabilità geomorfologica (G) ha assunto i seguenti valori: G = 1 (vulnerabilità geomorfologica trascurabile)      G = 2 (media)      G = 3 (elevata)

### **Indice di valenza ambientale**

La determinazione della valenza ambientale è basata su una ricerca bibliografica riguardante vegetazione, clima, geologia, geomorfologia, idrografia, fonti letterarie e normativa di riferimento inerenti le aree di interesse. La fase di ricerca è stata seguita da un'analisi multitemporale effettuata attraverso la cartografia e le carte della vegetazione al fine di rilevare la frammentazione e l'artificializzazione dell'habitat. Il territorio analizzato è stato così caratterizzato dal punto di vista biotico sulla base della fisionomia della copertura vegetale litoranea. È stato attribuito un giudizio di qualità alla copertura vegetale, considerata la sua estensione e continuità in prossimità della fascia costiera e la presenza di specie sinantropiche, definendo così la naturalità come indicatore della qualità ambientale. Sulla base di questa, si è quindi giunti all'indice di valenza ambientale (A):

A=1 (Naturalità scarsa, sufficiente)    A=2 (buona, molto buona)    A=3 (elevata, molto elevata).

### **Indice di valenza socio-economica**

L'analisi è consistita nella raccolta e interpretazione di dati socio-economici che aiutano a comprendere le dinamiche dell'Area e le loro evoluzioni temporali. Attraverso questa si è giunti a definire sette indici sintetici (demografico, di sviluppo sociale, delle attività produttive, attività turistiche, delle attività agricole, della dotazione infrastrutturale), che sono stati combinati nell'indice di sviluppo socio-economico (ISSE), finalizzato a esprimere la struttura socio-demografica ed economica di ciascun comune nella sua complessità. L'ISSE è stato poi pesato e distribuito all'interno del territorio sulla base della "densità turistica" relativa alle concentrazioni delle attività turistiche e delle concessioni demaniali. Si è così giunti all'indicazione della valenza economica delle aree costiere (S):

S=1 (Valenza socio-economica molto bassa)    S=2 (bassa, media)    S=3 (alta, molto alta)

### **Criticità GAS**

I singoli indici sono stati sommati per ottenere l'indice di criticità GAS:

Criticità moderata (GAS=3+5)    Criticità elevata (GAS=6)    Criticità Molto Elevata (GAS=7+9)

In tale modo si sono individuati i litorali a criticità molto elevata, per i quali si è ritenuto necessario un approfondimento dell'analisi e la definizione di azioni, interventi e modalità di gestione specifiche.

I litorali a criticità molto elevata sono risultati essere: Lido urbano di Alghero, Porto Conte, Punta Negra, Le Bombarde, Capo Caccia, Cala della Puntetta, Cala della Barca, Puntetta della Ghiscera (Comune di Alghero); costa rocciosa a nord di Porto Ferro, Lampianu, costa rocciosa in prossimità di Capo Mannu (Comune di Sassari); La Pelosa, Capo Falcone, Rocca Ruja (Comune di Stintino); costa rocciosa Lungomare Balai (Comune di Porto Torres), Saline - Pazzona - Ezzi Manno - Pilo (Sassari, Stintino, Porto Torres); Platamona (Sassari, Porto Torres, Sorso), Costa a est dell'abitato di Castelsardo, Piana costiera del Coghinas (Castelsardo, Valledoria, Badesi).

L'approfondimento dell'analisi per questi litorali è trattato nella fase propositiva dello SdF (fase 2). In tale fase è stata effettuata una imponente raccolta dati, con la realizzazione di rilievi topo-batimetrici, analisi granulometriche e mineralogiche, rilievi correntometrici ed ondometrici, analisi morfologiche dei fondali. Tali dati sono stati utilizzati congiuntamente ai modelli numerici idrodinamici, morfodinamici e di evoluzione del litorale per meglio identificare le problematiche e valutare le alternative progettuali e gestionali finalizzate alla difesa costiera.

I risultati preliminari della fase propositiva hanno mostrato la validità della metodologia applicata nella fase 1, che ha fornito uno strumento speditivo per l'individuazione delle fasce costiere ad alta vulnerabilità geomorfologica e con valenze ambientali e socio-economiche. La seconda fase dello SdF è attualmente in fase di approvazione, e sarà seguita da una fase conclusiva nella quale sarà valutata la fattibilità di ciascuna soluzione individuata sotto il profilo istituzionale, amministrativo, finanziario e programmatico.

### **Ringraziamenti**

Si ringraziano l'Ing. Alberto Piras e la Dott.ssa Alessandra Pillai - Regione Autonoma della Sardegna - Ass.to LL.PP. - Servizio opere idriche e idrologiche per l'autorizzazione alla pubblicazione e la fattiva collaborazione.

## Confronto fra le distribuzioni di Weibull e generalizzata di Pareto nell'analisi delle altezze d'onda estreme

Massimiliano Ventroni

Università Degli studi di Cagliari – DICAAR, Via Marengo, 2 – 09123 Cagliari  
m.ventroni@unica.it

La definizione degli eventi estremi per le onde misurate al largo delle coste costituisce una fase importante nella definizione dell'altezza d'onda di progetto per un'opera di difesa dei litorali o per una costruzione marittima, così come nel processo di valutazione del rischio da inondazione costiera associato a prefissati tempi di ritorno. Negli ultimi anni, quella generalizzata di Pareto (GPA) (Pickands, 1975, Hosking e Wallis, 1987) è stata una delle distribuzioni maggiormente utilizzate (Thompson, 2009; Arns, et al., 2013) e raccomandate (Haweke, et al., 2008) per la stima delle condizioni estreme delle variabili marine. Tuttavia, secondo i risultati di Goda et al., (2010), la GPA soffre di un'inerente sottostima nella valutazione dei quantili, tale che lo stesso autore ne sconsiglia l'utilizzo ai fini progettuali per l'analisi delle altezze d'onda estreme. D'altra parte, la distribuzione di Weibull (WBL) è una delle forme funzionali storicamente adottate in ambito applicativo e consigliate nell'ambito costiero (Mathiesen, et al., 1994). Nel presente lavoro, in particolare, sono state valutate le performance delle distribuzioni di WBL e GPA, all'interno di un modello POT-Poisson (Mazas e Hamm, 2011), che è stato implementato per studiare l'analisi statistica delle onde estreme estratte dal database della stazione RON (Rete Ondametrica Nazionale) di Alghero. Il primo passo dell'analisi è costituito dalla procedura di identificazione di tutte le mareggiate (*declustering* dei dati), a partire da una serie storica di dati opportunamente validata. L'indipendenza del campione di dati, costituito dalle singole altezze al colmo, è stata determinata assumendo un ritardo temporale di almeno 48 ore tra due eventi consecutivi (Mathiesen, et al, 1994) inoltre, si è adottato un criterio di omogeneità direzionale, seguendo le indicazioni di Corsini, et al, (2004) così che, per il campione di dati a disposizione, sono stati individuati tre settori direzionali omogenei. A partire dalla serie dei picchi indipendenti ed omogenei, l'applicazione efficace del metodo POT dipende dalla scelta di una soglia opportuna che tenga conto del bilancio tra bias e varianza di stima. La soglia è stata selezionata in funzione delle proprietà della GPA usando metodi mono-soglia, di tipo soggettivo (Coles, 2001, pagg. 79 e 83) ed automatico (Thompson, et al., 2009, Mazas e Hamm, 2011); inoltre, è stato esplorato un metodo multi-soglia, proposto in ambito idrologico (Deidda, 2010). Gli stimatori dei parametri sono stati calcolati per stima puntuale, attraverso il metodo della massima verosimiglianza, ML (Coles, 2001), gli L-moments (Hosking e Wallis, 1990; Goda, et al., 2010), il metodo dei minimi quadrati ordinario (OLS) e pesato (ELS) (Goda, 2010). Le performance dei modelli sono state valutate sulla base di criteri parametrici – diagramma rapporti L-moments (Hosking e Wallis, 1990), Criterio di Informazione Bayesiana (BIC), Criterio di Informazione di Akaike (AIC) (Mazas e Hamm, 2011); Minimo Residuo del Coefficiente di correlazione valutato sui diagrammi di probabilità e sul diagramma quantile - quantile (MIR – PPC e MIR - QQC) (Goda, 2011) – e su metriche di tipo non parametrico – norma di errore (Li, et al., 2008). In particolare, si è provveduto a modificare i criteri MIR e la norma di errore in funzione di ciascuno dei metodi di stima e del tipo di distribuzione, usando appropriati stimatori di *plotting position* non distorti, seguendo le indicazioni di Goda (2010, 2011). Infine, sono stati stimati i quantili per assegnati tempi di ritorno e calcolati i rispettivi intervalli di confidenza secondo una procedura Monte Carlo, per le seguenti combinazioni fra funzioni di distribuzione e stimatori: WBL-ML, WBL-LM, WBL-OLS, WBL-ELS e GPA-ML, GPA-LM.

Dalle analisi condotte si è potuto stabilire che sia la distribuzione WBL sia la GPA si adattano bene ai dati a disposizione. Tuttavia, in accordo con (Goda et al., 2010) la GPA denota una sottostima nei quantili per alti tempi di ritorno; inoltre, risulta meno efficiente nella stima dei parametri. Come indicazione generale, quindi, almeno in ambito progettuale, è opportuno tener conto di un criterio di sicurezza, adottando come ottimale il modello che si dimostri essere più robusto sia nella stima dei parametri sia nella stima dei quantili. Sviluppi futuri esploreranno la possibilità di un approccio combinato GEV – GPA, al fine di favorire sia un generale irrobustimento della stima dei parametri della GEV, utilizzando le relazioni esistenti fra parametro di scala e parametro di forma della GPA e della GEV (Coles, 2001), sia di collegare l'approccio POT a quello dei massimi annuali. In tal modo, si pensa di poter migliorare il problema della valutazione dei quantili ottenuto con la singola GPA.

### Ringraziamenti

Il presente lavoro è stato prodotto durante la frequenza del corso di dottorato in Ingegneria del Territorio dell'Università degli Studi di Cagliari, a.a 2013/2014 – XXVIII ciclo, con il supporto di una borsa di studio finanziata con le risorse del P.O.R. SARDEGNA F.S.E. 2007-2013 – Obiettivo competitività regionale e occupazione, Asse IV Capitale umano, Linea di Attività I.3.1 “Finanziamento di corsi di dottorato finalizzati alla formazione di capitale umano altamente specializzato, in particolare per i settori dell'ICT, delle nanotecnologie e delle biotecnologie, dell'energia e dello sviluppo sostenibile, dell'agroalimentare e dei materiali tradizionali”. Si ringrazia l'Istituto Superiore per la Ricerca sull'Ambiente Costiero (ISPRA) per aver reso disponibili i dati.

### Bibliografia

- Arns A., Wahl T., Haigh I. D., Jensen J., Pattiaratchi C. (2013) - *Estimating extreme water level probabilities: a comparison of the direct methods and recommendations for best practise*. Coastal Engineering, 81: 51 - 66.
- Coles S. (2001) - *An introduction to statistical modeling of extreme values*. London, Springer-Verlag.
- Corsini S., Inghilesi R., Franco L., Pisocopia R. (2004) - *Atlante delle onde nei mari italiani. Italian wave atlas*. Roma, ISPRA, Università degli Studi Roma Tre.
- Deidda R. (2010) - *A multiple threshold method for fitting the generalized Pareto distribution to rainfall time series*. Hydrology and Earth System Sciences, 14: 2559-2575.
- Goda Y. (2010) - *Random seas and design of maritime structures. Advanced Series on Ocean Engineering*. World Scientific Advanced Series on Ocean Engineering, 3° Ed, Vol. 33, pp. 732
- Goda Y. (2011) - *Plotting position estimator for the L-Moment method and quantile confidence interval for the GEV, GPA, and Weibull distributions applied for extreme wave analysis*. Coastal Engineering Journal, 53: 111-149.
- Goda Y., Kudaka M., Kawai H. (2010) - *Incorporation of Weibull distribution in L-Moments method for regional frequency analysis of Peaks Over-Threshold wave heights*. s.l., Proceedings of 32nd International Conference on Coastal Engineering, pp.1-11
- Hawkes P. J., Gonzalez-Marco D., Sanchez-Arcilla A., Prinos P. (2008) - *Best practice for the estimation of extremes: a review*. JHR, 46 (Extra Issue 2): 324-332.
- Hosking J. R. M. (1990) - *L-Moments: analysis and estimation of distributions using linear combinations of order statistics*. Journal of the Royal Statistical Society, Series B (Methodological), 52: 105-124.
- Hosking J. R. M., Wallis J. R. (1987) - *Parameter and Quantile Estimation for the Generalized Pareto Distribution*. Technometrics, 29: 339-349.
- Li Y., Simmonds D., Reeve D. (2008) - *Quantifying uncertainty in extreme values of design parameters with resampling techniques*. Ocean Engineering, pp. 1029-1038.
- Mathiesen J. et al. (1994) - *Recommended practice for extreme wave analysis. Journal of Hydraulic Research*, Journal of Hydraulic Research, 32: pp. 803-814.
- Mazas F., Hamm L. (2011) - *A multi-distribution approach to POT methods for determining extreme wave heights*. Coastal Engineering, Vol. 58: 385-394.
- Pickands J. (1975) - *Statistical inference using extreme order statistics*. The Annals of Statistics, 3(1), pp. 119-131.
- Thompson P., Cai Y., Reeve D., Stander J. (2009) - *Automated threshold selection methods for extreme wave analysis*. Coastal Engineering, Vol. 56: 1013-1021.
- Weibull W. (1951) - *A statistical distribution function of wide applicability*. Journal of Applied Mechanics. Vol. 18: 293-297.

## **Valutazione dell'efficacia degli impianti di depurazione: aspetti chimici e biologici ed importanza dell'approccio biotecnologico**

**Francesca Zuardi, Simona Panariello, Rosanna Brienza**

Acquedotto Lucano spa, Via P. Grippo 85100 Potenza  
francescazuardi@hotmail.it, simona.panariello@acquedottolucano.it

L'efficacia dei sistemi di trattamento dei reflui urbani per la rimozione dell'inquinamento di tipo chimico-biologico è un problema che riveste grande importanza sotto il profilo igienico-sanitario, soprattutto per la valutazione degli effetti sui bacini in cui riversa l'effluente finale della depurazione.

Si è verificata, da un punto di vista chimico-fisico oltre che microbiologico e tossicologico, l'efficienza del processo di depurazione a fanghi attivi dell'impianto del comune di Nova Siri (MT) località Marina e l'impatto che il suo effluente ha nei confronti del Torrente Tocca Cielo nel quale si riversa.

Per il monitoraggio chimico fisico del refluo sono stati analizzati alcuni parametri (Solidi sospesi totali, COD, BOD5, azoto ammoniacale e nitrico), definiti dal D.Lgs152/06 Macrodescrittori, in grado cioè di misurare il carico organico o i nutrienti, utili per stimare l'impatto derivante dalla presenza antropica.

Il monitoraggio chimico comprende, inoltre, l'analisi delle sostanze pericolose (come tensioattivi, fenoli e metalli pesanti), dotate di proprietà tossiche una volta in contatto con gli organismi viventi, in quanto ne danneggiano strutture e funzioni, provocandone in alcuni casi la morte.

Sono stati eseguiti saggi di tossicità nei confronti della D. Magna, crostaceo particolarmente sensibile all'inquinamento da metalli pesanti (piombo, zinco e rame), al fine di valutare l'accettabilità dell'effluente prodotto. In ultimo, l'entità della contaminazione batterica è stata valutata quantificando la presenza di indicatori di inquinamento fecale (*E. Coli*) e la presenza di patogeni (*Salmonella* spp.) mediante tecniche colturali classiche (membrane filtranti, MPN e inclusione).

L'analisi dello stato di salute del corpo idrico recettore è stata poi completata mediante enumerazione ed identificazione algale che ha permesso di valutare la capacità di reazione dell'ecosistema a condizioni di inquinamento. Dall'esame dei risultati emerge un consistente abbattimento dei microrganismi ricercati, con valore medio del 95% per *E. Coli* e la completa scomparsa degli agenti patogeni in tutti i campioni esaminati.

In riferimento al periodo analizzato, che va dal gennaio 2009 al dicembre 2013, sono state rilevate condizioni critiche solo per il 5% dei campioni in particolare per la presenza dei composti dell'azoto e lieve inquinamento microbiologico. Tali situazioni si sono verificate in prossimità della stagione turistica nella quale la popolazione residente nel comune raddoppia e l'impianto risulta estremamente sensibile a variazioni sia di portata che di caratteristiche del refluo. Questa problematica è stata risolta con la costruzione di una vasca di primo accumulo nella quale confluiscono i reflui in eccesso rispetto alla capacità di massimo smaltimento e la creazione di una terza linea di trattamento caratterizzata da una vasca di sedimentazione primaria necessaria per la rimozione dei composti azotati. (Fig. 1)

Al fine di raccogliere informazioni sull'evoluzione nel tempo della qualità delle acque, degli effetti sinergici o antagonisti di associazioni d'inquinanti, sull'esistenza di eventuali fenomeni d'inquinamento avvenuti recentemente (saltuari o celati) che sfuggono alle analisi chimiche di routine, sul potere autodepurativo del Torrente Tocca Cielo e la sua capacità ricettive di scarichi civili, è stata eseguita la determinazione dello stato

della popolazione algale. Dall'analisi qualitativa algale dei campioni prelevati nel Torrente, si evidenzia la presenza di una popolazione molto eterogenea e in numero variabile, sia relativamente al periodo stagionale, che nei diversi punti di campionamento (Fig. 2). A monte dell'impianto depurativo il giudizio del corpo idrico è complessivamente positivo; questo è dovuto sia alla presenza di specie rappresentative di ambienti oligotrofici come *Achnanthes biasolettiana* e *Cymbella affinis*, che ad un quantitativo di cellule algali non molto elevato. Nel punto di immissione del refluo nel Torrente Tocca Cielo, seppur più alto rispetto delle stazioni di campionamento precedente, il numero di alghe rimane esiguo. La maggiore densità algale si evidenzia nei campionamenti effettuati nel periodo estivo ed in particolare a valle dello scarico, indice di discreta quantità di nutrienti. Il numero medio, relativo a 10 campagne di campionamento eseguite dal 2009 al 2013, non indica la presenza di blooms algali né, dall'osservazione microscopica, si è mai identificata specie tossica.

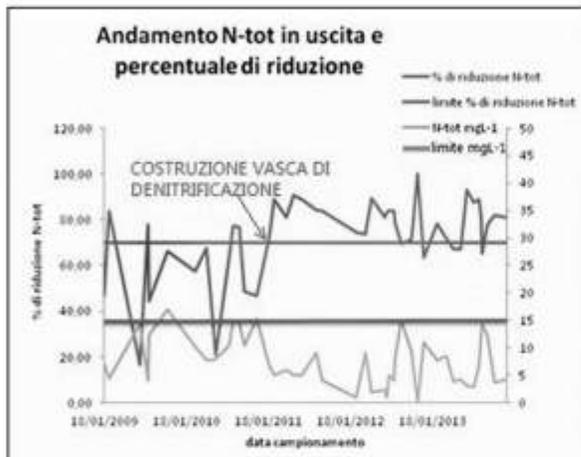


Figura 1. Andamento delle concentrazioni influenti ed effluenti dell'azoto totale.

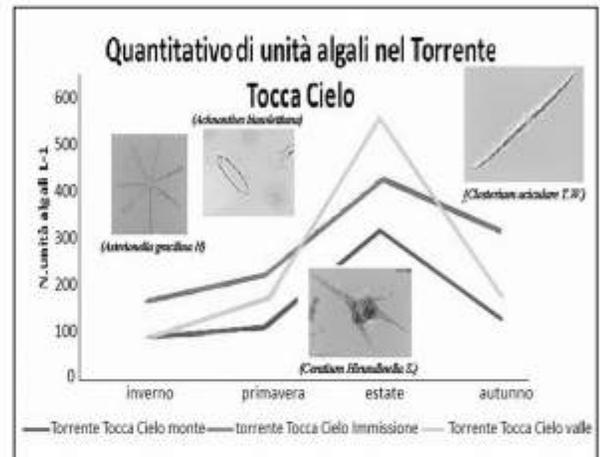


Figura 2. Andamento del quantitativo di unità algali nel tratto analizzato del Torrente.

In conclusione, dal confronto delle caratteristiche rilevate nelle acque recipienti l'effluente, prima e dopo il convogliamento, emerge il mantenimento delle caratteristiche del corpo idrico recettore indice dell'elevata capacità autodepurativa dello stesso.

Si sottolinea, pertanto, la necessità di un'analisi multidisciplinare per una completa caratterizzazione ambientale. Tanto i principi di chimica quanto i processi microbiologici trovano applicazione negli impianti di depurazione per il trattamento delle acque di scarico; solo con l'applicazione di tutte le scienze è possibile pensare ad un futuro per il riutilizzo delle acque, reso possibile con i sistemi di trattamento avanzato e di rigenerazione delle acque stesse.

## Erosione al piede delle strutture di banchina prodotta dai propulsori navali

Antonio Francone, A. Mujal e X. Gironella

Laboratorio di Ingegneria Marittima, Università Politecnica Catalogna (LIM/UPC), Barcellona [ES]  
 francone.antonio@gmail.com

### Riassunto

Il presente studio riguarda il fenomeno dell'erosione provocato dalle manovre di attracco e disormeggio delle navi all'interno delle aree portuali. Lo studio si riferisce ad un modello in cui una coppia di eliche, in assenza di timone, poste a una distanza fissa di sicurezza rispetto al fondo ruotano con tre diverse velocità. I risultati sperimentali sono stati comparati con le relazioni teoriche disponibili in letteratura sulla velocità di efflusso. Le equazioni teoriche sovrastimano i risultati sperimentali.

**Parole chiave:** erosione, propulsori, eliche, protezione, fondali, portuali, banchine.

### Introduzione

Il veloce progresso del trasporto marittimo degli ultimi 20 anni ha indotto una crescita delle dimensioni delle navi e un conseguente aumento della potenza propulsiva. Tale aumento ha favorito una frequente e ripetuta azione erosiva da parte delle correnti generate dai propulsori in prossimità delle strutture portuali d'attracco e la relativa comparsa di fenomeni erosivi al piede di tali strutture, causando ingenti danni o, addirittura, il collasso delle stesse. L'erosione al piede delle strutture di banchina è un fenomeno descrivibile dal sistema di forze provocate dalle correnti di acqua che mettono in movimento le particelle del fondale portuario in prossimità delle strutture di attracco. Tale erosione si ripercuote sulla struttura compromettendone la stabilità. La stessa si produce quando la velocità dell'acqua nei pressi del fondo ( $V_b$ ) supera un valore critico chiamato velocità critica ( $V_c$ ). A partire da questa velocità avviene il movimento del materiale al fondo che provoca l'erosione del terreno e il conseguente accumulo (sedimentazione) che, talvolta, provoca blocchi operativi al regolare traffico navi. Le equazioni attualmente disponibili in letteratura, che permettono di calcolare l'erosione provocata dai sistemi propulsivi, sono basate su ipotesi teoriche lontane dalla realtà. Inoltre, gli studi sperimentali ad oggi effettuati sono stati svolti considerando la presenza di una sola elica come sistema propulsivo.

La velocità di efflusso è il primo parametro necessario per analizzare l'erosione del fondale, tuttavia, non esistono formulazioni per il calcolo della velocità di efflusso nel caso di doppia elica.

Dalla presente sperimentazione si otterranno valori di velocità prodotti da un sistema propulsivo principale composto da due eliche, in assenza di timone e in stato non confinato. I risultati saranno comparati con le formulazioni teoriche sviluppate nel corso degli ultimi 50 anni.

### Metodologia

#### Setup sperimentale

Gli esperimenti sono stati realizzati in un impianto situato presso il Laboratorio di Ingegneria Marittima (LIM) dell'Università Politecnica della Catalogna (UPC-BarcelonaTech). La BassA, (Figura 1), è una vasca in calcestruzzo di forma rettangolare delle dimensioni di  $12.5 \times 4.6 \times 2.5$  m<sup>3</sup> con tre finestre laterali per monitorare gli esperimenti. A una estremità della vasca sono presenti due eliche con diametro  $D_p = 25.4$  cm installate a una distanza dal fondo pari ad  $H_p = 26$  cm (Figura 2).

Sono stati misurati i campi di velocità per tre diverse velocità di rotazione ( $n=300,350,400 \text{ rpm}$ ) utilizzando 5 ADV (Acoustic Doppler Velocimetry) installati su un supporto mobile situato in diverse posizioni in modo tale da rilevare il campo di velocità lungo i tre assi. La Tabella 1 mostra i punti in cui sono state effettuate le rilevazioni delle velocità lungo le tre coordinate assumendo come centro di riferimento l'asse di simmetria al fondo della LaBassA.

I propulsori sono orientati verso il fondo della vasca al fine di studiare il campo di velocità in condizioni non confinate.

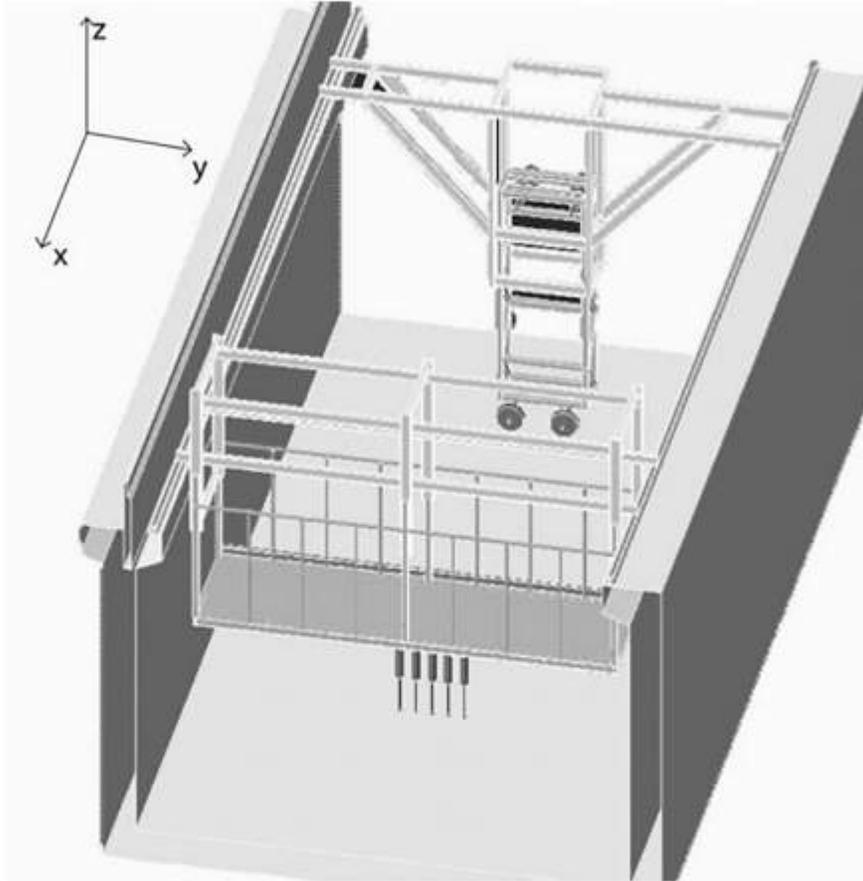


Figura 1. Setup Sperimentale Vasca LaBassA.

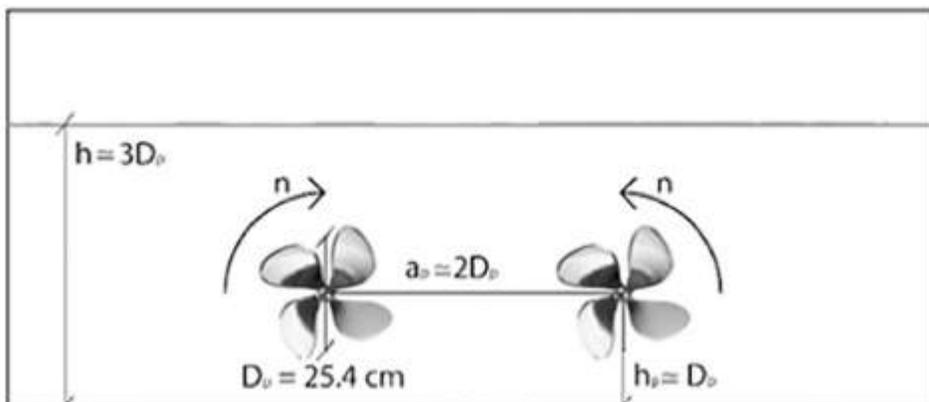


Figura 2. Setup Eliche.

Tabella 1. Scenario e punti di misura.

Rivoluzioni per minuto (RPM)	$x/D_p$	$y/D_p$	$z/h_p$
300	2,5	0	0.2
350	5	$\pm 0.6$	0.5
400	7,5	$\pm 1.2$	1
	10	$\pm 1.7$	1.4
	15	$\pm 2.3$	

La Figura 2 mostra il setup del sistema propulsivo con l'indicazione delle principali distanze utilizzate durante le prove. Il sistema rotante adottato è di tipo simmetrico con l'elica destra che ruota in senso antiorario e l'elica sinistra in senso orario, alla stessa velocità. Gli errori nelle velocità di rotazione sono dell'ordine del 10%, con una piccola differenza del 3% tra le velocità di rotazione di un'elica rispetto all'altra: l'elica di destra ruota più velocemente rispetto a quella di sinistra.

### Aspetti Teorici

Il confronto dei risultati ottenuti dal modello fisico con le formule teoriche è stato effettuato utilizzando come documento di riferimento quello del PIANC (2015), oltre alle formule teoriche sviluppate da diversi autori nel corso del secolo scorso (Hamill e Johnston, 1993).

La velocità di efflusso è definita come la velocità media assiale all'uscita del sistema propulsivo in assenza di timone e in condizioni non confinate. Questa velocità è definita per la zona iniziale di stabilizzazione del flusso a una distanza di  $x=2,5D_p$ .

La velocità teorica di efflusso per propulsori liberi è calcolabile con l'equazione (1):

$$V_0 = C \left( \frac{f_p P_d}{\rho_w D_p^2} \right)^{1/3} \text{ [m/s]} \quad (1)$$

Dove:

$f_p$  = percentuale di utilizzo dei motori,  $f_p = 5 - 15\%$ ;

$P_d$  = potenza [kW];

$D_p$  = diametro dell'elica [m];

$\rho_w$  = densità dell'acqua  $\left[ \frac{t}{m^3} \right]$ .

Altri autori utilizzano l'equazione (2), con la costante C che varia a seconda dell'autore. Tuttavia tale equazione richiede la conoscenza di un coefficiente di spinta  $K_T$ , di difficile determinazione.

$$V_0 = C \cdot n \cdot D_p \cdot \sqrt{K_T} \text{ [m/s]} \quad (2)$$

Dove:

$n$  = n° giri al secondo dell'elica;

$D_p$  = diametro dell'elica [m]

$K_T$  = coefficiente di spinta dell'elica.

La velocità assiale tra le eliche lungo la direzione del flusso è descritta da Albertson (1950) che propone l'equazione (3):

$$V_{axis}(x) = AV_0 \left( \frac{D_p}{x} \right)^a \text{ [m/s]} \quad (3)$$

Dove  $A=6.17$  e  $a=1$ .

Gli altri metodi, come il German method e il Dutch method, usano la stessa equazione (3) con differenti coefficienti, espressi in Tabella 2. Entrambi i metodi sono utilizzati per singole eliche, in stato non confinato e in assenza di timone. Tuttavia, il German method propone un'equazione anche per il caso di sistema propulsivo con doppia elica.

**Tabella 2. Coefficienti dell'Equazione (3) secondo i diversi metodi**

Metodo	A	a
Albertson (1950)	6.17	1
German	0.9	0.25
Dutch	1.95	1

La velocità al fondo, da cui dipende il potenziale erosivo prodotto dai propulsori principali, è funzione della velocità di efflusso. Il German method per doppia elica senza timone, è applicabile solo quando la distanza tra l'asse dei propulsori e il fondo  $h_p$  è compresa tra 1 e 3 volte il diametro dell'elica:

$$V_{b,max} = 0.52V_0 \left(\frac{D_p}{h_p}\right)^{0.275} \quad 0.9 < \frac{h_p}{D_p} < 3 \quad (4)$$

Il Dutch method, assumendo l'ipotesi di sovrapposizione lineare delle velocità di flusso, può essere utilizzato per il caso di doppia elica solo se il rapporto tra la distanza tra l'asse delle eliche e il fondo  $h_p$  e la distanza tra le singole eliche  $a_p$  è inferiore a 0,5:

$$V_{b,max} = 2 \frac{h_p}{r_p} V_{b,max,single} \quad 0.3 < \frac{h_p}{a_p} < 0.5$$

$$V_{b,max,single} = 0.216V_0 \frac{D_p}{h_p} \quad (5)$$

Dove:

$$r_p = \sqrt{h_p^2 + \left(\frac{a_p}{2}\right)^2}$$

Supponendo una sovrapposizione quadratica dei due getti, ed  $h_p/a_p < 0.5$  :

$$V_{b,max} = V_{b,max,single} \sqrt{2} \quad (6)$$

Con:

$$V_{b,max,single} = 0.42V_0 \frac{D_p}{h_p} \quad [\text{German method}]$$

$$V_{b,max,single} = 0.216V_0 \frac{D_p}{h_p} \quad [\text{Dutch method}]$$

**Risultati**

La distribuzione della velocità dell'acqua prodotta dalla rotazione delle eliche è stata analizzata lungo le tre componenti. La Figura 3 mostra la componente assiale della velocità nei piani paralleli a quello contenente le eliche. In particolare, per  $x=2.5 D_p$  i due getti sono chiaramente visibili. Per  $x$  compreso tra  $5 D_p$  e  $7.5 D_p$  è evidente come il getto sia diretto verso il fondo della LaBassA. Per  $x= 15 D_p$  il getto prodotto dalle eliche è chiaramente trascurabile.

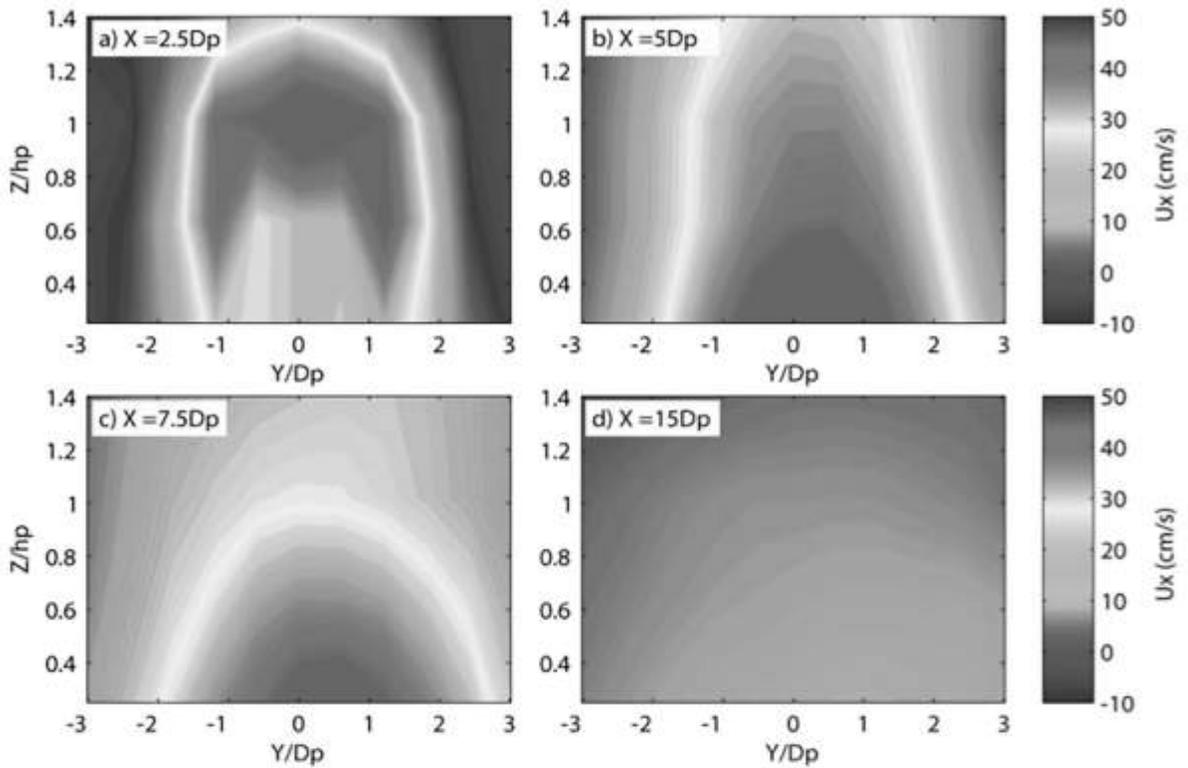


Figura 3. Velocità Assiali  $U_x$  nei piani paralleli a quello contenente le eliche per  $n = 400\text{rpm}$ .

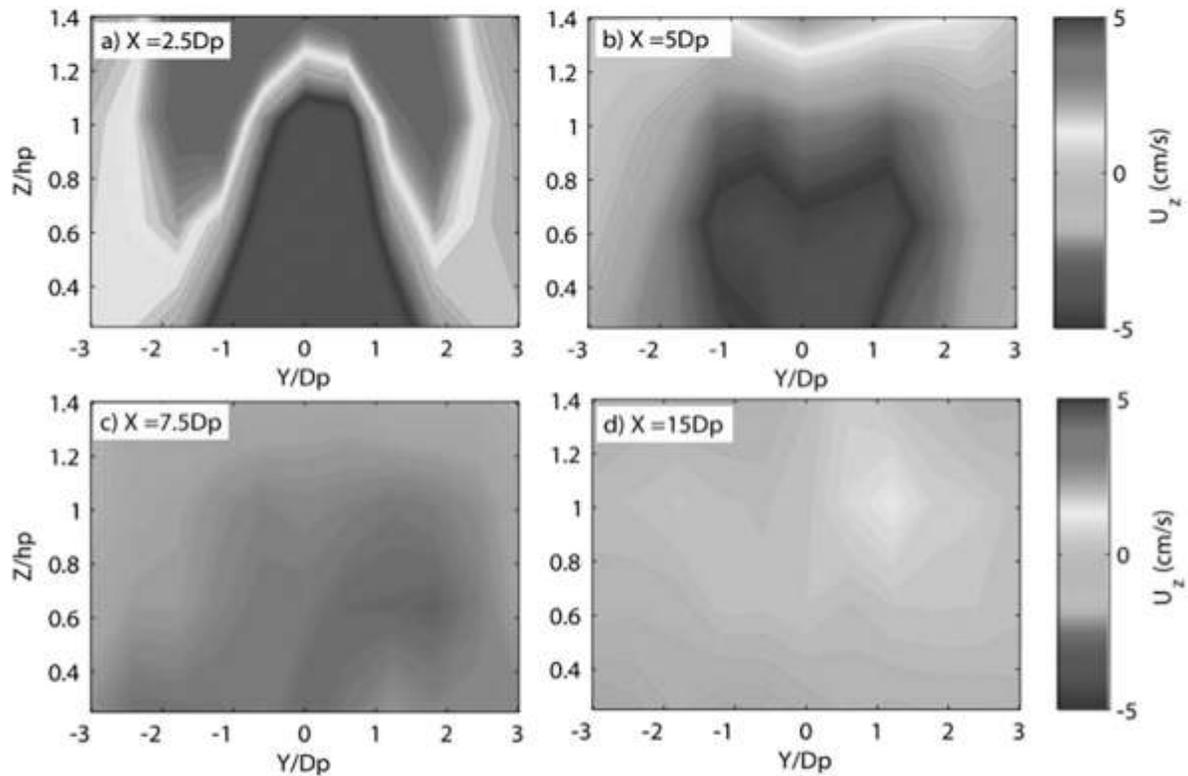


Figura 4. Velocità Verticali,  $U_z$ , nei piani paralleli a quello contenente le eliche per  $n = 400\text{rpm}$ .

Le velocità assiali ottenute al centro di simmetria sono superiori alle velocità assiali ottenute al centro delle eliche come mostrato in Figura 5. Pertanto il confronto con i risultati teorici descritti nella sezione precedente, sarà effettuato soltanto con le velocità assiali al centro di simmetria.

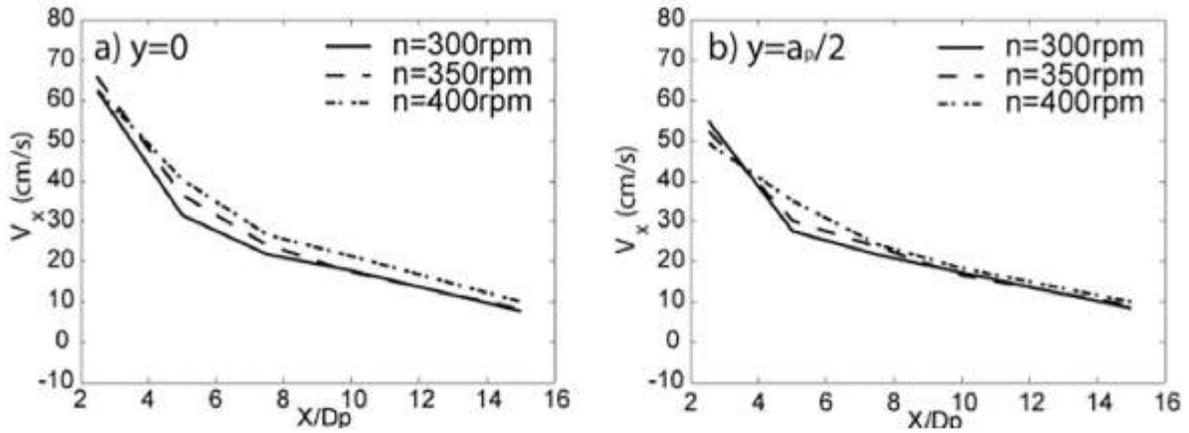


Figura 5. Velocità Assiale, a) Asse coincidente con il centro di simmetria  $y = 0$  ; b) Asse localizzato al centro dell'elica destra  $y = a_p/2$ .

Facendo il confronto tra i massimi valori ottenuti nel piano di stabilizzazione del flusso (Tabella 3), i risultati sperimentali ottenuti non cambiano al variare della velocità delle eliche. Inoltre, nello scenario a 350 rpm il valore della velocità di efflusso è più alto rispetto alla velocità di efflusso nello scenario con 400 rpm.

Tabella 3. Comparazione tra valori teorici e sperimentali della velocità di efflusso

$V_0$ (m/s)	N=300 rpm	N=350 rpm	N=400 rpm
Theoretical (Eq.1)	1.04	1.20	1.34
Experimental	0.62	0.66	0.62

Osservando la velocità assiale lungo l'asse x in Figura 6 e confrontando i risultati sperimentali, indicati con una linea nera, con le relazioni teoriche, eq. (3) e Tabella 2, possiamo dedurre che tutte le espressioni teoriche sovrastimano la velocità ottenuta durante la sperimentazione. La velocità assiale indicata in Figura 6 è quella rilevata in corrispondenza dell'asse di simmetria della LaBassA e, in particolare, nel punto medio tra i propulsori. Se la velocità assiale lungo l'asse x fosse quella al centro dei propulsori, la sovrastima sarebbe maggiore.

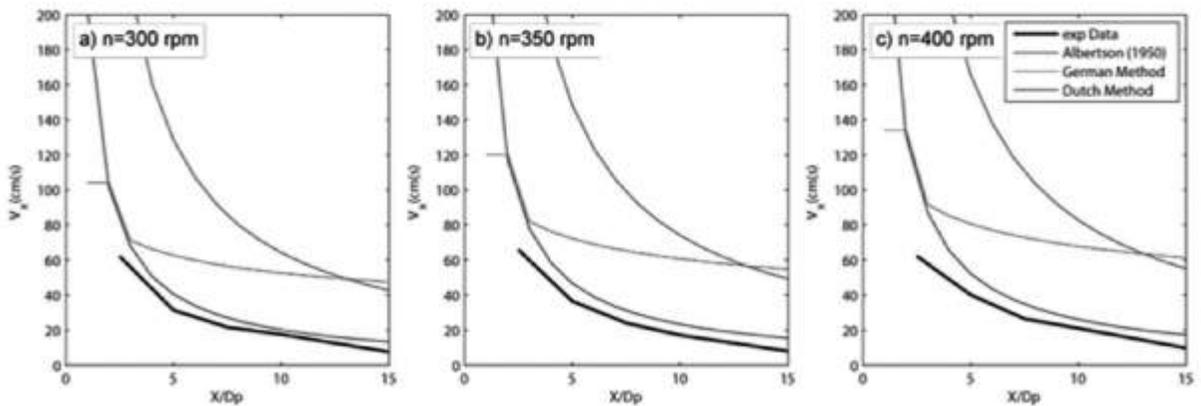


Figura 6. Confronto tra i valori teorici e sperimentali della velocità assiale lungo l'asse di simmetria.

Infine, la velocità massima al fondo ottenuta sperimentalmente risulta essere comparabile con le formulazioni teoriche disponibili in letteratura. È importante ricordare che le formulazioni teoriche a cui si fa riferimento nel presente documento tengono conto della presenza della doppia elica. Le velocità massime al fondo sono mostrate in Figura 7 e in questo caso il German method sembra predire al meglio la massima velocità. In contrasto con la teoria del PIANC (2015) l'approssimazione quadratica, usando il German method, sovrastima la velocità massima al fondo. Le sovrapposizioni dei getti, quando viene utilizzato il Dutch method, sottostimano i risultati sperimentali. I risultati mostrati in Figura 7 sono coerenti con i risultati ottenuti per le velocità assiali perché il German method dà sempre valori maggiori rispetto al Dutch method.

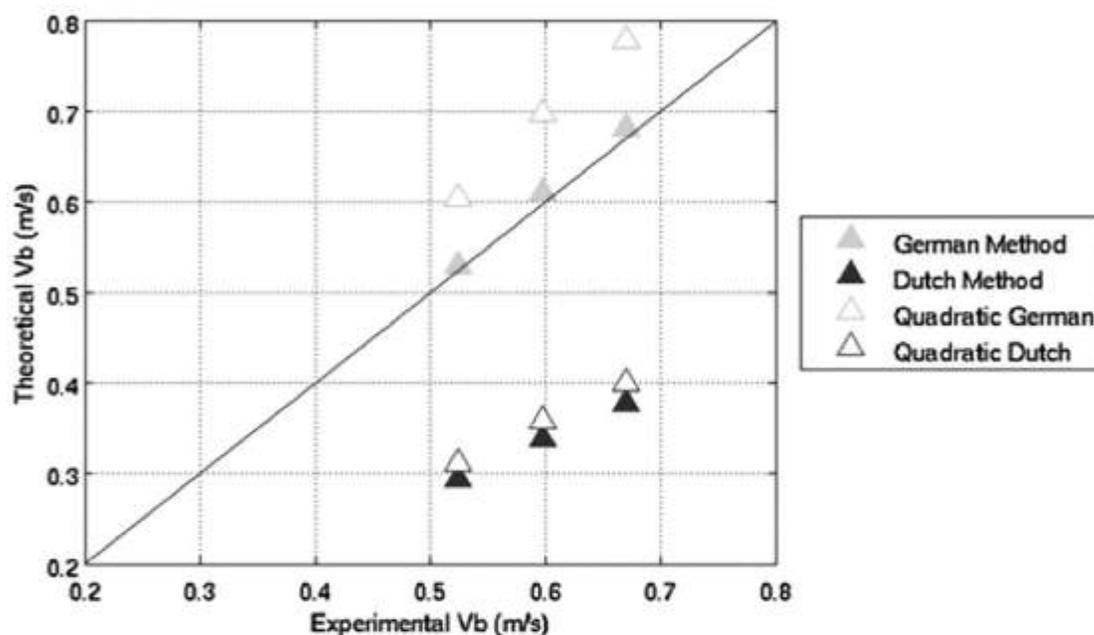


Figura 7. Confronto tra i valori teorici e sperimentali della massima velocità al fondo,  $V_{b,max}$ .

Gli esperimenti visti in questo studio sono ancora in fase di analisi. Ulteriori scenari saranno studiati con diversi setup di prova e aggiungendo sedimenti al fondo della vasca LaBassA che permetteranno di studiare e rilevare l'erosione prodotta dal sistema propulsivo.

## Conclusioni

La presente campagna sperimentale ha mirato allo studio degli effetti provocati dai sistemi propulsivi composti da doppia elica, in assenza di timone e in condizioni non confinate. Sono stati effettuati gli esperimenti con tre diverse velocità di rotazione delle eliche e una distanza fissa di sicurezza del sistema propulsivo rispetto al fondo. Il rilievo del campo di velocità dell'acqua è stato studiato utilizzando degli ADV installati in diversi punti della vasca LaBassA. I risultati sperimentali, in relazione alla teoria finora pubblicata, dimostrano che:

- la velocità di efflusso ottenuta durante gli esperimenti è chiaramente inferiore rispetto ai risultati teorici previsti;
- le formule proposte in letteratura per il calcolo della velocità assiale sovrastimano i risultati sperimentali;
- il Dutch method per le velocità assiali può essere utilizzato nel caso di doppia elica anche se sovrastima leggermente i risultati sperimentali;
- la velocità massima al fondo è sottostimata quando viene utilizzato il Dutch method indipendentemente dal metodo di sovrapposizione utilizzato;
- il German method, per doppia elica per il calcolo della velocità massima al fondo, è quello che più si adatta agli esperimenti oggetti di studio;
- la sovrapposizione quadratica dei getti multipli, se si utilizza il German method per singolo getto, sovrastima la velocità massima al fondo.

**Riconoscimenti**

Questo lavoro è stato sostenuto da MINECO (Ministero dell'Economia e la Competitività), da FEDER (Unione Europea- Fondo Europeo di Sviluppo Regionale "Una Manera de hacer Europa") e dal Governo Spagnolo attraverso il progetto BIA2012-38676-C03-01.

**Bibliografia**

- Albertson M.L., Dai Y.B., Jensen R.A., Hunter Rouse (1950) - *Diffusion of submerged jets*. ASCE Transactions Paper no. 2409, New York, pp. 639-664.
- Bergh H. & Magnusson N. (1987) - *Propeller erosion and protection methods used in ferry terminals in the port of Stockholm*. PIANC, 58: 112-120
- Hamill G. A. (1988) - *The scouring action of the propeller jet produced by a slowly maneuvering ship*. PIANC, 62: 85 - 110.
- Hamill G. A., Mcgarvey J. A. & Hughes D. A. B. (2010) - *Determination of the efflux velocity from a ship 's propeller*. Proceedings of the ICE - Maritime Engineering (June 2004), :83-91.
- Hamill G. & Johnston H. T. (1993) - *The decay of maximum velocity within the initial stages of a propeller wash*. Journal of Hydraulic Research, 31(5): 605-613.
- Johnston H. T., Hamill G., Wilson P. R. & Ryan D. (2013) - *Influence of a boundary on the development of a propeller wash*. Ocean Engineering, 61: 50- 55. <http://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2012.12.033>.
- PIANC. (2015) - *Report n° 180 - 2015 Guidelines for protecting berthing structures from scour caused by ships*.
- Stewart, D. P. J. (1992). *Characteristics of a ship's screw wash and the influence of quay wall proximity*. Tesi di laurea. Queen's University of Belfast.

## Individuazione delle *rip currents*: sviluppo, validazione e valutazione mediante l'utilizzo di modello numerico e immagini video-derivate

Luca Carpi

Università degli Studi di Genova, Corso Europa 26  
carpiluca89@gmail.com

### Introduzione

Le correnti cross shore, sono da tempo riconosciute come un rilevante processo responsabile dell'arretramento e dell'eventuale erosione delle spiagge (Short, 1985) e svolgono un ruolo fondamentale nei processi morfo-dinamici della spiaggia (Loureiro et al., 2011).

Negli ultimi anni si è assistito ad un incremento dell'interesse per quanto riguarda gli aspetti legati ai rischi che questi fenomeni comportano per l'attività balneare, in particolare lungo le coste di quei paesi affacciati su bacini oceanici, dove si possono generare *rip currents* anche di notevole intensità (Masselink et al., 2014). A tale proposito Austin et al. (2013), nel contributo "Rip Current Prediction: Development, Validation, and Evaluation of an Operational Tool", hanno proposto l'utilizzo della modellistica numerica e delle immagini video-derivate come strumenti per individuare, valutare e prevedere la formazione delle *rip currents*.

In questo studio si sono implementate le suddette tecniche di indagine in una porzione di litorale ligure, con lo scopo di individuare la presenza di *rip currents* e di valutarne la genesi.

### Materiali e metodi

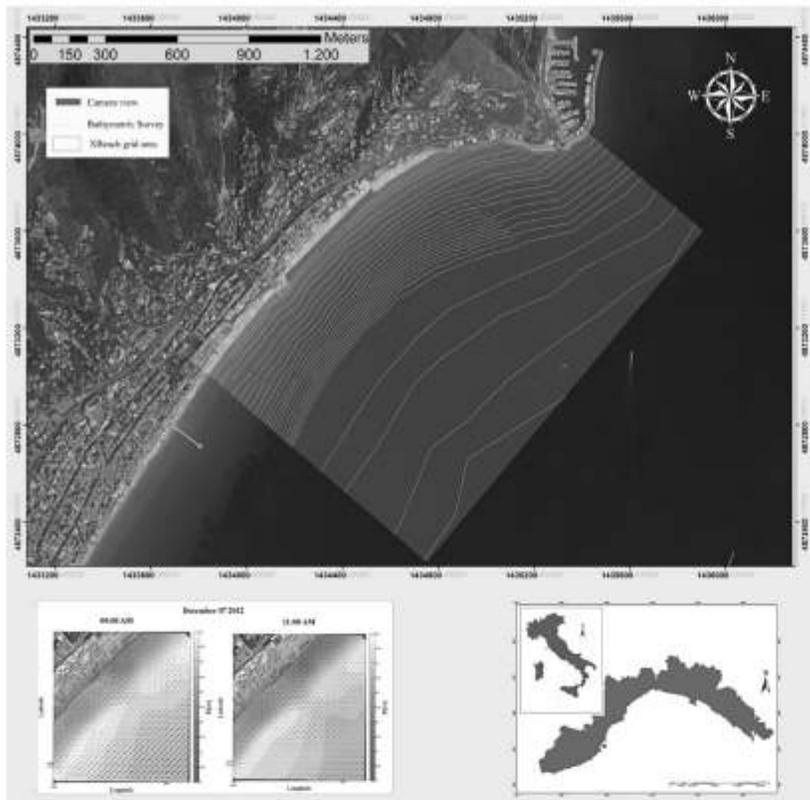
L'area di studio è situata ad Alassio, nella riviera ligure di ponente, all'interno dell'unità fisiografica che va da Capo Mele a Capo Santa Croce (Fierro et al., 2010).

Lo studio ha previsto l'applicazione sinergica della modellistica numerica e del videomonitoraggio costiero, allo scopo di individuare e valutare la genesi delle *rip currents*. In particolare è stata eseguita l'implementazione del modello numerico XBeach sull'area studio considerata, mentre per quanto concerne l'acquisizione delle immagini video-derivate, si è fatto riferimento alla rete di videomonitoraggio costiero predisposta nell'ambito del progetto ResMar (2007 – 2013). I dati relativi al clima meteo-marino sono stati acquisiti dalla boa ondometrica installata al largo di Capo Mele (SV).

L'indagine si è articolata in due fasi principali: una fase di analisi delle immagini video-derivate, avvalendosi di elaborazioni eseguite mediante il software Beachkeeper *plus*, sviluppato da Brignone et al. (2012), con l'obiettivo di individuare le correnti cross shore, la seconda fase dello studio ha riguardato aspetti di modellistica costiera, simulando le condizioni meteo-marine che avevano generato la formazione delle *rip currents*.

### Risultati e conclusioni

I risultati ottenuti hanno permesso la validazione del **modello numerico XBeach**. In particolare si sono rivelate risolutive le simulazioni effettuate per i fenomeni del 22/07/2012 e del 07/12/2012. In questi casi si è riscontrata una notevole congruenza tra i risultati ottenuti mediante la modellistica e quanto rilevato dall'analisi delle immagini video-derivate. XBeach è risultato dunque uno strumento affidabile per lo studio delle *rip currents*, permettendo altresì di definire quali siano le condizioni più appropriate per la genesi e sviluppo di correnti cross-shore nel caso studiato.



I risultati hanno dimostrato, in accordo con Austin et al. (2013), che la formazione delle *rip currents* non avviene in condizioni meteo-marine estreme, nello specifico si è osservato che le condizioni ideali per la genesi delle *rip currents* prevedono altezze d'onda significativa tra 0.5 e 1.5 metri. In condizioni caratterizzate da moti ondosi più sviluppati, non ne è stata registrata con regolarità la formazione.

I risultati ottenuti mediante la modellistica sono stati confrontati con i vettori di trasporto sedimentario calcolati secondo la metodologia proposta da Gao e Collins (1992) e presentati in Ferrari et al. (2014).

Figura 1. L'area di studio lungo il litorale di Alassio, in alto si evidenzia l'estensione della griglia computazionale di XBeach. In basso a sinistra un esempio degli output ottenuti.

Per quanto riguarda gli aspetti legati alla sicurezza balneare, derivanti dalla presenza delle *rip currents*, si può affermare che il modello XBeach sia un valido strumento da impiegare a supporto della previsione e prevenzione dei rischi a cui possono andare incontro i fruitori dei nostri litorali.

### Bibliografia

- Austin M.G., Scott T.M., Russell P.E., Masselink G. (2013) - *Rip current prediction: Development, Validation, and Evaluation of an Operational Tool*. J. Coast. Res., 29: 283-300.
- Brignone M., Schiaffino C.F., Isla F.I., Ferrari M. (2012) - *A system for beach video-monitoring: Beachkeeper plus*. Comp. e Geo., 49: 53-61.
- Ferrari M., Ferri S., Pranzini E., Rosas V., Schiaffino C.F. (2014) - *Dinamica sedimentaria della spiaggia di Alassio e valutazione dell'idoneità dei sedimenti di cava per il suo ripascimento artificiale*. Studi costieri, 22: 125 – 133.
- Fierro G., Berriolo G., Ferrari M. (2010) - *Le spiagge della Liguria occidentale – analisi evolutiva*. Regione Liguria, Genova, pp. 174.
- Gao S., Collins M., 1992 - *Net sediment transport patterns inferred from grain-size trends, based upon definition of transport vectors*. Sediment. Geol., 81: 47-60.
- Loureiro C., Ferreira O., Cooper J.A.G. (2012) - *Extreme erosion on high-energy embayed beaches: influences of megarips and storm grouping*. Geomorphology, 139-140: 155-171.
- Masselink G., Austin M., Scott T., Russel P. (2014) - *Rip currents, researching a natural hazard*. Geography review, 27, 37-41.
- Short, A.D. (1985) - *Rip current type, spacing and persistence, Narrabeen Beach, Australia*. Marine Geology, 65: 47-71.

## Modelli di trasporto sedimentario in ambiente costiero basati sulle caratteristiche tessiturali

Irene Cinelli

Università degli Studi di Firenze  
irene.cinelli@hotmail.it

Una componente essenziale della Gestione Integrata della Zona Costiera (GIZC) è l'analisi dei processi erosivi e l'impostazione di piani di difesa costiera.

In questo contesto l'identificazione della direzione del trasporto dei sedimenti permette di risalire alle cause dell'erosione, siano esse dovute ad una riduzione dell'input sedimentario da parte dei fiumi, sia ad opere di difesa o portuali costruite lungo la costa.

Le direzioni di trasporto possono essere determinate su base morfologica, petrografica e, sulla base di modelli numerici che dalle caratteristiche del moto ondoso determinano l'energia in grado di muovere i sedimenti lungo riva. Un metodo che ha preso sempre più campo è quello che si basa sul confronto fra le caratteristiche granulometriche dei sedimenti che formano la spiaggia emersa e sommersa, al fine di ottenere una correlazione tra le caratteristiche tessiturali del sedimento e i processi di erosione, trasporto, deposizione.

Ci si è posti l'obiettivo di testare alcuni dei metodi che sono stati sviluppati proprio per la determinazione delle direzioni di trasporto e di metterne in luce, quando possibile, vantaggi e criticità. Nell'utilizzo dei modelli che implicano analisi di caratteristiche tessiturali, si fa un ragionamento di tipo inverso, non si parte dalle cause del moto e si arriva agli effetti, ma bensì si analizzano questi per arrivare deduttivamente alle cause. I parametri granulometrici fondamentali utilizzati come base di partenza sono la Media ( $M_z$ ), la Classazione ( $\sigma_z$ ) e l'Asimmetria ( $Sk_z$ ) nella formulazione di Folk e Ward (1957).

Il confronto tra i parametri statistici di campioni raccolti lungo profili è, secondo McLaren (1981), in grado di fornire informazioni relative al senso di moto dei sedimenti costieri lungo quello specifico transetto secondo condizioni di "deposizione totale", "deposizione selettiva dopo erosione in condizioni di alta energia" e "deposizione selettiva dopo erosione in condizioni di bassa energia". Un metodo concettualmente simile, ma su di un campo bidimensionale, è stato sviluppato da Gao e Collins (1992), che però non discriminano fra le diverse condizioni energetiche che regolano i processi, si limitano infatti a individuare i trend.

Le Roux (1994) elaborò poi un metodo che non risulta altro che un'evoluzione di quello di Gao e Collins avendo infatti in comune con questo lo stesso trend di partenza, ma divergendo per il metodo di confronto dei valori di ciascun parametro con quelli dei campioni vicini.

Un altro tipo di approccio parte dall'ipotesi che le distribuzioni di frequenza dei sedimenti siano delle gaussiane, e quindi rappresentate da segmenti di retta in grafici log-probabilistici; essendo i sedimenti miscele di popolazioni "normali" i vari tratti di retta che ne descrivono la distribuzione totale sono associabili ai processi di erosione, trasporto e deposizione a cui essi sono stati soggetti (Spencer, 1963).

L'analisi modale proposta da Barusseau (1973), e riutilizzata successivamente da altri autori (Dias e Neal, 1990; Cortemiglia, 1978), può essere considerata di transizione tra i due casi visti in precedenza. In questo caso la descrizione del sedimento è affidata alla sola Moda, che si ritiene rappresentare popolazioni a distribuzione di frequenza gaussiana. Ultimo metodo considerato è il modello concettuale di Guillen e Hoekstra (1997) il quale, a differenza degli altri che consentono di determinare un'ipotetica direzione di trasporto di sedimenti, fornisce informazioni

sulla quantità di sedimento asportata dall'area oggetto del ripascimento e trasportata in direzione on-shore e off-shore. Quest'ultimo modello utilizza il valore della Media solo per un'analisi iniziale delle variazioni delle dimensioni dei sedimenti, facendo poi riferimento all'intera distribuzione granulometrica per valutare lo spostamento delle singole classi. Nonostante questo metodo consenta solo una valutazione degli spostamenti cross-shore, lo abbiamo analizzato, data l'importanza della valutazione dell'efficacia degli interventi di ripascimento artificiale. L'area studio scelta per l'applicazione dei metodi considerati è il litorale di Marina di Carrara, nel suo tratto posto a nord del porto. Dall'applicazione di ciascun metodo si è potuto mettere in luce i vantaggi e le criticità di ciascun modello e confrontare le direzioni di trasporto prodotte da ciascuno di essi.

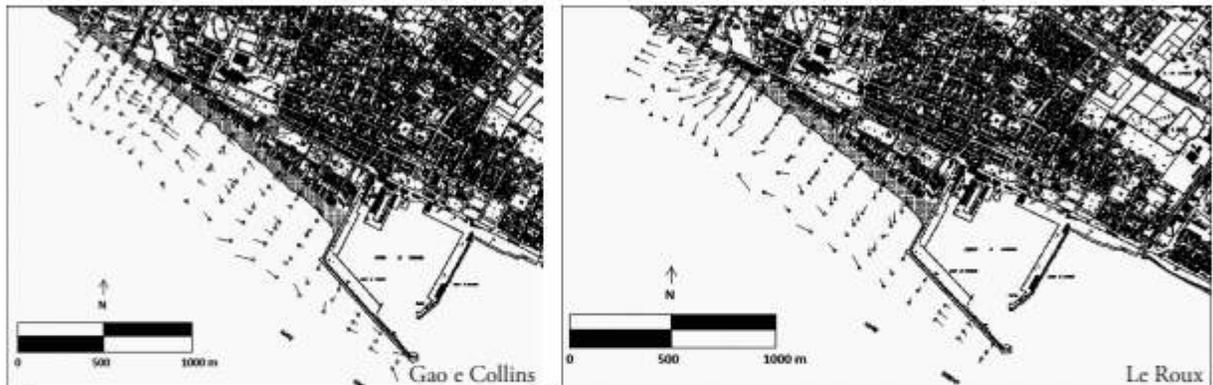


Figura 1. Esempio di confronto fra i metodi di Gao e Collins e Le Roux che hanno prodotto risultati analoghi.

In Figura 1 è riportato uno dei confronti effettuati, in particolare quello fra il metodo di Gao e Collins e quello di Le Roux. Si evince dalle figure che ci sono diverse analogie nell'individuazione delle direzioni di trasporto del sedimento. Il lavoro nel suo complesso ha avuto l'obiettivo di mettere in luce le criticità di ciascun metodo, per permettere di applicare il modello più adatto a ciascuna area al fine di dare risultati più veritieri possibile. Il modello di Gao e Collins può essere considerato, tra tutti quelli esaminati, uno dei metodi più accurati, in quanto effettua l'analisi delle direzioni di trasporto in ciascun punto di campionamento. Ha però anche un grande punto d'ombra, il fatto di dare a ciascun campione con cui si confronta quello considerato uno stesso peso e cioè considerare allo stesso modo variazioni diverse di uno stesso parametro tessiturale.

## Bibliografia

- Barusseau J.P. (1973) – *Evolution du plateau continental Rochelais (Golfe de Gascogne) au cours du Pleistocene terminal et de l'Holocene. Les processus actuels de la sedimentation*. Thèse de Doctorat d'État ès-Sciences Naturelles présentée à l'Université de Bordeaux I pour obtenir le grade de Docteur ès-Sciences.
- Cortemiglia G.C. (1978) – *Applicazione di curve di isodensità carbonatica per classi granulometriche modali nello studio della dinamica litorale*. Memorie Società Geologica Italiana, n. 19, p. 321-330.
- Dias J.M.A. e Neal W.J. (1990) – *Modal size classification of sands: an example from the Northern Portugal continental shelf*. Journal of Sedimentary Petrography, n. 60(3), p. 426-437.
- Folk R. e Ward W.C (1957) – *Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters*. Journal of Sedimentary Petrology, n. 27, p. 3-26.
- Gao S., Collins M. (1992) – *Net sediment transport patterns inferred from grain-size trends, based upon definition of "transport vectors"*. Sedimentary Geology, n. 80, p. 47-60.
- Guillén J., Hoekstra P. (1997) – *Sediment distribution in the nearshore zone: grain size evolution in response to shoreface nourishment (Island of Terschelling, The Netherlands)*. Estuarine, Coastal and Shelf Science, n. 45, p. 639-652.
- Le Roux J.P. (1994) – *A spreadsheet template for determining sediment transport vectors from grain-size parameters*. Computers & Geosciences, n. 20(3), p. 433-440.
- McLaren P. (1981) – *An interpretation of trends in grain size measures*. Journal of Sedimentary Petrology, n. 51(2), p. 611-624.
- Spencer D.W. (1963) – *The interpretation of grain-size distribution curves of clastic sediment*. Jour. Sed. Petr., 33, p. 180-190.

## **Progetto e realizzazione di un sistema client-server per la gestione di dati ondametrici**

**Davide Samuele Franchi**

Università degli studi di Firenze, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale  
davide.samuele.franchi@virgilio.it

I dati ondametrici possono derivare da varie fonti, come una rete ondametrica o da simulazioni numeriche di hindcasting o forecatsing.

I risultati ottenuti necessitano di una serie di procedure che, in conclusione, renderà i dati disponibili e di facile consultazione per il loro utilizzo nei campi tecnici e scientifici.

In ambito ambientale, lo sviluppo di una procedura di gestione di dati meteo-oceanografici è di fondamentale importanza per coadiuvare i numerosi studi necessari alla comprensione delle dinamiche della costa, permettendo di operare nella giusta direzione per quanto riguarda la gestione del litorale.

Dal punto di vista ingegneristico i dati ondametrici sono fondamentali nella progettazione delle opere di protezione del litorale, per la comprensione dell'efficacia delle opere stesse e per la definizione dello stato locale del mare e allo scopo di rendere più sicura la balneazione e la navigazione.

L'obiettivo principale di questo lavoro è consistito nella progettazione e realizzazione di un sistema informatico basato su un approccio client-server con interfaccia web-browser atto all'acquisizione, validazione, archiviazione, distribuzione e visualizzazione (tramite grafici e tabelle) di dati ondametrici derivanti da fonti generiche come boe ondametriche e modelli di simulazione numerica.

Il sistema permette all'utente di interrogare i dati raccolti e messi a disposizione, con la possibilità di visualizzazione, analisi e memorizzazione.

Nel sistema client-server l'utente può accedere ad un sito web dedicato, effettuando una richiesta tramite query.

Sulla base dell'interrogazione realizzata, la risorsa richiesta viene resa disponibile tramite una connessione al server, che ha il compito di gestire gli accessi al database e di restituire le tipologie di elaborazioni disponibili.

I dati che vengono gestiti sono relativi all'altezza d'onda significativa ( $H$ ), al periodo significativo ( $T$ ) e alla direzione di propagazione del moto ondoso ( $D$ ).

Il sistema si suddivide nelle seguenti componenti:

1. Componenti gestionali: realizzazione del contenitore (il database e le relative tabelle) effettuata con il software freeware MySQL insieme al programma di interfacciamento con il database Phpmyadmin;
2. Procedura di acquisizione dei dati: il sistema di programmi necessari, costruiti in linguaggio php, affinché il dato venga prelevato dalla fonte, qualunque essa sia, e caricato all'interno del database;
3. Gestione dei dati: processi relativi al loro controllo e validazione. Un dato non errato e validato potrà essere soggetto a successiva elaborazione;
4. Interrogazione ed elaborazione dei dati: componente dedicata all'utilizzatore finale che può essere così visualizzato in tabelle e grafici.

Il dato viene richiamato ed elaborato sulla base della richiesta effettuata dall'utente. Tale richiesta viene interpretata, direttamente dal sistema di gestione dedicato, come una query inviata direttamente al database. L'elaborazione avviene sotto forma di tabelle e grafici ed ha richiesto l'uso del linguaggio di programmazione php, utile nella realizzazione e gestione di pagine web dinamiche.

L'insieme dei programmi usati si trova all'interno del pacchetto "XAMPP", il quale consiste in una piattaforma di gestione dati totalmente freeware, capace di far interagire strumenti differenti e di essere modificata in funzione delle necessità dello sviluppatore.

La restituzione lato utente avviene in maniera tale che l'utilizzatore possa selezionare fonte e tipologia di dati da visualizzare ed elaborare tramite consultazione di un sito web, nel quale si trovano mappe con segnaposto interattivi. Viene infine offerta la possibilità di scegliere fra tre tipologie di elaborazioni (tabella, grafico e rosa per le altezze d'onda in funzione della direzione di propagazione).

Questo sistema rappresenta un valido strumento per la memorizzazione e l'interrogazione di dati storici a supporto delle analisi statistiche finalizzate alla comprensione dello stato locale del mare.

### **Ringraziamenti**

L'attività di ricerca descritta in questo lavoro viene condotta nell'ambito del progetto NEMO – Numerical and Experimental Methods for OffShore Renewable Energies – Coordinatore Lorenzo Cappiotti – Università degli Studi di Firenze.

## Medonia

Clelia De Simone

Università di Roma "La Sapienza", Via Flaminia 70 - Roma  
cle.desimone@gmail.com

Il progetto *Medonia* costituisce un contributo da parte del design alla problematica della gestione costiera dello spiaggiamento di biomasse vegetali, in cui si propone una risposta innovativa al riuso di tali biomasse, nel rispetto del loro ciclo biologico naturale. I residui di biomassa spiaggiati lungo i litorali a vocazione turistica rappresentano un disagio poiché interferiscono con la fruizione delle spiagge. Nel corso del Progetto Life PRIME è stato stimato che questa problematica coinvolge circa il 64% dei paesi costieri mediterranei. Secondo un'indagine effettuata dall'ENEA, attraverso una analisi di questionari distribuiti a Favignana tra il 2012 e il 2013, circa il 60% dei turisti che frequentano l'arcipelago delle Isole Egadi associa ai depositi spiaggiati disagi riconducibili ad un fattore estetico (35%), al cattivo odore (35%), o alla ridotta superficie di spiaggia utile per la balneazione (30%); (Cappucci, 2015a). Oggi, a causa dello sviluppo delle attività turistico-balneari, alle spiagge sono imposte condizioni di totale artificialità; in particolare la manutenzione e la pulizia meccanizzata degli arenili comportano la rimozione delle masse vegetali. Per questo motivo il materiale raccolto dalle spiagge nel 50% dei casi viene smaltito come rifiuto urbano esterno, i cui costi gravano direttamente sui contribuenti (ISPRA, 2010). Recentemente, molti progetti nazionali e internazionali quali COST-CO, POSIDuNE, PRIME, hanno studiato la possibilità e la fattibilità del riutilizzo della biomassa spiaggiata per evitare lo smaltimento in discarica. Tra questi vi è il sottoprogetto GE.RI.N. (Gestione Risorse Naturali), realizzato a Favignana nell'ambito del programma "Eco-innovazione Sicilia", che ha previsto la realizzazione di *sacche* in fibra naturale riempite di biomasse spiaggiate. Realizzando tali federe si sono liberate alcune spiagge, dai depositi delle piante marine, restituendole ad una piena fruizione turistica nel periodo di maggiore affluenza (Cappucci, 2015a).

In questo senso, *Medonia* si propone come un sistema innovativo di imbottiti multifunzionali, concepiti in particolare, per il recupero e il riutilizzo di biomasse vegetali spiaggiate al fine di aumentare la capacità di carico degli arenili e rendere fruibili superfici di costa rocciosa altrimenti non balneabili (Fig. 1).

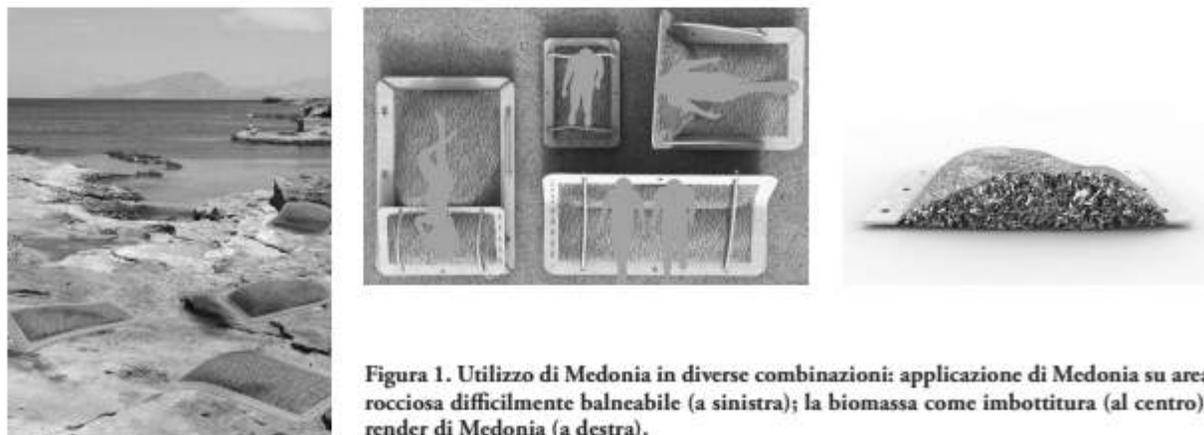


Figura 1. Utilizzo di *Medonia* in diverse combinazioni: applicazione di *Medonia* su area rocciosa difficilmente balneabile (a sinistra); la biomassa come imbottitura (al centro); render di *Medonia* (a destra).

Il metodo utilizzato si basa su una procedura sequenziale e interattiva di elaborati progettuali realizzati con software proprietari per la modellazione 3D finalizzata al controllo dimensionale, ergonomico (Rhinoceros®, Illustrator®), e su una successiva analisi del rapporto utente-prodotto-ambiente-servizio (Keyshot®, Photoshop®). Tra i risultati raggiunti vi è stato anche un prototipo scalare, che si trova ora ad un Livello di Maturità Tecnologica (TRL) pari a 6-7. (De Simone, 2015). Il processo parte da un'accurata raccolta e smistamento dai possibili rifiuti presenti fra i cumuli della biomassa. Le strutture a *cuscino* vengono riempite e, durante la stagione estiva diventano superfici che l'utente può utilizzare per la balneazione (Fig. 1). Terminato il periodo, gli elementi saranno svuotati per rilasciare la biomassa, in modo da portare avanti il suo naturale ciclo biologico. Inoltre, tali strutture, connesse con un telaio di supporto, possono diventare coperture solari temporanee da utilizzare nella balneazione (Fig. 2 sinistra): la presenza degli occhielli passanti lungo i bordi del cuscino permette di far passare delle corde e quindi connettere sia diversi punti di un singolo cuscino, sia più cuscini tra di loro (Fig. 2 destra).



Figura 2. Diverse applicazioni di Medonia con un telaio per installazioni balneari temporanee (sinistra). Particolare del metodo di connessione con occhielli passanti e corde (destra).

Gli scenari per gli sviluppi futuri sono molteplici poiché ad oggi sono in fase di perfezionamento nuovi regolamenti delle concessioni demaniali basate sull'utilizzo dei prodotti implementati nell'ambito dei progetti GERIN e MEDONIA e numerose sono le manifestazioni di interesse con aziende specializzate in bioplastiche degradabili come Novamont (MaterBi®, 2006) e APISPA (APINATbio®, 2013), per la sostituzione di alcuni materiali e materie prime. Questa strategia, grazie al design espone e cambia il modo di *vedere* la biomassa che, una volta utilizzata a favore degli spiaggianti, dona alla balneazione solo valori aggiunti: aumenta lo spazio e la *carrying capacity* delle spiagge più piccole. Ciò permette di *nascondere* i cumuli agli utenti che spesso ne lamentano la presenza; può sostituirsi ai tradizionali arredi da spiaggia, migliorando soprattutto il *comfort* sugli affioramenti rocciosi e al contempo l'impatto visivo con l'habitat circostante. Medonia può essere un modo nuovo di vivere la balneazione, che sensibilizzi l'utenza a riconsiderare la biomassa spiaggiata come parte integrante del paesaggio costiero e come tale preziosa per salvaguardarlo e proteggerlo. Considerando che in Italia dieci, delle sedici regioni che affacciano sul mare devono fronteggiare il problema della gestione delle biomasse vegetali arenate per un totale di circa 28.000 concessioni demaniali date a soggetti privati, il potenziale di posti di lavoro e vantaggio economico di questa tecnologia può dare vita ad una programmazione territoriale che favorisca, a livello locale, il sistema produttivo e l'economia (Cappucci *et al.*, 2015).

### Bibliografia

- APISPA (2013) - *ApintaBio. Bioplastic*. [http://www.apiplastic.com/download/d7c281d\\_apinat1114.pdf](http://www.apiplastic.com/download/d7c281d_apinat1114.pdf)
- Cappucci S. (2015) - *Gestione delle risorse naturali. Task 3*. <http://progettoegadi.enea.it/it/gestione-delle-risorse-naturali>.
- Cappucci S., Creo C., Cristallo V., De Simone C., Donati S., Russo M., Simoncelli I. (in stampa) - *Multifunctional structure Made with beached biomasses: a patent of the GE.RI.N project*. ENEA Energia Ambiente Innovazione, pp. 6-11.
- Mater-Bi® (2006) - *Che cos'è. Biodegradabile e compostabile per natura*. <http://materbi.com/mater-bi/>

## Studio propedeutico alla progettazione di un'opera di difesa della falesia tramite l'utilizzo del modello matematico XBeach-G

Elisa Mammi

Università degli Studi di Genova, Corso Europa 26  
elisa.mammi88@gmail.com

### Introduzione

Durante eventi estremi le onde di tempesta possono essere causa di ingenti danni al territorio ed alle infrastrutture costiere. Per descrivere e contrastare questi eventi eccezionali sono stati spesso utilizzati modelli matematici empirici (cf. Bradbury et al., 2005; Obhrai et al., 2008) ed anche per lo svolgimento di questo studio se n'è fatto uso utilizzando il modello XBeach-G (Deltares). Il lavoro è consistito in uno studio idromorfodinamico finalizzato alla progettazione di un'opera di difesa sommersa posta a protezione della falesia situata a ponente della baia ciottolosa di Sori. L'ipotesi di progetto ha previsto la realizzazione di un versamento di materiale di risulta, costituito da massi e blocchi, nella spiaggia sottomarina con lo scopo di rendere il profilo morfodinamico più dissipativo e ridurre l'energia dell'onda che investe la falesia.

### Materiale e metodi

L'utilizzo del software XBeach-G ha permesso di formulare alcune ipotesi relative alla forma, dimensione e posizione della struttura sommersa e le conseguenti modifiche al moto ondoso apportate dalle differenti configurazioni. XBeach-G è una versione facente parte del più comune e noto software XBeach, sviluppato per analizzare l'impatto che hanno le onde di tempesta su spiagge ghiaiose (Donchyts e Jagers, 2010). XBeach-G differisce dalla versione madre per l'impiego di un solo profilo di profondità media, modello 1D e per l'impiego di una estensione non idrostatica (Smit et al., 2010) simile al modello SWASH (Smit et al., 2013; Zijlema et al., 2011). Questo permette al modello di risolvere il flusso onda per onda e le variazioni alle superfici di elevazione dovute alle onde corte ed intermedie in fondali poco profondi.

Sono stati inoltre riprodotti 5 diversi scenari in funzione del posizionamento della barriera, ossia:

- Il primo scenario mostra la situazione del profilo cross-shore ricostruita grazie ai dati registrati dal single beam, tale situazione non ha previsto nessuna modifica;
- nel secondo scenario si è supposto di versare 5000 di materiale ad una profondità compresa tra i due ed i sei metri;
- il terzo scenario è stato invece rivisto ipotizzando un innalzamento complessivo di un metro sull'intero profilo ed è risultato essere per tali motivi il più oneroso;
- nel quarto scenario si è supposto di versare una quantità di materiale pari a circa 15000 a partire dallo zero fino ai sei metri di profondità;
- il quinto ed ultimo scenario ha previsto invece un'ipotesi di ripascimento pari a circa 5000 spingendosi non oltre alla batimetrica dei due metri.

Il modello è stato implementato con lo spettro di JONSWAP, con i dati d'onda desunti dall'atlante del mediterraneo "MEDATLAS" (Gaillard et al., 2004). Il valore del diametro medio utilizzato (D50) è pari a 2 mm e la conduttività idraulica corrisponde a 3 mm/sec. Questi valori sono stati desunti dalle analisi granulometriche dei campioni di sedimento prelevati in concomitanza con le indagini batimetriche effettuate.

Infine le differenti quote di Run-up 2% sono state calcolate su circa 2 ore di elaborazione con un time-step di circa 20 minuti.

### Risultati

Il confronto dei risultati ha permesso l'individuazione dello scenario più efficiente in termini di riduzione del run-up e dell'energia dell'onda, che come si può osservare dalla tabella è risultato essere la configurazione 5. Per quanto concerne invece i risultati relativi alle onde estreme, l'ipotesi due ha mostrato un risultato migliore rispetto allo scenario appena descritto. Infatti per onde gravose con altezza di 3,4m e periodo di 10,2s il run-up subisce una battuta d'arresto pari a 51cm e se si considera l'onda massima con altezza di 4,7 metri di addirittura 84 cm.

**Tabella 1. Risultati del Modello XBeach-G, Sc = scenario esprime il valore adimensionale del run-up 2%.**

$H_o$ (m)	$T_p$ (s)	1	2	3	4	5
0,27	4,2	0,05	0,03	0,03	0,012	0,01
0,71	4,2	0,18	0,14	0,08	0,03	0,02
1,22	4,8	0,46	0,24	0,25	0,13	0,1
1,72	5,8	0,8	0,68	0,64	0,45	0,58
2,44	7,7	1	0,83	1,06	0,7	0,87
3,4	10,2	1,5	0,99	1,83	1,16	1,22
4,7	11,9	1,97	1,13	1,92	1,59	1,54

### Conclusioni

Il modello matematico elaborato per lo scenario 5 ha fornito risultati soddisfacenti date le caratteristiche dell'opera di difesa, rispetto allo scenario 3 che prevedeva un utilizzo maggiore di sedimenti pari a 15000 , lo scenario 5 è inoltre il più economico impiegando solo 5000 di materiale. Lo stesso scenario è risultato essere anche il meno impattante per l'ambiente in quanto ha previsto il versamento di materiale fino ad una profondità di 2 m.

Tale modello verrà successivamente validato tramite l'impiego di immagini videoderivate ed elaborate mediante il software Beachkeeper plus (Brignone et al. 2012). L'ipotesi di effettuare un ripascimento con materiale di risulta è dunque funzionale all'obiettivo che ci si era posti inizialmente. L'impiego del software XBeach-G per le spiagge in ghiaia ha rappresentato uno dei primi casi di utilizzo di tale software in campo nazionale. Se le future osservazioni sperimentali confermeranno questi risultati l'indagine potrà rappresentare un valido test preliminare per l'applicazione di XBeach-G anche in ambiente Mediterraneo.

### Bibliografia

- Bradbury A., Cope S., Prouty D., 2005. *Predicting the response of shingle barrier beaches under extreme wave and water level conditions in southern England*. Proc. 5th International Coastal Dynamics Conference, Barcelona, Spain.
- Brignone M., Schiaffino C.F., Isla F.I., Ferrari M., 2012. *A system for beach video-monitoring: Beachkeeper plus*. Comp. e Geo., 49, 53-61.
- Donchyts, G. & Jagers, H. R. A. 2010, *DeltaShell – an open modelling environment*, in D. A. Swayne; W. Yang; A. A. Voinov; A. Rizzoli & T.
- Gaillard, P., Ravazzola, P., Kontolios, C., Arrivet, L., Athanassoulis, G.A., Stefanakos, C.N., Gerostathis, P., Cavaleri, L., Bertotti, L., Sclavo, M., Ramieri, E., Dentone, L., Noel, C., Viala, C., Lefevre, J.M., 2004. *Wind and wave atlas of the Mediterranean Sea*. Software version.
- Obhrai, C., Powell, K., Bradbury, A., 2008. *A laboratory study of overtopping and breaching of shingle barrier beaches*. Proceedings of 31st International Conference on Coastal Engineering, Hamburg, Germany.
- Smit, P., Stelling, G., Roelvink, J., Van Thiel De Vries, J., Mccall, R., Van Dongeren, A., Zwinkels, C., Jacobs, R., 2010. *XBeach: non-hydrostatic model: validation, verification and model description*. Tech. Rep. Delft University of Technology.
- Smit, P., Zijlema, M., Stelling, G., 2013. *Depth-induced wave breaking in a non-hydrostatic, near-shore wave model*. Coast. Eng. 76 (0), 1-16.

## Mappatura dei *beach ridges* nel delta del Fiume Ombrone (Toscana)

Irene Mammi

Università degli Studi di Firenze, Via Micheli 6 - 50121 Firenze  
irene.mammi@unifi.it

I delta sono aree costiere dove si concentra un'elevata porzione della popolazione e della biodiversità. Si tratta di ambienti "fragili", il cui equilibrio dinamico è legato all'input fluviale, alle condizioni meteo-marine e alle maree. Questo studio riguarda il delta del fiume Ombrone (GR) che secondo Galloway (1975) è classificato come un wave dominated delta ovvero influenzato principalmente dall'azione del moto ondoso. La forma del delta in esame è generalmente cuspidata e ha assunto una morfologia più asimmetrica nella fase di più alto apporto sedimentario. La pianura deltizia è attraversata da cordoni litoranei (*beach ridges*), *foredunes* e dune. La genesi dei *beach ridges* è molto dibattuta in bibliografia; Johnson (1919) e Davies (1958) per primi attribuiscono *beach ridges* piccoli e poco distanziati ad una rapida sedimentazione mentre periodi di riduzione dell'input sedimentario favorirebbero la formazione di *beach ridges* più grandi, più distanti e con profili più irregolari. Secondo Bhattacharya e Giosan (2003), queste morfologie permettono di discriminare l'area updrift e downdrift del delta. Diversi autori fra cui Komar (1973), Ashton e Giosan (2011), considerano in questa distinzione anche le conseguenze dovute alle direzioni di provenienza e alle intensità del moto ondoso ed ipotizzano un accrescimento maggiore della parte updrift dei delta. Pranzini (2007) identifica inoltre dei pattern geometrici che diversi set di *ridges* formano tra loro secondo le diverse fasi di erosione e accrezione di un delta.

L'obiettivo di questo studio è quello di comprendere le diverse fasi evolutive del delta attraverso l'analisi della cartografia storica e la mappatura dei *ridges* e dei loro pattern. Quest'ultima è stata effettuata mediante l'analisi dei dati LIDAR; questi sono stati acquisiti dal Ministero dell'ambiente nel 2008, elaborati in DTM e DSM con una accuratezza altimetrica decimetrica e con celle di 1x1 metro e 2x2 metri (Fig. 1). Successivamente, sono stati elaborati con ArcGis 10.1 e Fledermaus al fine di ottenere carte di slope (pendenza), aspect (esposizione rilievo) e modelli 3D. A Maggio 2015 è stato eseguito un rilievo di campagna mediante strumentazione GPS RTK e Stazione Totale al fine di valutare l'accuratezza dei dati LIDAR.

Il delta del fiume Ombrone ha visto come principali fasi evolutive un accrescimento dal periodo Romano, interrotto da un evento erosivo medioevale, a cui è seguita un'espansione fino alla fine dell'Ottocento. Da allora la foce delta risulta essere in erosione. Tenendo conto dei vari modelli presenti in letteratura e delle evidenze geomorfologiche derivate dall'analisi dei dati Lidar e delle linee di riva, sono stati ipotizzati due modelli evolutivi caratteristici dell'area in esame: uno per le sue fasi di accrescimento e il secondo per quelle erosive. Questi sono stati utili per una migliore comprensione delle principali fasi evolutive storiche ed al riconoscimento di ulteriori eventi di minor entità.

Nel modello in accrescimento il trasporto fluviale risulta predominante rispetto al drift litoraneo ed il materiale tende ad accumularsi maggiormente sul lato updrift (Sud). Qui l'analisi dei profili topografici tracciati dal DTM mostra *ridges* più piccoli e più ravvicinati (Fig. 1, destra) mentre la parte downdrift presenta una morfologia più frastagliata per fenomeni prevalenti di attaccamento delle barre che formano linee di riva più discontinue e una maggiore presenza di canali e stagni. Qui la forma dei *ridges* risulta invertita, ovvero *ridges* più alti e distanti e con profili più irregolari.

Lo schema di comportamento dell'Ombrone in fasi di erosione è desunto invece dalle analisi delle linee di riva dal XIX secolo ad oggi. In questa periodo infatti la foce ha subito una forte erosione ed il sedimento è stato

distribuito su entrambi i lati del delta, con una tendenza però progressiva del trasporto verso il lato downdrift (Nord) (Aminti e Pranzini, 1990). Per quanto riguarda i profili questi mostrano *ridges* alti e distanti, tipici di fasi di minor apporto sedimentario. Nel lato downdrift, soggetto maggiormente alla deposizione del materiale eroso dalla foce, i profili evidenziano anche sequenze miste con *beach ridges* più piccoli e ravvicinati.

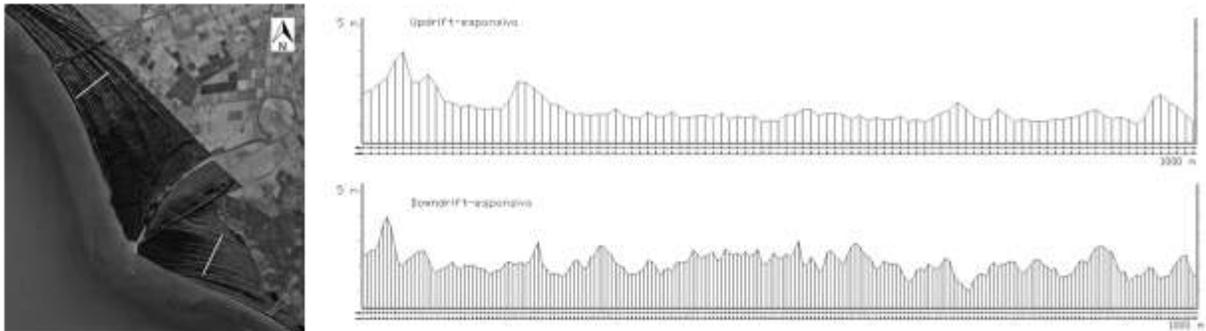


Figura 1. DTM da dati Lidar in cui si vedono i beach ridges del delta dell'Ombrone e profili topografici estratti degli stessi (rapporto di scala 30:1). In alto uno rappresentativo del lobo settentrionale e in basso uno del lobo meridionale. I tratti rappresentati sono relativi alla fase di espansione del delta a partire dal 1400 c.a.

## Bibliografia

- Aminti P. L., Pranzini E. (1990) - *Variations in longshore sediment transport rates as a consequence of erosion in a cusped delta*. LITTORAL: 130-134.
- Anthony E. J. (2015) - *Wave influence in the construction, shaping and destruction of river delta: A review*. Marine Geology, 361: 53-78.
- Ashton A.D., L. Giosan (2011) - *Wave-angle control of delta evolution*. Geophysical Research Letters, Vol. 38, 13: 1-6.
- Bhattacharya J.P., Giosan L. (2003) - *Wave-influenced delta: geomorphological implication for facies reconstruction*. Sedimentology, 50: 187-210.
- Davies J.L. (1958a) - *Analysis of Height Variation in Sand Beach-ridges*, Australian Journal Science, Vol. 21:51-52.
- Galloway, W.E. (1975) - *Process framework for describing the morphologic and stratigraphic evolution of deltaic depositional systems*. Deltas, Models for Exploration, Houston Geological Society: 87-98
- Johnson D.W. (1919) - *Shore Processes and Shoreline Development*, Wiley, New York p. 584
- Komar P. D. (1973) - *Computer Models of Delta Growth due to Sediment Input from Rivers and Longshore Transport*. Geological Society of America Bulletin, 84: 2217-2226.
- Pranzini E. (2007) - *Airborne LIDAR survey applied to the analysis of the historical evolution of the Arno River delta (Italy)*. Journal of Coastal Research, SI 50: 400-409.
- Taylor M., Stone G. W. (1996) - *Beach-Ridges: A Review*. Journal of Coastal Research, 12: 612-621.

## Modellistica numerica per la ricostruzione del moto ondoso nel Mediterraneo

Dario Pelli

DICEA, Università degli Studi di Firenze  
dario.pelli@unifi.it

L'articolo descrive il primo obiettivo raggiunto nell'ambito del più ampio lavoro di dottorato dell'autore, il quale ha la finalità di mettere a punto un sistema basato sulla modellistica numerica capace di ricostruire e prevedere il moto ondoso, dal largo fino alla zona costiera. La problematica principale del lavoro è quella di avere presenti nella stessa catena di modellazione processi fisici da analizzare con diverse scale, sia di spazio che di tempo. Il primo passo nello svolgimento del lavoro è stato quello di capire quali sono i processi fisici coinvolti dalla formazione del moto ondoso in mare aperto, fino alla dissipazione delle onde a costa. Attraverso un'accurata ricerca bibliografica, sono stati individuati i principali processi legati alla formazione del moto ondoso: trasferimento di energia dal vento alle onde ed interazioni non lineari fra onde; ed i processi relativi alla dissipazione del moto ondoso: "whitecapping", ovvero frangimento in acque alte, attrito sul fondale marino e frangimento dovuto alla profondità limitata del fondale. In seguito sono stati analizzati i pregi ed i difetti dei modelli esistenti in letteratura, capaci di simulare i fenomeni fisici elencati in precedenza. Attraverso una matrice di valutazione sono stati selezionati i seguenti modelli per costituire la catena di modellazione: WAVEWATCH III (WWIII - Tolman, 2015), SWAN (SWAN Team, 2014) e SWASH (Zijlema et al., 2011).

In questo lavoro si presenta la realizzazione del primo livello della catena di modelli numerici, basato sul modello spettrale di terza generazione WWIII (Fig. 1).

Il modello spettrale WWIII è costituito ad un insieme di file contenenti diverse schematizzazioni per i diversi processi fisici legati al moto ondoso. A seconda di come il modello viene compilato, avremo una risposta diversa nella simulazione del moto ondoso, con risultati diversi.

Durante questo studio il modello è stato compilato con due diverse schematizzazioni per quanto riguarda i processi legati alla formazione del moto ondoso in mare aperto: quello di Tolman e Chalikov (1996) (abbreviato a TC) e quello di Ardhuin et al. (2010) (abbreviato ad AR). Queste due schematizzazioni rappresentano i processi fisici di trasferimento di energia dal vento alle onde e di "whitecapping", fondamentali per risolvere lo sviluppo e la propagazione del moto ondoso in

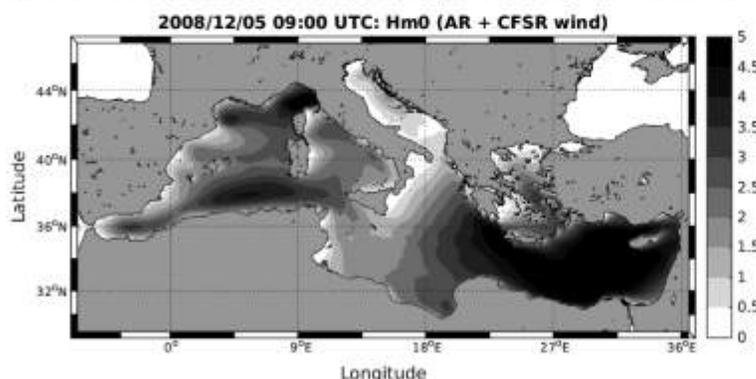


Figura 1. Esempio di campo di moto ondoso ( $H_{m0}$ ) ottenuto con il modello WWIII compilato con la schematizzazione di Ardhuin et al. (2010) e forzato con dati di vento CFSR (NOAA).

acque alte. Per la validazione del modello sono state ricostruite 5 delle maggiori tempeste verificatesi nel Mar Mediterraneo negli ultimi 10 anni. Le simulazioni sono state effettuate con WWIII, compilato con le due differenti schematizzazioni, su una griglia di calcolo che rappresenta il Mar Mediterraneo con risoluzione di

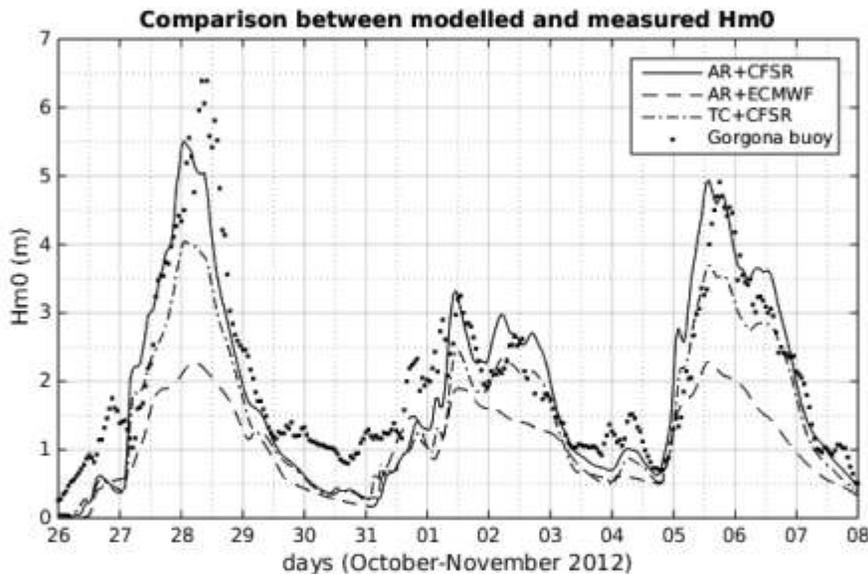
0,05° (circa 5 km). Il modello è stato forzato con dati di vento provenienti da due banche dati pubbliche: il CFSR (Climate Forecast System Reanalysis) del NOAA, ed il ERA-Interim del ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts).

La validazione del modello è stata fatta comparando i risultati delle simulazioni, per quanto riguarda il parametro di altezza significativa ( $H_{m0}$ ), e le misurazioni effettuate dalle boe ondometriche di La Spezia (Rete Ondametrica Nazionale) e Gorgona (Regione Toscana).

Valutando i risultati, sia da un punto di vista grafico (vedi esempio in Fig. 2) che da un punto di vista statistico, è risultato evidente che WWIII forzato con i dati di vento ERA-Interim sottostima molto l'altezza di onda significativa, tanto è vero che visti i primi risultati non è sembrato necessario procedere con le simulazioni con il modello in assetto TC forzato con dati di vento ECMWF. Inoltre, è emerso che anche il modello compilato con la schematizzazione TC tende a sottostimare l'altezza d'onda significativa.

Questo comportamento è stato confermato in tutte e 5 le tempeste ricostruite, dove il miglior assetto di WWIII è sempre risultato quello del modello compilato con la schematizzazione AR e forzato con dati di vento CFSR, dove si registrano bias che vanno da -0,54 m a -0,15 m.

**Figura 2.** Comparazione delle serie temporali dell'altezza d'onda significativa ( $H_{m0}$ ) ricostruita da WWIII con i 3 diversi assetti



e misurata dalla boa dell'isola di Gorgona (Toscana) per l'evento di ottobre-novembre 2012.

### Ringraziamenti

L'attività di ricerca descritta in questo lavoro viene condotta nell'ambito del progetto NEMO – Numerical and Experimental Methods for OffShore Renewable Energies – Coordinatore Lorenzo Cappiotti – Università degli Studi di Firenze.

### Bibliografia

- Ardhuin, F., Rogers W.E., Babanin A.V., Filipot J.-F., Magne R., Roland A., van der Westhuysen A., Queffelec P., Lefevre J.-F., Aouf L. e Collard, F. (2010) - *Semiempirical Dissipation Source Functions for Ocean Waves. Part I: Definition, Calibration, and Validation*. Journal of Physical Oceanography, 40(9): 1917–1941.
- SWAN Team (2014) - *User Manual SWAN Cycle III version 41.01*. TU Delft.
- Tolman, H.L. (2015) - *User manual and system documentation of WAVEWATCH III 5.08*. NCEP.
- Tolman, H.L. e Chalikov, D. (1996) - *Source Terms in a Third-Generation Wind Wave Model*. Journal of Physical Oceanography, 26: 2497–2518.
- Zijlema, M., Stelling G. e Smit P. (2011) - *SWASH: An operational public domain code for simulating wave fields and rapidly varied flows in coastal waters*. Coastal Engineering 58 (10): 992-1012.

## La cartografia storica per la lettura della dinamica dei litorali (secc. XVI-XIX) L'esempio di Bocca d'Arno

Marco Piccardi

Università degli Studi di Firenze, Via La Pira, 4 - 50121 Firenze  
m.piccardi@tin.it

### Introduzione

Negli studi sul litorale pisano – livornese manca una trattazione organica sulla dinamica delle foci negli ultimi cinquecento anni. Naturalmente, in letteratura si incontrano informazioni e rapporti sugli interventi più importanti ai tratti finali dei fiumi e così anche per le ricostruzioni di paleo alvei di cui però spesso manca una precisa sistemazione cronologica.

Di contro ad un non agevole confronto tra i dati, anche discordanti, prodotti nei diversi studi che hanno guardato alla dinamica di questa fascia litoranea, resta il fatto che, a partire dal Cinquecento, le ricostruzioni possono essere confortate prima dall'emergere e poi dalla diffusione di un'ampia produzione cartografica che, una volta sottoposta ad analisi critico comparativa nonché rapportata all'ancor più abbondante messe di fonti descrittive, è in grado di definire, ad un ritmo sempre più serrato, dei punti fermi sull'evoluzione della linea di costa toscana.

Lo studio è parte di un'indagine più ampia che il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Firenze dedica alle quattro foci della piana pisano– livornese (Arno, Serchio, Fiume Morto, Calambrone).

### Analisi critica del thesaurus iconografico

La Toscana conserva un eccellente patrimonio storico iconografico in buona parte dedicato al litorale regionale. Questo patrimonio è in grado di illustrare efficacemente, a partire dal 1500, gli ultimi quattro secoli di una lunga fase di avanzamento del litorale e i primi due secoli dell'attuale fase erosiva.

Ma quali sono le carte del passato a noi più utili per la ricostituzione della linea di costa? Quali le più affidabili e in quali insidie rischiamo di cadere quando usiamo la cartografia storica?

E' opinione diffusa che la produzione cartografica nazionale si faccia affidabile a partire dai primi rilievi geodetici dell'inizio del XIX secolo. **Questo non solo non è vero ma rischia anche di mettere in ombra il contributo eccezionale** che le carte pregeodetiche, in particolare quelle a grande e grandissima scala, possono dare per la conoscenza dei secoli che corrono dal XVI al XIX. L'analisi comparativa di carte pregeodetiche a grande scala integrata dalle fonti descrittive (una lettura che spesso esige specifiche competenze paelografiche) non solo evidenzia l'alta affidabilità di scale e misure lineari ottenute camminando e misurando il suolo con canne o pertiche, ma anche il maggiore portato conoscitivo su territorio e paesaggio, accompagnato da un più rigoroso contenuto topografico rispetto alle carte a piccola scala. La produzione cartografica pregeodetica delle più fortunate regioni italiane mostra una grande varietà di scale e tecniche di rappresentazione, non raramente accompagnate da uno spiccato senso artistico. In molte carte elementi tipici delle corografie, delle topografie, delle planimetrie e del vedutismo, si mescolano e non si adattano alle classificazioni cui la cartografia contemporanea viene assoggetta: più efficace e funzionale una distinzione sulla base del valore di scala della rappresentazione.

La foce dell'Arno che separa il litorale settentrionale di San Rossore da quello meridionale di Marina di Pisa e Tirrenia è illustrata in centinaia di carte prodotte tra XVI e XIX secolo.

Fino alla fine del XIX secolo il litorale toscano era pressochè disabitato ma un'analisi diacronica di lungo periodo della cartografia storica permette di identificare quei rari elementi del territorio, quei markers, le cui tracce si sono mantenute dai secoli più lontani ad oggi: torri di guardia, strutture religiose, rete viaria, maglia idrografica, approdi, ecc. L'analisi comparativa di carattere sincronico di questa produzione evidenzia che i più conosciuti, celebrati (ed inevitabilmente più utilizzati nei diversi studi) monumenti della cartografia storica, quasi sempre prodotti a piccola scala, mostrano omissioni ed errori nel posizionamento di questi preziosi markers. Ne consegue che queste carte, pur insostituibili in un quadro generale di riferimento dell'area indagata, non si prestano ad una precisa restituzione del letto dei fiumi tanto che possono palesare omissioni di meandri ed imprecisioni nella forma, dimensione e posizione delle foci. Il riconoscimento dell'autorevolezza di simili rappresentazioni ha poi condotto alla fortuna "editoriale" di alcune di queste carte. Le ristampe o il riutilizzo degli stessi elementi topografici in altri prodotti cartografici nei decenni, talvolta nei secoli successivi, anche in funzione di dichiarati e datati aggiornamenti, possono mostrare il persistere di elementi già cancellati nella

realtà di una fascia litoranea in continua trasformazione.

Negli ultimi secoli il tratto terminale d'Arno da Pisa al mare è stato oggetto di numerosi interventi di regimazione tra cui spiccano il taglio dei meandri di Vettola e San Rossore del 1338, quello più recente di Barbaricina della fine del XVIII secolo, e il taglio con riorientamento della foce del 1607: un intervento di forte impatto sulla dinamica di questo litorale.

Solo per fermarsi a questo esempio, l'anno successivo la foce si troverà 1500 m ca a Nord dell'antica bocca mentre il tratto terminale di Arno si accorcerà di poco più di 1 km. Gli interventi di periodo moderno e le loro conseguenze sulla dinamica della linea di costa emergono chiari dall'analisi sincronica e diacronica delle carte storiche. In molte di esse, il disegno della fascia litoranea predilige ed evidenzia la disposizione di cotoni e lame con grande attenzione dedicata a forme e dimensioni che ne mettono in risalto la tipologia: paralleli, curvilinei, convergenti, dalle teste retroflesse ecc. Si tratta di informazioni che una volta messe a confronto con gli strati LIDAR, permettono di valutare tempi e ritmi di avanzamento della linea di costa con una approssimazione assai ridotta.



Figura 1. La foce d'Arno (Arno Vecchio) abbandonata nel 1607 nella *Porzione della Toscana inferiore* di Ferdinando Morozzi (a stampa, a. 1769, dettaglio).

## Conclusioni

Lo studio ha permesso di individuare le diverse morfologie e le migrazioni della foce in una scansione temporale che in certi periodi passa da un ritmo polidecennale a decennale. Si palesa anche un affinamento delle ricostruzioni della linea di costa dal XIV secolo ad oggi. Concluso lo studio su Bocca d'Arno, nell'imminenza della pubblicazione dedicata alle foci di Serchio e Fiume Morto, una volta esaurito lo studio sulla foce del Calambrone, si procederà ad una risistemazione della linea di costa del litorale pisano livornese.

Guardare al passato di questi settori litoranei considerando modi e tempi di risposta ad un medesimo stimolo (il taglio di un meandro, l'armatura di una foce piuttosto che il riorientamento naturale o artificiale, l'intensità delle precipitazioni ecc.) può risultare utile anche nella pianificazione degli interventi sulla fascia litoranea.

## Il Porto di Venezia: passato, presente e futuro

Nicola Torricella e Gianluca Artuso

Autorità Portuale di Venezia

nicola.torricella@port.venice.it, gianluca.artuso@port.venice.it

Fino alla seconda metà del XIX° secolo, l'attività cantieristica di Venezia era concentrata presso l'Arsenale, situato nella zona nord-est della città, mentre le navi continuavano ad attraccare presso il bacino di S. Marco, sede tradizionale del Porto di Venezia.

I lavori per la realizzazione della *Nuova Stazione Marittima*, un nuovo porto che doveva costituire un approdo più comodo alla Stazione Ferroviaria, iniziarono nel 1869 e terminarono nel 1880. Fino alla prima guerra mondiale la Nuova Stazione di Marittima sarà il centro navale della città di Venezia.

All'inizio del '900 nasce e si sviluppa il progetto di Marghera, località della terraferma veneziana che venne destinata all'insediamento di industrie pesanti, parallelamente alla proposta del Genio Civile per una nuova sede portuale nella cosiddetta zona «Bottenighi». Mentre il Piano Regolatore del Porto introduceva l'ampliamento verso il bordo lagunare, Venezia era diventata il secondo porto d'Italia per movimento merci anche se, fino allo scoppio della prima guerra mondiale, il primato sull'Adriatico continuò ad essere detenuto da Trieste.

Alla fine della guerra apparve chiara l'esigenza di affiancare al porto commerciale e alla stazione passeggeri una terza struttura che potesse servire da porto industriale. Il conte Giuseppe Volpi di Misurata, dopo aver fondato appositamente un Sindacato di studi per imprese elettrometalliche, presentò allora al Ministero dei lavori pubblici un progetto «per il porto industriale di Venezia», i cui lavori, iniziati ancora nel 1917 e bloccati dopo la disfatta di Caporetto, ripresero nel 1919. Il 17 maggio 1922 fu inaugurato il Canale Vittorio Emanuele, che collegava la Stazione Marittima a Marghera, e nel 1925 si aprì ufficialmente il traffico. Nel giro di pochi anni, tra il 1920 e il 1928, si erano insediati a Marghera ben 51 stabilimenti attivi nel settore metallurgico, chimico, meccanico, cantieristico, petrolifero, elettrico. Il nuovo scalo contribuì alla crescita del porto di Venezia, che nel 1928 raggiunse di nuovo il secondo posto tra i porti italiani, tornando al livello competitivo dell'anteguerra con un movimento di merci di 2 milioni 800 mila tonnellate. Il molo A, tuttavia, il primo ad essere progettato, fu iniziato solo nel 1934 e completato definitivamente nel 1963.

La cosiddetta Prima zona industriale di Porto Marghera trae origine dal Piano Regolatore del 1925 e dalla convenzione 18.8.1926, con la quale l'esecuzione delle opere veniva affidata in concessione alla Società Anonima del Porto Industriale di Venezia.

Nel 1946 l'utilizzo delle aree della prima zona era completa, su una estensione di circa 550 ettari, distinta nei settori: petrolifero, industriale e commerciale. Il Piano Regolatore Portuale del 1925 prevedeva tuttavia una zona di ampliamento (oggi denominata seconda zona industriale), fino a Fusina, su una estensione di circa 1000 ettari, con una utilizzazione di circa 800 ettari ai fini industriali. Alla pratica realizzazione della seconda zona industriale posero mani congiuntamente lo Stato (tramite il Genio Civile per le Opere Marittime) e gli Enti locali veneziani riuniti nel Consorzio per lo sviluppo del porto e della zona industriale di Venezia-Marghera.

Mentre il Ministero dei Lavori Pubblici ha provveduto alla escavazione dei canali marittimi di navigazione, il Consorzio ha effettuato il completamento delle opere di escavo dei canali e la costruzione di strade e ferrovie, all'interno della zona. Già con il progetto del 1953 il Genio Civile per le Opere Marittime proponeva l'aper-

tura di un nuovo canale di grande navigazione da Porto Marghera all'imboccatura portuale di Malamocco per la deviazione del traffico marittimo dal Centro storico della Città di Venezia, con la costituzione di un porto petroli sul margine meridionale della seconda zona. Tale concetto rimase a fondamento dei successivi progetti del Genio Civile del 1956, del 1961 e del 1962, con i quali, tendendosi a spostare il porto petroli sempre più a sud, entro il bacino lagunare di Malamocco, il progetto del canale Malamocco-Marghera assume tracciati diversi e dimensioni sempre maggiori per consentire la scarica di petroliere di grande tonnellaggio nel porto di Venezia. Il cosiddetto "canale dei Petroli" venne così realizzato tra il 1961 e il 1969, costruzione resa necessaria dallo sviluppo del polo petrolchimico di Marghera. Il canale collega la bocca di porto di Malamocco con le raffinerie di Marghera, estromettendo il traffico delle petroliere dalle rotte che intersecano la città di Venezia.

Con la legge del 2.3.1963, istitutiva dell'attuale "Consorzio obbligatorio per il nuovo ampliamento del porto e della zona industriale di Venezia-Marghera", venne individuata una ulteriore zona di espansione del porto e della zona industriale di Venezia-Marghera (oggi denominata terza zona industriale), facendo obbligo ai Consorzio della redazione di un nuovo Piano Regolatore Generale. Con i fanghi residui dall'escavo del canale dei Petroli furono quindi imboniti migliaia di ettari di laguna con l'intento di far sorgere una terza zona industriale nei pressi di Fusina. Nacquero così le Casse di colmata, il cui destino fu vanificato dall'alluvione che colpì Venezia nel 1966.

Negli anni i porti di Venezia hanno assunto sempre meno una connotazione industriale-petroliera a favore dell'aspetto commerciale dei traffici, riducendo il numero di persone occupate pur vedendo aumentare il numero di aziende operanti. Con la riduzione delle attività industriali, il riutilizzo delle aree un tempo utilizzate per l'industria, principalmente chimica e petrolifera, ha evidenziato il problema delle bonifiche ambientali, di notevole impatto economico ma anche temporale e procedurale per quanto riguarda l'ottenimento di pareri e autorizzazioni, nonché per la definizione delle metodologie da utilizzare per il conseguimento di un risultato ottimale ed efficace.

La portualità di Venezia è sovrintesa dall'Autorità Portuale di Venezia (APV), il cui compito è indirizzare, programmare, coordinare, promuovere e controllare le operazioni portuali, svolgendo anche la manutenzione delle parti comuni, mantenendo i fondali, gestendo il Demanio Marittimo e pianificando lo sviluppo del territorio portuale. Ad oggi, più di 40 ettari di aree industriali dismesse sono state bonificate e riconvertite ai fini logistico-portuali e, in totale, APV ha investito 87 milioni di euro in bonifiche a Porto Marghera, adottando comunque, per quanto possibile, un approccio improntato al riutilizzo di materiale idoneo in sito. Inoltre APV è impegnata nel mantenimento dei pescaggi dei canali con la relativa gestione dei fanghi di dragaggio. Spesso le attività di dragaggio coincidono con la rimozione dei fanghi inquinati dall'ambiente lagunare e quindi con una bonifica ambientale. In questo contesto si inserisce l'Accordo Moranzani che ha previsto la realizzazione di impianti per il trattamento e lo smaltimento di sedimenti e terreni contaminati. A seconda delle caratteristiche chimiche i sedimenti sono trattati in modo differenziato; per quanto riguarda i sedimenti "oltre C", essi vanno conferiti nella cassa di colmata (vasca di raccolta - struttura di contenimento realizzata in ambito lagunare) denominata Molo Sali, qualora siano classificabili come non pericolosi. I sedimenti oltre C pericolosi, invece sono conferiti presso l'area 23 ha, e successivamente, dopo eventuali opportuni trattamenti di stabilizzazione, alla scarica finale "Vallone Moranzani".

L'impegno ambientale di APV si è inoltre concretizzato fin dal 2007 con il Venice Blue Flag, un accordo firmato con Capitaneria di Porto, Comune di Venezia e le compagnie crocieristiche che scalo al terminal di Marittima, che impone alle navi di abbassare sensibilmente la soglia di zolfo all'interno dei carburanti utilizzati dalle navi da crociera fin dall'ingresso alla bocca di Porto di Lido. Tale accordo permette di abbattere gli inquinanti in misura rilevantissima, con riduzioni, calcolate come somma dell'emissione da stazionamento e da manovra, del 46% per PM e del 91% per SO, come ha recentemente verificato l'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente del Veneto (ARPAV).

L'utilizzo di carburante con tenore di zolfo inferiore allo 0.1% anticipa inoltre quanto stabilito dalla normativa che, per i porti italiani, prevede una percentuale di zolfo inferiore al 3.5% a partire dal 2014 e dello 0.5% a partire dal 2020.

Oltre a limitare l'immissione di inquinanti nel sistema ambientale del Porto di Venezia, l'Autorità Portuale ha l'obiettivo di ridurre anche l'emissione di sostanze inquinanti nell'ambiente. Tale impegno è evidente ad esempio nelle modalità di gestione delle acque meteoriche per le quali negli ultimi anni è stato ampiamente

adottato un sistema di filtraggio realizzato per mezzo di cartucce rigenerabili che trattengono il particolato assorbendo le sostanze inquinanti, come metalli disciolti, nutrienti e idrocarburi, prima dello scarico a mare. L'impegno "green" è inoltre volto alla riduzione dei consumi energetici e a tale scopo tutti i nuovi impianti di illuminazione realizzati, alla pari degli interventi di manutenzione svolti su sistemi esistenti, hanno visto l'utilizzo della tecnologia LED, capace di risparmiare fino al 70% dell'energia necessaria per illuminare piazzali, banchine e strade di competenza dell'Autorità Portuale.

Dal 2014 è attivo anche il nuovo terminal delle Autostrade del Mare a Fusina di Fusina, che, unico caso in Italia, è interamente dedicato al traffico delle navi Ro-Ro e Ro-Pax e, estendendosi su un'area di 36 ettari, a pieno regime potrà servire 1.200 traghetti all'anno, potendo contare su 4 accosti operativi e 4 binari ferroviari da 500 a 700m.

Per il futuro l'Autorità Portuale ha in progetto la realizzazione del Terminal Offshore che, posizionato a 8 miglia al largo dalla costa dove i fondali hanno una profondità naturale di almeno 20 metri, Offshore si comporrà di una diga foranea lunga 4,2 chilometri al cui interno troveranno spazio un terminal petrolifero e un terminal container in grado di ospitare contemporaneamente tre navi portacontainer di ultima generazione. Lungo la banchina di sviluppo modulare (una lunghezza di 1 chilometro nella prima fase, aumentabile fino a 2 chilometri in una seconda fase) troveranno posto gru appositamente progettate e un sistema ad alta automazione capace di garantire performance di imbarco/sbarco pari a quelle dei migliori terminal mondiali. Il progetto prevede la connessione del Terminal Offshore con 4 terminal di terra (Montesyndial-Marghera, Chioggia, Mantova e Porto Levante) realizzando il trasferimento dei container mediante speciali navi autoaffondanti – denominate "Mama Vessel" – appositamente studiate per Venezia che sfruttano la tecnologia ad aria compressa dei sommergibili della Royal Navy e il principio di Archimede per dimezzare i tempi di percorrenza tra la piattaforma offshore e i terminal onshore.

## Gruppo Nazionale per la Ricerca sull'Ambiente Costiero

### STATUTO

#### TITOLO I COSTITUZIONE - SEDE - SCOPO - DURATA

**Articolo 1)** E' costituita un'Associazione denominata "Gruppo Nazionale per la ricerca sull'Ambiente Costiero - GNRAC".

**Articolo 2)** La sede legale dell'Associazione è in Genova. L'indirizzo è stabilito nell'atto costitutivo e potrà essere successivamente modificato dal Consiglio Direttivo con deliberazione adottata a maggioranza dei suoi membri. Il Consiglio Direttivo potrà, sempre a maggioranza dei suoi membri, istituire sedi secondarie e uffici per garantire la necessaria operatività. Il domicilio dei Soci, per quanto concerne i rapporti con l'Associazione, si intende eletto a tutti gli effetti all'indirizzo risultante dall'Elenco dei Soci.

**Articolo 3)** L'Associazione, non ha scopo di lucro, ed ha per oggetto: la promozione di studi e ricerche sull'ambiente costiero, la sua tutela e gestione, nonché il coordinamento e l'esecuzione di studi e ricerche anche nell'interesse di Enti pubblici e privati, la partecipazione a programmi e progetti di ricerca finanziate da Enti nazionali e sovranazionali, la promozione, il coordinamento e l'esecuzione di attività di formazione e di diffusione della conoscenza su tali argomenti.

Scopo dell'Associazione sarà anche la diffusione della conoscenza su tali argomenti. Per il raggiungimento dei suddetti obiettivi l'Associazione potrà svolgere ogni altra iniziativa ritenuta comunque direttamente o indirettamente necessaria od utile a tal fine. In particolare l'Associazione potrà:

- (a) organizzare convegni aperti all'apporto di membri dell'Associazione e di altre persone interessate, curandone eventualmente la pubblicazione degli atti;
- (b) promuovere e patrocinare l'organizzazione di riunioni scientifiche (tavole rotonde, seminari, conferenze) e incontri didattici aventi rilevanza per gli scopi dell'Associazione;
- (c) istituire premi di laurea e di ricerca e borse di studio per favorire la diffusione delle conoscenze sull'ambiente costiero;
- (d) favorire l'intervento dello Stato, degli Enti locali, dell'Università e degli Enti di Ricerca, di Controllo Territoriale e dell'Industria ai fini di un continuo potenziamento della ricerca sull'ambiente costiero;
- (e) promuovere scambi culturali con Associazioni consimili a livello nazionale ed internazionale.
- (f) promuovere, coordinare ed eseguire attività, progetti e programmi di ricerca proposti per il loro finanziamento ad Autorità e soggetti nazionali e sovranazionali.

**Articolo 4)** La durata dell'Associazione è convenuta fino al 31 dicembre 2020. Potrà essere prorogata con deliberazione dell'Assemblea Generale dei Soci la quale potrà deliberarne l'eventuale scioglimento anticipato, determinando le modalità dello scioglimento e della liquidazione.

#### TITOLO II ASSOCIATI E LORO OBBLIGHI

**Articolo 5)** L'Associazione è composta dalle seguenti categorie di soci:

- Soci Fondatori
- Soci Onorari
- Soci Sostenitori
- Soci Ordinari
- Soci Juniores
- Soci Collettivi

I Soci Fondatori sono coloro che hanno fondato l'Associazione o in quanto intervenuti nell'atto costitutivo o in quanto ammessi nell'Associazione quali Soci Fondatori con deliberazione del Presidente dell'Associazione assunta nei tre mesi dalla data dell'atto costitutivo così come infra indicato nel presente articolo. Nei tre mesi successivi alla data dell'atto costitutivo potranno con deliberazione del Presidente dell'Associazione essere ammessi all'Associazione, quali Soci Fondatori, persone non intervenute nell'atto costitutivo stesso ma che hanno dato la loro adesione all'Associazione in tale periodo di tempo.

Successivamente l'ammissione nell'Associazione dei Soci sarà effettuata su domanda degli interessati e con visto di presentazione da parte di due Soci mediante deliberazione del Consiglio Direttivo che dispone l'ammissione.

I Soci Onorari sono tutti coloro che, per meriti personali, riconosciuti all'unanimità dai presenti all'Assemblea generale dei soci, vengono invitati a far parte dell'Associazione. I Soci Sostenitori sostengono l'Associazione attraverso la corresponsione di quote sociali maggiorate.

I Soci Ordinari sono tutte persone interessate allo studio dei litorali, nei suoi molteplici aspetti.

I Soci Juniores sono gli iscritti all'Associazione che hanno una età inferiore ai 27 anni.

I Soci Collettivi sono Enti, Associazioni, società e Istituzioni pubbliche o private.

I Soci, ad eccezione di quelli onorari, sono tenuti al pagamento di una quota associativa annuale fissata dall'Assemblea Generale dei Soci su proposta del Consiglio Direttivo.

La qualità di Socio si perde:

- a) per dimissioni
- b) per morosità
- c) per esclusione motivata dall'Associazione.

L'esclusione motivata del Socio viene dichiarata, su istanza di almeno un decimo dei Soci o su proposta del Consiglio Direttivo, dall'Assemblea Generale dei Soci, la quale delibera a maggioranza assoluta dei presenti.

**Articolo 6)** L'adesione all'Associazione comporta l'obbligo per i Soci di osservare il presente Statuto, nonché di adempiere alle obbligazioni inerenti la qualità di Socio ed in particolare alla osservanza delle deliberazioni dell'Assemblea Generale dei Soci e del Consiglio Direttivo e di corrispondere le quote annuali nella misura deliberata.

### TITOLO III ORGANI DELL'ASSOCIAZIONE

**Articolo 7)** Sono organi dell'Associazione:

- l'Assemblea Generale dei Soci;
- il Consiglio Direttivo;
- il Presidente;
- il Vice Presidente;
- il Segretario Tesoriere.

**Articolo 8)** L'Assemblea Generale dei Soci è costituita dalla riunione dei Soci.

Essa delibera:

- l'indirizzo e le direttive dell'attività sociale;
- le esclusioni dei Soci dall'Associazione;
- l'approvazione del Bilancio consuntivo;
- la nomina del Presidente e del Vice Presidente, nonché del Consiglio Direttivo;
- le modifiche dell'atto costitutivo e dello Statuto; nonché l'approvazione di regolamenti e di ogni altro argomento che il Consiglio Direttivo intendesse sottoporre all'approvazione dell'Assemblea stessa.

L'Assemblea Generale dei Soci si riunisce almeno una volta all'anno, su convocazione del Presidente dell'Associazione o su istanza di almeno un terzo degli associati rivolta al Consiglio Direttivo. L'Assemblea per l'approvazione del bilancio dovrà essere convocata entro sei mesi dalla fine dell'esercizio.

L'Assemblea si riunisce nella sede sociale o altrove, purché in Italia.

L'avviso di convocazione, spedito per posta, fax o posta elettronica ai singoli Soci almeno un mese prima della riunione, deve indicare il luogo, l'ora e la data dell'Assemblea, oltre all'ordine del giorno degli argomenti da trattarsi.

L'Assemblea è presieduta dal Presidente dell'Associazione o, in sua assenza, dal Vice Presidente o, in loro assenza, dalla persona designata dal Presidente ed è validamente costituita qualunque sia il numero dei presenti; la stessa delibera a maggioranza dei presenti.

Ogni Socio potrà farsi rappresentare in Assemblea, con apposita delega, da altro Socio.

Un Socio non può rappresentare più di tre Soci.

Delle riunioni dell'Assemblea Generale dei Soci sarà redatto un apposito verbale firmato dal Presidente

e dal Segretario-Tesoriere dell'Associazione. In assenza del Segretario-Tesoriere, l'Assemblea nominerà un Segretario fra i presenti.

**Articolo 9)** Il Presidente viene nominato per la prima volta nell'atto costitutivo e successivamente, unitamente al Vice- Presidente e agli altri componenti il Consiglio Direttivo, dall'Assemblea Generale dei Soci e dura in carica quattro anni. Lo stesso è rieleggibile. Il Presidente ha la rappresentanza legale e giudiziale dell'Associazione e può compiere tutti gli atti di ordinaria amministrazione. Per il compimento di atti di straordinaria amministrazione occorrerà la preventiva delibera di autorizzazione del Consiglio Direttivo.

**Articolo 10)** Il Consiglio Direttivo è composto da sette componenti oltre il Presidente e il Vice Presidente e quindi con quest'ultimi da nove componenti; in caso di parità nelle votazioni, il voto del presidente vale doppio. Lo stesso dura in carica quattro anni ed i suoi componenti sono rieleggibili.

Il Consiglio Direttivo designa tra i suoi membri il Segretario-Tesoriere.

Il Presidente successivamente all'atto costitutivo e gli altri cinque membri del Consiglio Direttivo vengono eletti fra i Soci, con esclusione dei soci collettivi.

Il Consiglio Direttivo deve essere convocato dal Presidente e quando ne sia fatta al Presidente richiesta da almeno due componenti. Lo stesso viene convocato con lettera raccomandata spedita almeno dieci giorni prima della data della convocazione. Nei casi di urgenza potrà essere convocato a mezzo fax, telegramma o posta elettronica. Il Consiglio Direttivo dà esecuzione alle direttive espresse dall'Assemblea Generale dei Soci, procede a deliberare il compimento di atti di amministrazione dell'Associazione e delibera l'approvazione del compimento di atti di straordinaria amministrazione; delibera l'ammissione di nuovi Soci.

**Articolo 11)** Il Segretario-Tesoriere ha il compito di tenere aggiornata la lista dei Soci e dei loro indirizzi, di stendere i verbali delle riunioni del Consiglio Direttivo e dell'Assemblea dei Soci, salvo quanto previsto dall'art. 8 in caso di sua assenza alla riunione, di occuparsi della corrispondenza dell'Associazione, di custodire tutti i fondi e tutti i libri dell'Associazione, curando il deposito e la gestione del patrimonio presso Istituto di Credito o Ufficio Postale.

#### **TITOLO IV PATRIMONIO ED ESERCIZI SOCIALI**

**Articolo 12)** Il patrimonio dell'Associazione è formato:

- a) dalle entrate ordinarie, costituite essenzialmente dai versamenti delle quote associative;
- b) da eventuali erogazioni, donazioni e lasciti o contributi da parte di Enti Pubblici, Persone fisiche e giuridiche;
- c) dai beni mobili ed immobili di cui l'Associazione diventasse proprietaria;
- d) dai contributi finanziari derivanti dalla partecipazione, coordinamento ed esecuzione di attività, progetti e programmi;
- e) da ogni altra entrata che concorra ad incrementare il patrimonio dell'Associazione.

L'esercizio sociale decorre dal 1° gennaio al 31 dicembre di ogni anno.

#### **TITOLO V SCIoglimento**

**Articolo 13)** Lo scioglimento dell'Associazione è deliberato, con voto favorevole dei due terzi dei Soci, dall'Assemblea Generale dei Soci, la quale provvederà alla nomina di uno o più liquidatori e delibererà in ordine alla devoluzione del patrimonio secondo le norme di legge, vigenti.

#### **TITOLO VI CONTROVERSIE**

**Articolo 14)** Le controversie che dovessero sorgere tra i Soci e l'Associazione saranno devolute per la risoluzione ad un Collegio di tre arbitri, di cui due membri nominati dalle parti contendenti ed il terzo d'accordo tra loro, ovvero, in caso di disaccordo, nominato dal Presidente del Tribunale, nella cui giurisdizione è la sede dell'Associazione, su istanza promossa dalla parte più diligente. La decisione degli arbitri, che sarà data senza osservare alcuna formalità, sarà vincolante per le parti. Qualora le parti in conflitto fossero più di due, il Collegio arbitrale sarà di tre membri e verrà nominato di comune accordo fra le parti in conflitto o, in mancanza di accordo, dal Presidente del Tribunale, nella cui giurisdizione è la sede dell'Associazione.

**Articolo 15)** L'Associazione potrà richiedere il riconoscimento della propria personalità giuridica. Per quanto non previsto nel presente Statuto si applicano le disposizioni di legge.

---

## Norme per gli Autori

**Studi costieri** pubblica articoli scientifici originali in lingua italiana su argomenti relativi alla dinamica e difesa dei litorali ed alla gestione integrata della fascia costiera. Gli articoli scientifici sono sottoposti a revisione da parte di due esperti indicati dal Comitato scientifico.

**Studi costieri** pubblica anche Note tecniche e Riassunti di tesi di Laurea e di Dottorato di ricerca inerenti gli stessi temi. **Studi costieri** ospita inoltre rapporti sull'attività svolta da Amministrazioni pubbliche in materia di gestione integrata della fascia costiera. Questi ultimi due tipi di contributi sono soggetti solo ad una revisione di tipo redazionale.

Gli Autori degli articoli sono pregati di rispettare le seguenti norme. Gli articoli non redatti in piena conformità con esse non potranno essere presi in considerazione per la pubblicazione.

I manoscritti devono essere inviati per posta elettronica con allegate figure e tabelle. Dopo l'accettazione deve essere inviata la copia definitiva su CD o per posta elettronica secondo le istruzioni riportate in seguito.

**Titolo** - Massimo 150 caratteri inclusa la spaziatura fra le parole.

**Titolo corrente** - Massimo 80 caratteri inclusa la spaziatura fra le parole.

**Autore/i** - Nome e Cognome per esteso, seguito da un numero in apice per indicare l'eventuale Istituto di appartenenza ed il relativo indirizzo.

**Riassunto** - Non più di 2.000 caratteri inclusa la spaziatura fra le parole.

**Parole chiave** - Inserire 5 - 8 parole chiave, possibilmente non già comprese nel titolo.

**Abstract** - Riassunto, anche esteso, in lingua inglese di non più di 5.000 caratteri.

**Keywords** - In questo caso le parole chiave possono anche essere la traduzione di termini compresi nel titolo.

**Stile** - Adeguarsi allo stile dei lavori pubblicati su questo numero. Tutti i testi, compreso il titolo generale e quello dei paragrafi, devono essere scritti in Maiuscolo e minuscolo. Non inserire caratteri strani, di formato diverso o sottolineati. Il neretto è utilizzato solo per il titolo dei paragrafi.

Eventuali sottoparagrafi possono portare un titolo in corsivo neretto. Non inserire righe bianche nel testo se non alla fine dei paragrafi e dei sottoparagrafi.

Evitare il più possibile i rientri e, comunque, farne di un solo ordine. Gli elenchi puntati sono identificati da -, 1) oppure a); ogni elemento dell'elenco è chiuso con ; salvo l'ultimo che chiude con un punto.

Il carattere Garamond corpo 11, interlinea singola, può essere usato per valutare la lunghezza dell'articolo a stampa.

**Formule** - Se possibile utilizzare il formato testo; in alternativa l'editore di formule di Word impostando il carattere Garamond corpo 11 chiaro (corpo 9 nero se le formule sono incluse in una didascalia di figure o di tabella). Utilizzare caratteri in neretto e corsivo solo se imposto dalla nomenclatura internazionale.

**Tabelle** - I caratteri alfabetici/numerici per le tabelle sono in stile Garamond corpo 10. Le Tabelle sono identificate con Tabella n, oppure (Tab. n) se fra parentesi. Devono essere precedute da una didascalia. Non inserire tabelle in forma di immagini.

**Figure (fotografie, schemi, diagrammi)** - Salvo accordi specifici con la Redazione, vengono pubblicate solo figure in bianco e nero. Le figure sono identificate con Figura n, oppure (Fig. n) se fra parentesi. Tutte le figure devono avere una didascalia. La larghezza massima a stampa delle figure è 16 cm. Ad eccezione delle

figure stampate a giustezza piena, tutte le altre non potranno avere una base superiore a 10 cm. La Redazione è a disposizione per discutere aspetti tecnici relativi a questo punto.

**Note a piè di pagina** - Sono da evitare il più possibile e, se lunghe o numerose, verranno riportate in corpo minore in fondo all'ultima pagina dell'articolo con richiami numerici nel testo. Indicazioni di Progetti e Finanziamenti verranno inserite prima della Bibliografia con gli eventuali Ringraziamenti.

**Riferimenti bibliografici** - Nell'articolo le citazioni sono racchiuse fra ( ) con il seguente formato: (Verdi, 1990) o (Rossi e Verdi, 1989); (Verdi et al., 1987) qualora il numero degli Autori sia maggiore di due. Se citato nell'ambito di una frase il nome di un Autore (1995) è seguito dall'anno della pubblicazione a cui si fa riferimento.

**Bibliografia** - Tutti e solo i lavori citati nel testo devono comparire in Bibliografia. La Bibliografia deve essere in ordine alfabetico per cognome; es.:

Bianchi A., Rossi V., Verdi T., 1999. *Nuovi metodi di difesa dei litorali*. Studi costieri, 19: 153-157 (19 è il numero del fascicolo, 153-157 le pagine).

Neri A., Rossi C., 1978. *Elementi di geomorfologia costiera*. Nessuno Ed., Roma. 324 pp.

Violi K., 1998, *Il ripascimento dei litorali in Italia*. Atti XXI Congr. Soc. Ital. Geomorfologia. Bari. pp. 34-76.

Evitare di usare AA.VV., anche se il numero degli Autori è elevato.

**Versione definitiva** - Il file contenente la versione definitiva dell'articolo, in Word per Windows, deve essere inviato dopo la comunicazione di accettazione del manoscritto. Il testo non deve essere giustificato e, fatta eccezione per le formule scritte con l'editore specifico, può essere scritto con qualsiasi carattere.

Le didascalie delle figure (grafici e foto) dovranno essere inserite nel testo nel punto più opportuno.

Le figure dovranno essere inviate in file separati (.tif o .jpg a 300 dpi alla dimensione di stampa) e salvate con il nome del primo Autore seguito da Fig n (es. Rossi Fig 1.jpg). Figure costituite da più parti devono essere montate dagli Autori in un file unico.

**Altre informazioni** - Nella preparazione degli articoli si tenga conto del fatto che una buona impaginazione necessita di un elevato rapporto testo/figure. Anche se gli Autori non devono procedere all'impaginazione dell'articolo, è bene che operino in modo tale da facilitare l'inserimento di ciascuna Figura dopo il rispettivo richiamo. Analogo discorso vale per le Tabelle.

**Diritti d'autore** - Nella lettera di accompagnamento del manoscritto gli autori, o anche uno solo di essi, devono dichiarare che quanto contenuto nell'articolo è di loro proprietà e che autorizzano il GNRAC a pubblicare tutto il materiale da loro inviato. Nel caso di utilizzazione di figure tratte da altra pubblicazione gli Autori dovranno inviare l'autorizzazione alla stampa dell'Editore proprietario dei diritti. Analogamente deve essere fatto per riprese aeree e per la cartografia.

Il Direttore della collana si ritiene autorizzato ad utilizzare gli articoli per eventuali ristampe o per l'edizione di volumi tematici. Di ciò verrà comunque data notizia agli Autori.

**Contributo alle spese di stampa** - Agli Autori è richiesto un contributo di € 27,00 (IVA incl.) per pagina pubblicata in bianco e nero sulla Rivista. Il costo per la stampa di figure a colori verrà valutato di volta in volta in funzione del loro numero e della posizione nel volume. Gli Autori sono pregati di inviare, insieme alle bozze corrette, le indicazioni necessarie per l'intestazione della nota di debito.

I manoscritti devono essere inviati alla  
**Redazione di Studi costieri**  
 c/o Dipartimento di Scienze della Terra  
 Via Micheli, 6 - 50121 Firenze  
 Tel. 055 055 2756547  
 E-mail: epranzini@unifi.it