



AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME ARNO  
AUTORITÀ DI BACINO SPERIMENTALE DEL FIUME SERCHIO



La foce dell'Arno a Marina di Pisa.

**L'EVOLUZIONE E LA DINAMICA DEL LITORALE  
PROSPICIENTE I BACINI DELL'ARNO E DEL SERCHIO  
E I PROBLEMI DI EROSIONE DELLA COSTA**

CONTRIBUTO CONOSCITIVO ALL'ELABORAZIONE DEL PIANO DI BACINO

**3**

dicembre 1994

**BACINO DELL' ARNO**

# Bacini idrografici dei fiumi Arno e Serchio



Il bacino del fiume Arno, così come definito per gli effetti della legge 183/89, comprende il bacino idrografico in senso stretto, e nella parte terminale, anche la zona situata tra lo Scolmatore, a Sud, ed il Fiume Morto, a Nord.

Il territorio del bacino interessa la Regione Toscana (98,4%) e la Regione Umbria (2,6%) con le provincie di Arezzo, Firenze, Pistoia, Pisa e, marginalmente, Siena, Lucca, Livorno e Perugia.

Il bacino del Fiume Serchio comprende il bacino idrografico e, nella parte terminale, anche il bacino del lago di Massaciuccoli fino al fosso di Camaione, a Nord, e al Fiume Morto, a Sud.

Le provincie interessate sono Lucca (81,5%) ed in misura minore Pistoia (10,5%) e Pisa (8%).

## Fiume Arno

SUPERFICIE TOTALE DEL BACINO	9.116 Km <sup>2</sup>
QUOTA MEDIA BACINO	353 m s.l.m.
LUNGHEZZA ASTA FLUVIALE	241 Km
PORTATA max. A FIRENZE (4.11.1966)	4.100 m <sup>3</sup> /sec
POPOLAZIONE (ISTAT 1991)	2.581.369 ab.
COMUNI RICADENTI NEL BACINO	163

## Fiume Serchio

SUPERFICIE TOTALE DEL BACINO	1.565 Km <sup>2</sup>
QUOTA MEDIA BACINO	717 m s.l.m.
LUNGHEZZA ASTA FLUVIALE	102 Km
PORTATA max. A LUCCA (9.11.1982)	2.200 m <sup>3</sup> /sec
POPOLAZIONE (ISTAT 1991)	270.000 ab.
COMUNI RICADENTI NEL BACINO	36

# L'EVOLUZIONE E LA DINAMICA DEL LITORALE PROSPICIENTE I BACINI DELL'ARNO E DEL SERCHIO E I PROBLEMI DI EROSIONE DELLA COSTA

CONTRIBUTO CONOSCITIVO ALL'ELABORAZIONE DEL PIANO DI BACINO

## SOMMARIO

- ◆ PRINCIPALI PROBLEMATICHE RIGUARDANTI LA DINAMICA MARINA DEL LITORALE PROSPICIENTE I BACINI DELL'ARNO E DEL SERCHIO

(Raffaello Nardi, *Segretario Generale della Autorità di Bacino*)

- ◆ IPOTESI DI DELIMITAZIONE DEI BACINI IDROGRAFICI DI RILIEVO NAZIONALE (D.P.R. 14 Aprile 1994): INDIVIDUAZIONE DEL LITORALE PROSPICIENTE IL FIUME ARNO

(Leandro D'Alessandro, *Univ. "La Sapienza" di Roma* e Giuliano Fierro, *Univ. di Genova* - Francesco Nola e Paola Rocchini, *Ministero LL.PP., Direzione Generale della Difesa del Suolo*)

- ◆ L'INFLUENZA DELLA TETTONICA, DELLE OSCILLAZIONI CLIMATICHE E DELL'IMPATTO ANTROPICO NELLA COSTRUZIONE DEL LITORALE VERSILIESE - PISANO

(Renzo Mazzanti, *Centro di Geologia Strutturale e Dinamica dell'Appennino del C.N.R. - Pisa*)

- ◆ L'EVOLUZIONE E LE CARATTERISTICHE METEO-MARINE DEL LITORALE COMPRESO TRA I PORTI DI LIVORNO E DI VIAREGGIO DAL 1846 al 1983

(Valerio Milano, *Università di Pisa*)

- ◆ ATTUALI TENDENZE EVOLUTIVE E CARATTERISTICHE SEDIMENTOLOGICHE DEL DELTA DELL'ARNO

(Enzo Pranzini e Tullio Saggiocco, *Università di Firenze*)

- ◆ APPENDICE

- BIBLIOGRAFIA

- ATTO DI INDIRIZZO E COORDINAMENTO IN ORDINE ALLE PROCEDURE ED AI CRITERI PER LA DELIMITAZIONE DEI BACINI IDROGRAFICI DI RILIEVO NAZIONALE ED INTERREGIONALE (D.P.R. 14 Aprile 1994)

## 3 QUADERNI

**dicembre 1994**

Periodico di informazione  
dell'Autorità di Bacino dell'Arno

Direttore Scientifico:  
Raffaello Nardi

Vicedirettore Responsabile:  
Mariella Magi

Direzione e Redazione:  
Via dei Servi, 15 - 50121 FIRENZE  
Tel. 055 - 2381082

Elaborazione e coordinamento:  
Isabella Bonamini  
Segreteria Tecnico Operativa

Spedizione in abbonamento postale gr. IV - 70%  
Reg. Trib. di Firenze n° 4284 del 18-12-92

Stampato su carta senza cloro

## TERMINI CHIAVE

<i>Unità fisiografica</i>	Tratto di litorale dove lo scambio di materiale solido non ha relazione con i tratti contigui.
<i>Linea di litorale o di riva o di battigia</i>	Linea di contatto tra il livello medio mare (L.M.M.) e la terraferma.
<i>Settore di traversia</i>	Ampiezza dell'angolo che comprende tutte le direzioni dalle quali le mareggiate possono giungere in un punto del litorale.
<i>Delta fluviale</i>	Accumulo di materiale detritico apportato dal fiume, disposto a forma di imbuto con vertice rivolto verso monte.
<i>Fetch geografico</i>	Lunghezza del tratto di mare libero in una data direzione.
<i>Fetch efficace</i>	Lunghezza, secondo una data direzione, del tratto di mare libero efficace per la generazione del moto ondoso.
<i>Trasporto longitudinale netto</i>	Trasporto di materiale solido parallelo alla battigia, ottenuto come differenza tra i trasporti annui nei due sensi.
<i>Corrente marina</i>	Movimento orizzontale delle particelle liquide causato dall'azione del moto ondoso, dai venti e dalle maree. La corrente è individuata da senso, direzione ed intensità.
<i>Venti regnanti</i>	Venti che nell'arco dell'anno medio (anno dedotto in base alle statistiche relative a più anni di osservazione) spirano con maggior frequenza in una data direzione.
<i>Venti dominanti</i>	Venti che nell'arco dell'anno medio spirano con maggior velocità secondo una data direzione.
<i>Venti prevalenti</i>	Venti che per combinazione di frequenza e velocità danno luogo ai massimi effetti.
<i>Venti foranei</i>	Venti provenienti dal mare.
<i>Lunghezza d'onda (L)</i>	Distanza (in metri) tra due creste (max. livello del profilo dell'onda) successive.
<i>Altezza d'onda (H)</i>	Dislivello (in metri) cresta - cavo (sez. dove l'acqua assume il minimo livello).
<i>Periodo (T)</i>	Intervallo di tempo (in secondi) fra il passaggio di due creste successive in una stessa sezione.
<i>Altezza d'onda significativa</i>	Altezza (in metri) relativa alla media del 33,3% delle onde più alte di una data mareggiata.
<i>Piano d'onda</i>	Posizione assunta in un certo istante dalle creste dell'onda in acque basse.
<i>Mare vivo</i>	Onde che si propagano grazie all'energia ceduta direttamente dal vento.
<i>Mare morto</i>	Onde (in attenuazione) che si propagano in una zona priva di vento.
<i>Sottoflutto</i>	Zona a riparo dalle mareggiate.
<i>Sopraflutto</i>	Zona direttamente investita dalle mareggiate.
<i>Scogliere radenti</i>	Opere di difesa in massi di grosse dimensioni (naturali o artificiali) poste in aderenza alla costa o a distanza minima dalla battigia. Sono opere di tipo "passivo" che non provocano miglione all'arenile.
<i>Scogliere foranee o a mare</i>	Opere di difesa parallele o inclinate rispetto alla linea di riva e poste a profondità max. di 4/4,5 m. Sono opere che possono produrre un miglioramento dell'arenile.
<i>Riflessione delle onde</i>	Fenomeno che si ha quando il moto ondoso incontra un ostacolo e la dissipazione di energia è molto piccola.
<i>Rifrazione delle onde</i>	Fenomeno di propagazione del moto ondoso in acque basse, cioè in fondali di profondità inferiore alla metà della lunghezza d'onda.
<i>Diffrazione delle onde</i>	Fenomeno che si verifica quando il moto ondoso incontra un ostacolo nella zona retrostante e adiacente all'ostacolo stesso.
<i>Frangimento delle onde</i>	Fenomeno di rottura dell'onda con forte dissipazione di energia.

## Indice generale

<b>Principali problematiche riguardanti la dinamica marina del litorale prospiciente i bacini dell'Arno e del Serchio (R. Nardi)</b>	pag. 5
1. Sintesi storica sull'evoluzione ed il modellamento della costa	" 7
2. I principali problemi del litorale: ipotesi di soluzione	" 13
1.1. <i>Insabbiamento della foce dello Scolmatore</i>	" 13
1.2. <i>Erosione ed arretramento della battigia tra Marina di Pisa e Tirrenia e difesa dell'abitato di Marina di Pisa</i>	" 13
1.3. <i>Insabbiamento della foce d'Arno e problematiche del porto turistico</i>	" 15
1.4. <i>Erosione del tratto di litorale di S. Rossore</i>	" 15
1.5. <i>Insabbiamento del Porto di Viareggio</i>	" 15
<b>Ipotesi di delimitazione dei bacini idrografici di rilievo nazionale (D.P.R. 14/04/1994): individuazione del litorale prospiciente il F. Arno (L. D'Alessandro, G. Fierro, F. Nola, P. Rocchini)</b>	" 19
1. Attuale situazione del litorale	
2. Limiti di influenza del fiume Arno	
<b>L'influenza della tettonica, delle oscillazioni climatiche e dell'impatto antropico nella costruzione del litorale versiliense - pisano (R. Mazzanti)</b>	" 25
1. Cenni di tettonica	" 25
2. Documenti ed importanza delle oscillazioni climatiche nella costruzione del litorale	" 28
3. L'attenuazione delle oscillazioni climatiche nella costruzione del litorale e l'impatto antropico sul paesaggio negli ultimi 6000 anni	" 34
<b>L'evoluzione e le caratteristiche meteo-marine del tratto di litorale compreso tra i porti di Livorno e di Viareggio dal 1846 al 1983 (V. Milano)</b>	" 53
1. L'evoluzione storica della linea di riva a partire dal 1846	" 54
1.1. <i>L'evoluzione del litorale in destra d'Arno</i>	" 55
1.2. <i>L'evoluzione del litorale in sinistra d'Arno</i>	" 57
2. L'evoluzione dei fondali a partire dal 1846 ed il trasporto solido longitudinale	" 58
2.1. <i>Periodo 1846 - 1881</i>	" 60
2.2. <i>Periodo 1881 - 1931</i>	" 62
2.3. <i>Periodo 1931 - 1983</i>	" 62
3. Considerazioni conclusive sull'evoluzione del litorale	" 64
4. Apporti di materiale solido al litorale da parte dei corsi d'acqua	" 65
4.1. <i>Apporto solido dell'Arno</i>	" 65
5. Il fenomeno dell'interrimento della foce e del tratto terminale dell'Arno	" 66
6. Lo studio meteomarinico del paraggio	" 67
7. Il regime dei venti	" 67
7.1. <i>Considerazioni conclusive sul regime anemometrico</i>	" 76
8. Il regime del moto ondoso	" 78
8.1. <i>Le stazioni di osservazione dei mari dell'Istituto Idrografico della Marina</i>	" 78
8.2. <i>Le osservazioni dell'Istituto Meteorologico Olandese</i>	" 79
8.3. <i>I rilevamenti delle stazioni ondametriche</i>	" 79
9. Ricostruzione del clima marittimo mediante modelli matematici	" 82
10. Il trasporto solido longitudinale	" 86
11. L'andamento del trasporto solido longitudinale ricostruito con modelli matematici	" 87
12. Il moto ondoso in acque basse: la rifrazione	" 89
<b>Attuali tendenze evolutive e caratteristiche sedimentologiche del delta dell'Arno (E. Pranzini, T. Sagliocco)</b>	" 91
1. Metodo di rilevamento	" 92
2. Evoluzione della linea di riva	" 96
3. Evoluzione dei fondali	" 96
4. Caratteristiche granulometriche dei sedimenti di spiaggia emersa e sommersa	" 103
4.1. <i>Media (Mz)</i>	" 103
4.2. <i>Classazione (<math>\sigma_p</math>)</i>	" 106
4.3. <i>Variazione delle caratteristiche granulometriche nel tempo</i>	" 106
5. Conclusioni	" 108
<b>Appendice</b>	
1. Bibliografia	" 109
2. D.P.R. 14 Aprile 1994	" 113



**Foce del Fiume Serchio (PI)** - L'andamento delle correnti da sud a nord ha causato la costituzione di una barra di sabbia con deviazione del tratto terminale del Fiume.

**Bocca di Fiume Morto Nuovo (PI)** - L'erosione si presenta sia a sud sia a nord delle opere murarie poste a difesa della foce. In particolare, in destra foto, si nota la demolizione avanzata di una "rotonda" in cemento armato ed in sinistra il "taglio" della duna per scalzamento al piede.



# PRINCIPALI PROBLEMATICHE RIGUARDANTI LA DINAMICA MARINA DEL LITORALE PROSPICIENTE I BACINI DELL'ARNO E DEL SERCHIO

*Raffaello Nardi*

*Segretario Generale dell'Autorità di Bacino dell'Arno e del Bacino Sperimentale del Serchio*

Il limite a mare del bacino idrografico del fiume Arno è attualmente in fase di definizione sulla base di quanto stabilito dal D.P.R. 14 aprile 1994: "Atto di indirizzo e coordinamento in ordine alle procedure ed ai criteri per la delimitazione dei bacini idrografici di rilievo nazionale ed interregionale".

Il riferimento al litorale marittimo prospiciente il corso d'acqua compare infatti tra i tre elementi tecnici fondamentali per la delimitazione del bacino (insieme allo schema superficiale di deflusso e alle aree soggette ad allagamento), concorrendo a definire la chiusura del bacino stesso in corrispondenza della costa (cfr. D' Alessandro e Fierro).

L'attribuzione di un tratto di litorale ad un determinato bacino idrografico si riflette, di conseguenza, sull'assetto delle competenze amministrative relative alla difesa delle coste, materia che è stata delegata alle regioni, escluse le zone comprese nei bacini di rilievo nazionale, dove la delimitazione è stabilita nell'Autorità di Bacino e riservata all'approvazione dello Stato (art.10, comma 7, legge n. 183/1989).

Infatti le attività di programmazione, di pianificazione e di attuazione degli interventi, previste dalla legge sulla difesa del suolo, riguardano anche la protezione delle coste e degli abitati dall'invasione e dall'erosione delle acque marine e il ripascimento degli arenili, tanto che uno dei settori di intervento riguardanti il piano di bacino e i piani stralcio è rappresentato proprio dall'erosione costiera.

Per questo motivo assume grande importanza la conoscenza della dinamica marina ed in particolare i fenomeni di erosione e di accumulo che avvengono sulla costa prospiciente tutta l'unità fisiografica, lunga 65 Km, compresa tra il porto di Livorno e la Punta Bianca alla foce del F. Magra.

Questo Quaderno è realizzato congiuntamente dall'Autorità di Bacino dell'Arno e da quella del Serchio, dal momento che le problematiche della costa riguardano un tratto ove sfociano entrambi i fiumi.

Infatti, con riferimento all'intera unità fisiografica, nella chiusura a mare il bacino dell'Arno interessa almeno il tratto di litorale (entro cui ricade la costa prospiciente il Serchio), compreso tra Livorno e la zona di Forte dei Marmi, dove la foce del Cinquale può essere considerata il limite più settentrionale che risente l'influenza dei sedimenti dell'Arno sul litorale.

Il Quaderno sintetizza l'attività di ricerca e le conoscenze attuali sulla materia in oggetto attraverso il contributo di esperti che si sono interessati a livello scientifico e/o progettuale delle problematiche che insistono su questo tratto di costa.

Le attività della Segreteria e del Comitato Tecnico avevano già permesso di individuare (30 ottobre 1990), nell'ambito degli Schemi Previsionali e Programmatici di cui all'art. 31 della legge 183/1989, gli interventi più urgenti necessari a limitare gli effetti negativi della dinamica marina nel tratto di litorale, oggi il più a rischio perché antropizzato, compreso tra la foce dell'Arno e quella dello Scolmatore.

Tali interventi non sono stati realizzati, o sono parzialmente in corso di attuazione, specialmente per motivi di competenze amministrative, recentemente definite sullo Scolmatore per quanto riguarda quelle idrauliche (D.M. LL.PP. 3 dicembre 1993) e in fase di definizione per quello che riguarda il litorale, secondo quanto stabilito dal già citato D.P.R. 14 aprile 1994.

Il contributo di Renzo Mazzanti, ricercatore C.N.R. presso l'Università di Pisa, prende in esame le cause geologiche, climatiche e antropiche che hanno dato origine all'attuale conformazione dell'area costiera e all'evoluzione del litorale fino al 1850; Valerio Milano, dell'Università di Pisa e esperto del Comitato Tecnico, presenta i risultati degli studi sulla dinamica marina e sulle conseguenze di quest'ultima,



Porto di Viareggio: è visibile l'accumulo di sabbia a sud (in primo piano) e la luna di erosione a nord dell'imboccatura del porto.

Tenuta Presidenziale di S. Rossore (PI) - Foce di Fiume Morto Nuovo. Si nota in alto la luna di erosione prodotta dalle dighe del "Gombo" con lo scalzamento della duna e delle opere in primo piano.



focalizzando l'attenzione sul tratto compreso tra i porti di Livorno e di Viareggio a partire dal 1850, mentre Enzo Pranzini e Tullio Sagliocco dell'Università di Firenze presentano i risultati delle ricerche in corso sulle attuali tendenze evolutive e sulla dinamica dei sedimenti del delta dell'Arno.

Infine Leandro D'Alessandro, dell'Università di Roma e Giuliano Fierro, dell'Università di Genova, nel quadro degli studi commissionati dal Ministero dei LL.PP., riguardanti i criteri della definizione a mare dei bacini idrografici di interesse nazionale suggeriti dalla legge 183/89 sulla Difesa del Suolo (criteri che si basano sul trasporto lungo costa dei sedimenti fluviali), avanzano l'ipotesi che la delimitazione a mare del bacino dell'Arno possa essere compresa tra la foce dello Scolmatore e quella del Cinquale.

## **Sintesi storica sull'evoluzione e il modellamento della costa**

Come è documentato nel contributo del prof. Renzo Mazzanti, il tratto di costa in esame fa parte di una zona subsidente, limitata da sistemi di fratture tettoniche (faglie), il cui sprofondamento, iniziato a partire dal Miocene superiore (7,5 - 5 milioni di anni fa), ha individuato un'area che a più riprese, ma quasi continuamente, è stata sommersa dal mare.

Lo sprofondamento tettonico è stato di entità variabile: facendo riferimento alle rocce costituenti i rilievi montuosi circostanti la pianura, esso raggiunge gradualmente verso il litorale attuale valori fino oltre 2.000 metri: tali rocce si trovano infatti sepolte a profondità progressivamente più elevate procedendo verso la costa (ad esempio circa -700 metri sotto la città di Pisa, -900 metri al di sotto S. Piero a Grado, -2.000 al di sotto di Tirrenia).

I depositi soprastanti questo substrato, che si incontrerebbero con un sondaggio che raggiungesse la roccia a quelle profondità, rappresentano il riempimento dell'area sprofondata ("fossa tettonica"), formato successivamente al Miocene superiore.

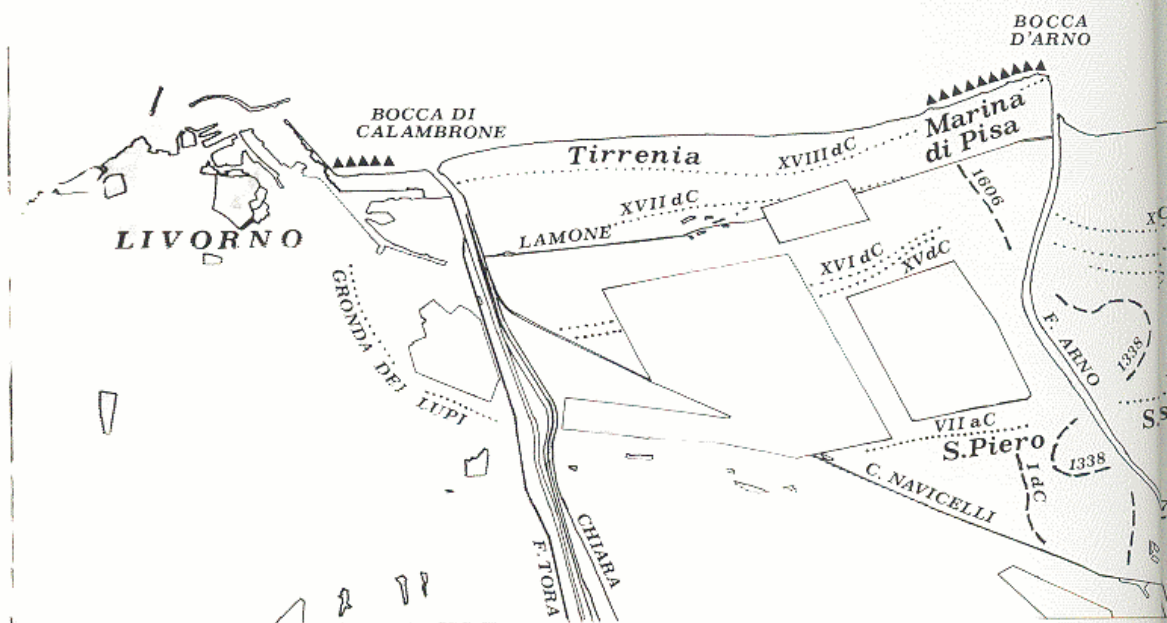
La tettonica ha avuto un grande ruolo nella formazione del bacino dal Miocene superiore (7,5 - 5 milioni di anni fa) fino al Pleistocene inferiore (1,6 - 0,7 milioni di anni fa).

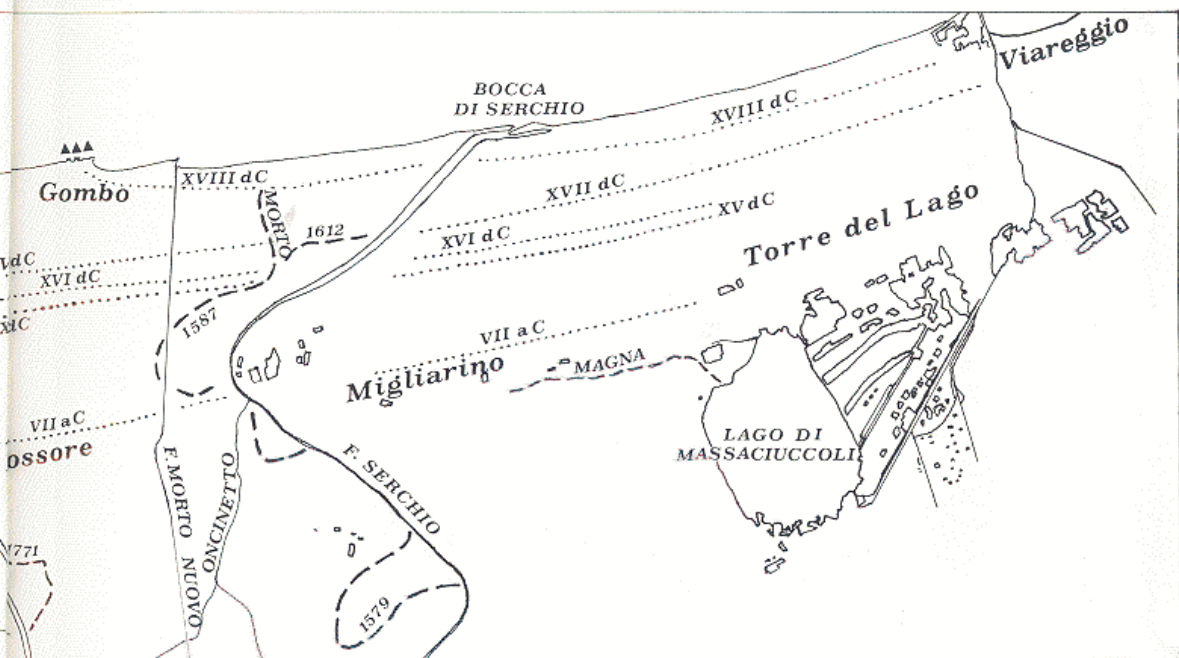
A partire dal Pleistocene superiore (125.000 anni fa) e fino all'Olocene (circa 10.000 anni fa) nella costruzione del litorale attuale appare più evidente l'importanza che hanno avuto le oscillazioni climatiche con le conseguenti variazioni del livello del mare. Prendendo infatti in considerazione anche solo l'ultima oscillazione glaciale (terminata circa 18.000 anni fa), è noto che il livello del mare è stato più basso di almeno 110 m rispetto a quello attuale (cfr. Mazzanti, fig. 11), profondità alla quale è riconoscibile ancora oggi il percorso, sommerso dal mare, del Paleo - Arno fino al largo delle Secche della Meloria.

Negli ultimi 6.000 anni, invece, si sono attenuate le oscillazioni climatiche e il paesaggio appare più fortemente determinato dall'impatto dell'uomo (cfr. Mazzanti), anche se non è da escludere totalmente l'influenza di sollevamenti tettonici, che non sono però quantificabili direttamente. Ciò è tanto più evidente se si considera ad esempio che l'innalzamento del livello del mare (negli ultimi 3.000 anni è risalito mediamente di almeno un metro) avrebbe dovuto far regredire la linea di riva, che risulta avanzata invece di circa 7 Km a partire dagli insediamenti etruschi fino al 1850, data dalla quale è cominciata invece ad arretrare di oltre un chilometro intorno alla foce dell'Arno, nel tratto non difeso artificialmente.

La spiegazione dell'avanzamento del litorale negli ultimi 3.000 anni va ricercata, secondo Mazzanti e Pranzini, nel forte incremento del materiale trasportato dai fiumi, causato soprattutto dall'attività dell'uomo che, per preparare terreni fertili all'allevamento del bestiame e all'agricoltura, incendiava gli appezzamenti da deforestare, favorendo l'erosione del suolo. Forti depauperamenti della foresta originaria sarebbero avvenuti inoltre per lo sfruttamento del legname, dovuto al crescere delle attività edilizie, minerarie, delle costruzioni navali, etc.

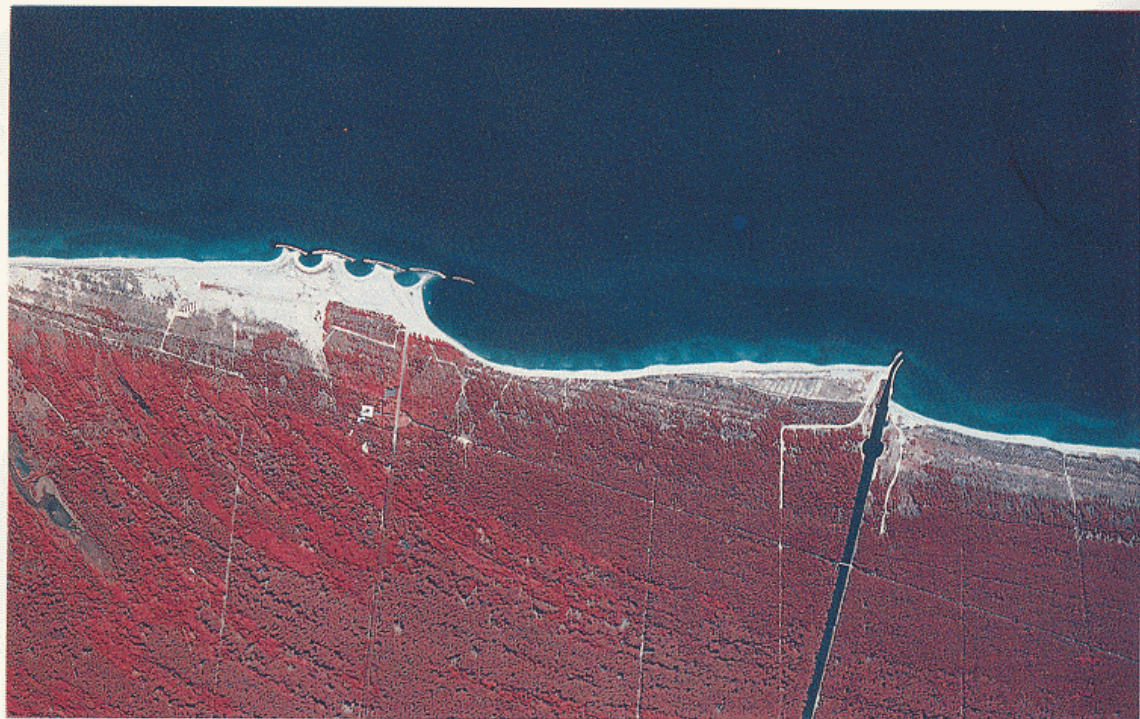
Anche lo spostamento artificiale della foce dell'Arno di 1550 metri verso Nord, iniziato nel 1606 con il "taglio ferdinando", essendo stata aumentata la pendenza nel tratto terminale del fiume, divenuto più corto, avrebbe contribuito localmente all'avanzamento verso mare della linea di riva, a causa del maggior apporto di materiale torbido: ciò avrebbe determinato la sovrapposizione di una nuova cuspidi deltizia su





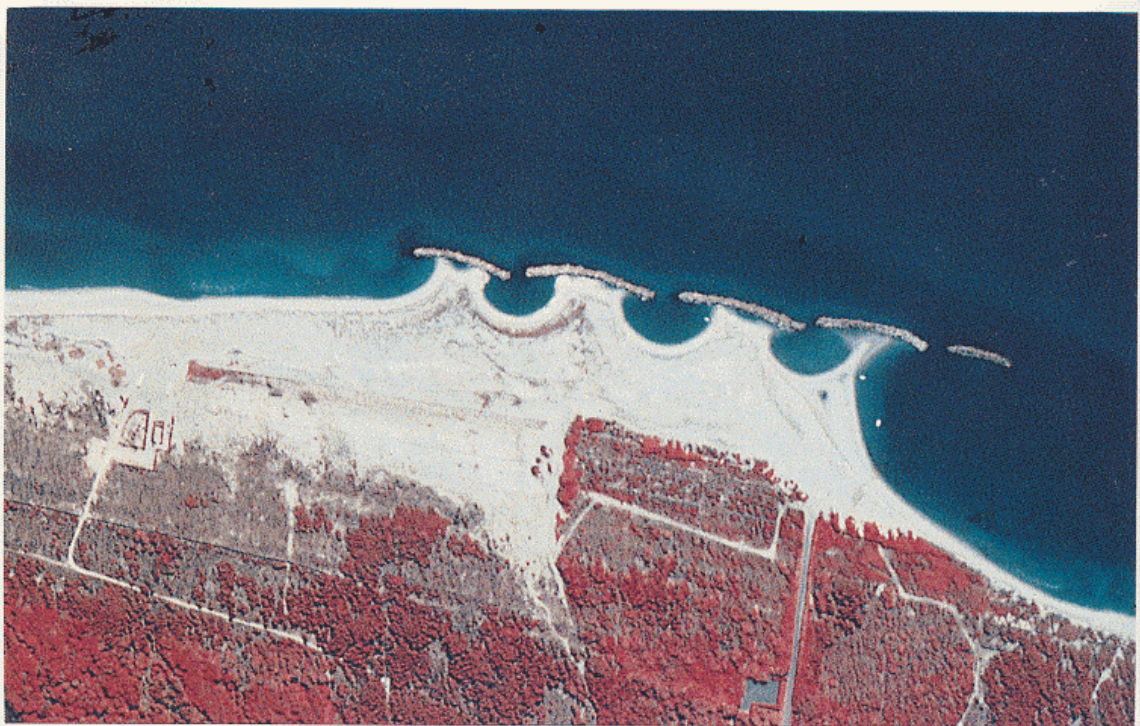
Litorale tra Livorno e Viareggio.  
 Documentazione della posizione della linea di  
 Riva in tempi storici a partire dal sec. VII a.c.  
 (dis. R. Mazzanti)





Tratto di costa prospiciente la Tenuta Presidenziale di S. Rossore (PI) - Si nota l'erosione prodotta a nord delle dighe di protezione della Villa Presidenziale (zona del Gombo) e dai manufatti alla foce del Fiume Morto Nuovo.

Tenuta Presidenziale di S. Rossore (PI) - Zona del Gombo. Particolare delle opere di protezione prospicienti la Villa Presidenziale.



quella preesistente e lo spostamento da libeccio a maestrale dell'orientamento della foce, col vantaggio di favorire il deflusso delle piene. Per tali motivi tutto il litorale è stato in continuo accrescimento da allora fino al 1850.

Alla metà del secolo scorso cominciano i primi fenomeni di erosione della costa nella zona di Bocca d'Arno con l'inizio dello smantellamento del delta fluviale causato dalla diminuzione dell'apporto dei sedimenti, fenomeno che continua tutt'oggi.

Pertanto dal 1850, essendo molto diminuito l'apporto solido fluviale, l'approvvigionamento dei sedimenti e la loro distribuzione lungo il litorale da parte del moto ondoso è avvenuta soprattutto a spese dello smantellamento del delta dell'Arno.

A questo proposito lo studio di Pranzini e Sagliocco dimostra che negli ultimi 10 anni il bilancio sedimentario alla foce dell'Arno è stato in passivo almeno per circa 300.000 m<sup>3</sup> all'anno, valore che, secondo Milano, si era verificato certamente anche in precedenza.

Tra le cause ipotizzabili per giustificare la diminuzione del trasporto solido a partire dal 1850, possono essere prese in considerazione (cfr. Mazzanti e Pranzini):

1) La fine della "piccola era glaciale" (che secondo i climatologi si è verificata tra il 1550 e il 1850). La maggiore piovosità di questo periodo freddo avrebbe favorito infatti il maggior trasporto solido, effetto che potrebbe essere stato esaltato anche dalle deforestazioni per le accresciute necessità energetiche.

2) L'estendersi di un'agricoltura minutamente parcellizzata, con la diffusione di tecniche atte a ridurre l'erosione dei suoli.

3) La diffusione delle bonifiche col metodo delle "colmate" (Val di Chiana, Val di Nievole, Padule di Fucecchio, Padule di Bientina, aree litorali, etc.) e il prosciugamento delle zone umide attraverso il dirottamento di consistenti quantità di materiale solido e conseguente loro sottrazione al rifornimento delle spiagge.

Specialmente le ultime due cause sembrano avere influito sull'inversione della tendenza all'avanzamento della costa.

In tempi recenti, dal 1962 al 1974, alla stazione idrografica di S. Giovanni alla Vena (in funzione dal 1936), situata lungo il tratto inferiore dell'Arno, è stata registrata una ulteriore progressiva diminuzione del trasporto solido da attribuire ai massicci prelievi di inerti dall'alveo del fiume, avvenuti nel decennio 1960-1970.

Dal 1974 ad oggi si ritiene tuttavia che il trasporto solido abbia ripreso ad aumentare per il divieto di prelevare inerti dall'Arno, divieto che data a partire dal 1969 e che è tuttora in vigore.

Ciò sembra dimostrato anche dal rialzamento del fondo medio del fiume nel suo tratto terminale, avvenuto nel periodo 1970-1978, (mentre si era registrato un continuo abbassamento del fondo dal 1922 al 1970) e dal cospicuo interrimento della sua foce in questi ultimi anni (cfr. Milano).

\* \* \*

Considerando l'intera unità fisiografica, compresa tra il porto di Livorno e la Punta Bianca, alla Foce del F. Magra, i corsi d'acqua più importanti che sfociano al mare (oltre al F. Magra, a nord, le cui torbide non alimentano il tratto di litorale che interessa i bacini in esame) sono il Serchio (con apporto solido in sospensione però molto basso, sull'ordine dei 15.000 m<sup>3</sup> l'anno) e l'Arno, l'unico che efficacemente alimenta il litorale, ma in maniera comunque insufficiente, tanto che - come già accennato - il bilancio sedimentario delle spiagge intorno alla foce presenta un deficit annuo di circa 300.000 m<sup>3</sup> (cfr. Milano, Pranzini e Sagliocco).

In definitiva il materiale che si movimentava oggi sulla costa in esame deriva:

1- dal trasporto solido dei fiumi, molto scarso e in pratica corrispondente solo a quello dell'Arno, poiché quello del Serchio è quasi ininfluente;

2 - specialmente dallo smantellamento di quella parte del delta dell'Arno (materiale non rinnovabile), formatosi in circa 200 anni (post 1606 - 1850) e che da oltre 140 anni è in fase di demolizione (1850 - 1994).



Tenuta Presidenziale di S. Rossore (PI) - Zona del Gombo. Erosione e accumulo di sabbia causato dalle dighe poste a protezione della Villa Presidenziale.

Tenuta Presidenziale di S. Rossore (PI) - Zona del Gombo. Particolare.



Se, al fine di inquadrare globalmente i fenomeni della dinamica litoranea, consideriamo il senso del trasporto longitudinale netto del materiale lungo tutto il litorale a grande raggio di curvatura che si estende da Livorno al F. Magra, risulta che esso da Bocca d'Arno fino circa a Forte dei Marmi è diretto da Sud verso Nord (cfr. D'Alessandro e Fierro). Oltre questa località, fino alla Punta Bianca, il senso del trasporto longitudinale è invece da Nord verso Sud e il materiale movimentato proviene dal F. Magra: ne risulta che il limite settentrionale di influenza dell'Arno sul litorale dovrebbe essere considerato la foce del Cinquale.

In corrispondenza della foce dell'Arno, come apparente eccezione a quanto sopra illustrato, si ha un'inversione del senso del trasporto netto del materiale che, a partire da questa zona, è diretto da nord a sud fino alla foce del Calambrone, cioè fino alla chiusura meridionale del litorale arcuato. Questa inversione del senso di trasporto è dovuta, oltre alla naturale distribuzione di una parte dei sedimenti dell'Arno, anche alla presenza delle secche sommerse della Meloria, che danno luogo a fenomeni di rifrazione del moto ondoso.

All'interno dell'unità fisiografica si individua inoltre anche la presenza di una "zona neutra", corrispondente al tratto compreso tra la Foce del Cinquale e Marina di Pietrasanta, a nord di Viareggio, in cui non vi è un verso prevalente nel trasporto dei sedimenti.

Nella situazione sopradescritta qualsiasi opera che si protende a mare blocca i sedimenti nella zona situata nel verso del loro trasporto, mentre determina "lune" di erosione al di là dell'opera stessa.

## **I principali problemi del litorale: ipotesi di soluzione**

Procedendo da Sud verso Nord, i principali problemi che si riscontrano sul litorale in esame sono brevemente illustrati nelle pagine che seguono, dove sono accennate ipotesi progettuali di soluzione che possono essere prospettate tenendo presente i meccanismi precedentemente ricordati.

### *1 - Insabbiamento della foce dello Scolmatore*

Lo Scolmatore, che si stacca dall'Arno in corrispondenza di Pontedera e sfocia in mare immediatamente a nord del porto di Livorno, può derivare fino a 1400 m<sup>3</sup> al secondo, contribuendo in maniera determinante alla riduzione del rischio idraulico dovuto alle piene dell'Arno di tutta la zona a valle di Pontedera fino alla foce e in particolare alla riduzione del rischio idraulico della città di Pisa.

Da qui la necessità che esso venga mantenuto costantemente efficiente, anche e soprattutto nel suo sbocco al mare.

Invece il tratto di litorale compreso tra Tirrenia e il porto di Livorno è in forte continuo avanzamento dal 1823.

L'avanzamento della linea di riva è stata mediamente di oltre 400 metri (fino a 450 - 460 metri) in corrispondenza dell'attuale foce dello Scolmatore; questa opera pertanto si trova in una zona soggetta a insabbiamento.

Possibili interventi finalizzati al mantenimento dell'efficienza di questa opera sono accennati nel paragrafo che segue.

### *2 - Erosione e arretramento della battigia tra Marina di Pisa e Tirrenia e difesa dell'abitato di Marina*

A Sud della foce dell'Arno tra l'abitato di Marina di Pisa, sorto dopo il 1850 e difeso da scogliere a partire dal 1898, e la periferia settentrionale di Tirrenia si è verificato successivamente al 1939 un arretramento della linea di riva che in alcuni punti ha raggiunto valori di 70 - 80 metri

L'arretramento, come era prevedibile, si è aggravato man mano che si procedeva alla realizzazione delle scogliere verso sud.

Esso minaccia oggi la strada litoranea che collega Marina di Pisa a Tirrenia e diversi stabilimenti balneari (ormai superstiti tra quelli che una volta vi si erano sviluppati), essendo localizzato particolarmente in corrispondenza dell'antica foce dell'Arno, precedente al "taglio ferdinando" (1606).



Duna costiera nella Tenuta di S. Rossore (PI), tra il Fiume Morto Nuovo e il Fiume Morto Vecchio. Si noti sullo sfondo la luna di erosione causata dai manufatti realizzati alla foce di Fiume Morto Nuovo.

Duna costiera nel tratto tra il fiume Morto Nuovo e il Fiume Morto Vecchio nella Tenuta Presidenziale di S. Rossore (PI), in zona non soggetta da erosione.



La difesa dell'abitato di Marina di Pisa è stata realizzata con opere a varia tipologia: prevalentemente scogliere (foranee e radenti), di notevoli dimensioni, per un tratto della lunghezza di 2,5 km. Nel tratto successivo, verso sud, per circa 1 Km, sono state successivamente realizzate difese di vario tipo (scogliere parallele, piccoli pennelli e difese radenti), di dimensioni più modeste, anche ad opera dei proprietari degli stabilimenti balneari. Il tratto ancora successivo, fino a 800 metri a nord del centro di Tirrenia, non ha alcuna opera a mare che possa contenere l'erosione ed è quello che attualmente richiede attenzione.

La situazione necessita pertanto di un piano organico di interventi sull'intero tratto di quel litorale, tenendo presente ovviamente tutte le problematiche dell'intera unità fisiografica.

In via di ipotesi, si potrebbe prospettare un intervento misto con la realizzazione di scogliere sommerse, in prolungamento di quelle esistenti e con il ripascimento del tratto del litorale retrostante, utilizzando il materiale che ostacola la navigazione alla bocca d'Arno e quello che insabbia la foce dello Scolmatore. Queste opere potrebbero quindi permettere una distribuzione diversa dei sedimenti del litorale, che consentirebbe indirettamente una migliore efficienza della foce a mare dello Scolmatore.

Negli Schemi Previsionali e Programmatici, approvati il 30 ottobre 1990, avevano già trovato posto interventi, coordinati tra loro, per il disinsabbiamento della foce dello Scolmatore e per limitare l'erosione ed i fenomeni negativi sopra descritti. Come già accennato, però, le procedure attuative successive non hanno dato risultati soddisfacenti circa la realizzazione tempestiva degli interventi suggeriti.

### *3 - Insabbiamento di bocca d'Arno e problematiche del porto turistico*

Il tronco terminale dell'Arno è utilizzato come porto: la corrente del fiume non è però in grado di evitare la tendenza all'interrimento della foce, dove nel 1850, prima che iniziasse lo smantellamento del delta, emergeva addirittura un'isoletta sabbiosa.

Oggi l'accesso dal mare in Arno è precario per la presenza di fondali con profondità inferiori anche a due metri. Ciò si ripercuote negativamente sulla navigabilità del tratto terminale del fiume, anche in considerazione del fatto che il tronco terminale dell'Arno, classificato come porto di 4ª classe della 2ª categoria, ha attrezzature idonee all'attracco di 2.500 imbarcazioni (1979), e il nuovo Piano Regionale dei Porti (1992) prevede la realizzazione di una darsena in foce d'Arno con 500 posti barca (cfr. Milano).

Necessitano pertanto periodiche operazioni di dragaggio, che diventano sempre più consistenti per il rialzamento del fondo conseguente al divieto di prelevare gli inerti nel fiume a partire dal 1969.

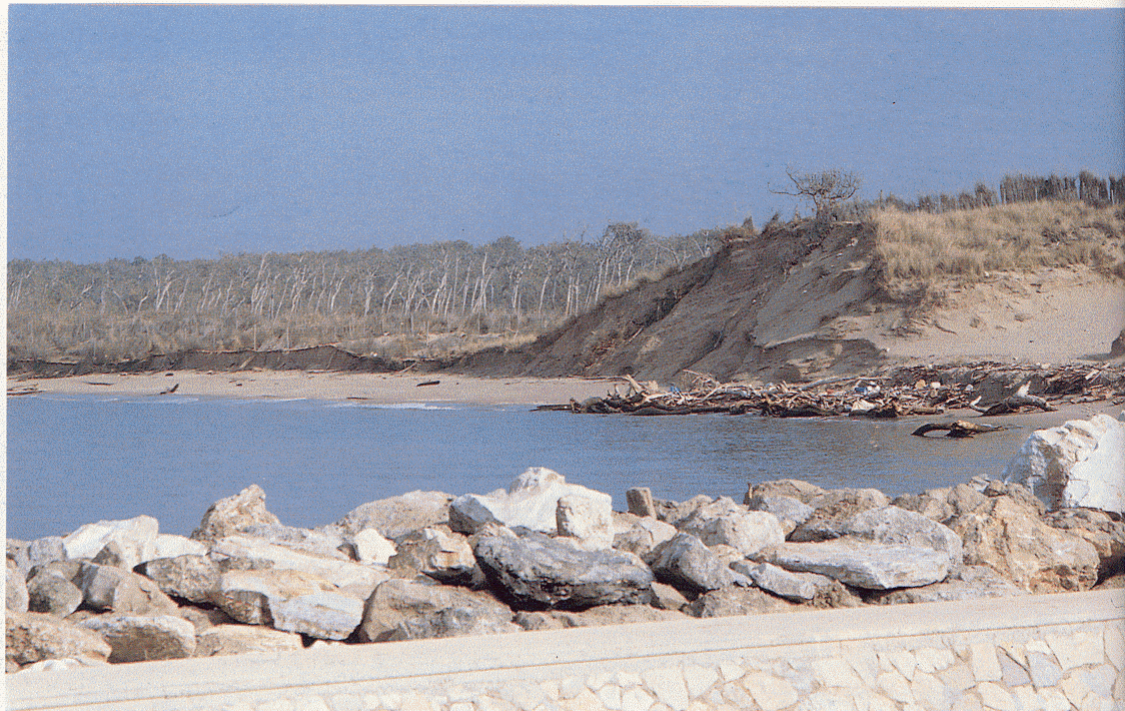
Come accennato, con questi materiali si potrebbe prospettare il ripascimento delle aree in erosione a sud o a nord della foce.

### *4 - Erosione del litorale di S. Rossore*

Lo scarso apporto solido del fiume, lo smantellamento della cuspidè del delta dell'Arno, la presenza delle opere alla foce (e lo stesso abitato di Marina di Pisa che oggi si protende nel mare) creano, a causa del trasporto nel senso sud - nord, una ampia "luna di erosione" a nord della foce dell'Arno, così che tutto il tratto dalla foce del fiume fino oltre quella del F. Morto è oggi in erosione, compromettendo la tenuta presidenziale di S. Rossore.

### *5 - Insabbiamento del porto di Viareggio*

Più a nord la spiaggia è condizionata dalla presenza del porto di Viareggio, che arresta il flusso sud-nord del materiale, determinando un avanzamento del litorale dalla foce del Serchio fino a Viareggio, tendendo a ostruire l'imboccatura del porto. In questo tratto di litorale l'avanzamento medio della linea di riva dal 1851 al 1983 è stato di circa 600 metri, fino a 770 metri nelle vicinanze del porto (quasi 400 metri dopo il 1939) (cfr. Milano).



Tenuta Presidenziale di S. Rossore (PI) - Bocca di Fiume Morto Nuovo. Particolare della demolizione della duna immediatamente a nord dei manufatti per scalzamento al piede. Si nota sullo sfondo la pineta gravemente danneggiata dall'inquinamento (aerosol marino).

Tenuta Presidenziale di S. Rossore (PI) - Bocca di Fiume Morto Nuovo. Opere di consolidamento dei manufatti posti a difesa della Foce, con evidente luna di erosione in primo piano.



Nel tratto da Bocca d'Arno alla foce del Serchio, oggi in erosione, possono essere ipotizzati interventi a mare tesi al trattenimento di parte di quell'ingente flusso di sedimenti che, diretto verso Nord, determina l'avanzamento della linea di riva fino a Viareggio. La costruzione di queste opere potrebbe favorire ripascimenti naturali programmati sul litorale di S. Rossore e benefici indiretti sul porto di Viareggio.

A nord del porto di Viareggio e fino a Lido di Camaiore il litorale è in erosione, non molto accentuata, a causa della presenza del porto che blocca i sedimenti provenienti da sud.

In questo tratto sembra sufficiente, per mantenere lo stato attuale, il ripascimento del litorale con materiale proveniente dal dragaggio periodico dell'imboccatura del porto di Viareggio.

A partire da Lido di Camaiore e dalla foce del T. Cinquale fino a Marina di Pietrasanta si ha la cosiddetta "zona neutra", alimentata da materiali provenienti dall'Arno - Serchio e dal Magra, in pratica in equilibrio e quindi senza necessità di interventi.

Più a settentrione, oltre i confini a mare dei bacini dell'Arno e del Serchio, l'unità fisiografica è condizionata dal trasporto solido del Magra che procede in senso inverso, da nord verso sud, creando gli stessi problemi, ma speculari, per la presenza del porto di Marina di Carrara.

\* \* \*

In conclusione, questa breve sintesi che anticipa e riassume i contributi scientifici degli esperti che si sono impegnati per la redazione di questo Quaderno, oltre che prospettare possibili strategie di intervento per mitigare gli effetti negativi su un litorale che alterna tratti molto antropizzati ad altri pressoché inalterati con le loro caratteristiche naturali, delinea una visione globale di interventi che utilizzino, per il ripascimento, ove necessario, principalmente il materiale che proviene dallo smantellamento del delta dell'Arno, fonte non rinnovabile che si è formata in un periodo di tempo di 200 - 250 anni in condizioni di trasporto solido dei fiumi più favorevoli rispetto a quelle attuali e che da 140 anni è in fase di demolizione.

Il progetto deve essere realizzato a breve termine, prima che finisca il materiale derivante dallo smantellamento del delta, poiché in questo modo i costi potranno essere relativamente contenuti.

Parallelamente si deve tendere a far aumentare l'apporto solido dei fiumi e specialmente dell'Arno, mantenendo il divieto di estrazione del fiume per lo meno a valle della diga ENEL di Levane (AR), avendo comunque ben presente che nella situazione attuale e quella futura, a breve - medio termine, esso non potrà tornare ai quantitativi precedenti il 1850, che comunque oggi l'apporto è scarso e che è quasi nullo quello del Serchio.

Lo spostamento del materiale sul litorale deve essere indirizzato in aree dove è necessario, decidendo quali tratti della costa è conveniente vadano in accumulo e quali in erosione, ma sempre operando con interventi limitati, semplici e scelti con accuratezza e oculatezza.

Gli interventi dovranno comunque essere accompagnati da un'azione di monitoraggio che consenta una valutazione della loro reale efficacia e l'aggiustamento nel tempo delle strategie, qualora il loro effetto non risulti ottimale.



Tenuta Presidenziale di S. Rossore (PI) - Duna in erosione tra le dighe del Gombo e la foce del Fiume Morto Nuovo.

Tenuta Presidenziale di S. Rossore (PI) - A nord del Gombo. L'erosione ha messo a nudo manufatti in cemento armato risalenti alla II<sup>a</sup> Guerra Mondiale.



# **IPOTESI DI DELIMITAZIONE DEI BACINI IDROGRAFICI DI RILIEVO NAZIONALE (D.P.R. 14 Aprile 1994): INDIVIDUAZIONE DEL LITORALE PROSPICIENTE IL FIUME ARNO**

*Leandro D'Alessandro, Univ. di Roma "La Sapienza" e Giuliano Fierro, Univ. di Genova  
Coordinamento: Francesco Nola e Paola Rocchini,  
Direzione Generale della Difesa del Suolo - Ministero dei LL.PP.*

Il presente lavoro si inquadra negli adempimenti previsti dal D.P.R. del 14 Aprile 1994: *"Atto di indirizzo e coordinamento in ordine alle procedure ed ai criteri per la delimitazione dei bacini idrografici di rilievo nazionale ed interregionale"*. Esso costituisce il contributo attivato dalla Direzione Generale Difesa del Suolo del Ministero dei LL. PP. relativamente alla delimitazione dei settori costieri di preminente influenza dei vari corsi d'acqua afferenti.

Questa pubblicazione costituisce uno stralcio della più ampia indagine, cui hanno contribuito diversi ricercatori e che è basata sui risultati delle molteplici ricerche condotte, da alcuni decenni, da parte di numerosi studiosi soprattutto nell'ambito del Progetto Finalizzato C.N.R. - Sottoprogetto Dinamica dei Litorali e del successivo Progetto M.U.R.S.T. sulla dinamica e caratteristiche geo-ambientali degli spazi costieri.

Tali studi hanno consentito di ipotizzare, per i principali corsi d'acqua italiani, i limiti dell'area di loro prevalente influenza lungo la costa, al di là della quale i sedimenti apportati da ciascuno di essi possono essere considerati trascurabili ai fini dei processi morfo-sedimentari della spiaggia. Ulteriori indagini sono state proposte agli enti interessati allo scopo di consentire il necessario approfondimento delle conoscenze acquisite relativamente alla complessa interazione fra dinamica dei bacini idrografici ed evoluzione costiera.

Il tratto di litorale avente come confini a nord il promontorio di Punta Bianca (La Spezia) e a sud i Monti Livornesi è contraddistinto dalla presenza del fiume Arno. Tale settore costituisce una falciata lunga 65 Km a grande raggio di curvatura, con concavità rivolta verso il mare, interrotta solamente dal protendimento costituito dal delta del fiume.

Il litorale in esame può essere suddiviso in tre settori: il più settentrionale, fra la foce del Magra e Viareggio, è il più antropizzato essendo interessato da numerosi centri sia turistici sia portuali; quello centrale, tra Viareggio e la foce dell'Arno, è pressoché inalterato nelle sue caratteristiche naturali e presenta solo limitate opere di difesa in corrispondenza del Gombo; infine il terzo settore, dalla foce dell'Arno a Livorno, mostra caratteri di antropizzazione intermedi tra i due precedenti ed è condizionato dalla presenza delle Secche della Meloria che ne influenzano la dinamica.

Dal punto di vista meteomarinario, assumendo come rappresentativa dell'unità fisiografica la località di Viareggio, il paraggio è interessato da un settore di traversia compreso tra gli azimut 170° e 302°, suddivisibile in tre settori parziali. Il primo, compreso tra le direzioni 170° e 221°, con limitate lunghezze di fetch; il secondo, compreso fra le direzioni 221° e 253°, costituisce il settore di traversia principale con fetch geografico di circa 1000 Km; il terzo settore, compreso tra 253° e 302°, presenta anch'esso lunghezze di fetch piuttosto limitate.

Per quanto attiene il quadro generale delle condizioni meteo-marine, si rileva che i venti regnanti sono quelli di ponente mentre, soprattutto nella parte settentrionale, il vento dominante è il libeccio. Di conseguenza i mari dominanti sono quelli del 3° quadrante che raggiungono la massima intensità in autun-

*Le conclusioni e le linee di questo documento, circa i limiti a mare del bacino dell'Arno, sono state approvate dal Comitato Tecnico dell'Autorità di bacino dell'Arno nella seduta del 15 dicembre 1994.*



Zona a nord del Gombo nella Tenuta Presidenziale di S. Rossore (PI) - Si nota in primo piano lo scalzamento della duna, già completamente demolita nel tratto immediatamente a nord delle dighe a mare, visibili sullo sfondo.

Tenuta Presidenziale di S. Rossore (PI) - Bocca di Fiume Morto Nuovo. Particolare della demolizione della "rotonda" in cemento armato immediatamente a sud dei manufatti posti a difesa della foce, con accumulo di materiale legnoso.



no ed inverno. Nella stagione invernale hanno una certa importanza anche i venti ed i mari del 4° quadrante (maestrale) che possono generare mareggiate notevoli. Per elementi di maggior dettaglio si rimanda al capitolo di questo quaderno (V. Milano), che tratta specificatamente del litorale pisano.

## **Attuale situazione del litorale**

Si riporta qui di seguito il quadro evolutivo generale del litorale, rimandando per i dettagli ai lavori indicati in bibliografia; le attuali tendenze evolutive e le caratteristiche sedimentologiche del delta dell'Arno sono illustrate nel relativo capitolo di questo Quaderno da E. Pranzini e T. Saggiocco.

Dalla foce del torrente Cinquale al Lido di Camaiore la spiaggia è sostanzialmente in condizioni di equilibrio, entrando in erosione nel tratto da Lido di Camaiore al porto di Viareggio, a causa della presenza del porto che blocca i sedimenti provenienti da sud.

Dal porto di Viareggio, procedendo verso sud, la spiaggia si presenta stabile o in accumulo: il molo del porto viareggino blocca una parte consistente dei sedimenti provenienti da sud connessi con un drift litorale nettamente diretto verso nord. Questa situazione persiste fino alla foce del fiume Serchio che appare sbarrata da una lunga flèche rivolta verso nord; gli apporti di questo fiume non incidono sull'andamento della linea di riva né sulla morfologia subacquea.

Il settore compreso tra la foce del Serchio e la foce dell'Arno è caratterizzato da una costante erosione dovuta al diminuito apporto detritico da parte dell'Arno.

Il delta è in costante erosione da circa un secolo; la sua ala destra, non antropizzata, è arretrata di oltre 1 Km rispetto alla sponda sinistra, dove l'abitato di Marina di Pisa è massicciamente protetto da opere di difesa.

Dal delta dell'Arno al porto di Livorno la situazione è piuttosto complessa: il drift distale risulta diretto da nord a sud nel tratto dalla foce dell'Arno a Tirrenia, mentre, proseguendo verso meridione, l'assenza di accumulo a ridosso del molo nord del porto di Livorno permette di dimostrare l'esistenza di un trasporto di verso opposto in quel tratto. Esiste quindi una zona di convergenza dei drifts al largo di Tirrenia, come confermato dal protendimento della spiaggia sottomarina. A nord di questa zona la spiaggia si presenta in forte erosione, mentre a sud essa appare in equilibrio.

## **Limiti di influenza del fiume Arno**

Il limite settentrionale di influenza del fiume Arno sul litorale può essere considerata la foce del T. Cinquale. Infatti tra questa e Marina di Pietrasanta è compresa la così detta "zona neutra", definita da Saggi (1967) che la considera una zona senza drift prevalente.

Le indagini sulle caratteristiche meteomarine del paraggio indicano che esso dovrebbe essere sede di convergenza dei due drift distali opposti che interessano le zone adiacenti. Infatti la zona è alimentata sia da materiali provenienti dal Magra sia da sabbie dell'Arno e del Serchio (Gandolfi & Paganelli, 1975) che in questa zona raggiungono le minime dimensioni medie (Aiello et alii, 1976).

Il litorale da Marina di Pietrasanta a Viareggio è costituito per una piccola frazione da materiali provenienti dal Magra, mentre per la maggior parte è alimentato da quei sedimenti del Serchio e dell'Arno che riescono ad oltrepassare lo sbarramento dovuto al molo sud del porto di Viareggio. A sud di questo e fino alla foce del Serchio la spiaggia è costituita esclusivamente dai materiali provenienti sia dall'Arno sia dal Serchio. Oltrepassato il Serchio, il litorale è alimentato quasi totalmente da sedimenti dell'Arno; apporti secondari, ma comunque decisamente meno importanti, sono attribuibili ai fiumi Morto Vecchio e Morto Nuovo. Il drift, di notevole intensità, è quindi rivolto costantemente da sud a nord e non vi sono discordanze tra drift distale e drift prossimale. Bisogna dire, però, che la quantità di materiale proveniente dai fiumi in questione è notevolmente ridotta a causa di estrazioni in alveo, sbarramenti artificiali e opere di difesa



Marina di Pisa. Opere a mare a protezione dell'abitato.

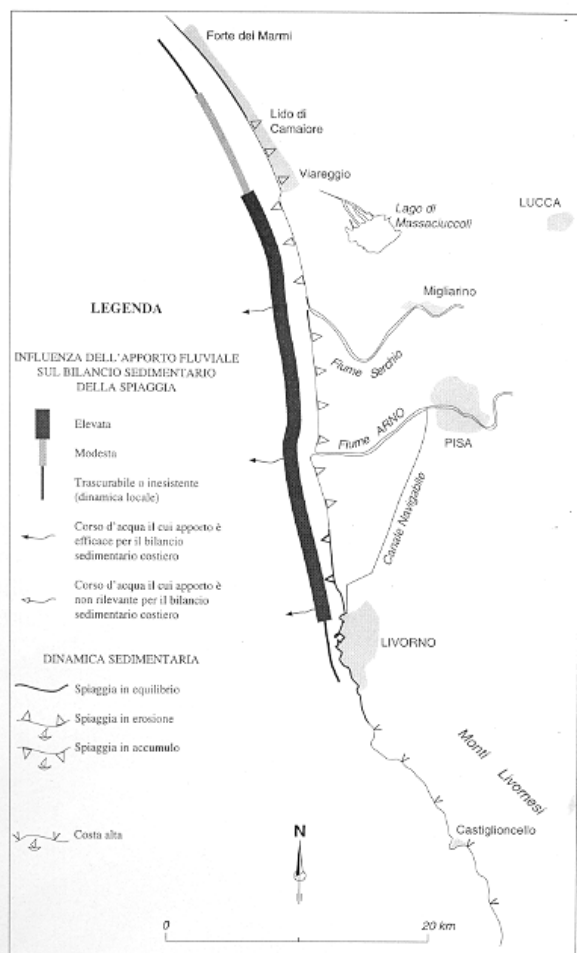
Tratto di costa tra Tirrenia e Marina di Pisa. Opere a protezione dell'arenile.



contro le alluvioni. Questi interventi antropici hanno causato l'intensa e diffusa erosione del litorale, mentre l'accumulo che si registra a ridosso del porto di Viareggio è alimentato dallo smantellamento del delta sommerso, che costituisce una fonte di materiale non rinnovabile (Pranzini, 1983).

A sud dell'Arno, come già detto, la dinamica è caratterizzata da fenomeni piuttosto complessi. Il litorale è prevalentemente alimentato dai materiali dell'Arno, il drift distale risulta diretto da nord a sud in gran parte della zona, tuttavia la particolare composizione delle sabbie della foce Calambrone (Gandolfi & Paganelli, 1976) è un'ulteriore conferma del fatto che a nord del porto di Livorno il trasporto avviene in direzione opposta e che quindi la zona a largo di Tirrenia sia una zona di convergenza dei drifts distali. La direzione dei drifts prossimali, che spesso è opposta a quella dei drifts distali avrebbe la funzione di favorire la ridistribuzione dei materiali su un tratto di litorale più ampio (Aiello et alii, 1976).

Appare comunque accertato che alla dinamica litoranea contribuiscono attualmente non solo e non tanto i detriti apportati dall'Arno, ma i sedimenti del suo delta, sia emerso che sommerso, ormai in fase di smantellamento.



Influenza dell'apporto fluviale sul bilancio sedimentario della spiaggia.



Marina di Pisa. Opere a mare a protezione dell'abitato.

Marina di Pisa. Particolare delle opere a mare, poste a difesa dell'abitato e della strada litoranea.

