

A T T I
DELLA
SOCIETÀ TOSCANA
DI
SCIENZE NATURALI
RESIDENTE IN PISA

MEMORIE - SERIE A
VOL. LXXXIV - ANNO 1977

INDICE

LANDINI W., MENESINI E. - L'ittiofauna plio-pleistocenica della sezione della Vrica (Crotone - Calabria). Nota preliminare	Pag. 1
MAZZEI R. - Biostratigraphy of the Rio Mazzapiedi-Castellania section (type-section of the Tortonian) based on calcareous nannoplankton	» 15
COSTANTINI A., LAZZAROTTO A., MICHELUCCINI M. - Le formazioni liguri nell'area a sud del Monte Cetona (Toscana meridionale)	» 25
FORNACIARI G. - Industria litica rinvenuta in località « Galceti » (Prato)	» 61
GALIBERTI A. - Industria di tipo paleolitico superiore nella grotta di S. Michele a Cagnano Varano (prov. di Foggia)	» 75
MAZZANTI R. - Reperti di <i>Elephas antiquus</i> nel pleistocene di Fauglia (Pisa)	» 79
VITTORINI S. - Variazioni della linea di costa al Gombo (Litorale pisano)	» 91
PAGANI M., TURI A. - Analisi mineralogica quantitativa per diffrazione a raggi X di sedimenti carbonatici attuali: applicazione ai sedimenti della laguna di Porto Cesareo (Penisola Salentina)	» 104
FORNACIARI G. - I risultati dei saggi di scavo condotti in alcune grotte a Piano di Mommio di Massarosa nella Bassa Versilia	» 122
BRIZIO A. - La pellicola all'infrarosso falso-colore nello studio della degradazione dei versanti	» 156
BATTAGLIA S., NANNONI R., ORLANDI P. - La piemontite del Monte Corchia (Alpi Apuane)	» 174
<i>Elenco dei Soci per l'anno 1977</i>	» 179
<i>Norme per la stampa di note e memorie sugli Atti della Società Toscana di Scienze Naturali</i>	» 191

S. VITTORINI (*)

VARIAZIONI DELLA LINEA DI COSTA AL GOMBO
(LITORALE PISANO) (**)

Riassunto — In questo lavoro vengono descritte le variazioni della battigia tra Il Gombo e la foce del Fiume Morto Nuovo verificatesi in seguito alla costruzione di alcune scogliere frangiflutto atte ad arrestare l'erosione della spiaggia prospiciente il viale del Gombo.

Il periodo preso in considerazione è compreso tra il 1962, anno di inizio della costruzione delle scogliere, e il 1975. In questo arco di tempo furono condotte numerose misure della battigia, mediante istituzione di capisaldi fissi, integrate dall'analisi di fotografie aeree, che hanno consentito di descrivere l'evoluzione della spiaggia mano a mano che le scogliere venivano costruite.

Questa ricerca ha consentito di riscontrare un ripascimento in corrispondenza delle scogliere, ma, nello stesso tempo, una sensibile erosione della spiaggia posta a nord, sottoflutto rispetto alla traversia di SW.

Abstract — In this paper the variations of the shore-line extending from Gombo to the mouth of Fiume Morto Nuovo are described.

Such variations took place after some artificial break-water reefs were built in order to stop the erosion of the beach facing the Gombo boulevard.

Many measurements, between the year 1962 and 1975, were made on the beach, but successive series of aerophotogrammatic reliefs were also used in integrating these measurements. So it has been possible to follow the evolution of the beach during the construction of the break-water reefs.

It has been possible, in this manner, to verify an appreciable advancement of the beach behind the reefs. At the same time, because of prevailing south-west winds, a remarkable erosion of a long tract of coast that lies to the north can also be verified.

(*) Istituto di Scienze Geografiche dell'Università di Pisa.

(**) Lavoro eseguito col contributo del C.N.R. Progetto Finalizzato « Conservazione del suolo », Sottoprogetto « Dinamica dei Litorali ». Pubblicazione n. 27, contratto 76.00795.87 (Prof. Marco Tongiorgi) presso l'Istituto di Geologia e Paleontologia dell'Università di Pisa.

Com'è noto, il delta dell'Arno fino al 1890 sporgeva notevolmente nel mare; gli apporti sabbiosi del fiume controbilanciavano in maniera efficace le forze del mare che tendevano a distruggerlo⁽¹⁾. Tali apporti erano così cospicui che tutta la spiaggia a nord dell'Arno era in avanzamento. Dopo quella data, per motivi non ancora ben chiari, ma che si può presumere siano dipesi da interventi dell'uomo nell'ambito del bacino di questo corso d'acqua, l'equilibrio che perdurava dal XVIII secolo si è rotto ed è iniziata l'erosione, alimentata da un trasporto della sabbia verso sud. Nel tratto di spiaggia in esame esistono infatti un *drift* prossimale ed uno distale con direzione sud-nord di notevole intensità (E. AIELLO *et. al.* [1975]) provocati dal moto ondoso prevalente di SW (F. RAPETTI & S. VITTORINI [1974]) e dai venti dominanti spiranti dal terzo quadrante. La notevole intensità del moto ondoso che investe questa spiaggia sarebbe giustificata dal *fetch* piuttosto ampio formantesi al largo della costa di San Rossore, come risulta dalla concordanza tra il regime dei venti registrati alla foce del Fiume Morto Nuovo (Tab. 1 e figg. 1 e 2)⁽²⁾ e di quelli registrati nell'Isola della Gorgona (S. VITTORINI [1976]).

La demolizione della cuspideltizia ha sopperito, in primo tempo, alla mancanza dell'apporto detritico fluviale, a tutto vantaggio del tratto più settentrionale della spiaggia di San Rossore. In corrispondenza del viale del Gombo⁽³⁾ infatti, tra il 1878 e il 1928, secondo i rilievi dell'I.G.M., la battigia è avanzata di 67 m, al ritmo di 1,35 m l'anno. Nello stesso periodo, in corrispondenza della foce del F. Morto Nuovo, dove ancora non era stata costruita la foce armata⁽⁴⁾, l'avanzamento è stato di ben 156 m, ad oltre 3 m l'anno (fig. 3a).

(1) Sul delta, per « l'effetto promontorio », l'energia delle onde, durante le mareggiate, subiva una concentrazione e tendeva a demolirlo.

(2) Anche se i dati di questa stazione si riferiscono ad un solo anno di osservazioni, quelli della stazione di Livorno (Accademia Navale), analizzati per un periodo più lungo, mostrano un andamento molto simile (F. RAPETTI e S. VITTORINI [1975]).

L'anemografo alla foce del F. Morto è stato installato con la collaborazione del Comune di Pisa e dell'Istituto di Scienze Geografiche dell'Università di Pisa.

(3) Località posta a circa 3500 m a nord della foce dell'Arno.

(4) La rettifica del F. Morto e la costruzione della foce armata furono portate a termine nel 1936.

TABELLA 1 - *Frequenza media percentuale dei venti per direzioni e classi di velocità, nel periodo luglio 1975 - giugno 1976, alla foce del Fiume Morto Nuovo (S. Rossore).*

Classi di velocità Km/h	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Calme	Tot. %
3,7 - 10	2,4	0,6	2,5	2,1	10,1	17,6	10,4	2,2	3,7	0,6	2,0	1,5	3,4	1,9	2,9	1,7		65,6
10,1 - 20	0,9	0,1	0,3	0,4	3,4	2,3	1,4	0,1	0,6	0,8	1,0	1,0	4,6	3,0	4,5	1,6		26,0
20,1 - 30					0,1				0,3		0,3	0,3	1,1	0,1		0,1		2,3
più di 30											0,1	0,2	0,3					0,6
Calme																	5,7	5,7
Tot. %	3,3	0,7	2,8	5,3	13,6	19,9	11,8	2,3	4,6	1,4	3,4	3,0	9,4	5,0	7,4	3,4		100,2
Velocità media ponderata (Km/h)	9,1	8,0	7,7	3,9	9,0	7,8	7,8	7,2	9,1	11,5	11,7	13,3	13,9	12,1	11,7	11,3		9,3

Poiché l'anemografo usato non misura la velocità istantanea del vento, le velocità qui riportate si riferiscono alla media eseguita nell'intervallo di tempo compreso tra l'ora precedente e l'ora seguente rispetto a quella di osservazione.

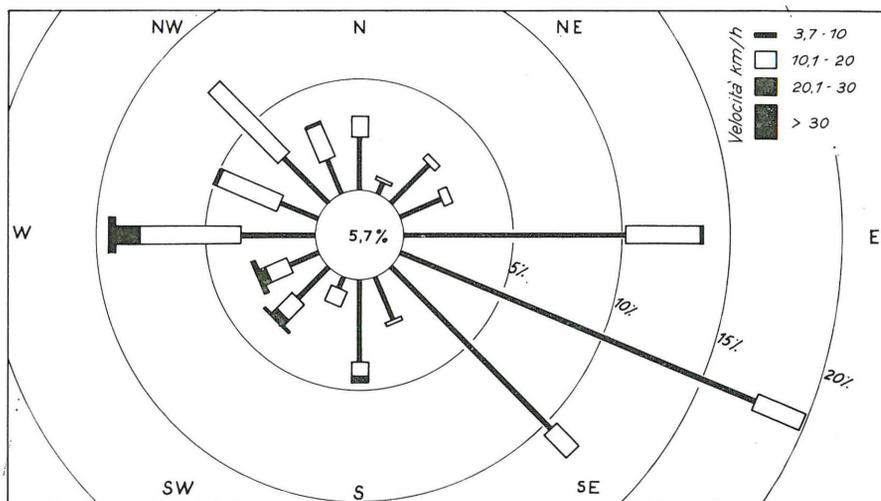


Fig. 1 - Distribuzione percentuale delle frequenze dei venti, per classi di velocità, nel periodo luglio 1975 - giugno 1976, alla foce del F. Morto Nuovo.



Fig. 2 - Regime dei venti a foce F. Morto Nuovo relativo al periodo luglio 1975 - giu-

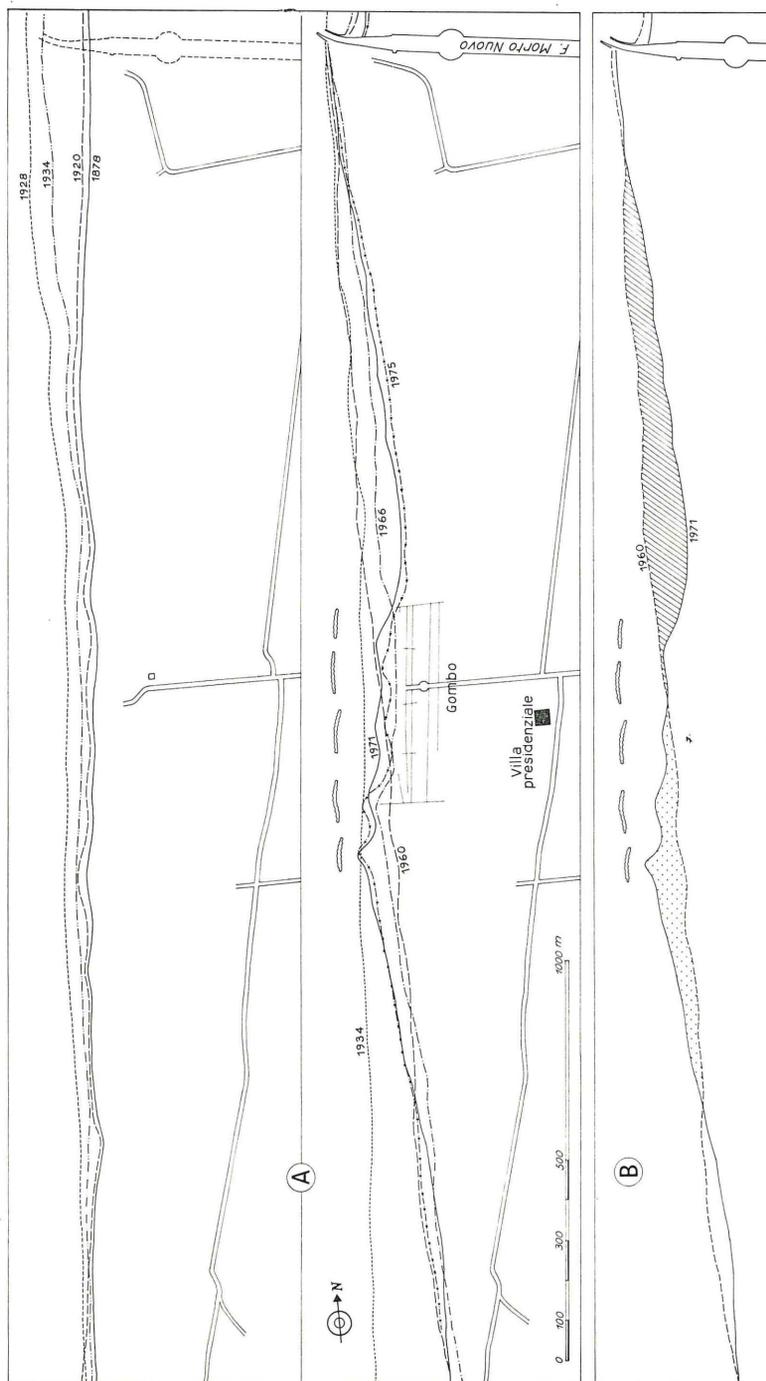


Fig. 3 - a): Fluttuazioni della battigia dal 1878 al 1975 nel tratto settentrionale della spiaggia di San Rossore, fino alla foce del F. Morto Nuovo. Sono qui riportate le fasi più significative.
 b): Superficie acquistata e perduta nel tratto di spiaggia compresa tra il Gombo e il F. Morto Nuovo, in seguito alla costruzione delle scogliere, tra il 1960 e il 1971.

I rilievi successivi al 1928 mostrano invece un ritiro generale di tutta la spiaggia di San Rossore, altrettanto repentino dell'erosione del delta. Tale fenomeno potrebbe essere stato causato dalla costruzione, a Bocca d'Arno, di due scogliere perpendicolari alla costa, ultimate nel 1926, e aventi la funzione di tenere libera la foce dai banchi di sabbia, costringendo le acque del fiume a sfociare in fondali più profondi e con maggiore velocità. In questa maniera le torbide ed i detriti di fondo venivano sospinti così al largo che non era più possibile alle onde ed al sistema delle correnti di distribuirli sufficientemente sulle spiagge adiacenti. Inoltre la presenza di tali opere, che si protendono notevolmente in mare, deve aver deviato il moto ondoso, focalizzandolo su alcuni tratti di costa, la cui natura sabbiosa li rende sensibili anche a piccole variazioni della direzione delle onde. La stessa funzione avrebbero avuto anche le acque dell'Arno che, spinte ben addentro

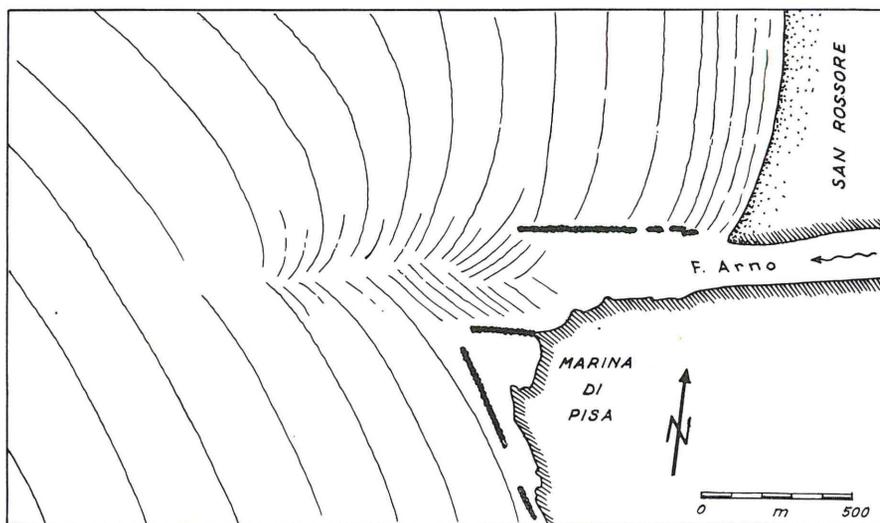


Fig. 4 - In questo disegno, tratto da una strisciata di foto aeree eseguita il 19/2/1960, si può notare la diffrazione delle onde causata dal « pennello acqueo » dell'Arno, spintosi ben addentro nel mare, e che determina l'incontro di forze opposte. tali forze, annullandosi a vicenda, favorirebbero la decantazione dei materiali trasportati dall'Arno e la formazione di secche. In quel giorno la portata liquida del fiume era di 696 mc/s; con portate più modeste le secche si formerebbero alla foce, mentre con piene più grandi i materiali verrebbero portati più al largo, su fondali profondi. Anche per la presenza delle scogliere perpendicolari le onde provenienti da SW sono molto deviate, fino a giungere quasi parallele alla costa subito a nord della foce.

nel mare, avrebbero funzionato da « pennello acqueo » (A. R. TONIOLO [1910]), formando un ostacolo capace di provocare la diffrazione delle onde, come del resto accade ancora oggi, malgrado che le suddette scogliere siano quasi del tutto sommerse (fig. 4).

Un certo rallentamento dell'erosione si ebbe negli anni dell'ultima guerra mondiale e nell'immediato dopo-guerra; dal 1934 al 1954 infatti la battigia al Gombo non subì alcun ritiro apprezzabile. Molto probabilmente in questo periodo l'attività estrattiva di sabbia e ghiaia dall'alveo dell'Arno dovette subire un certo rallentamento, permettendo un maggiore afflusso di materiale detritico al mare. Nel periodo successivo, tra il 1954 e il 1960, l'arretramento della spiaggia procedette invece con ritmo preoccupante, alla media di oltre otto metri l'anno⁽⁵⁾.

Per studiare questi problemi e per trovare un rimedio al progredire dell'erosione della spiaggia del Gombo, all'interno della quale era stata costruita nel frattempo la residenza presidenziale, fu nominata una commissione di studio interdisciplinare. In questo contesto fu decisa la costruzione simultanea di cinque scogliere frangiflutto. Alla loro realizzazione però le Opere Marittime procedettero per gradi, iniziando da quelle che, nel progetto (la quinta e la quarta), erano poste a qualche centinaio di metri a sud del viale del Gombo. In seguito a ciò, verso la fine del 1962, si determinò un sensibile ripascimento subito a ridosso delle scogliere, ma anche un'erosione sotto flutto rispetto alla traversia di SW, tanto forte da far arretrare le spiaggia proprio là dove si voleva ripascercela: di fronte al viale (fig. 5). Per il verificarsi di quest'ultimo evento è stato determinante, a nostro avviso, il lungo intervallo di tempo intercorso tra la costruzione delle prime due scogliere e le altre.

Negli anni seguenti l'erosione si spinse anche più a nord, interessando la spiaggia fino alla foce del F. Morto Nuovo, ma il fenomeno assunse proporzioni disastrose dopo che il mare ebbe smantellato il cordone di dune più esterno (fig. 6). Si formò così

(5) Non si può fare a meno di notare la coincidenza tra la ripresa dell'erosione e quella dell'attività estrattiva dall'alveo dell'Arno, giustificata dalla ripresa dell'attività edilizia propria di quegli anni. C'è stata comunque una forte diminuzione della quantità delle torbide trasportate dalla corrente del fiume rispetto al periodo prebellico poiché da 1.070.800 mc/anno si è passati a 692.000 mc/anno. Si può dedurre perciò, anche da questi soli dati, che ci sia stata una diminuzione del trasporto di fondo, dato che esso, in un certo qual modo, è proporzionale a quello in sospensione.

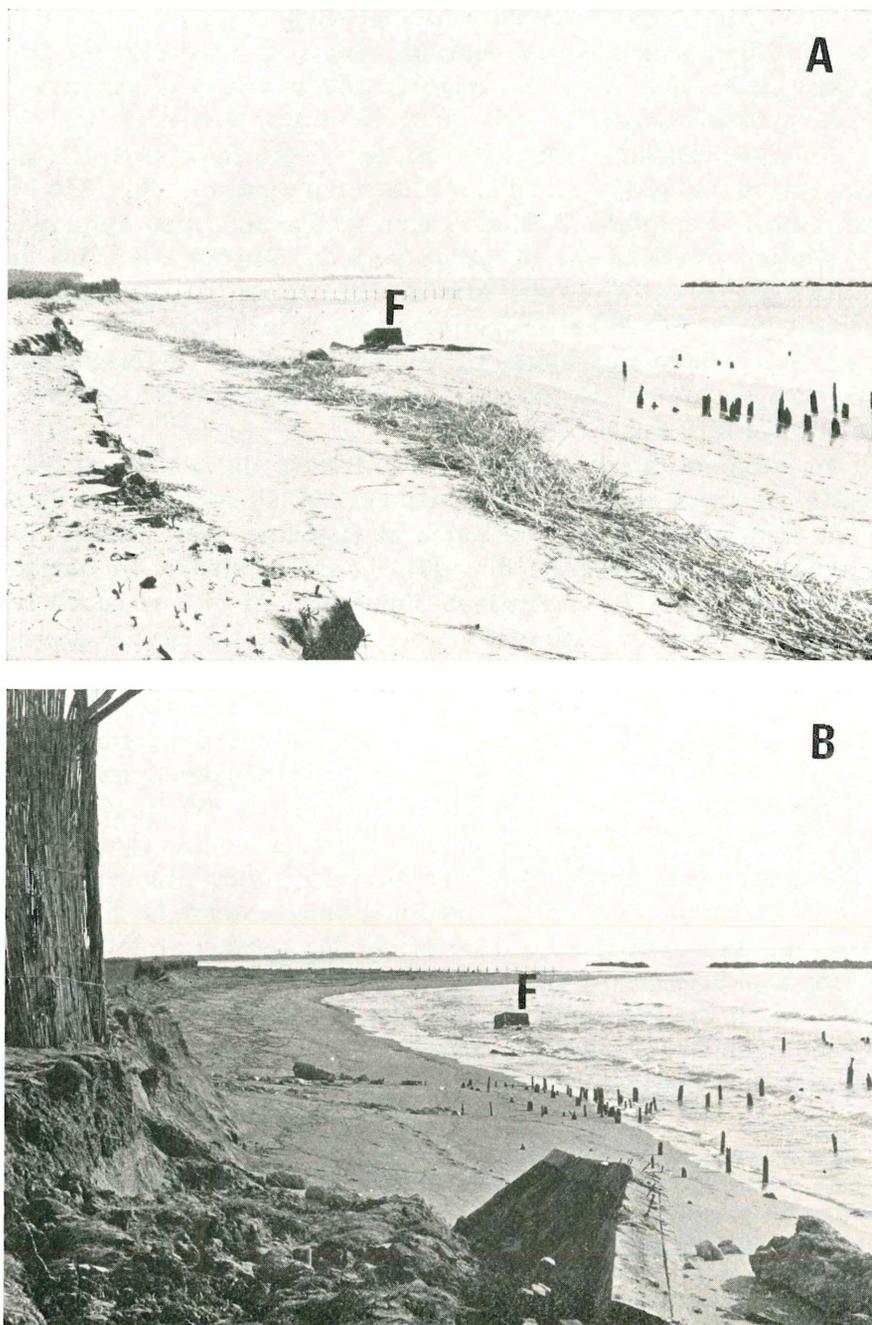


Fig. 5 - Il confronto fra queste due fotografie mette in risalto la velocità dell'erosione al Gombo dopo la costruzione delle prime due scogliere. In *a* (aprile 1963) il «fortino» (*f*) era ancora ancorato alla terraferma; in *b* (novembre 1963) esso era ormai entro il mare. Nel primo piano della foto *b* si può notare la parte terminale del viale del Gombo demolita dalle onde.

una profonda insenatura là dove invece l'andamento della battigia era pressoché rettilineo. L'abbattimento delle dune ebbe conseguenze negative anche sulla vegetazione che nelle dune aveva una naturale difesa contro l'aerosol di sali e sostanze inquinanti che si solleva durante le mareggiate.



Fig. 6 - Ottobre 1964: le onde hanno quasi smantellato la duna esterna presso il Gombo.



E' indubbio che, venendosi a creare una zona di calma a ridosso delle scogliere si siano determinate localmente condizioni favorevoli per il deposito della sabbia, con la formazione di protendimenti cuneiformi. Alle modificazioni della battigia dovute a questo accumulo di sabbia ha fatto riscontro un'analogia evoluzione dei fondali adiacenti (F. RAPETTI & S. VITTORINI [1974]). Questi infatti si sono elevati sopraflutto alla traversia principale di SW mentre si sono approfonditi sottoflutto per mancanza di apporti di sabbia intercettata dalle scogliere. Ciò ha determinato un allontanamento della zona dei frangenti dalla spiaggia a sud e un suo avvicinamento a nord, causando condizioni favorevoli ad un ulteriore ripascimento nel primo caso e di erosione nel secondo.

Vi è però un altro motivo che collega il sistema « scogliere-cunei di ripascimento » all'accentuazione della falcatura della spiaggia compresa tra il Gombo e il F. Morto Nuovo: tale sistema ha infatti creato nella spiaggia un nuovo caposaldo, molto più vicino al F. Morto che non fosse la cuspide del delta dell'Arno, contribuendo al nuovo assetto della battigia che ha aumentato perciò la sua falcatura. In sostanza la spiaggia è stata suddivisa in due settori distinti, il più settentrionale dei quali, quello che va dal Gombo al F. Morto, è molto più breve⁽⁶⁾.

Fino a tutto il 1965 non furono costruite altre scogliere delle cinque progettate. Alla fine del 1966 ne furono ultimate altre due, la n° 3 e la n° 2, per cui l'erosione in corrispondenza del viale del Gombo si arrestò, continuando però ad interessare ancora la spiaggia prospiciente il settore più settentrionale del parco della residenza presidenziale. Si rese necessario così costruire anche la quinta scogliera (la n° 1) che venne ultimata nel 1968. Di conseguenza si spostarono sempre più verso nord sia la zona soggetta al ripascimento (di qualche centinaio di metri) sia quella soggetta all'erosione (di oltre 1,5 Km).

Il rilievo del 1971 ha messo in evidenza un ripascimento generale della spiaggia dalla foce dell'Arno fino al Gombo ed un ulteriore arretramento del restante tratto di costa fino alla foce del F. Morto Nuovo. Se questo ripascimento può essere messo in relazione sia con cause di ordine fisico, sia con la proibizione dei prelievi di sabbia e ghiaia dall'alveo dell'Arno, resa esecutiva nel 1969, sia con la presenza delle scogliere che hanno intercettato i materiali grossolani provenienti da sud, l'erosione che si manifesta più a nord è certamente da mettere in relazione con la posizione sottoflutto alle scogliere stesse della spiaggia che ne è interessata.

Facendo il bilancio tra la superficie di spiaggia in avanzamento e quella perduta per erosione alla data del 1971 (prendendo come termine di confronto la situazione del 1960, antecedente alla costruzione delle scogliere), risulta che la costa da una parte ha guadagnato 4,2 ettari e dall'altra ne ha perduti 7,7 (fig. 3b).

Dopo l'arresto dell'erosione e il ripascimento registrato nel 1971, l'analisi di una più recente « strisciata » di foto aeree effet-

(6) Com'è noto, una delle condizioni di equilibrio di una costa sabbiosa è che l'angolo sotteso dall'arco formato dalla spiaggia sia di 0,25 radianti, per cui, avvicinandosi i capisaldi, aumenta la curvatura della spiaggia.

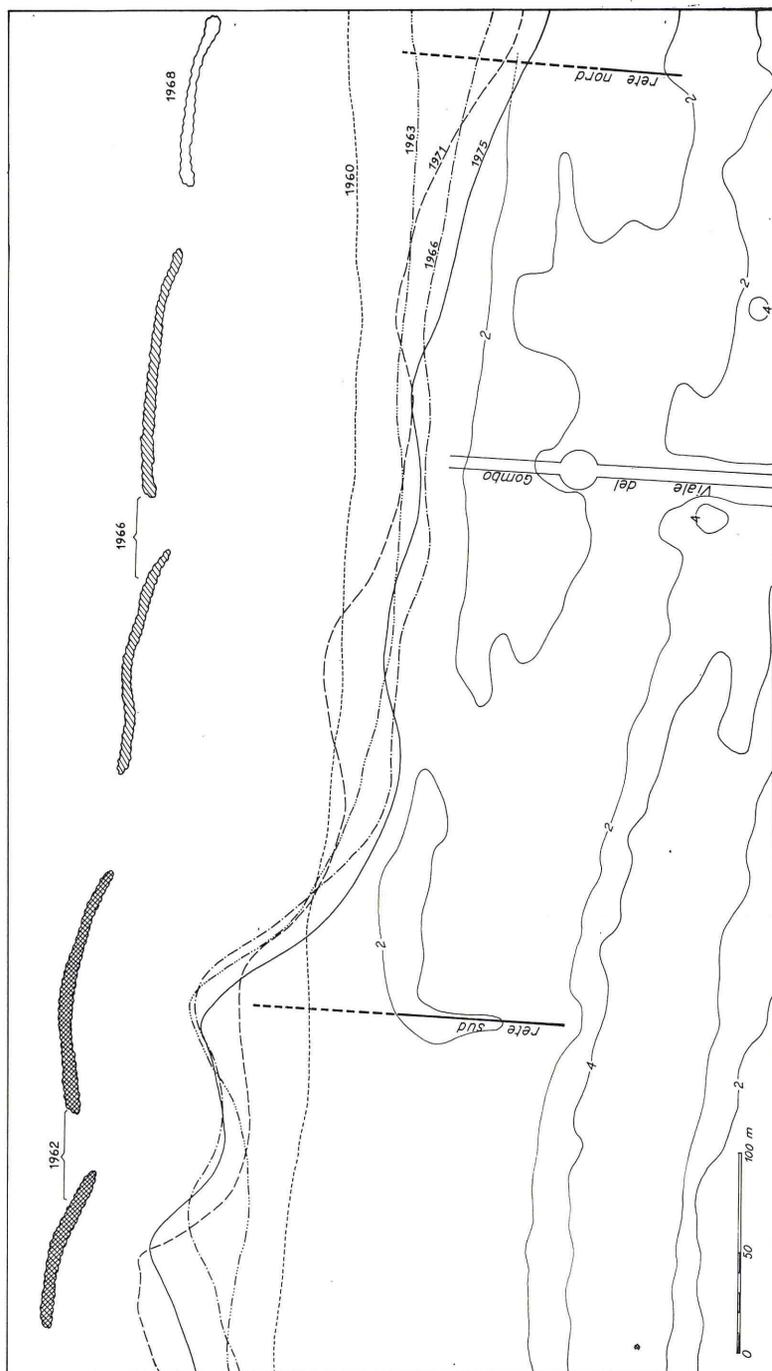


Fig. 7 - Fluttuazioni della battigia al Gombo, dal 1960 al 1971, verificatisi in seguito alla costruzione delle scogliere avvenuta per gradi. Si può osservare che, in corrispondenza della seconda scogliera da sud i profili da sud i profili che la spiaggia ha assunto via via si incontrano in un punto che fa da cerniera tra la zona in avanzamento e quella in ritiro.

tuata nel 1975 ha messo in evidenza una ripresa dell'arretramento di alcuni tratti della costa in esame. In particolare tale circostanza si sarebbe verificata a circa 1 Km a nord della foce dell'Arno dove l'erosione, in alcuni punti, avrebbe raggiunto l'entità di 50 m. Non sembra però trattarsi di un fenomeno generale di ritiro, tanto è vero che in prossimità del bivio di Via della Corazza la linea di costa ha mantenuto le posizioni raggiunte nel '71 mentre in altri punti si è verificato un ulteriore sensibile avanzamento. A nord delle scogliere inoltre, in posizione di sottoflutto, pur continuando l'erosione, la falcatura non si è accentuata con la progressione degli anni precedenti. Non si può fare a meno tuttavia di notare un certo arretramento dei cunei sabbiosi a ridosso delle scogliere. Questo insieme di fatti farebbe pensare ad una diminuzione degli apporti solidi più che ad un'accentuazione dell'attività demolitrice del mare. Si sarebbe cioè determinata una diversa distribuzione della sabbia sul litorale e quindi, praticamente, un assestamento della spiaggia.

L'ipotesi di un minore apporto di sabbia dall'Arno potrebbe essere confortata indirettamente dall'analisi dell'andamento delle piene del fiume, poiché è noto che il trasporto dei materiali grossolani può avvenire solo quando le portate superano un determinato valore. Dal seguente specchietto si può notare come il numero delle piene superiori a 120 mc/s, valore che rappresenterebbe la minima portata capace di un trasporto di fondo per l'Arno (C. RUGGIERO [1948], si sarebbe quasi dimezzato nel periodo 1972-75 rispetto ai periodi precedenti⁽⁷⁾. Appare evidente anche la progressiva diminuzione del numero delle piene maggiori.

TABELLA 2 - *Media annua delle piene registrate a San Giovanni alla Vena, per classi di portata media giornaliera e per periodi di osservazione.*

Classi di portata mc/s	P E R I O D I		
	1954 - 68	1969 - 71	1972 - 75
120 - 300	70,9	70,0	42,5
301 - 500	14,1	15,7	3,5
501 - 1000	5,3	1,3	0,5
più di 1000	8,0	—	—
Totale	91,1	87,0	46,5

(7) Si ringrazia vivamente l'Ing. A. Meucci, direttore dell'ufficio Idrografico dell'Arno, per aver fornito i dati inediti delle portate dell'Arno a San Giovanni alla Vena.

L'influenza delle piene dell'Arno sulle variazioni della linea di costa adiacente alla foce non è tuttavia ben chiara. Se da una parte le grosse piene (più di 500 mc/s) determinerebbero la dispersione al largo dei materiali detritici, dall'altra quelle modeste (meno di 300 mc/s) non sarebbero in grado di trasportare quantità sufficienti di sabbia per il ripascimento delle spiagge⁽⁸⁾.

Concludendo si potrebbe affermare, alla luce di queste prime indagini, che le fluttuazioni della linea di costa al Gombo siano di peso più dall'intervento dell'uomo sulla spiaggia e nell'alveo dell'Arno che non da cause di ordine naturale. A questo proposito si può ricordare che, in una precedente ricerca (F. RAPETTI & S. VITTORINI [1974]), non erano state notate apprezzabili variazioni climatiche dal secolo scorso ai nostri giorni. In particolare la frequenza ed il regime dei venti sarebbero rimasti sensibilmente costanti.

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. (1975) - Il trasporto litoraneo lungo la costa toscana tra la foce del Fiume Magra e i Monti dell'Uccellina. *Boll. Soc. Geol. It.*, **94**, 1519-1571.
- BENDINI C. (1969) - Il porto turistico e peschereccio di Marina di Pisa. *Boll. degli Ing. del Coll. degli Ing. di Firenze e Toscana*, **7**, 7-28.
- RAPETTI F., VITTORINI S. (1974) - Osservazioni sulle variazioni dell'ala destra del delta dell'Arno. *Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Mem.*, **81**, 25-88.
- RUGGIERO C. (1948) - Relazione idraulica. In. COMUNE DI PISA - Le possibilità di ripascimento del litorale di Marina. *Relazione della Commissione Comunale presieduta dal Prof. Ing. C. Ruggiero*, Pisa, 25-54.
- TONIOLO A. R. (1910) - Sulle variazioni di spiaggia a foce d'Arno dalla fine del sec. XVIII ai nostri giorni. Comune di Pisa, pp. 93.
- VITTORINI S. (1976) - Le condizioni climatiche dell'Arcipelago toscano. *L'Universo*, **56**, 147-176.

(ms. pres. il 27 giugno 1977; ult. bozze il 7 dicembre 1977).

⁽⁸⁾ I 2/3 di tutto il materiale solido trasportato in sospensione in media all'anno dall'Arno è da attribuirsi ad una durata di 12 giorni delle portate torbide ed appena 1/3 ai rimanenti 353 giorni (BENDINI C. [1969]).