

REGIONE  
TOSCANA



p i t

**Piano di indirizzo territoriale  
della Toscana**

**3. Quadro conoscitivo**

**ALLEGATO al TESTO n. 2**

4 dicembre 2006

## ALLEGATO AL TESTO 2

---

### EVOLUZIONE<sup>1</sup> RECENTE DELLE SPIAGGE TOSCANE<sup>2</sup>

Il quadro complessivo del litorale continentale

Dei 191 chilometri di litorale sabbioso compresi fra Bocca di Magra e la foce del Fiume Chiarone, circa 70 sono in erosione (Tabella 1). Questo dato, già preoccupante, non tiene conto del fatto che alcuni chilometri della costa toscana, un tempo costituiti da litorali sabbiosi, sono oggi protetti da scogliere aderenti a ridosso di centri abitati e vie di comunicazione (Marina di Massa e Marina di Pisa) o ospitano strutture portuali (Marina di Carrara, Viareggio), e pertanto sono stati esclusi dal computo delle spiagge. Inoltre, mentre le spiagge in avanzamento in genere registrano tassi di variazione di pochi centimetri all'anno, quelle in erosione subiscono arretramenti della linea di riva che, in alcuni casi, superano abbondantemente i 10 metri all'anno. In considerazione di ciò, sebbene i tratti in avanzamento siano più estesi di quelli in erosione (64,1% contro 35,9%) complessivamente il litorale toscano continentale ha perso, secondo i dati più recenti, circa 199675 metri quadri di spiaggia (il confronto precedentemente pubblicato su Segnali Ambientali in Toscana 2003 indicava una perdita di 214.000 metri quadri di spiaggia).

È comunque doveroso sottolineare che, in molti casi (91 km; 48% della lunghezza totale), lo spostamento della linea di riva è compreso entro i 5 metri, un valore dello stesso ordine di grandezza dell'errore previsto nel rilievo e nel confronto fra i dati. Ciò, in particolare, si riferisce alle linee di riva più vecchie (fino al 1985), frutto della fotorestituzione effettuata nel 1989 per ottenere la cartografia dell'evoluzione della linea di riva di tutta la costa toscana continentale. Quasi tutti gli ultimi rilievi, dal 1985 in poi, sono stati effettuati con metodo celerimetrico diretto o con DGPS e sono quindi assai più affidabili.

---

<sup>1</sup> Studi ed elaborazioni di Regione Toscana – Direzione Generale delle Politiche Territoriali e Ambientali - e Dipartimento di Scienze della Terra – Università degli Studi di Firenze

<sup>2</sup> Fin dai primi anni Settanta, presso il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Firenze, vengono eseguiti studi sull'evoluzione della linea di riva del litorale toscano sia nell'ambito di progetti di ricerca nazionali (CNR e MIUR) che per ricerche commissionate dalle Amministrazioni locali (Comuni, Province e Regione). I dati così raccolti sono andati a costituire un patrimonio di eccezionale valore, anche perché associati a ricostruzioni storiche effettuate mediante la restituzione aerofotogrammetrica di riprese effettuate fin dal 1938.

Un'occasione particolarmente importante nella costituzione di questo archivio fu fornita dallo studio condotto per la Regione Toscana nel 1989 e che portò alla realizzazione della Carta delle linee di riva in scala 1:5.000 di tutta la costa continentale, utilizzando anche un'analoga carta prodotta per la Provincia di Livorno negli anni 1977-78 ed importando dati da un documento realizzato nel 1985 dalla Provincia di Grosseto. Negli anni successivi, in occasione dell'aggiornamento dei dati sui vari tratti di litorale, si procedette alla digitalizzazione di quel documento, che, grazie agli studi realizzati per conto della Provincia di Livorno, prima, e della Regione Toscana, poi, fu esteso anche alle spiagge dell'Isola d'Elba.

Nei vari Rapporti sullo Stato dell'Ambiente della Toscana le tendenze evolutive delle spiagge sono state analizzate proprio grazie alla disponibilità di questo archivio e su di esso sono state fatte le analisi sulle necessità d'intervento che poi sono state alla base del Progetto di Piano regionale per la gestione integrata delle aree costiere e del Programma di interventi prioritari di recupero e riequilibrio delle spiagge.

Non sempre è stato possibile inserire in questi rapporti gli ultimi dati disponibili, anche perché in molti casi sono stati prodotti per il monitoraggio di piccoli tratti costieri, mentre nei rapporti si analizzavano ampi settori di costa. Un simile problema si ripresenta oggi, nel momento in cui si vuole fare un ulteriore aggiornamento del quadro complessivo delle tendenze evolutive del litorale: l'inserimento di alcuni nuovi dati implicherebbe un'ulteriore suddivisione dei settori di costa a cui si è sempre fatto riferimento, rendendo la lettura del documento estremamente complessa. Si preferisce quindi non inserire nelle tabelle e nelle carte dati relativi a piccoli tratti, ma comunque presentarli nel testo dato che questi si riferiscono spesso a spiagge oggetto di interventi di difesa e che possono quindi aver modificato l'originaria tendenza evolutiva.

È comunque opportuno sottolineare che i dati numerici riportati nelle tabelle e sintetizzati graficamente nelle figure si riferiscono a settori che, nel documento del 1989, erano considerati omogenei dal punto di vista evolutivo (avanzamento o arretramento della linea di riva), all'interno dei quali era previsto che potessero esservi piccoli tratti nei quali, nel periodo di tempo considerato, si avessero variazioni opposte a quelle dell'intero settore. Oggi, che all'interno di questi settori sono stati realizzati interventi di difesa, il quadro è assai più complesso e difficilmente sintetizzabile in una breve tabella. D'altra parte una nuova delimitazione dei settori che tenga conto di questa realtà porterebbe a generarne un centinaio, dato che negli ultimi anni sono stati effettuati interventi nei settori 1 (Marinella di Sarzana), 3 e 5 (Marina di Massa e Ronchi), 9 e 10 (San Rossore), 11 (Marina di Pisa), 13 (Tirrenia), 15 e 16 (Vada e Punta del Tesorino), 19 (Cecina Mare Sud) e 25 (Follonica). Più semplice, anche se meno definita, è la situazione delle spiagge dell'Isola d'Elba, dove sono stati fatti pochissimi interventi strutturali (Golfo di Campo), ma alcuni ripascimenti artificiali (Sant'Andrea, Golfo di Procchio, Golfo di Campo, Seccheto) che, sebbene abbiano riguardato modesti volumi di sedimenti, hanno inciso significativamente sul modesto bilancio sedimentario di queste pocket beach.

| Numero settore | Settore                                       | Lunghezza settore (m) | Periodo | Anni | Variazione areale (m <sup>2</sup> ) | Variazione lineare media (m) | Tasso di variazione (m/a) |
|----------------|---|-----------------------|---------|------|-------------------------------------|------------------------------|---------------------------|
| 1              | Bocca di Magra-Fiume Parmignola               | 2378                  | 98/02   | 4    | 6223                                | 2.61                         | 0.65                      |
| 2              | Fiume Parmignola-Porto di Marina di Carrara N | 1777                  | 98/02   | 4    | 4976                                | 2.80                         | 0.70                      |
| 3              | Fosso Lavello-Fiume Frigido                   | 3433                  | 85/96   | 11.5 | 21562                               | 6.3                          | 0.55                      |
| 4              | Fiume Frigido-Fosso Poveromo                  | 2525                  | 85/96   | 11.5 | -76492                              | -30.3                        | -2.63                     |
| 5              | Fosso Poveromo-Porto di Viareggio N           | 16782                 | 85/98   | 13   | 128142                              | 7.6                          | 0.59                      |
| 6              | Porto di Viareggio S-Fiume Serchio            | 7216                  | 85/97   | 11.7 | 192672                              | 26.7                         | 2.28                      |
| 7              | Fiume Serchio-Fiume Morto Nuovo               | 5151                  | 85/97   | 11.7 | -244710                             | -47.5                        | -4.06                     |
| 8              | Fiume Morto Nuovo-Gombo N                     | 1500                  | 97/02   | 5    | -20597                              | -13.7                        | -2.75                     |
| 9              | Gombo N-Gombo S                               | 1500                  | 97/02   | 5    | -26272                              | -17.5                        | -3.50                     |
| 10             | Gombo S-Bocca d'Arno                          | 3000                  | 97/02   | 5    | -93341                              | -31.1                        | -6.22                     |
| 11             | Marina di Pisa-Tenuta di Tombolo              | 1000                  | 93/97   | 3.7  | 2496                                | 2.5                          | 0.68                      |
| 12             | Tenuta di Tombolo-Tirrenia                    | 1450                  | 93/97   | 3.7  | -6236                               | -4.3                         | -1.16                     |
| 13             | Tirrenia-Scolmatore del Fiume Arno            | 5133                  | 85/97   | 11.7 | 462                                 | 0.1                          | 0.01                      |
| 14             | Punta del Lillatro-Pietrabianca               | 2203                  | 76/81   | 5    | -9906                               | -4.5                         | -0.90                     |
| 15             | Pietrabianca-Pontile di Bonaposta             | 2808                  | 81/88   | 7    | -18300                              | -6.5                         | -0.93                     |
| 16             | Pontile di Bonaposta-Fosso Mozzo              | 2809                  | 81/93   | 12   | -5000                               | -1.8                         | -0.15                     |
| 17             | Fosso Mozzo-Fiume Cecina                      | 2184                  | 92/01   | 11   | 12200                               | 5.6                          | 0.51                      |
| 18             | Fiume Cecina-Fosso Cecinella                  | 1433                  | 90/01   | 9    | 6200                                | 4.3                          | 0.48                      |
| 19             | Fosso Cecinella-Forte di Bibbona              | 6465                  | 81/94   | 13   | -83200                              | -12.9                        | -0.99                     |
| 20             | Forte di Bibbona-Suvericcio                   | 12603                 | 81/94   | 13   | 62200                               | 4.9                          | 0.38                      |
| 21             | Suvericcio-San Vincenzo                       | 2653                  | 81/95   | 14   | -7600                               | -2.9                         | -0.20                     |
| 22             | San Vincenzo-Torre Nuova                      | 9695                  | 81/95   | 14   | 17600                               | 1.8                          | 0.13                      |
| 23             | Golfo di Baratti                              | 2080                  | 96/01   | 5    | -2197                               | -1.05                        | -0.26                     |

3

<sup>3</sup> Variazione areale, variazione lineare media e tasso di variazione annuale della linea di riva per i 44 settori della costa toscana considerati. Valori determinati sulla base degli ultimi due rilievi disponibili.

#### Da Bocca di Magra alla foce del Fiume Parmignola (Settore 1)

Il primo dei settori nei quali è diviso il litorale continentale ricade interamente in territorio ligure, ma è opportuno analizzarlo con gli altri perché costituisce l'estremità settentrionale dell'unità fisiografica. Fra il 1985 e il 1998 questo settore risultava in equilibrio presentando un avanzamento medio di soli 1.9 metri (+0.15 metri/anno). In realtà ciò era il frutto di arretramenti della linea di riva, concentrati in aree non difese da scogliere, e di avanzamenti localizzati su spiagge protette. Nel 1999 è stato realizzato (a Marinella di Sarzana) un intervento di difesa da parte del Genio Civile per le Opere Marittime. La conseguente evoluzione del litorale è stata studiata dal Dipartimento di Scienze della Terra su incarico dell'Autorità di Bacino del Fiume Magra e risulta che la posizione della linea di riva del 2002 è mediamente più avanzata di 2.61 m rispetto a quella del 1998; ovviamente nella zona dell'intervento sia hanno anche valori maggiori.

#### Dalla foce del Fiume Parmignola al porto di Marina di Carrara (Settore 2)

Il settore che si estende fra la foce del Fiume Parmignola e il porto di Marina di Carrara è sempre stato in avanzamento, anche se negli ultimi anni il primo tratto ha iniziato ad essere interessato da quell'erosione che, partita da Bocca di Magra, minaccia tutto il litorale posto a sud di questo fiume. Il confronto fra la linea di riva del 1998 e quella del 2002 mostra un avanzamento medio di 2.80 metri (0.70 metri/anno) che può in parte essere dovuto al materiale versato più a nord. I tratti più settentrionali di questo settore rimangono comunque in erosione.

| Numero settore      | Settore   | Lunghezza settore (m) | Periodo | Anni          | Variazione areale (m2) | Variazione lineare media (m) | Tasso di variazione (m/a) |
|---------------------|---|-----------------------|---------|---------------|------------------------|------------------------------|---------------------------|
| 24                  | Piombino-Prato Ranieri                                | 15278                 | 81/00   | 19            | 3997                   | 0.3                          | 0.01                      |
| 25                  | Prato Ranieri-Pontile Nuova Solmine                   | 3725                  | 84/00   | 16            | 1264                   | 0.3                          | 0.06                      |
| 26                  | Pontile Nuova Solmine-Foce La Fiumara                 | 1833                  | 83/00   | 17            | 1173                   | 0.6                          | 0.09                      |
| 27                  | Fiume Alma-Punta Ala                                  | 5515                  | 79/96   | 17            | -11471                 | -2.1                         | -0.12                     |
| 28                  | Punta delle Rocchette-Fosso Tonfone                   | 2500                  | 83/99   | 16            | -21149                 | -8.5                         | -0.53                     |
| 29                  | Fosso Tonfone-Porto Castiglione della Pescaia W       | 4600                  | 83/99   | 16            | -40803                 | -8.9                         | -0.55                     |
| 30                  | Porto Castiglione della Pescaia E -Pineta del Tombolo | 5250                  | 83/99   | 16            | 37683                  | 7.2                          | 0.45                      |
| 31                  | Pineta del Tombolo-Marina di Grosseto                 | 4050                  | 83/99   | 16            | 33056                  | 8.2                          | 0.51                      |
| 32                  | Marina di Grosseto-Emissario San Rocco                | 782                   | 84/99   | 15            | -6582                  | -8.4                         | -0.56                     |
| 33                  | Emissario San Rocco-Principina a Mare                 | 5240                  | 84/98   | 14            | -10112                 | -1.9                         | -0.14                     |
| 34                  | Foce Fiume Ombrone                                    | 3436                  | 85/98   | 13            | -178551                | -52                          | -4                        |
| 35                  | Marina di Alberese-Torre Collelungo                   | 2600                  | 84/98   | 14            | -22836                 | -8.8                         | -0.63                     |
| 36                  | Torre Collelungo-Cala Rossa                           | 2460                  | 84/98   | 14            | 55577                  | 22.6                         | 1.61                      |
| 37                  | Golfo di Talamone                                     | 2120                  | 84/01   | 17            | 2446                   | 1.2                          | 0.07                      |
| 38                  | Fiume Osa-Fiume Albegna                               | 5847                  | 83/01   | 18            | -7647                  | -1.3                         | -0.07                     |
| 39                  | Tombolo della Giannella                               | 8192                  | 84/01   | 17            | 44109                  | 5.4                          | 0.32                      |
| 40                  | Tombolo di Feniglia W                                 | 3690                  | 84/98   | 14            | 4318                   | 1.2                          | 0.08                      |
| 41                  | Tombolo di Feniglia E                                 | 2950                  | 83/98   | 15            | 8034                   | 2.7                          | 0.18                      |
| 42                  | Spiaggia di Ansedonia                                 | 1834                  | 73/84   | 11            | -18693                 | -10.2                        | -0.93                     |
| 43                  | Lago di Burano-Padule di Levante                      | 9400                  | 73/84   | 11            | 94676                  | 10.1                         | 0.92                      |
| 44                  | Padule di Levante-Fiume Chiarone                      | 2160                  | 73/84   | 11            | -29046                 | -13.4                        | -1.22                     |
| <b>Totale</b>       |   |                       |         | <b>191240</b> |                        | <b>-199675</b>               |                           |
| <b>Avanza-mento</b> |   |                       |         | <b>64,1%</b>  |                        | <b>122582</b>                |                           |
| <b>Erosione</b>     |   |                       |         | <b>35,9%</b>  |                        | <b>68658</b>                 |                           |

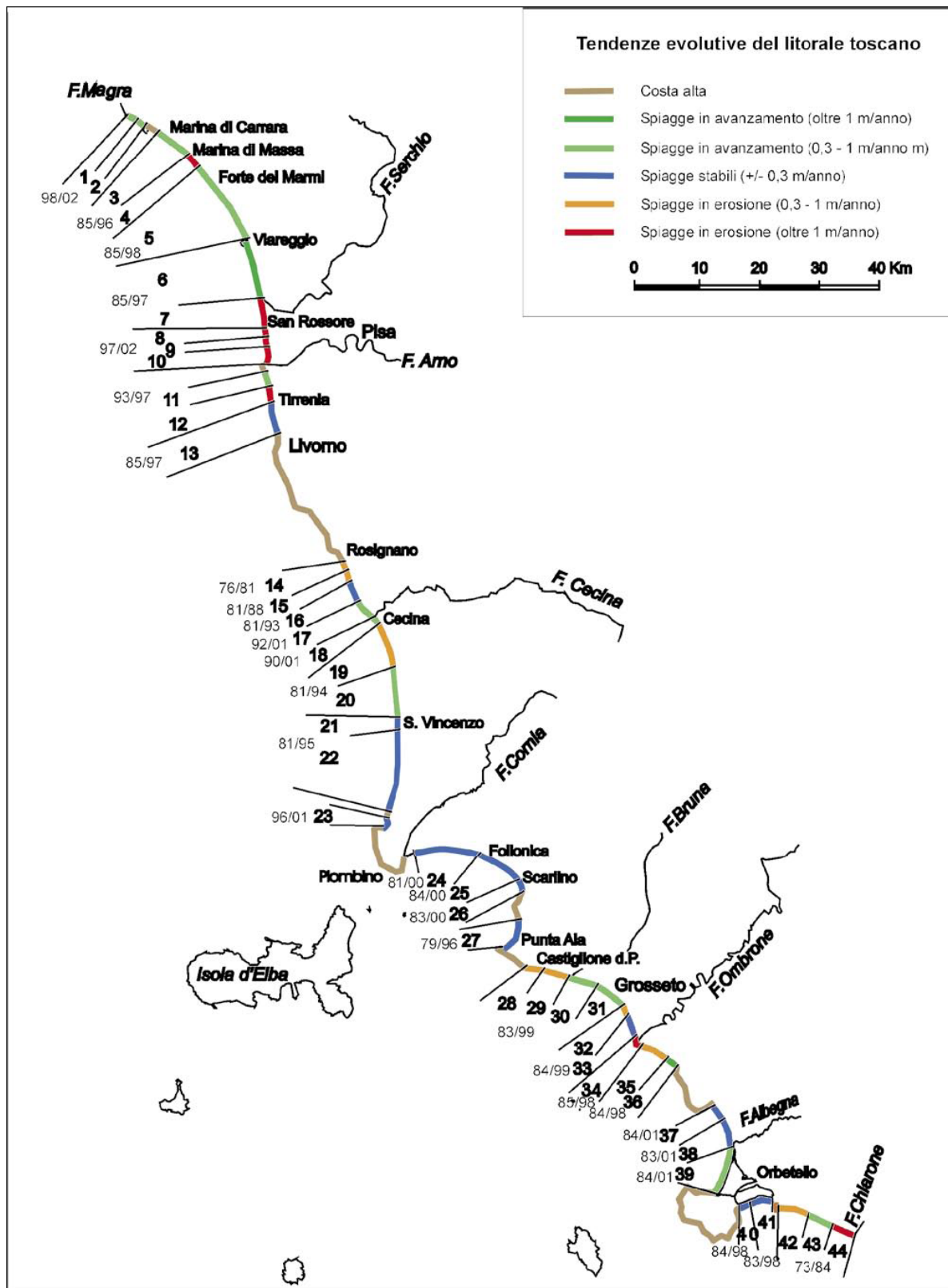


Figura 1 Tendenze evolutive delle spiagge della toscana continentale espresse sulla base del tasso di spostamento medio della linea di riva derivante dal confronto fra i due più recenti rilievi

#### Dal porto di Marina di Carrara al porto di Viareggio (Settori 3-5)

I rilievi effettuati in questo tratto di litorale iniziano dalla foce del Fosso Lavello, dato che la zona posta immediatamente a sud del porto di Marina di Carrara ormai non presenta più una linea di riva, essendo il litorale difeso da scogliere aderenti alla base delle quali non si trova più spiaggia.

Per i primi due settori considerati, che si estendono fino alla foce del Fosso Poveromo, sono disponibili rilievi effettuati nel 1996, mentre per il tratto successivo fino a Viareggio è disponibile un rilievo del Gennaio 1998.

Il primo Settore (n. 3) di questo tratto risulta aver subito un modesto avanzamento fra il 1985 e il 1996, probabilmente a causa delle numerose scogliere costruite e di occasionali ripascimenti artificiali dei quali purtroppo non esiste documentazione. Mediamente l'avanzamento della linea di riva è pari a 6.3 metri (+0.55 metri/anno), un valore modesto ma significativo in un litorale che per decenni è arretrato a causa dell'interruzione del trasporto litoraneo operata dalle opere foranee del porto di Carrara.

Nel Settore 4 le difese sono presenti solo in un piccolo tratto e la loro efficacia sembra comunque essere stata inferiore. Mediamente si registra, nello stesso periodo, un arretramento della linea di riva pari a 30.3 metri (-2.63 metri/anno). Fra il 1999 e il 2002 nel tratto compreso fra la foce del Fosso Magliano e quella del Fosso Poveromo sono stati realizzati 4 setti sommersi sperimentali in sacchi riempiti di sabbia, accompagnati da un modesto ripascimento artificiale; la risposta del litorale a questo intervento è stata studiata dall'Università di Firenze e dal Consorzio Pisa Ricerche per incarico della Regione Toscana e del Comune di Massa. L'erosione, che in questo tratto fra il 1986 e il 1999 procedeva ad un tasso pari a circa 4 m/anno, sembra essersi fermata ed anzi la spiaggia ha guadagnato, in media, quasi 10 metri.

Tutto il settore n. 5, compreso fra il Fosso Poveromo e il porto di Viareggio, è stato caratterizzato, fra il 1985 e il 1998, da un accrescimento medio di 7.6 metri (+0.59 metri/anno). Rilievi della linea di riva effettuati nel 2002 nel tratto antistante il territorio comunale di Forte dei Marmi, eseguiti per conto dello stesso Comune, mostrano che l'intervento di stabilizzazione della spiaggia di Ronchi non ha avuto impatti negativi sul litorale posto sottoflutto.

#### Dal porto di Viareggio a Bocca d'Arno (Settori 6-10)

Questo ampio tratto di litorale è alimentato prevalentemente dal Fiume Arno e, solo subordinatamente e per il tratto settentrionale, dal Fiume Serchio. La riduzione dell'apporto sedimentario dell'Arno, divenuta sempre più grave negli ultimi cento anni, ha determinato un'erosione del litorale che, iniziata alla foce, si è progressivamente estesa alle spiagge laterali. Oggi il processo erosivo ha superato la foce del Serchio, a nord, ed ha raggiunto l'abitato di Tirrenia, a sud.

Per i Settori 6 e 7 i dati disponibili più recenti sono quelli rilevati nel 1997, che possono essere confrontati con quelli fotorestituiti relativi al 1985. Per i Settori 8-10, invece, i dati più recenti si riferiscono a rilievi effettuati nel 2002; il periodo considerato in questo tratto di litorale è, dunque, compreso tra il 1997 ed il 2002.

Il Settore 6, dal porto di Viareggio alla foce del Serchio, ha mantenuto, fra il 1985 e il 1997, il trend evolutivo che lo ha sempre caratterizzato, registrando un avanzamento medio della linea di riva di 26.7 metri (+2.28 metri/anno). È opportuno sottolineare che il tasso di avanzamento si è leggermente ridotto rispetto a quello registrato nel periodo precedente (+3.08 metri/anno fra il 1978 e il 1985) e che le spiagge più prossime alla foce del Serchio sono entrate in erosione.

Il Settore 7, compreso fra la foce del Serchio e quella del Fiume Morto Nuovo, corrisponde ad uno dei tratti della costa toscana più gravemente colpiti dall'erosione; qui infatti la linea di riva è arretrata mediamente, fra il 1985 e il 1997, di ben 47.5 metri (-4.06 metri/anno), con un tasso di erosione in crescita se si considera che nel periodo precedente (1978-1985) si era registrato un tasso medio di -1.59 metri/anno. Ciò è in parte dovuto al fatto che il cronico deficit di sedimenti del delta dell'Arno si è qui aggravato a seguito dell'insabbiamento delle scogliere del Gombo, che ha comportato un'interruzione del transito verso nord dei sedimenti e l'espansione della spiaggia posta più a sud. Di ciò ha risentito anche il Settore 8, posto immediatamente a nord delle scogliere del Gombo, che ha subito, fra il 1993 e

il 1997, un arretramento medio di 3 metri (-0.82 metri/anno); arretramento che si è mantenuto costante fino al 2002 (-13.7 metri; -2.75 metri/anno).

Il Settore 9, che copre la zona protetta dalle scogliere ed il tratto posto immediatamente a sud, nel periodo 1985-1993 risultava in avanzamento per 42.7 metri (+5.33 metri/anno), ma questo valore derivava dalla media fra un tratto in accumulo, posto immediatamente a sud delle scogliere nel Gombo, e quelli in erosione della zona direttamente protetta e della spiaggia adiacente a Bocca d'Arno. Fra il 1993 e il 1997 questo settore mostra evidenti segni di erosione, con una perdita media di 4.7 metri (-1.27 metri/anno); erosione che si aggrava ulteriormente nei 5 anni successivi, quando spariscono circa 17 metri di spiaggia (-3.50 metri/anno).

L'aggravarsi della situazione in questo tratto è dovuta ad un processo che ha origine nel settore settentrionale (n. 8) dove l'arretramento della linea di riva dà luogo ad una profonda falcatura che, a sua volta, è divenuta causa di un'erosione regressiva che si è propagata al tratto di litorale difeso dalle scogliere parallele: i tomboli che collegavano le prime 4 scogliere meridionali sono stati progressivamente smantellati e solo la prima scogliera si collega oggi a riva con una lingua sabbiosa effimera.

Nel tratto successivo (Settore 10), fino a Bocca d'Arno, si sono registrati i tassi di erosione più alti misurati sulla costa toscana. In particolare fra il 1993 e il 1997 la spiaggia di questo settore è arretrata mediamente di 32.5 metri (-8.79 metri/anno), con un picco che raggiunge quasi i 20 metri all'anno sulla spiaggia antistante le Lame. Altri 33 metri vengono persi fra il 1997 e il 2001, anno in cui venne realizzato un intervento di stabilizzazione che in un anno ha determinato un avanzamento medio della linea di riva di 2 metri, in parte dovuto al versamento di ghiaia all'estremità meridionale del settore.

### **Da Bocca d'Arno al Porto di Livorno (Settori 11-13)**

Come è stato fatto per il litorale posto immediatamente a sud del porto di Carrara, anche la costa di Marina di Pisa, completamente difesa da scogliere aderenti e parallele, non è stata inserita nei settori studiati, e l'analisi dell'evoluzione di questo litorale riprende da tre chilometri e mezzo a sud di Bocca d'Arno, in prossimità della quale il Settore 11 è passato da condizioni di erosione nel periodo 1985-1993 (-20.8 metri; -2.6 metri/anno) a condizioni di leggera progradazione (+2.5 metri; +0.68 metri/anno) nell'ultimo periodo considerato (1993-1997). Questo tratto è comunque soggetto a rapide oscillazioni innescate dalle opere di difesa che vengono costruite via via che l'erosione si sposta verso sud, erosione incentivata dalle scogliere stesse. In questa zona è stato recentemente realizzato un intervento di riequilibrio costiero basato su di una scogliera sommersa lunga circa 500 m e finanziato dall'Autorità di Bacino del Fiume Arno. L'efficacia dell'intervento ed il suo impatto sulle spiagge di Tirrenia è stato valutato attraverso un monitoraggio effettuato dall'Università di Firenze per conto del Comune di Pisa. I primi risultati indicano che il tratto di litorale protetto dalla scogliera ha invertito le tendenze evolutive e non risultano effetti negativi sul litorale posto sottoflutto.

Procedendo verso sud, nel Settore 12, ritornano le condizioni di erosione (-4.3 metri; -1.16 metri/anno per il periodo 1993-1997) che caratterizzano gran parte del delta dell'Arno, anche se nel precedente periodo 1985 - 1993 si era qui registrato un leggero avanzamento della linea di riva (+0.73 metri/anno).

Il litorale che si estende da Tirrenia allo Scolmatore d'Arno (Settore 13) era sempre stato considerato in equilibrio e anche nel periodo 1985-1997 la linea di riva non aveva avuto significativi spostamenti (+0.1 metri; +0.01 metri/anno). Negli ultimi anni (1997-2002) la situazione è radicalmente cambiata all'estremità meridionale, presso la spiaggia di Calambrone, dove il processo erosivo (localmente anche superiore ai 4 metri) ha provocato il crollo di alcuni stabilimenti balneari. La causa di questa inversione di tendenza è stata identificata nella costruzione della vasca di colmata al limite meridionale di questa unità fisiografica.



#### Da Punta del Lillatro al Pontile di Bonaposta (Settori 14-15)

Questo tratto non è stato oggetto di rilievi recenti e lo studio dell'evoluzione della linea di riva si basa sui dati del 1976/81 per il Settore 14 e del 1981/88 per il Settore 15. Entrambi i Settori, pur in periodi leggermente diversi, risultavano in leggera erosione, -4.5 metri (-0.90 metri/anno) il primo e -6.5 metri (-0.93 metri/anno) il secondo. Le cause di questa erosione sono da ricercarsi sia in alcune opere a mare costruite negli anni Sessanta e Settanta con lo scopo di impedire l'insabbiamento del porto della Solvay, sia nel minor apporto di sedimenti da parte del Fosso Bianco attraverso il quale la stessa Società scarica in mare i residui della produzione di bicarbonato di sodio. Questi materiali costituiscono ormai la principale fonte di alimentazione di questa spiaggia.

#### Dal Pontile di Bonaposta al Forte di Bibbona (Settori 16-19)

Tutto questo tratto di litorale è alimentato direttamente dagli apporti solidi del Fiume Cecina ed ha pesantemente risentito della riduzione di questi in conseguenza delle forti escavazioni operate nell'alveo fluviale fino alla metà degli anni Settanta.

Dei quattro settori considerati, i due centrali (Settori 17 e 18) risultavano in avanzamento di 5.6 e 4.3 metri rispettivamente fra il 1981 e il 1990/92. Ciò era dovuto agli interventi di riequilibrio costiero realizzati in base a progetti redatti da parte dal Comune di Cecina e realizzati dal Ministero dei Lavori Pubblici.

L'intervento effettuato sulla spiaggia delle Gorette nel 1992 (Settore 17) ha dimostrato la sua efficacia dato che 10 anni dopo la linea di riva risulta arretrata di soli 1.69 metri (-0.19 metri/anno); successo dovuto in minima parte alla manutenzione attraverso occasionali versamenti di sabbia e ghiaia prelevata alla foce del Fiume Cecina.

Analoghe considerazioni possono essere fatte per la spiaggia di Cecina Mare (Settore 18), che fra il 1990 e il 2001 è rimasta sostanzialmente stabile (+1.90 metri; +0.17 metri/anno), anche se presenta ancora un'ampiezza limitata e non tale da impedire l'attacco delle onde alle strutture turistiche durante gli eventi meteomarinari estremi.

I due Settori esterni (16 e 19), al momento del rilievo della linea di riva, non erano ancora stati oggetto di interventi di riequilibrio e rimanevano pertanto nelle loro condizioni di erosione ormai consolidate da alcuni decenni. Il Settore 16, che appariva soggetto ad una modesta erosione (-1.8 metri in media fra il 1981 e il 1993; -0.15 metri/anno) ha in realtà al suo interno una zona, come quella di Punta del Tesorino, in cui l'erosione era proceduta ad un tasso superiore a 3 metri all'anno. Qui il Comune di Rosignano Marittimo ha predisposto un intervento di difesa finanziato dal Ministero dei Lavori Pubblici e dalla Regione Toscana. L'intervento è stato realizzato tra il 1999 ed il 2000 ed ha stabilizzato la linea di riva a Punta del Tesorino attraverso la costruzione di una spiaggia in ghiaia protetta da strutture di varia tipologia.

Analogamente il Settore 19, esteso fra la foce del Fosso Cecinella e il Forte di Bibbona, anch'esso soggetto ad un'erosione che procede ad un tasso di 0.99 metri all'anno (arretramento medio di 12.9 metri nel periodo 1981-1994), è stato protetto tra il 1999 ed il 2000, nella sua parte settentrionale più gravemente colpita, da un intervento di difesa predisposto dal Comune di Cecina e finanziato dal Ministero dei Lavori Pubblici e dalla Regione Toscana che, di fatto, prolunga verso sud quello già realizzato a difesa dell'abitato di Marina di Cecina. Un breve monitoraggio eseguito dall'Università di Firenze per conto del Comune di Cecina indica che nei primi 2 km del settore 19, dopo un'erosione di circa 5.60 metri (1994-1999) si è avuta una stabilizzazione della spiaggia (+0.87 metri fra il 1999 e il 2001).

#### Dal Forte di Bibbona a Torre Nuova (Settori 20-22)

In questo tratto di litorale il contributo dell'alimentazione del Fiume Cecina si fa gradualmente meno rilevante andando verso sud, dove assumono un ruolo progressivamente più importante i piccoli corsi d'acqua che scendono dalle Colline Metallifere.

I dati rilevati nel 1994 (Settore 20) e nel 1995 (Settori 21 e 22) consentono di avere un quadro sufficientemente aggiornato di quanto accaduto dopo il 1981, quando quasi tutto questo litorale risultava

in erosione. Complessivamente queste spiagge possono essere considerate in equilibrio ed anche gli effetti della costruzione del porto di San Vincenzo, che causò una significativa erosione del litorale posto a sud, si sono ormai attenuati. Nel 1995 risultava in leggera erosione solo il tratto che va da Suvericcio a San Vincenzo (-2.9 metri; -0.20 metri/anno), mentre quello settentrionale fino al Forte di Bibbona e quello meridionale, fino a Torre Nuova, sono in leggera espansione (+4.9 e +1.8 metri; +0.38 e +0.13 metri/anno rispettivamente).

#### Il Golfo di Baratti (Settore 23)

Rilievi abbastanza frequenti mostrano che negli ultimi decenni il Golfo di Baratti è stato soggetto ad una modesta ma costante erosione, che ha determinato la riduzione dell'ampiezza della spiaggia emersa, in particolare nel settore meridionale, dove questa è delimitata da strutture verticali. Negli altri tratti l'arenile ha conservato una relativa ampiezza, ma a spese della duna che ha subito una consistente erosione. Il confronto fra la posizione della linea di riva del 1996 con quella del 2001 indica un arretramento medio di 1,05 metri, ad un tasso di 0,26 metri/anno, leggermente inferiore a quello che ha caratterizzato il periodo precedente (1981-1996), quando il litorale era arretrato di circa 0,39 metri/anno. Sono valori di arretramento assai modesti che però risultano preoccupanti in una spiaggia estremamente stretta e con valori ambientali ed archeologici di grande rilevanza nell'immediato retroterra.

#### Da Piombino a Prato Ranieri (Settore 24)

Questo settore del Golfo di Follonica, per il tratto compreso tra la foce della Cornia Vecchia e Prato Ranieri si avvale di un rilievo eseguito nel 2000 e che consente di ridimensionare la gravità del fenomeno erosivo che lo aveva caratterizzato dagli anni Cinquanta. Fra il 1981 e il 2000 si registra un avanzamento medio di 0.3 metri (+0.01 metri/anno), contro un arretramento della linea di riva ad un tasso di -0.96 metri/anno nel periodo 1976-1981 e di -0.11 metri/anno nel periodo 1981-1996 relativo a tutto il settore. È probabile che gli interventi che avevano innescato il processo erosivo: bonifiche per colmata, costruzione di moli guardiani agli sbocchi a mare dei canali e opere di difesa all'esterno del settore, abbiano gradualmente smorzato il loro effetto ed oggi si stia procedendo verso una dinamica meno accentuata dei processi costieri

#### Da Prato Ranieri al Pontile Nuova Solmine (Settore 25)

Questo tratto di litorale è prospiciente al centro abitato di Follonica, dove sono state costruite in passato svariate opere di difesa rigida da parte del Ministero dei Lavori Pubblici attraverso l'Ufficio del Genio Civile per le Opere Marittime di Roma. In questo tratto è disponibile il rilievo della linea di riva del 2000. Il confronto tra il 1984 ed il 2000 mostra un avanzamento medio di soli 0.3 metri (0.06 metri/anno) assai inferiore a quello misurato nel periodo 1979-1984 (+8.3 metri; +1.66 metri/anno). Ciò consente di valutare l'effetto dei numerosi interventi di difesa realizzati, che in un primo momento hanno indotto un relativo avanzamento della linea di riva, a discapito delle aree limitrofe che sono andate in erosione. Col passare del tempo l'effetto erosivo innescato dalle opere di difesa si è fatto sentire sulle spiagge adiacenti tanto da indurre il Comune di Follonica a chiedere ulteriori scogliere a difesa dell'abitato.

#### Dal Pontile Nuova Solmine alla foce della Fiumara (Settore 26)

Questo tratto più orientale del Golfo di Follonica risulta stabile dal confronto tra le linee di riva del 1983 e del 2000 (+0.6 metri; +0.09 metri/anno). Dal confronto delle linee di riva del periodo precedente (1979-1983) risultava un avanzamento medio di 4.3 metri (+1.08 metri/anno), anche se una certa erosione era già evidente nella zona dei campeggi del Puntone di Scarlino. Nel tratto compreso tra la foce della Fiumara e Portiglione è stato realizzato il porto turistico di Scarlino che sembra innescare un processo di sedimentazione a ridosso della sua estremità settentrionale tanto che si sono già resi necessari alcuni dragaggi e la redistribuzione dei sedimenti sulla spiaggia occidentale.

### Il litorale di Punta Ala (Settore 27)

Per la spiaggia di Punta Ala è disponibile un rilievo effettuato nel 1996 che si può confrontare con quello del 1979. Globalmente il litorale risulta colpito da un processo erosivo che ha fatto arretrare la linea di riva in media di 2.1 metri (-0.12 metri/anno). In realtà la situazione è assai più complessa, dato che la linea di riva nel tratto meridionale, più prossimo a Punta Hidalgo, è arretrata mediamente di 7.68 metri (-0.45 metri/anno), mentre alcuni tratti della spiaggia settentrionale risultano in equilibrio ed anche in avanzamento.

Le cause dell'erosione sembrano legate ad un naturale riassetto del litorale, secondo un modello attualmente in discussione nell'ambiente scientifico internazionale, che dovrebbe portare ad un forte arretramento della spiaggia meridionale e ad un modesto avanzamento di quella settentrionale, come i dati più recenti suggeriscono.

### Da Punta delle Rocchette a Marina di Grosseto (Settori 28-31)

Questo tratto di litorale è alimentato dai materiali provenienti dal Fiume Ombrone e, subordinatamente e limitatamente al settore settentrionale, da quelli provenienti dal Fiume Bruna. Per tutto il tratto sono disponibili i dati relativi alla linea di riva del 1999, da confrontare con quella del 1983.

Da Punta delle Rocchette alla foce del Fosso Tonfone (Settore 28) la spiaggia risulta in erosione per 8.5 metri (-0.53 metri/anno) confermando il trend del periodo precedente (1979-1983) quando la linea di riva era arretrata mediamente di 5.7 metri (-1.43 metri/anno). Probabilmente la causa dell'erosione è in parte dovuta alla costruzione dei moli guardiani alla foce del Fosso Tonfone che intercettano parte del trasporto litoraneo diretto verso nord-ovest, ed in parte dovuta alla riflessione del moto ondoso sulla scogliera di Punta delle Rocchette o su alcuni muri verticali a difesa degli stabilimenti balneari localizzati nei pressi del promontorio.

Dalla foce del Fosso Tonfone al porto di Castiglione della Pescaia (Settore 29) la spiaggia risulta in erosione per 8.9 metri (-0.55 metri/anno) nel periodo 1983-1999. Nel periodo precedente (1979-1983) la linea di riva era avanzata mediamente di 7.6 metri (+1.90 metri/anno). Questa inversione di tendenza è particolarmente evidente nel tratto occidentale del settore, in particolare tra la spiaggia di Roccamare ad est del Fosso Tonfone e la spiaggia di Riva del Sole. Una certa erosione si è verificata anche nella zona di Punta Capezzòlo, sia nella parte sottoflutto al drift prevalente che è diretto ad ovest che sul lato orientale. Interessata da un evidente arretramento della linea di riva è risultata la zona de "Le Dune-Bagni Pinetina Nord" che presenta manufatti costruiti direttamente sulla spiaggia e sulla duna. Nonostante che la spiaggia del centro abitato di Castiglione della Pescaia risulti stabile nell'ultimo periodo di tempo considerato (1983-1999) è doveroso sottolineare che l'erosione delle spiagge del settore 29 è imputabile alla presenza del porto canale di Castiglione della Pescaia che intercetta gran parte del trasporto solido litoraneo diretto verso nord-ovest.

Anche i cinque chilometri posti a sud-est del porto canale (Settore 30) mostrano un'inversione di tendenza rispetto al periodo precedente. Infatti, nel periodo 1983-1999 si ha un avanzamento medio della linea di riva di 7.2 metri (+0.45 metri/anno) contro un arretramento medio di 7.2 metri (-1.81

83 Capitolo 2 - Evoluzione recente delle spiagge toscane  
metri/anno) nel periodo 1979-1983. La tendenza all'avanzamento della linea di riva caratterizza soprattutto il tratto più prossimo al porto, che, oltre a risentire dell'afflusso dei sedimenti del Fiume Ombrone, è protetto da scogliere parallele tanto che la linea di riva è caratterizzata da grandi cuspidi dietro ciascuna scogliera.

In avanzamento (+8.2 metri; +0.51 metri/anno) risulta anche il successivo Settore 31 che giunge fino al limite settentrionale dell'abitato di Marina di Grosseto. Nel periodo precedente (1979-1983) il settore risultava mediamente in avanzamento di 3.3 metri (+0.84 metri/anno) per cui si nota una leggera diminuzione del trend positivo.

### Da Marina di Grosseto a Cala Rossa (Settori 32-36)

Questo tratto di litorale corrisponde al delta del Fiume Ombrone che ha seguito, nell'ultimo secolo, un'evoluzione analoga a quella discussa per il delta dell'Arno e che vede l'erosione manifestarsi prima

all'apice del delta ed estendersi gradualmente alle spiagge laterali. Nel 1999 è stato effettuato il rilievo del Settore 32, mentre per i Settori 33-36 è disponibile la linea di riva del 1998.

Il Settore 32, che corrisponde alla spiaggia di Marina di Grosseto, mostra un'ulteriore inversione di tendenza rispetto al periodo precedente. Qui infatti tra il 1984 e il 1999 la linea di riva arretra mediamente di 8.4 metri (-0.56 metri/anno) mentre tra il 1979 e il 1984 la spiaggia manteneva ancora la tendenza all'avanzamento (+11.9 metri; +2.37 metri/anno) che ha caratterizzato la seconda metà del Novecento. Ciò mette in evidenza che la protezione della foce dell'Emissario San Rocco ha già iniziato a dare i suoi effetti interrompendo il flusso di sedimenti lungo riva diretti a nord-ovest. Questo processo, come era prevedibile, si è notevolmente accentuato a seguito dell'estensione dei moli guardiani conseguente alla costruzione del porto turistico della Marina di San Rocco.

Il successivo Settore 33, dall'Emissario San Rocco a Principina a Mare, è caratterizzato da un arretramento medio della linea di riva di 1.9 metri (-0.14 metri/anno) nel periodo 1984-1998, mentre nel periodo 1979-1984 si era verificato un arretramento medio di 10.3 metri (-2.05 metri/anno). Sembra che ci sia una diminuzione del trend erosivo, probabilmente contrastato dall'effetto dell'opera di protezione della foce dell'Emissario San Rocco sul trasporto di sedimenti lungo costa.

Il Settore 34, che comprende la spiaggia di Bocca d'Ombrone, è soggetto ad una fortissima erosione che, dalla fine del XIX secolo ad oggi, ha determinato un arretramento della linea di riva di quasi un chilometro. Gli ultimi dati confermano questa tendenza evolutiva e fra il 1985 e il 1998 si è persa una fascia di spiaggia ampia 52 metri (-4 metri/anno).

Allontanandosi dalla foce il fenomeno erosivo si fa gradualmente meno intenso e nel Settore 35, da Marina di Alberese alla Torre di Collelungo, si ha una perdita media di arenile di 8.8 metri (-0.63 metri/anno) nel periodo 1984-1998. Il trend erosivo risulta in diminuzione se confrontato con il periodo 1984-1990 quando l'arretramento medio della linea di riva è stato di 9.5 metri (-1.58 metri/anno). La situazione mostra comunque tutta la sua gravità se si pensa che nel periodo ancora precedente (1979-1984) era in erosione solo un breve tratto di questo settore, che complessivamente risultava ancora in avanzamento mediamente di 11.8 metri (+2.36 metri/anno).

Per il Settore 36, dalla Torre di Collelungo a Cala Rossa si conferma il trend evolutivo dell'area deltizia che si era visto sul lato nord di Bocca d'Ombrone, cioè quel passaggio da forte erosione all'apice del delta che sfuma gradualmente lungo le ali per entrare in una zona in avanzamento della linea di riva grazie ai sedimenti erosi nella parte più prominente del delta e trasportati lateralmente dalle correnti litoranee. Nel periodo 1984-1998 nel settore 36 la linea di riva avanza mediamente di 22.6 metri (1.61 metri/anno). Nel periodo precedente 1979-1984 la spiaggia era avanzata di 27.5 metri (+5.5 metri/anno). Il trend positivo tende quindi a diminuire in conseguenza del fatto che la progressiva erosione della cuspide deltizia a Bocca d'Ombrone provoca la rettificazione della linea di riva e in conseguenza una minor efficacia dell'attacco del moto ondoso con una diminuzione del trasporto litoraneo verso Cala Rossa.

#### Il Golfo di Talamone (Settore 37)

La spiaggia che orla il Golfo di Talamone risultava in leggera erosione dagli anni Settanta e fra il 1979 e il 1984 aveva perso in media 2.5 metri di arenile (-0.51 metri/anno). L'ultimo rilievo, effettuato nel 2001, ci mostra un litorale fondamentalmente stabile, con una espansione dell'arenile di 1.2 metri, (0.07 metri/anno). Le uniche variazioni morfologiche significative registrate in questo golfo sono quelle dovute all'attività antropica con la costruzione di attracchi per le barche all'estremità settentrionale, al riparo delle strutture foranee che si innestano sul promontorio.

#### Dalla foce del Fiume Osa al Monte Argentario (Settori 38-39)

Questo lungo tratto di litorale è alimentato principalmente dal Fiume Albegna e, subordinatamente e per il solo settore settentrionale, dal Fiume Osa.

Il tratto compreso fra la foce dell'Osa e quella dell'Albegna risultava in leggero avanzamento fra il 1984 Erosione Costiera

1979 e il 1983-84 (+2.4 metri; 0.61 metri/anno) nonostante che nel 1983 già si fosse manifestata l'erosione in prossimità della foce dell'Albegna, tanto che sulla cartografia di quell'anno sono già presenti delle piccole difese costiere. L'erosione, che si estende anche alla spiaggia a sud della foce dell'Albegna, è stata attribuita alla riduzione dell'apporto sedimentario di questo fiume conseguente alle massicce escavazioni di inerti operate nel suo alveo fino agli anni Settanta. Il rilievo del 2001 consente invece di considerare stabile questo settore, dove la linea di riva sarebbe arretrata di soli 1.3 m in 18 anni (-0.07 metri/anno).

Il Tombolo della Giannella (Settore 39), che risultava in equilibrio (+0.5 metri; +0.1 metri/anno) nel periodo 1979-1984, mostra, sulla base del rilievo del 2001, una leggera tendenza all'avanzamento, con una espansione media dell'arenile di 5.4 metri in 17 anni (+0.32 metri/anno).

#### Il Tombolo di Feniglia (Settori 40-41)

La costruzione del porto di Cala Galera ha causato consistenti modifiche nella dinamica sedimentaria del tratto occidentale del Tombolo di Feniglia (Settore 40), determinando un flusso di sabbia verso la zona protetta dal molo foraneo. Ciò è messo bene in evidenza dai dati già pubblicati, ma il confronto fra la linea di riva del 1983/84 e quella del 1998 sembra indicare che questo fenomeno ha raggiunto un certo equilibrio o, quanto meno, non si è mantenuto attivo in questi anni. Il settore occidentale (Settore 40) risulta, infatti, praticamente stabile (+1.2 metri; +0.08 metri/anno) e quello orientale (Settore 41) ha invertito la leggera tendenza all'erosione del periodo precedente (-3.2 metri), della quale non era stato possibile identificare le cause, avanzando mediamente di 2.7 metri (+0.18 metri/anno).

#### Da Ansedonia alla foce del Fiume Chiarone (Settori 42-44)

Per questo lungo tratto costiero non sono disponibili dati più recenti di quelli ottenuti dalla fotorestituzione del volo del 1984, che sono da mettere in confronto con quelli del 1973.

I tre Settori in cui è stato diviso questo litorale mostrano tendenze assai diverse. La spiaggia di Ansedonia (Settore 42) risulta mediamente in erosione per 10.2 metri (-0.93 metri/anno), mentre nel precedente periodo (1954-1973) era in avanzamento di 12.6 metri (+0.66 metri/anno). Il successivo tratto di circa 9 chilometri (Settore 43), è al contrario in avanzamento di 10.1 metri (+0.92 metri/anno), invertendo la tendenza mostrata nel periodo precedente, quando si ebbe una erosione media di 9.2 metri (-0.49 metri/anno). Si passa, quindi, all'ultimo Settore (n. 44) che termina al confine regionale del Fiume Chiarone, nel quale si ha una nuova inversione con una erosione media di 13.4 metri (-1.22 metri/anno). Anche in questo caso nel periodo precedente il litorale mostrava una tendenza opposta, con un avanzamento medio di 6.5 metri (+0.34 metri/anno).

Osservazioni recenti confermano la complessità dei processi in atto su questo litorale e mostrano che la spiaggia di Macchiatonda, posta nel Settore 43, in avanzamento fra il 1973 e il 1984, ha subito un'erosione di circa 40 metri negli ultimi 20 anni.

In assenza di studi specifici è difficile formulare ipotesi sulle cause di queste oscillazioni, ma certamente l'evoluzione di queste spiagge è condizionata anche dagli apporti sedimentari dei fiumi che sfociano nel Lazio, ed in particolare del Fiume Fiora, e una analisi completa di questi settori non può essere fatta che nell'ambito della più estesa unità fisiografica che arriva fino a Bagni Sant'Agostino, tra Lido di Tarquinia e Civitavecchia.

È comunque probabile che queste oscillazioni siano da mettere in relazione, almeno in parte, a variazioni del clima ondoso sul medio termine.

#### Il quadro complessivo delle spiagge dell'Isola d'Elba

I dati relativi all'evoluzione delle spiagge dell'Isola d'Elba sono stati raccolti ed elaborati dal Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Firenze, prima nell'ambito di un Progetto di ricerca finanziato dalla Provincia di Livorno, e, successivamente, per il "Progetto pilota per la riqualificazione delle spiagge dell'Isola d'Elba mediante il ripascimento con sedimenti prelevati a mare" su incarico della Regione Toscana e dell'ARPAT. Negli ultimi anni sono stati effettuati nuovi rilievi sia su incarico di alcune amministrazioni locali sia nell'ambito di progetti di ricerca del Dipartimento. Purtroppo non è disponibile

un quadro di lungo termine come quello che si ha per la costa continentale, ma documenti cartografici e fotografici più antichi suggeriscono che alcuni decenni addietro l'ampiezza delle spiagge elbane fosse significativamente maggiore di quanto non lo sia oggi.

Per quanto riguarda le spiagge dell'Isola d'Elba, che pure hanno subito una consistente erosione nei decenni passati, i dati relativi alle tendenze attuali indicano che dei 9432 metri di litorale studiato in 25 spiagge (Tabella 2), solo 3334 metri risultano in erosione (35%). Va evidenziato comunque che nell'84% della lunghezza totale delle spiagge studiate lo spostamento della linea di riva nell'ultimo periodo è compreso entro i 5 metri, cioè nell'ordine di grandezza dell'errore previsto

85 Capitolo 2 - Evoluzione recente delle spiagge toscane  
per il confronto. Anche per l'Isola d'Elba non è stato possibile utilizzare tutti i rilievi disponibili e in più si pone un problema concettuale non indifferente: immediatamente dopo l'alluvione del 2002 il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Firenze ha fatto eseguire il rilievo di alcune spiagge che mostravano i segni di un forte apporto sedimentario; questi dati indicano spesso accrescimenti della spiaggia il cui significato è ancora oggetto di studio.

I dati relativi al confronto fra le linee di riva più recenti, rilevate con metodo celerimetrico diretto o con DGPS, indicano che le spiagge dell'Elba hanno goduto, negli ultimi anni, di una relativa stabilità, ad eccezione di quelle in cui gli interventi antropici hanno modificato il quadro morfologico attraverso la costruzione di opere a mare (Golfo di Campo) o direttamente sull'arenile (Sant'Andrea e Lacona). I rilievi del 2002 e del 2004 mostrano, per alcuni arenili, l'inversione del trend evolutivo che li aveva caratterizzati nel decennio 1987-1997: la progressione di queste spiagge è da attribuire a cospicui ripascimenti artificiali (Cavo) oppure all'input sedimentario eccezionale che alcune spiagge hanno ricevuto in seguito all'alluvione verificatasi nel settembre del 2002 (Capoliveri, Procchio e Lacona).

Le spiagge dell'Isola d'Elba sono delle "pocket beach", racchiuse entro promontori rocciosi ed alimentate prevalentemente da piccoli corsi d'acqua e, subordinatamente, dall'erosione dei tratti di falesia limitrofi. In queste condizioni i principali elementi che possono modificare il bilancio sedimentario delle spiagge sono quelli legati alle variazioni di uso del suolo all'interno dei bacini idrografici dei piccoli corsi d'acqua alimentatori. I dati ISTAT relativi ai censimenti agricoli degli anni 1970, 1982 e 1990 sono estremamente indicativi in proposito: in venti anni si sono persi quasi 2800 ettari di superficie agricola, pari al 62.6% del totale. Osservazioni dell'attuale copertura vegetale e di documenti fotografici di vario tipo indicano che nel dopoguerra le superfici utilizzate dall'agricoltura erano ancora più estese di quelle registrate nel 1970. Il processo di abbandono delle campagne verso attività più redditizie legate all'industria turistica si era già quasi esaurito negli anni Settanta, ed è certo che l'attuale tasso di erosione del suolo, a cui è dovuta la produzione di sedimenti idonei all'alimentazione delle spiagge, deve essere assai inferiore a quello che caratterizzava un territorio estesamente utilizzato da attività agricole, quale era quello elbano fino alla metà del secolo scorso. Lo spostamento delle attività dal settore agricolo a quello terziario, ed in particolare verso l'industria turistica, ha, per ironia della sorte, determinato la parziale scomparsa proprio di quella risorsa su cui il turismo si basa: le spiagge.

#### Schiopparello e Magazzini (Settori 45-46)

Queste due spiagge, in continuità morfologica fra di loro, sono poste sul lato meridionale del Golfo di Portoferraio e, data la loro posizione orientale, non godono della protezione del promontorio su cui è costruito l'abitato. Sono quindi esposte ai mari settentrionali, le cui onde comunque subiscono una notevole espansione verso la Rada e processi di shoaling dovuti ai bassi fondali (l'isobata dei 10 metri è a circa 600 metri da riva; pendenza del 1.7%). Sulla spiaggia sono presenti, in modo discontinuo, muri, abitazioni difese da scogliere e piccoli ricoveri per imbarcazioni, ma nel complesso l'ambiente mantiene le sue caratteristiche di naturalità. La spiaggia è generalmente ghiaiosa ed ospita frequentemente cumuli di posidonia provenienti dal fondale antistante.

La spiaggia di Magazzini mostra di aver subito un leggero ma costante arretramento della linea di riva che ha tolto, fra il 1972 e il 1997, una fascia di arenile larga in media 3.72 metri. L'erosione è stata più intensa alla foce del Fosso Magazzini e sull'estremità orientale, forse a causa della riflessione del moto ondoso sul muro di retta di una strada litoranea.

Un processo analogo, seppur documentato con solo tre linee di riva, lo ha subito la spiaggia di Schiopparello, dove, fra il 1987 e il 1997, è stata persa in media una fascia di 3.5 metri di spiaggia.

#### Bagnaia (Settore 47)

La spiaggia di Bagnaia è posta sul lato orientale del Golfo di Portoferraio, all'interno di una profonda insenatura fra Punta degli Scarpellini, a nord, e Punta Pina, a sud. Guarda direttamente il promontorio di Portoferraio, ed è quindi riparata da tutti i settori di traversia, con una modesta esposizione ai mari di N-NW. La pendenza del fondale, fra la battigia e l'isobata dei 5 metri è circa del 10%, mentre fra i 5 ed i 10 metri la pendenza si riduce al 3.3%. L'arenile ha una estensione di 278 metri, ed è limitato verso l'interno dalla strada e da stabilimenti balneari, nella parte centrale, e dalla falesia alle due estremità. I sedimenti presenti sono costituiti prevalentemente da ghiaia sulla spiaggia emersa e da ciottoli su quella sommersa.

I dati più vecchi, per la spiaggia di Bagnaia, consentono solo il confronto fra la linea di riva del 1972 e quella del 1984 per un tratto di 25 metri, corrispondente all'estremità meridionale del Golfo. Qui si registra un modesto arretramento di 1.52 metri, pari a 0.13 metri/anno, al quale è difficile dare un significato più generale. Comunque, fra il 1984 e il 1987 la spiaggia arretra in tutto il Golfo di 1.16 metri, ad un tasso di 0.39 metri/anno. Tutti i valori riportati sono ampiamente all'interno dell'errore stimato per il confronto e quindi è possibile soltanto affermare che, nel periodo compreso tra il 1972 ed il 1987, quest'area non è stata interessata da spostamenti significativi della linea di riva. Anche durante il decennio successivo l'arenile si è dimostrato stabile, con un tasso di variazione pari a +0.02 metri/anno. Le variazioni di linea di riva più consistenti appaiono sui due lati della piccola spiaggia, mentre la parte centrale non mostra variazioni significative.

Questi dati appaiono in leggero contrasto con alcuni aspetti, osservati durante i sopralluoghi, che indicano che la spiaggia doveva essere un tempo leggermente più ampia e di quota maggiore. È probabile che i rilievi disponibili siano in grado di evidenziare solo la parte finale di un processo erosivo che ha agito per tempi assai più lunghi e che oggi si è interrotto.

#### Nisporto (Settore 48)

La spiaggia di Nisporto è posta sul margine occidentale del promontorio di Capo Vita ed è esposta direttamente ai mari di N-NW, che raggiungono una notevole intensità anche per la pendenza dei fondali antistanti (3.3% fino all'isobata dei 10 metri). Il Ponente è abbondantemente diffratto dalla Punta di Nisporto, mentre le mareggiate provenienti da nord possono colpire direttamente il margine meridionale della spiaggia, dove comunque si ritrovano sedimenti leggermente più fini; ciò può indicare un trasporto da nord verso sud che avrebbe la sua zona di alimentazione nella falesia settentrionale. Il fosso che sfocia al centro della falcatura sembra dare, al contrario, un apporto modesto. La spiaggia, lunga 233 metri, è delimitata in gran parte da un canneto e presenta livelli di urbanizzazione modesti.

Dal 1987 al 1997 la spiaggia ha registrato una espansione apprezzabile su tutto il suo fronte (+4.22 metri; +0.42 metri/anno), fenomeno in parte dovuto ad un intervento di ripascimento. Osservazioni sul posto indicano che un tempo l'arenile doveva essere più esteso di quanto non lo sia oggi, ma la morfologia della spiaggia emersa e la sua granulometria consentono di considerare stabile questo litorale.

#### Nisportino (Settore 49)

La spiaggia di Nisportino è posta sul margine occidentale del promontorio di Capo Vita ed è esposta direttamente ai mari di Maestrale, che vi giungono con una notevole intensità anche per la pendenza dei fondali antistanti (3.3% fino all'isobata dei 10 metri). Mareggiate intense possono provenire anche da Ponente, mentre quelle provenienti da nord sono diffratte da Punta delle Casette. Di un elevato livello energetico della spiaggia sono prova le creste delle varie berme a quote elevate e costituite da ghiaia e ciottoli, con una maggiore frequenza di questi ultimi sul margine settentrionale, più esposto al moto ondoso. La spiaggia, lunga 140 metri, è delimitata in gran parte da un canneto e presenta livelli di urbanizzazione minimi.

Per la spiaggia di Nisportino non è stato possibile acquisire altre linee di riva oltre a quella presente sulla Carta Tecnica Regionale del 1987, che è stata confrontata con quella rilevata direttamente nel 1997. Il confronto mostra un leggero avanzamento della spiaggia, che sembra però dovuto ad un ripascimento artificiale effettuato, non per riequilibrare il litorale, ma nell'ambito di una pulizia della spiaggia. Purtroppo non è stato possibile reperire informazioni sui volumi e sulla granulometria utilizzata.

#### Cavo (Settori 50-52)

La spiaggia di Cavo è delimitata a nord dalla Punta di Casa Scandelli, e dalla falesia del Monte le Paffe, a sud. È esposta direttamente ai mari di E e di NE, che hanno un fetch limitato, ma a causa della sua apertura, la spiaggia risente anche dei mari provenienti da N e da SE. Nonostante la debole pendenza dei fondali, circa del 2.5% nella parte centrale fino all'isobata dei 10 metri, subisce quindi mareggiate anche piuttosto intense, tanto che le onde talvolta scavalcano la diga foranea del porto.

In considerazione delle diverse caratteristiche morfologiche e del differente grado di protezione, questo litorale è stato diviso in più tratti; i primi due (n. 50 e n. 51) riguardano la spiaggia antistante l'abitato nei brevi tratti che prima dei lavori del 1997 non erano protetti dalle difese costiere, il terzo (n. 52) è costituito dalla spiaggia posta a sud del porto. Fra i settori 50 e 51, ai piedi del muro di retta della strada costiera, prima del ripascimento effettuato nel 1999 non vi era spiaggia nonostante la presenza delle difese parallele.

Il settore n. 50 risultava in avanzamento fra il 1977 e il 1987, per complessivi 7.71 metri (0.77 metri/anno). Questa tendenza si è invertita nel decennio successivo e parte del materiale accumulato, per 5.11 metri, è stato nuovamente perso (-0.51 metri/anno).

Nel settore n. 51 si era registrato un avanzamento di 1.92 metri, avvenuto fra il 1977 e il 1987 (0.19 metri/anno), cui è seguita un'inversione di tendenza nel decennio successivo, durante il quale si è rilevato un arretramento pari a 1.54 metri, con un tasso medio di erosione di 0.15 metri/anno.

In entrambi i settori l'erosione è stata contenuta dalla presenza del muro di retta della strada litoranea e da occasionali versamenti effettuati con materiale grossolano.

Il ripascimento effettuato nel 1999 con circa 27000 m<sup>3</sup> di materiale granulometricamente eterogeneo è stato accompagnato dalla trasformazione delle due scogliere parallele in altrettanti pennelli. Il rilievo del 2002 ha quindi trovato una spiaggia più ampia su tutto il fronte antistante l'abitato. Facendo riferimento alla linea di riva del 1997, il Settore 50 è avanzato di 7.8 metri (1.57 metri/anno), mentre il Settore 51 ha fatto registrare un incremento pari a 9.7 metri (1.93 metri/anno).

La spiaggia posta a sud del porto (Settore n. 52), formata prevalentemente da ghiaia, è del tutto separata dai due Settori precedenti e costituisce quasi una unità fisiografica indipendente. Qui l'avanzamento della linea di riva è passato dai 5.32 metri nel periodo 1977-1985 (+0.66 metri/anno) a 3.78 metri dal 1985 al 1987 (+1.88 metri/anno), per giungere a condizioni di erosione ad un tasso di 0.29 metri/anno nel decennio 1987-1997, durante il quale è stato riscontrato un arretramento pari a 2.92 metri. Infine, tra il 1997 ed il 2002, il Settore 52 si è dimostrato stabile (+0.03 metri/anno).

#### Barbarossa (Settore 53)

La spiaggia di Barbarossa è posta sul lato settentrionale del golfo di Porto Azzurro e guarda quindi verso sud, direzione in parte coperta dal promontorio di Monte Calamita. Le mareggiate più intense giungono invece da Scirocco, e, a causa della notevole pendenza dei fondali (4,2 % fino all'isobata dei 10 metri), si registrano energie considerevoli. Ciò è dimostrato anche dalla prevalenza di ghiaia sulla spiaggia emersa e di ciottoli su quella sommersa.

L'arenile ha una lunghezza di 163 metri ed è delimitato verso l'interno dalla strada e da alcune infrastrutture turistiche.

I dati relativi all'evoluzione della spiaggia di Barbarossa consentono solo il confronto fra la posizione delle linee di riva degli anni 1975, 1987 e 1997. Questa spiaggia risulta essere oggi soggetta ad una modesta erosione (-2.18 metri; -0.22 metri/anno) che fa seguito ad un periodo di progradazione avvenuto fra il 1975 e il 1987 con un tasso di variazione +0.31 metri/anno.



L'erosione, seppur modesta, riguarda prevalentemente il settore occidentale, mentre quello orientale è quasi in equilibrio.

#### Naregno (Settore 54)

La spiaggia di Naregno, posta fra il Capo della Tavola e il Promontorio di Forte Focardo, è aperta verso NW, settore dal quale è riparata dalla costa ad est di Porto Azzurro che termina con la Punta delle Cannelle. I mari di Levante, comunque con un fetch limitato, sono parzialmente diffratti da Punta Focardo e lasciano scoperto solo il tratto settentrionale di questa spiaggia. I fondali a forte pendenza (3.3% entro l'isobata dei 10 metri) non sono, in queste condizioni, un elemento tale da fare classificare questa come una spiaggia ad alta energia. Infatti l'arenile, che ha una lunghezza di 487 metri ed è delimitato verso l'interno da strutture turistiche, mostra un profilo trasversale assai piatto.

Dopo una fase di leggera erosione avvenuta fra il 1975 e il 1987 (-1.30 metri; -0.11 metri/anno), la spiaggia di Naregno ha subito un consistente avanzamento (+4.38 metri) fra il 1987 e il 1991, per passare ad uno stato di erosione che nel 1997 aveva comportato la perdita di 3.93 metri di spiaggia (-0.65 metri/anno). È opportuno sottolineare che nel tratto meridionale le linee di riva degli anni 1987 e 1988 risultano particolarmente distanti (+7.62 metri in media), cosa poco credibile ad un anno di distanza in una pocket beach caratterizzata da una dinamica assai modesta. Anche se ciò potrebbe essere dovuto all'effetto di modesti ripascimenti artificiali, attuati saltuariamente dagli operatori turistici locali, non si esclude che questo spostamento possa in realtà derivare dalla scarsa accuratezza dei dati. I rilievi del 2002 hanno confermato la tendenza regressiva dell'arenile, evidenziando un'erosione di 3.1 metri (-0.62 metri/anno).

#### Lido di Capoliveri (Settori 55-56)

La spiaggia del Lido di Capoliveri si affaccia sul lato orientale del Golfo Stella ed è riparata, dai mari occidentali, dal promontorio di Capo Stella. Agitazioni di un certo rilievo possono giungere direttamente solo da SW, mentre per i mari meridionali è protetta da Punta di Zuccale.

La pendenza dei fondali antistanti è circa il 3.5 % entro l'isobata dei 5 metri, e si riduce poi al 2.8 % fino ai 10 metri.

La spiaggia ha una lunghezza di 453 metri ed è delimitata, nel settore meridionale dalla strada, e in quello centrale e settentrionale da infrastrutture turistiche.

Il settore centro-orientale di questa spiaggia ha subito un modesto processo erosivo fra il 1975 e il 1987, che ha ridotto l'arenile di quasi tre metri (-2.94 metri; -0.25 metri/anno), mentre nei periodi successivi si è avuto un leggero aumento della spiaggia che però, complessivamente, non ha riportato la linea di riva nella posizione originaria (+1.43 metri; +0.14 metri/anno).

Per il settore occidentale di questa spiaggia abbiamo solo le linee di riva del 1987 e del 1997, dalle quali risulta un arretramento medio di 2.49 metri, pari ad un tasso di erosione di 0.25 metri/anno. Localmente l'evoluzione della spiaggia è stata più marcata, tanto che le linee di riva del 1988 e del 1997 si discostano in alcuni punti di quasi 10 metri, in particolare nel settore orientale, dove la strada litoranea ed alcune infrastrutture balneari risultano scalzate alla base.

Nell'insieme questa spiaggia risultava in equilibrio (-0.05 e -0.17 metri; -0.01 e -0.02 metri/anno), anche se evidenze morfologiche dimostrano una passata fase erosiva di notevole intensità, come mostrato da un tombino di una condotta a mare, costruito fra le dune, ed oggi esposto sulla spiaggia.

Il rilievo effettuato dopo l'alluvione del 2002 mostra che questa spiaggia è in leggero ripascimento, appena percettibile nel Settore 55 (+0.3 metri; +0.07 metri/anno), e un po' più definito nel Settore n. 56 (+7.7 metri; +1.54 metri/anno).

#### Margidore (Settori 57-58)

La spiaggia di Margidore è posta ad est del promontorio di Capo Stella, ed è delimitata ad ovest da Capo Marinaro. Ha una lunghezza di 654 metri ed è esposta a S-SW. I fondali antistanti hanno una debole pendenza (circa il 2% fino all'isobata dei 10 metri) e la protezione fornita dal promontorio del Monte Calamita e di Capo Stella limita fortemente il moto ondoso in arrivo sulla spiaggia. Nonostante ciò

essa è costituita prevalentemente da ghiaia, mentre i fondali antistanti, localmente rocciosi, sono coperti da sabbia.

Il livello di antropizzazione è assai modesto, con la presenza di un ricovero per imbarcazioni, protetto da un pennello, sul lato occidentale, e da alcune abitazioni arretrate rispetto alla spiaggia che, comunque, è delimita in buona parte da un muro e da una recinzione.

Per lo studio dell'evoluzione della linea di riva, il litorale di Margidore è stato diviso in due parti per la disponibilità, in quello occidentale, di una linea di riva del 1988.

Complessivamente i due settori risulterebbero in equilibrio, se non fosse che proprio i dati del 1988 indicano uno spostamento della linea di riva di 2.68 metri in un solo anno. È logico pensare che ciò sia dovuto alla limitata accuratezza del confronto.

La costruzione negli anni passati di un pennello sull'estremità occidentale del Golfo non ha turbato l'equilibrio di questo litorale, probabilmente grazie al fatto che i sedimenti che costituiscono la spiaggia sono costituiti da ghiaie grossolane e quindi dotate di ridotta mobilità nelle condizioni di bassa energia che si ritrovano all'interno del Golfo.

#### Lacona (Settore 59)

Quella di Lacona, con i suoi 1245 metri, è la più lunga spiaggia dell'Isola d'Elba. Posta all'interno di un golfo profondo tre chilometri e con fondali a debole pendenza (1.8% entro l'isobata dei 10 metri) può essere considerata una spiaggia a bassa energia, nonostante la diretta esposizione ai mari di Mezzogiorno.

Il mancato aggiornamento della linea di riva negli anni 1981, 1988 e 1991 sulla cartografia, se da un lato ci priva di una preziosa informazione sulla più ampia spiaggia dell'Elba, dall'altro costituisce un segnale indiretto della stabilità di questo litorale.

Nell'intero arco di tempo considerato, dal 1975 al 1997, questo litorale ha subito un modestissimo arretramento, per complessivi 3.70 metri, ad un tasso medio di 0.17 metri all'anno.

Siamo certamente dentro la fascia d'incertezza del metodo di confronto, ma l'osservazione delle linee di riva mostra significativi spostamenti nel settore orientale ed in quello occidentale. Nel primo la linea di riva arretra fra il 1975 e il 1987, quando la spiaggia presentava cuspidi prominenti forse collegabili ad effetti di riflessione su manufatti costruiti in prossimità della battigia.

La successiva linea del 1997 riporta la spiaggia in posizione più avanzata rispetto a quella del 1975.

Sul lato occidentale, al contrario, il processo erosivo appare modesto, ma costante.

L'analisi dell'evoluzione della linea di riva mostra però un evidente arretramento nel settore orientale, dove quasi 10 metri di spiaggia sono spariti proprio davanti ad alcune abitazioni costruite in prossimità della battigia. La stabilità complessiva della zona ci permette di avanzare l'ipotesi che proprio queste costruzioni abbiano modificato localmente l'equilibrio del litorale. Comunque davanti alla zona in erosione il fondale non si è approfondito ed il basso livello di energia presente nel Golfo non rende la situazione estremamente grave.

L'alluvione del 2002 ha determinato forti variazioni morfologiche sulla spiaggia di Lacona, con la formazione di tre delta decisamente aggettanti in mare. Complessivamente l'input sedimentario ha comportato una espansione media della spiaggia di 1.9 metri, che, distribuita sul periodo 1997-2002 implica un tasso di crescita di 0.38 metri/anno.

#### Marina di Campo (Settori 60-61)

Il Golfo di Campo costituisce un'ampia insenatura delimitata da Punta le Mete, ad est, e da Capo Poro, ad ovest. Nella parte più interna si ritrova la spiaggia che dal porto si estende, per oltre 1200 metri, fino a La Foce. Il litorale guarda direttamente verso sud-est, e nonostante la debole pendenza dei fondali antistanti (2,1 % fino all'isobata dei 10 metri), è investito da mareggiate di notevole intensità, in grado di muovere lungo riva ingenti quantità di sedimenti.

La spiaggia, posta al termine dell'unica pianura presente sull'Isola d'Elba, riceve alimentazione da numerosi corsi d'acqua che drenano un bacino piuttosto esteso.

Nel Golfo di Campo è in atto una rotazione della spiaggia innescata dal molo foraneo del porto che determina un avanzamento della linea di riva nel settore meridionale ed una erosione di quello settentrionale e, ancor più, di quello centrale. Questo processo è stato studiato da tempo sia in natura che con prove su modello fisico sulla base delle quali verranno apportate modifiche all'assetto del porto. In attesa, è stato realizzato un pennello che dovrebbe avere lo scopo di ridurre l'insabbiamento del porto e l'erosione del settore centro-orientale.

L'analisi dell'evoluzione della linea di riva mette ben in evidenza i processi in atto; infatti si dimostra come la linea di riva nel settore settentrionale arretri di 10.97 metri fra il 1971 e il 1997 (-0.42 metri/anno), mentre quella nel settore meridionale avanza di 4.45 metri. L'avanzamento in realtà sarebbe stato superiore se proprio nel 1997 non fosse stato effettuato un dragaggio in questo settore del Golfo che è servito a tamponare l'erosione in quello settentrionale.

I processi in atto non determinano però un deficit nel bilancio sedimentario di quest'area, poiché fra il 1971 e il 1996 si ha una erosione media di soli 1.62 metri, ad un tasso di 0.06 metri all'anno.

Dal 1997 al 2000 si conferma la tendenza evolutiva già descritta per il periodo precedente, con il settore a nord (n. 60) in regressione di circa un metro (-0.29 metri/anno) e quello a sud (n. 61) in avanzamento di 3.7 metri (1.22 metri/anno).

#### Cavoli (Settore 62)

La spiaggia di Cavoli è posta all'interno di una piccola insenatura esposta direttamente ai mari meridionali che vi giungono con notevole intensità grazie anche alla forte pendenza dei fondali (l'isobata dei 10 metri è a circa 200 metri da riva; pendenza del 5%). Nonostante ciò la spiaggia è costituita da sabbia, anche se grossolana, prodotta dall'erosione della granodiorite del Monte Capanne. La falcatura della spiaggia, lunga complessivamente 353 metri, è divisa in due da un accumulo di grandi massi derivanti dal crollo di uno sperone roccioso. Il settore più lungo, quello orientale, è delimitato, prima, dal muro di retta della strada, poi, da varie infrastrutture turistiche.

Questo settore, lungo 302 metri, ha subito una consistente erosione fra il 1971 e il 1997, perdendo più di 7 metri di spiaggia, la gran parte dei quali fra il 1984 e il 1987. Successivamente (1997-2000) la spiaggia ha subito un modesto avanzamento (0.9 metri; 0.29 metri/anno), che non ha, comunque, ristabilito un'ampiezza dell'arenile idonea a conferire stabilità al sistema.

Il piccolo tratto occidentale (51 metri) aveva subito un'erosione più modesta, inferiore ai 3 metri, che si è mantenuta fino al 2000 (-1.0 metri; -0.33 metri/anno).

#### Seccheto (Settore 63)

Per la spiaggia di Seccheto, esposta agli stessi mari di Cavoli, non esistono linee di riva precedenti a quella del 1997 che, confrontata con quella acquisita nel 2000, indica un avanzamento della spiaggia di 1.3 metri (0.43 metri/anno), probabilmente da mettere in relazione ad un modesto intervento di ripascimento (circa 1.500 m<sup>3</sup>) effettuato nel 1998.

#### Fetovaia (Settore 64)

La spiaggia di Fetovaia è inserita all'interno di una profonda insenatura che guarda verso sud-est. L'andamento poco arcuato della linea di riva è dovuto al fatto che le pareti quasi verticali e rettilinee della falesia adiacente non esercitano un significativo attrito nei confronti dell'onda incidente. La debole pendenza dei fondali (2,4% entro l'isobata dei 10 metri) consente comunque un'attenuazione del moto ondoso e la permanenza di una spiaggia sabbiosa. La spiaggia è lunga circa 200 metri, ed è bordata da vegetazione, salvo in un punto in cui è stata costruita una struttura turistica sulla spiaggia stessa.

Nel periodo che va dal 1971 al 1997, la spiaggia di Fetovaia presenta una sostanziale stabilità, forse anche garantita da modesti interventi di ripascimento: ad un arretramento di 1.42 metri verificatosi tra il 1971 ed il 1987, nel decennio successivo è, infatti, seguita una progressione dell'arenile pari a 2 metri.

### Sant'Andrea (Settore 65)

La spiaggia di Sant'Andrea, lunga solamente 125 metri, è posta fra l'omonimo Capo e Punta del Cotoncello. Protetta più direttamente da Capo Sant'Andrea, la spiaggia si è disposta in senso NW-SE e risulta esposta ai mari di Grecale. La pendenza dei fondali, fino all'isobata dei 10 metri, è pari al 3.7%, e la spiaggia può essere colpita da mareggiate di notevole intensità. La costruzione di un muro in prossimità della battigia ha così interferito con la dinamica trasversale dei sedimenti, innescando un processo erosivo cui si è cercato di porre riparo con il ripascimento artificiale prelevando sabbia dai fondali antistanti. I modesti volumi e le ridotte dimensioni dei sedimenti hanno determinato una rapida perdita del materiale.

La spiaggia ha subito, fra il 1968 e il 1997, un'erosione che ha asportato 2.98 metri di spiaggia. È un valore modesto ma che, rapportato alla ridotta ampiezza dell'arenile ed al suo valore ambientale ed economico, assume un significato particolare. Il fenomeno è ancor più grave in quanto ciò è avvenuto nonostante siano stati effettuati gli interventi di ripascimento cui abbiamo precedentemente accennato. Dal 1997 al 2004 la spiaggia risulta progredire di 1.9 metri, ad un tasso di variazione pari a 0.27 metri/anno.

### Spartaia (Settore 66)

La spiaggia di Spartaia, lunga solamente 155 metri, è posta all'interno di una profonda insenatura delimitata ad est da Punta Agnone, che la separa dal Golfo di Procchio. Essendo i fondali antistanti il promontorio roccioso poco profondi (circa 6 m) si ritiene che fra i due golfi vi possa essere scambio sedimentario, grazie anche alle elevate energie da moto ondoso che raggiungono il promontorio.

Fra il 1968 e il 1981 in questa spiaggia la linea di riva arretrò di ben 10.93 metri (-0.84 metri/anno) ed un processo analogo continuò, seppure attenuato fino al 1987 (-1.48 metri; -0,25 metri/anno). Fra il 1987 e il 1999 si ebbe un relativo recupero della spiaggia, con una crescita di 3.16 metri (+0.26 metri/anno), in parte ripersi fra il 1999 e il 2004 (-0.75 metri; -0.15 metri/anno) nonostante l'input sedimentario eccezionale conseguente all'alluvione del 2002.

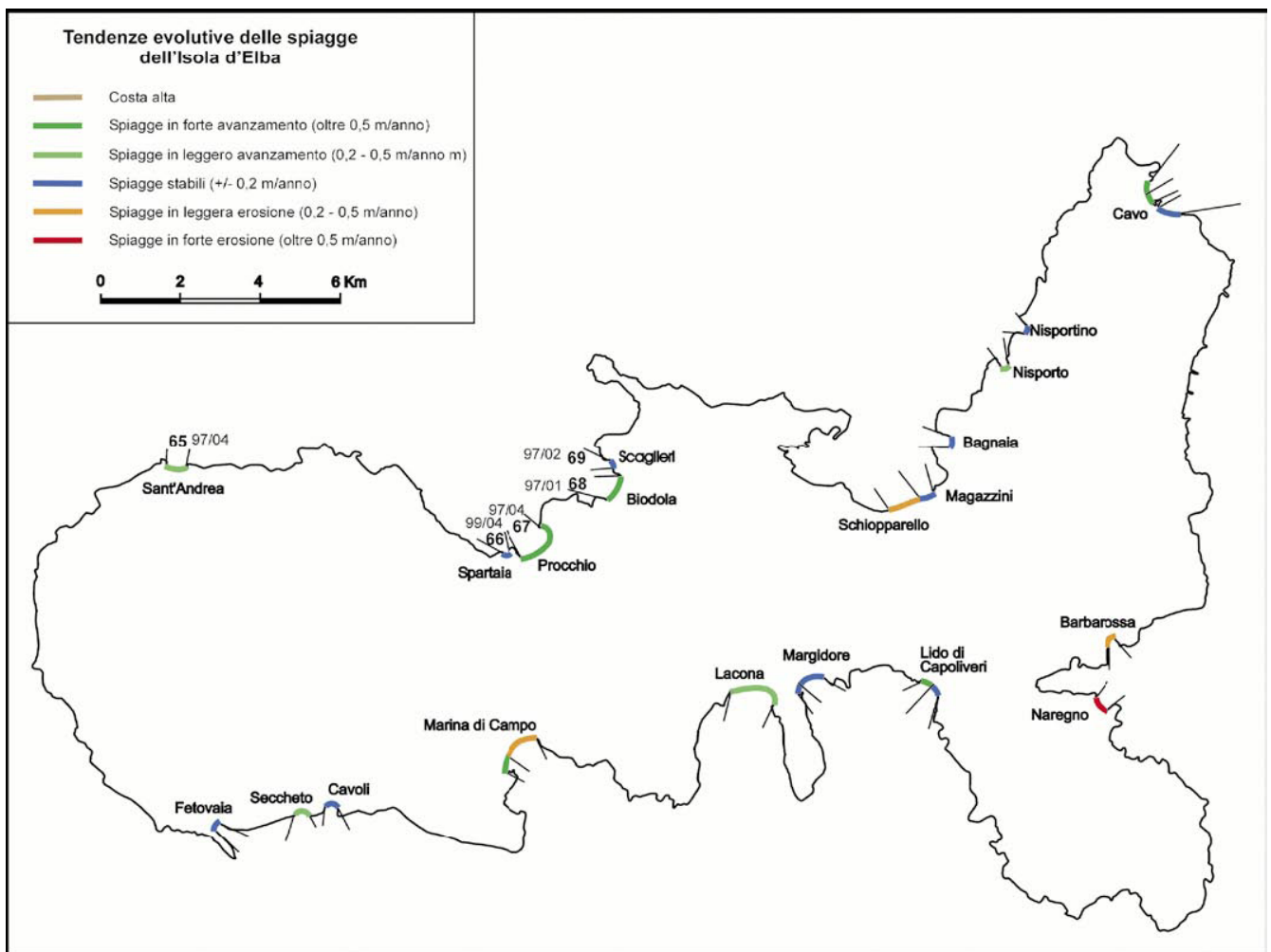


Figura 2 - Tendenze evolutive delle spiagge dell'Isola d'Elba espresse sulla base del tasso di spostamento medio della linea di riva derivante dal confronto fra i due più recenti rilievi della linea di riva. Si noti che le classi di intensità utilizzate in questa carta sono diverse da quelle usate per le spiagge continentali in Figura 1

### Procchio (Settore 67)

La spiaggia di Procchio, con i suoi 1052 metri di lunghezza è la terza spiaggia dell'Elba. Racchiusa fra Punta della Guardiola, a NE, e Punta Agnone, a SW, guarda verso Maestrale, con una falcatura che cresce progressivamente andando da sud verso nord. La modesta pendenza dei fondali (2.2% entro l'isobata dei 10 metri) riduce l'energia delle mareggiate di Maestrale, che comunque rimangono significative. Dal Ponente è riparata dalla Punta della Crocetta, mentre i mari di Settentrione giungono direttamente solo sul margine meridionale della spiaggia.

Tutta la falcatura mostra un elevato livello di urbanizzazione, con muri e basamenti degli stabilimenti sul limite dell'arenile, caratteristica che aumenta il rischio di erosione in questa spiaggia già soggetta ad un evidente deficit sedimentario. Ciò è fra l'altro dimostrato dalla condotta fognaria, costruita sulla duna, ed ora scoperta sulla spiaggia.

| Numero settore           | Spiaggia                | Lunghezza settore (m) | Periodo | Anni | Variazione areale (m <sup>2</sup> ) | Variazione lineare media (m) | Tasso di variazione (m/a) |
|--------------------------|-------------------------|-----------------------|---------|------|-------------------------------------|------------------------------|---------------------------|
| 45                       | Schiopparello           | 717                   | 1987-97 | 10   | -2513                               | -3.5                         | -0.35                     |
| 46                       | Magazzini               | 439                   | 1987-97 | 10   | -537                                | -1.2                         | -0.12                     |
| 47                       | Bagnaia                 | 278                   | 1987-97 | 10   | 68                                  | 0.3                          | 0.02                      |
| 48                       | Nisporto                | 233                   | 1987-97 | 10   | 990                                 | 4.2                          | 0.42                      |
| 49                       | Nisportino              | 140                   | 1987-97 | 10   | 264                                 | 1.9                          | 0.19                      |
| 50                       | Cavo Nord               | 159                   | 1997-02 | 5    | 1238                                | 7.8                          | 1.57                      |
| 51                       | Cavo Centro             | 177                   | 1997-02 | 5    | 1688                                | 9.7                          | 1.93                      |
| 52                       | Cavo Sud                | 346                   | 1997-02 | 5    | 43                                  | 0.1                          | 0.03                      |
| 53                       | Barbarossa              | 163                   | 1987-97 | 10   | -356                                | -2.3                         | -0.22                     |
| 54                       | Naregno                 | 487                   | 1997-02 | 5    | -1528                               | -3.1                         | -0.62                     |
| 55                       | Lido di Capoliveri Sud  | 282                   | 1997-02 | 5    | 92                                  | 0.3                          | 0.07                      |
| 56                       | Lido di Capoliveri Nord | 171                   | 1997-02 | 5    | 1321                                | 7.7                          | 1.54                      |
| 57                       | Margidore Est           | 498                   | 1987-97 | 10   | -302                                | -0.6                         | -0.06                     |
| 58                       | Margidore Ovest         | 156                   | 1988-97 | 9    | 88                                  | 0.6                          | 0.06                      |
| 59                       | Lacona                  | 1245                  | 1997-02 | 5    | 2387                                | 1.9                          | 0.38                      |
| 60                       | Marina di Campo Nord    | 875                   | 1997-00 | 3    | -773                                | -0.9                         | -0.29                     |
| 61                       | Marina di Campo Sud     | 358                   | 1997-00 | 3    | 1314                                | 3.7                          | 1.22                      |
| 62                       | Cavoli                  | 353                   | 1997-00 | 3    | 213                                 | 0.6                          | 0.20                      |
| 63                       | Seccheto                | 121                   | 1997-00 | 3    | 157                                 | 1.3                          | 0.43                      |
| 64                       | Fetovaia                | 201                   | 1996-97 | 1    | 40                                  | 0.2                          | 0.20                      |
| 65                       | Sant' Andrea            | 125                   | 1997-04 | 7    | 187                                 | 1.9                          | 0.27                      |
| 66                       | Spartaia                | 155                   | 1999-04 | 5    | -104                                | -0.75                        | -0.15                     |
| 67                       | Procchio                | 1052                  | 1997-04 | 7    | 4759                                | 4.5                          | 0.65                      |
| 68                       | Biodola                 | 579                   | 1997-01 | 4    | 4152                                | 7.2                          | 1.8                       |
| 69                       | Scaglieri               | 122                   | 1997-02 | 5    | 120                                 | 1                            | 0.2                       |
| Totale                   |                         |                       |         | 9432 |                                     | 13008                        |                           |
| Avanzamento <sup>4</sup> |                         |                       |         | 65%  |                                     | 6098                         |                           |

Nel periodo che va dal 1961 al 1997, il litorale del Golfo di Procchio ha registrato un modesto arretramento della linea di riva con una punta che ha raggiunto i 3.77 metri (-0.63 metri/anno).

Complessivamente sono andati persi in media 5.66 metri di arenile, ma il processo non ha interessato in modo uniforme tutto il Golfo, andandosi ad accentuare nel settore settentrionale, nella zona di Campo all'Aia, e in quello centro-meridionale, intensamente sfruttato dall'attività turistica.

L'alluvione del 2002 ha determinato, anche in questo golfo, un input sedimentario eccezionale che si è trasformato in una espansione della spiaggia di circa 4.5 metri, in realtà in parte dovuto anche ad un modesto intervento di ripascimento effettuato negli ultimi anni.

La tendenza evolutiva del litorale di Procchio è comunque impostata verso l'erosione che risulta essere piuttosto preoccupante data la presenza sull'arenile della condotta fognaria, esposta direttamente al moto ondoso anche durante eventi meteo-marini di modesta importanza.

<sup>4</sup> Variazione areale, variazione lineare media e tasso di variazione annuale delle spiagge dell'Isola d'Elba espresse sulla base del tasso di spostamento medio della linea di riva derivante dal confronto fra i due più recenti rilievi della linea di riva. Alcune spiagge, che nel tempo hanno mostrato tendenze evolutive decisamente opposte, sono divise in settori diversi

### Biodola e Scaglieri (Settori 68-69)

Queste due spiagge, separate nella parte emersa da un piccolo sperone roccioso, mostrano una continuità morfologica nella spiaggia sommersa, dato che ai piedi dello sperone si hanno profondità di circa un metro, che non limitano la circolazione dei sedimenti.

Entrambi i settori sono esposti direttamente ai mari di Maestrone, mentre per i mari di Ponente vi è un certo riparo fornito da Punta del Nasuto e da Punta della Crocetta. I fondali antistanti hanno comunque una pendenza modesta (2.8% entro i 5 metri e 1.8% fra i 5 e i 10 metri) tale da consentire una buona dissipazione dell'energia del moto ondoso.

La spiaggia della Biodola ha subito una consistente erosione fra il 1972 e il 1984 (-4.41 metri; -0.37 metri/anno) che si è accentuata nel periodo successivo, quando fra il 1984 e il 1987 furono persi in media 6.31 metri di arenile (-2.10 metri/anno). Negli ultimi tempi la situazione si è invertita, con una crescita di 3.67 metri (+0.37 metri/anno) fra il 1987 e il 1991, 4.38 metri fra il 1991 e il 1997 e ben 7.2 metri fino al 2001, quando la spiaggia era di 4.53 metri più ampia di quanto non lo fosse nel 1972.

Si può affermare che anche la spiaggia di Scaglieri ha subito un'analogia evoluzione, sebbene la mancanza della linea di riva del 1984 non consenta un'analisi dettagliata. Fra il 1972 e il 1987 vengono persi 11.67 metri di arenile (-0.78 metri/anno), ma successivamente la spiaggia mostra segni di ricrescita con una progressione di 5.18 metri fra il 1987 e il 1991, e di 2.11 metri fino al 1997. Per questa spiaggia l'ultima linea di riva è quella rilevata dopo l'alluvione del 2002 e mostra un modesto avanzamento (1.0 metri). Complessivamente quest'ultima linea si trova ancora arretrata di 3.38 metri rispetto alla posizione del 1972.

La spiaggia è ancora assai stretta e quindi esposta ad un forte rischio da mareggiata. La situazione è aggravata dalla presenza di strutture riflettenti che, in occasione di mareggiate eccezionali, potrebbero determinare un definitivo allontanamento dei sedimenti verso i fondali.