INTRODUZIONE

La Regione Toscana è situata nella parte centro-occidentale dell' Italia, e ha una superficie di 22.993 km^2, con una popolazione di 3.536.000 abitanti nel 1999. Il turismo è una delle principali attività economiche della Toscana. Esso comporta vantaggi per la popolazione residente sia in termini economici che culturali; al tempo stesso, tuttavia, può rappresentare una fonte rilevante di pressioni ambientali. Negli ultimi anni (1993–2000) si registra in Toscana una crescita costante delle presenze turistiche, con un incremento del 37%, pari ad oltre 10 milioni di unità. L'offerta turistica è comunque molto diversificata e distribuita sull'intero territorio regionale, ciò permette in qualche modo di diminuire la pressione sulle aree di maggior richiamo e rappresenta inoltre un possibile elemento di conservazione e tutela di altre aree, marginali o minori, altrimenti destinate all'abbandono. Qui il turismo è in genere più rispettoso delle tradizioni locali, esige una minor quantità di servizi ad alto impatto ambientale e spesso va alla ricerca di un ambiente naturale il più possibile conservato. Pur in un quadro generale di cambiamento delle scelte e delle preferenze turistiche, i flussi più consistenti continuano ad interessare le zone costiere e le città, aree in cui già forte è la pressione antropica sul territorio.

Sul mare Ligure e Tirreno si affacciano 5 province e 36 comuni, lungo 630 chilometri di costa (FIG 1), con una popolazione di 843.398 abitanti. Sui litorali insiste un considerevole volume di attività sociali che dipendono dal mare come via di comunicazione, come risorsa turistica, come sistema produttore di risorse alimentari, come sistema ricettore dispersivo e purificatore della materia ed energia residue della produzione sociale. La sua utilizzazione è comunque diversificata, e comprende fra gli altri 3 parchi naturali regionali, 1 parco naturale nazionale, 3 grandi aree industriali, 3 grandi porti commerciali di interesse nazionale e 3 di interesse regionale, oltre 25 porti turistici, decine di approdi, spiagge attrezzate tra le più antiche e famose. Le province in cui il rapporto tra presenze turistiche/numero di residenti è maggiore della media regionale sono infatti quelle in cui è localizzata la risorsa balneare, cioè Livorno e Grosseto, seguite da Siena, dove c'è la risorsa arte ad attrarre consistenti flussi turistici. Livorno, a causa delle presenze turistiche nelle località balneari costiere e nell'Arcipelago Toscano, e dalla provincia di Firenze, che concentra consistenti presenze nella sola città capoluogo.

FIGURA 1: La costa Toscana (in rosso)

L' erosione del litorale, le cui cause sono da cercare negli interventi realizzati dall'uomo non solo sulle coste stesse, ma anche all'interno delle bacini idrografici dei fiumi che le alimentano, può colpire duramente l'economia di vaste regioni, con particolare effetto sul turismo litoraneo. L'estrazione di inerti dagli alvei fluviali, la costruzione di dighe e briglie e la riforestazione delle aree collinari e montane hanno ridotto drasticamente la quantità di sedimenti che i fiumi portano al mare. A ciò si devono aggiungere altre cause, in parte naturali, quali l'innalzamento del livello marino.

Approssimativamente, la metà delle spiagge toscane è colpita da un fenomeno erosivo (più di 3 metri di spostamento nell'ultimo intervallo misurato) che determina la perdita di un patrimonio ambientale ed economico di grande pregio. Comparando i tratti in erosione con quelli in avanzamento, il litorale toscano ha perso circa 214.000 mq di spiaggia negli ultimi 20 anni. Per anni le amministrazioni locali, insieme ai professionisti ed alle università hanno cercato di comprendere le cause dell'erosione che possono compromettere le basi dell'attività turistica sul mare, per rimuoverle ove possibile e per restituire alla collettività un arenile ampiamente fruibile. Per bloccare l'erosione sono state talvolta adottate misure inefficaci o addirittura dannose per l'equilibrio stesso delle spiagge. Sul piano gestionale è stato spesso necessario adottare soluzioni difficili ed impopolari, su quello tecnico soluzioni innovative non sempre capite a livello locale e centrale.

Questo studio contiene una descrizione sintetica della costa toscana, in diversi suoi aspetti, ed in particolar modo del suo stato di erosione. Questa descrizione è stata completata attraverso la raccolta di dati bibliografici e viene presentata nell'ambito della Fase A (*coordination et programmation des activités spécifiques, analyse des donnés de base, échanges d'expérience, auditions d'experts, publications)* del Progetto BeachMed , per le sue 4 attività previste:

1- *études des besoins en sable pour la récuperation et l'entretien des littoraux*
2- *aspects environmentaux de l'utilisation des depots sablonneux marins*
3- *recherche des depots sabbleux marins sur la plate-forme continentale*
4- *étude des technologies d'intervention optimales*

Nell'allegato A viene riportato l'elenco degli studi e della bibliografia a nostra disposizione sulla costa toscana per le quattro fasi del progetto.

ATTIVITA 1: « ETUDES DES BESOINS EN SABLE POUR LA RECUPERATION ET L'ENTRETIEN DES LITTORAUX »

Uno degli elementi maggiormente dinamici della superficie terrestre è costituito dalle coste, la cui evoluzione dipende da una continua azione dei fenomeni di abrasione e di deposito.

Dal punto di vista morfologico il litorale toscano si presenta differenziato in due tipologie fondamentali:

- litorali caratterizzati da coste basse e sabbiose, con fondali a debole pendenza e scarsa profondità anche a notevole distanza dalla costa (litorale apuo-versiliese-pisano, litorale livornese nel tratto tra Rosignano e San Vincenzo, Golfo di Follonica, costa grossetana tra Castiglione e Marina di Alberese, tomboli della Laguna di Orbetello e litorale di Capalbio);

- litorali a costa alta, con batimetriche ravvicinate e profondità notevoli già in vicinanza della riva (tratto tra Livorno e Castiglioncello, promontorio di Piombino, Punta Ala, Talamone, Argentario), ad alta e bassa energia (litorali dell'arcipelago, lato ovest e lato est, rispettivamente).

Per questa descrizione, la costa toscana (FIG 2) è stata divisa in cinque tratti principale (unità fisiografiche), a loro volta suddivisi in settori con particolari caratteristiche morfodinamiche, e anche l'arcipelago (Isola d'Elba). Per ogni settore si possono identificare i rilievi morfologici e sedimentologici fatti (FIG 3 e 4). Inoltre viene riportata la cartografia disponibile. L'Allegato B contiene le schede di tutti i singoli settori con informazioni riguardanti aspetti morfologici, gestionali e di erosione mentre l'Allegato C contiene le schede relative a tutte i rilievi sia topobatimetrici che sedimentologici effettuati sulla costa toscana negli ultimi anni. Nell'Allegato D è riportata una scheda riportante informazioni sulle stazioni meteomarine esistenti.

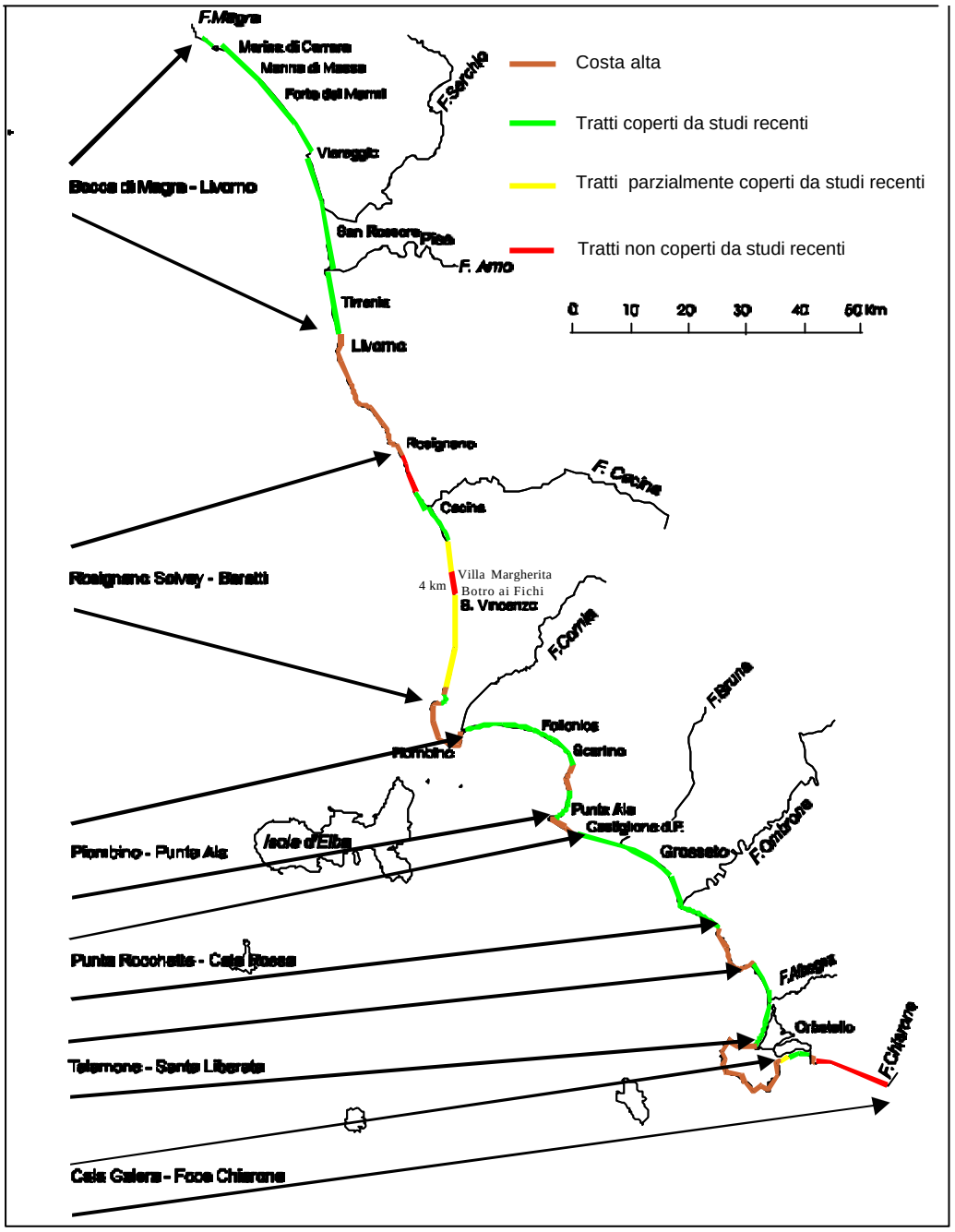

FIGURA 2: Costa Toscana

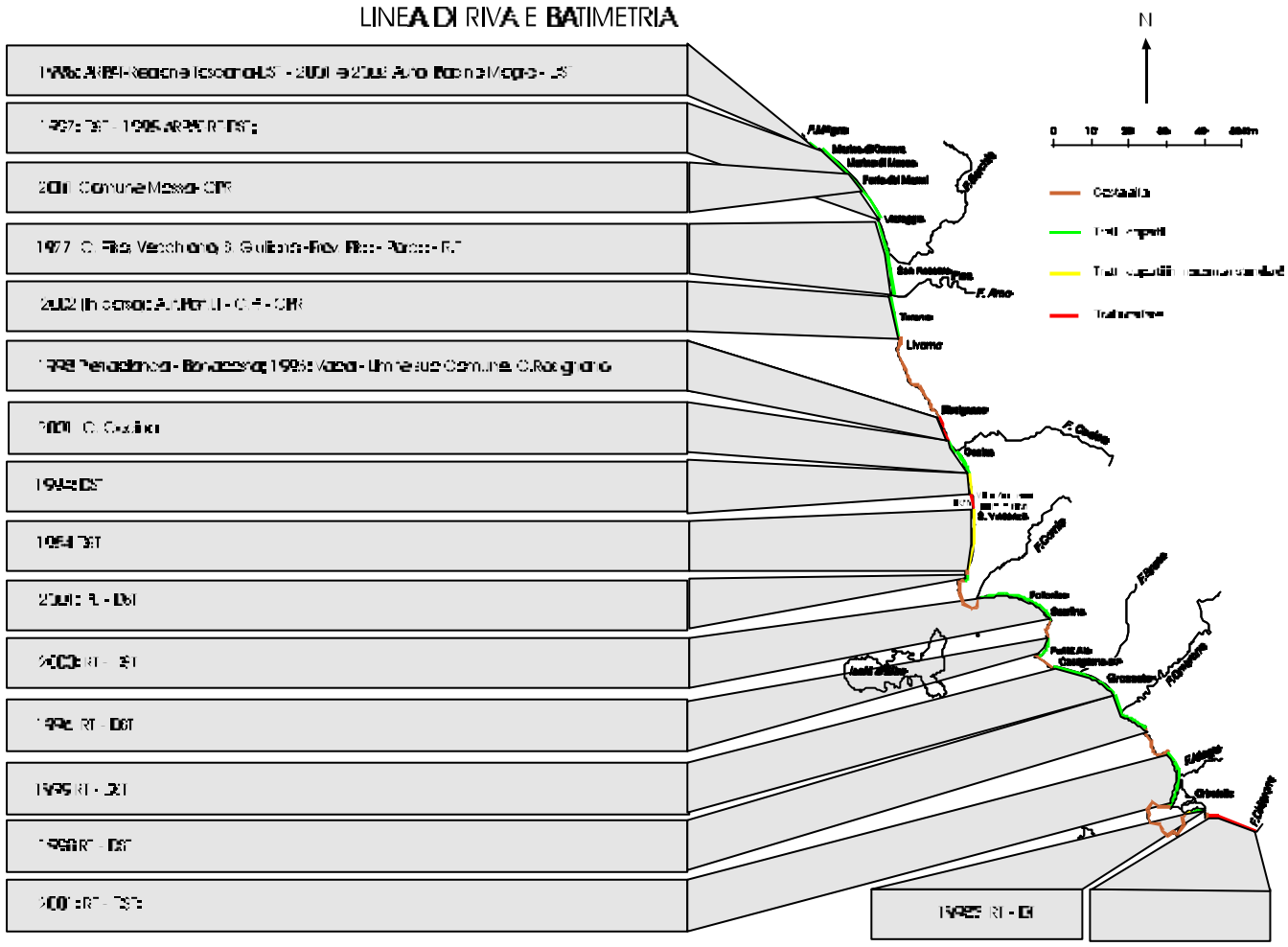

FIGURA 3: Rilievi topobatimetrici sulla costa Toscana

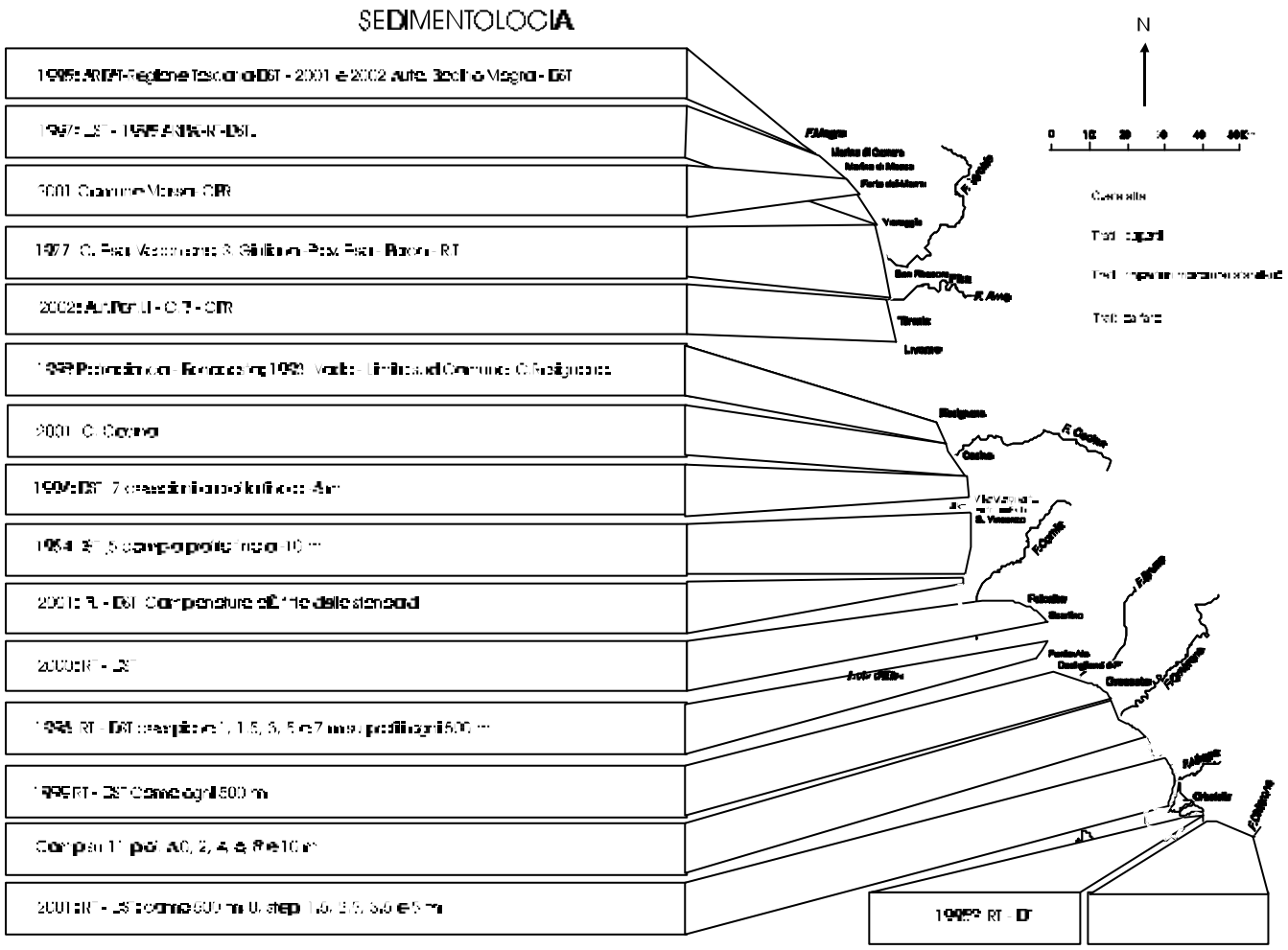

FIGURA 4: Rilievi sedimentologici sulla costa Toscana

1.1 FIUME MAGRA – LIVORNO

1.1.1 Da Bocca di Magra al Porto di Marina di Carrara

Il tratto di litorale compreso fra la foce del fiume Magra (FIG 5), principale alimentatore del settore più settentrionale della costa toscana, e il porto di Marina di Carrara (FIG 6) ha costituito per lungo tempo una sub-unità fisiografica dato che la struttura portuale impediva scambi di sedimenti con la spiaggia meridionale.

I primi due pontili per il caricamento del marmo furono costruiti a partire dal 1878; successivamente fu costruito un terzo pontile. Nel 1928 fu costruita una diga foranea posta sopraflutto ai tre pontili; tale diga, praticamente uguale all'attuale, aveva la finalità di proteggere dal moto ondoso i pontili per agevolare le operazioni di caricamento. Nel 1938 il numero dei pontili fu nuovamente portato a due rimovendo quello più vicino alla diga foranea dal momento che quest'ultima poteva essere utilizzata per le operazioni di carico e scarico. A partire dal 1954 vennero rimossi i rimanenti pontili e venne costruito il molo di sottoflutto dando alla struttura portuale l'attuale fisionomia.

Infatti, a seguito della costruzione del porto avvenuta fra il 1922 e il 1954, il trasporto litoraneo diretto verso sud viene interrotto e i sedimenti vengono depositati a ridosso del molo settentrionale dove la spiaggia si è accresciuta di circa 200 m fra il 1928 e il 1954; successivamente l'accrescimento è stato più lento, con 30 m fino al 1985 da quando la linea di riva è quasi stabile. In questo tratto l'avanzamento della linea di riva diveniva via via più modesto spostandosi verso nord, fino a che non si annullava in corrispondenza della foce del Torrente Parmignola, dove si entra in un tratto in erosione.

In contrapposizione a questo avanzamento, un processo erosivo, causato dalla riduzione di apporti sedimentari da parte del Magra, il cui alveo è stato per anni oggetto di incontrollate escavazioni, comincia ad interessare le spiagge settentrionali. In un primo momento questo riguarda solo il tratto di costa prossimo alla foce, mentre più a sud prevalgono gli effetti del molo foraneo. Col passare del tempo e l'aggravarsi del bilancio sedimentario di questa sub-unità fisiografica artificiale, la presenza del porto non è più elemento sufficiente al mantenimento dell'equilibrio di buona parte del settore e l'erosione va ad interessare anche aree precedentemente in ripascimento e il punto di equilibrio comincia a muoversi verso sud.

Nel frattempo però la spiaggia formatasi a ridosso del molo foraneo settentrionale, sia nella sua parte emersa che in quella sommersa, aveva raggiunto un equilibrio e i sedimenti cominciavano a passare, seppur su fondali molto alti, al largo del porto. L'insieme di questi fattori spiega la situazione attuale: una modesta erosione del litorale compreso fra Bocca di Magra e 400 metri a sud del Torrente Parmignola, cui fa seguito un sostanziale equilibrio del tratto meridionale.

Immediatamente a sud di Bocca di Magra sono state costruite, a più riprese, opere di difesa (pennelli e isole artificiali) il cui effetto è stato limitato dalla presenza dei pennelli costruiti alla foce del fiume che allontanano dal litorale i sedimenti che esso riesce a trasportare. Nel 1999 sono stati costruiti altri pennelli sulla spiaggia di Marinella che hanno determinato una riduzione del tasso erosivo.

FIGURA 5: Bocca di Magra

FIGURA 6: Marina di Carrara

1.1.2 Dal Porto di Marina di Carrara al Porto di Viareggio

Questo tratto di litorale è alimentato da nord, dai sedimenti provenienti dal Magra, e da sud, da quelli provenienti dall'Arno e dal Serchio, e localmente dai corsi d'acqua minori che scendono dalle Alpi Apuane. Le opere a mare costruite alle due estremità, il porto di Marina di Carrara a nord e quello di Viareggio a sud, hanno causato una notevole riduzione della quantità di sedimenti che raggiungono quest'area.

Il porto di Marina di Carrara, come abbiamo visto, blocca i materiali provenienti da Bocca di Magra e spinti verso sud dal trasporto litoraneo; quello di Viareggio agisce in modo analogo sui sedimenti provenienti dall'Arno, e subordinatamente dal Serchio, che si muovono verso nord. Il maggiore afflusso di sedimenti provenienti da sud e la conformazione del porto di Viareggio determinano un minore impatto di questa struttura sulle spiagge poste sottoflutto al *drift* prevalente.

Il deficit sedimentario che si è andato a creare ha interessato maggiormente il tratto settentrionale di questo settore, che è soggetto ad una notevole erosione, e limitatamente quello meridionale che ha solo visto diminuire la velocità di accrescimento o ha subito occasionali e limitati processi erosivi,

un tempo contrastati grazie all'installazione di un by-pass che refluiva la sabbia da sud del porto alla spiaggia settentrionale.

Analizzando con maggior dettaglio l'evoluzione di questo tratto di costa si può rilevare la gravità che il problema ha assunto in alcuni tratti. Nella zona immediatamente sottoflutto al porto di Marina di Carrara e rispetto alle prime opere di difesa costruite nel 1930 la linea di riva risulta arretrata di circa 100-120 metri nel 1978. A seguito della costruzione di numerose scogliere parallele e di pennelli, e più che altro grazie ai ripascimenti artificiali, la linea di riva avanza leggermente in quei tratti non difesi con scogliere aderenti che, riflettendo l'energia delle onde, non consentono la permanenza dei sedimenti alla base.

Il tratto in forte erosione si estende a sud fino a Marina dei Ronchi per passare poi gradualmente a spiagge in equilibrio o in evidente protendimento più a sud. Negli anni 1999-2002 sono stati costruiti, nella zona di Marina dei Ronchi, 4 setti sommersi, che hanno interrotto il trend erosivo. Questo intervento ha portato ad una inversione di tendenza con tassi che sono passati da una erosione media di 4 metri annui tra il 1985 ed il 1999 ad una stabilizzazione della spiaggia con un tasso di accrescimento di circa 3,6 metri l'anno nell'intervallo di tempo 1999-2002.

A sud di Vittoria Apuana, e fino a le Focette, l'accrescimento delle spiagge è continuo dal 1938 fino al 1998 e raggiunge molte decinne di metri alla foce del fosso Motrone. La velocità media di accrescimento oscilla fra 1 e 3 metri all'anno nei vari periodi e nei vari tratti. Fra le Focette e Viareggio la situazione è leggermente diversa: il ripascimento avvenuto dal 1938 è mediamente di 50 metri circa, quindi inferiore a quello del tratto precedente, e nel periodo 1978-1985 si assiste ad un avanzamento assai modesto della linea di riva con alcuni tratti addirittura in erosione.

Un caso particolare è rappresentato dalla spiaggia contigua al molo settentrionale del porto che avanza progressivamente in tutto il periodo considerato. Si ritiene che ciò sia da attribuire al riparo che viene offerto dal porto stesso: le mareggiate che provengono dal IV quadrante muovono i sedimenti verso il molo, mentre quelli del III non riescono a riportarli verso nord a causa, appunto, della protezione data dalla scogliera. Per quanto riguarda la spiaggia antistante l'abitato di Viareggio (FIG 7), la sua evoluzione è stata notevolmente condizionata dalla costruzione del porto ed è stata mantenuta solo grazie ad ingenti ripascimenti artificiali e al trasferimento, operato per mezzo di un by-pass, dei sedimenti dal lato meridionale a quello settentrionale del porto; dopo l'insabbiamento del molo di sopraflutto del porto non è stato più necessario attivare l'impianto di by-pass.

In conclusione si può affermare, come già anticipato, che l'evoluzione di questo tratto di litorale è direttamente condizionato da alcuni interventi antropici che hanno ridotto la quantità di sedimenti che possono alimentarlo. La situazione è stata resa più grave dall'edificazione in prossimità della linea di riva e dalla distruzione della duna, seppur modesta, che rimane oggi presente solo in limitatissimi tratti non ancora urbanizzati.

FIGURA 7: Porto di Viareggio

1.1.3 Dal Porto di Viareggio a Bocca d'Arno

Questo tratto di costa, a causa del drift prevalente diretto verso nord, è alimentato dai materiali provenienti dall'Arno e dal Serchio nella sua parte settentrionale, e solamente da quelli dell'Arno in quella meridionale.

Come abbiamo visto, il porto di Viareggio ha bloccato parte dei sedimenti in transito causando una notevole espansione della spiaggia meridionale che si è accresciuta di 278 metri fra il 1938 e il 1997. Questo accrescimento non è stato però uniforme: 7,5 m all'anno nel periodo 1938-54, 3,5 m/anno fra il 1954 e il 1967, 6,3 m/anno fra il 1967 e il 1978 e solamente 2,1 m/anno fra il 1978 e il 1985. Tra il 1985 ed il 1997, nel tratto di costa compreso tra Torre del Lago ed il Porto di Viareggio continua il forte accumulo di sedimenti a ridosso del porto. La spiaggia aumenta con ritmi ben maggiori rispetto agli anni precedenti, dove in alcuni tratti ha raggiunto anche +59,20 metri (4,55 metri/anno).

I periodi di più rapida crescita corrispondono a quelli immediatamente successivi all'ampliamento delle strutture foranee, mentre con il passare del tempo ci si avviava verso un relativo equilibrio. Oggi la linea di riva si raccorda con la struttura portuale e i sedimenti non si fermano più sopraflutto al porto, ma scorrono lungo il molo foraneo. Procedendo verso sud l'entità dell'avanzamento diviene sempre più modesta, finché pochi chilometri a nord di Bocca di Serchio il litorale, già nel 1985, mostrava segni di erosione sebbene fino al 1954 la spiaggia risultasse in avanzamento.

Per comprendere le cause di questa inversione di tendenza, e dell'evoluzione della spiaggia da qui fino a Bocca d`Arno, è opportuno guardare nel suo insieme tutto questo tratto di litorale e fare alcune considerazioni sul suo principale, se non unico, alimentatore, ossia l'Arno. Tutto l'apparato deltizio di questo fiume si è ingrandito fino a circa la metà del XIX secolo grazie alla grande quantità di sedimenti che questo fiume trasportava fino alla foce. Questi erano così abbondanti che il mare riusciva a distribuirne solo una piccola parte alle spiagge limitrofe e il delta andava prendendo una forma molto prominente.

Con l'inizio delle estrazioni di inerti dall'alveo, la costruzione di dighe e di briglie lungo il suo corso o quello degli affluenti e l'abbandono dell'agricoltura nelle parti più alte del suo bacino, l'apporto sedimentario di questo fiume si è notevolmente ridotto. La forma pronunciata del delta poteva mantenersi solo grazie alla grande quantità di sedimenti in arrivo, dato che l'energia del moto ondoso l'attaccava più violentemente. Alla fine del XIX secolo cominciano a manifestarsi sulla spiaggia di Marina di Pisa i primi segni dell'erosione che, col passare del tempo, diventa sempre più consistente e va ad interessare un tratto di litorale sempre più ampio. Le zone laterali del delta risentono meno di questo processo e continuano la loro espansione poiché meno esposte all'energia del moto ondoso e alimentate anche dai materiali erosi a Bocca d'Arno, sia sulla spiaggia che nei fondali. Ora che l'apparato deltizio è stato quasi completamente smantellato non vi sono neppure più questi sedimenti per alimentare le spiagge limitrofe che sono entrate anch'esse in erosione.

Ciò premesso, si comprende bene il perchè le spiagge che si incontrano da Bocca di Serchio a Bocca d'Arno mostrano tracce sempre più evidenti e più precoci di erosione. Già 2,5 Km a sud della Foce del Serchio la linea di riva del 1985 è più arretrata di quella del 1938 e l'entità di questo arretramento arriva a 150 metri a nord della foce protetta del Fosso Morto Nuovo, 160 metri a San Rossore e 380 metri a nord di Bocca d'Arno sempre nel 1985.

A nord dell'Arno l'erosione è stata innescata, principalmente, dal mancato apporto di sedimenti da parte dell'Arno, e, secondariamente, dalla costruzione di un pennello sulla sponda destra della foce che favorisce la dispersione dei sedimenti verso il largo, costituendo anch'esso una causa di erosione per la spiaggia a nord del fiume. Qui, si raggiunge un valore massimo di arretramento della linea di riva di 464,10 metri, con un tasso di –7,73 metri/anno tra il 1938 ed il 1998. Sebbene questo arretramento sia già notevole, non bisogna scordare che i dati qui utilizzati si riferiscono ad un periodo in cui la cuspide era già stata erosa e la spiaggia si presentava ormai quasi rettilinea. Ben più rapida fu l'evoluzione del delta nel periodo precedente tanto che, complessivamente, sulla spiaggia settentrionale di Bocca d'Arno si è verificato un arretramento di circa un chilometro nell'ultimo secolo.

Fortunatamente questa erosione è andata a colpire un tratto di litorale completamente privo di urbanizzazione e non è stato necessario attuare interventi di protezione che avrebbero senz'altro aggravato la situazione, come mostrato dalle quattro scogliere costruite al Gombo (FIG 8) negli anni '60 e rinforzate negli anni '80, che hanno accentuato l'erosione della spiaggia ad esse sottoflutto, o come avvenuto alla foce del Fiume Morto Nuovo, dove i pennelli guardiani hanno ridotto l'erosione della spiaggia meridionale, ma accelerato quella della spiaggia settentrionale. Nel tratto di litorale posto immediatamente a nord di Bocca d'Arno, fra il 2001 e il 2002, sono stati costruiti alcuni pennelli che proseguono in setti sommersi ed è stato effettuato un modesto ripascimento in ghiaia per bloccare l`arretramento della linea di riva della Tenuta di San Rossore e proteggere le aree umide retrostanti.

FIGURA 8: Scogliere del Gombo

1.1.4 Da Bocca d'Arno a Livorno

La prima parte di questo tratto è costituita dal lato meridionale della cuspide deltizia dell'Arno davanti all'abitato di Marina di Pisa (FIG 9). Qui l'erosione è stata bloccata in modo drastico costruendo scogliere parallele ed aderenti. Se la linea di riva è stata fermata, l'erosione è proseguita nei fondali e infatti al piede delle scogliere parallele corre oggi l'isobata dei 6 m. Attualmente è in fase di realizzazione un intervento che prevede il graduale abbassamento delle scogliere parallele e la costruzione di spiagge in ghiaia davanti alla scogliera aderente, mentre a sud delle difese parallele, dove la strada litoranea è protetta solamente da una scogliera aderente, è stata realizzata una spiaggia in ghiaia senza protezione esterna.

Procedendo verso sud arriviamo a Tirrenia (FIG 10) dove attualmente abbiamo un litorale ancora in equilibrio. Tra il 1938 al 1978 questa spiaggia era avanzata di circa 50 metri. Tra il 1978 ed il 1985 risulta in espansione con valori che raggiungono i 17,59 metri (1,60 metri/anno). Ancora più a Nord, sul limite meridionale dell'abitato di Marina di Pisa, continua l'erosione iniziata nel periodo precedente, seppur con tassi leggermente inferiori (max. 12,08 metri; -1,10 metri/anno). Tra il 1985 ed il 1998, nella zona a sud di Tirrenia, a differenza del periodo precedente, sono in questi anni in progradazione, rispettivamente di +6,93 metri (+0,53 metri/anno) e +22,42 metri (1,72 metri/anno). Anche la spiaggia di Tirrenia mostra un'inversione di tendenza rispetto al periodo precedente, infatti ora risulta in erosione, anche se con valori non molto elevati (-2,80 metri; -0,22 metri/anno). A ridosso delle scogliere di Marina di Pisa si ha un'erosione molto accentuata: la linea di riva arretra fino a -1,77 metri/anno.

In generale prendendo in considerazione l'intervallo di tempo 1938-1997 tra il porto di Livorno e Tirrenia, nei 60 anni considerati, la spiaggia risulta in avanzamento, qui, infatti, il porto interrompe il flusso di sedimenti che, in questo tratto di costa ha direzione Nord-Sud, provenienti dallo smantellamento del delta dell'Arno. L'elevato avanzamento della linea di riva nei settori a ridosso del porto di Livorno, che raggiunge anche il valore di 219,4 metri (3,7 metri/anno), è dovuto in realtà alla realizzazione di piazzali che vengono poi protetti da una scogliera aderente, e che sono presenti già dagli anni '60.

La spiaggia del Calambrone, posta fra Tirrenia e il porto di Livorno, ha subito un'evoluzione strettamente controllata dalla crescita del porto, con la migrazione verso nord delle strutture foranee ed una conseguente espansione del tratto in erosione in cui si risente della riflessione delle onde sulle opere.

FIGURA 9: Marina di Pisa

FIGURA 10: Tirrenia

1.2 ROSIGNANO SOLVAY - GOLFO DI BARATTI

1.2.1 Di Rosignano Solvay al Pontile di Bonaposta

Questo settore è attualmente alimentato quasi esclusivamente dai materiali di scarico della Società Solvay immessi in mare con il Fosso Bianco. Alcune opere a mare sono state costruite per evitare