

Il Catalogo delle opere di difesa costiera della Regione Emilia-Romagna

Luisa Perini, Samantha Lorito e Lorenzo Calabrese

Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, Regione Emilia-Romagna

Riassunto

Le opere di difesa del litorale emiliano-romagnolo, costruite negli ultimi 60 anni, interessano circa 80 km di costa e hanno l'obiettivo di contrastare l'erosione e di difendere dalle mareggiate le spiagge, le strutture balneari, gli edifici e le infrastrutture urbane. Spesso, tuttavia, la presenza di queste opere costruite senza il supporto di studi adeguati, ha generato problemi ai litorali adiacenti, imponendo nuovi interventi di difesa.

Negli ultimi anni si è quindi ravvisata la necessità di disporre di un archivio informatico delle opere di difesa per l'intera costa regionale, mai creato a causa della frammentazione delle competenze in questo settore (Stato, Regione e Comuni) e della conseguente dispersione delle informazioni. Nell'ambito del progetto EU Cadsealand e della implementazione del Sistema Informativo della Costa da parte del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli (SGSS), tale archivio informatizzato è stato creato in forma di "catalogo delle opere di difesa e delle opere marittime", i cui principali obiettivi sono: i) fornire alle autorità un quadro completo ed aggiornato dello stato di protezione della costa; ii) valutare, confrontando i rilievi relativi agli anni successivi, l'efficacia delle opere e/o i problemi che esse hanno creato; iii) disporre di un livello informativo indispensabile per l'applicazione della modellistica numerica relativa alla propagazione delle onde e al flusso sedimentario nelle aree costiere.

Considerata la difficoltà di reperire le informazioni progettuali si è deciso di procedere per fasi e di coinvolgere i diversi servizi tecnici regionali competenti.

Parole chiave: Sistema Informativo della Costa (SIC), opere di difesa costiera, erosione della costa.

Abstract

Coastal defences of the Emilia-Romagna, built in the last 60 years, protect about 80 km of coastline and are intended to contrast the beach erosion and defend urban areas from sea flooding. However, the presence of these works, built without the support of appropriate studies, has created problems for adjacent coasts, imposing further defence interventions. In recent years, the need for an archive of defences for the entire coast, never produced because of the fragmentation of responsibilities in this area (State, Region and Municipalities) and the resulting dispersal of information, has identified. Following the outline of EU project Cadsealand and implementation of Coastal Information System (SIC) by the Geological Seismic and Soil Survey (SGSS), a geodatabase was created in the form of "catalogue of defences and harbours", whose main objectives are: i) to provide a comprehensive and updated status of protection of the coast; ii) to assess the effectiveness of works and/or the

problems they have created, comparing the analysis related to subsequent years; iii) to have useful digital data for the application of numerical modelling on the propagation of waves and sediment flux in the nearshore. The difficulty of finding the project data of the coastal works has decided to proceed by stages and involve the regional technical services.

Keywords: Coastal Information System (SIC), coastal defence works, geodatabase, coastal erosion.

Introduzione

Il risultato di oltre 60 anni di interventi atti a contrastare i fenomeni erosivi e di ingressione marina che hanno interessato i litorali dell'Emilia Romagna, fa sì che circa 80 dei 130 km di costa sia protetta artificialmente (140 km se si considera lo sviluppo costiero complessivo, inclusi lo scanno di Goro e la freccia litorale di Volano). Tra le Province costiere Ravenna e Ferrara sono caratterizzate da un'estensione di opere intorno al 50 % della sua costa, mentre Rimini e Forlì - Cesena presentano difese costiere a protezione di oltre il 60% del litorale (vedi Tab.1). In molti casi gli interventi sono stati realizzati per contrastare fenomeni erosivi innescati dalla presenza di altre opere a mare, mettendo in evidenza la criticità delle passate politiche di frammentazione delle competenze sulla protezione della costa (Stato, Regione e Comuni) e la mancanza di analisi complete relativamente all'impatto degli interventi stessi sulla dinamica litorale.

Tabella 1 - Indici strutturali calcolati a livello provinciale relativi all'anno 2005.

Provincia	Estensione litorale	Estensione opere di difesa artificiali	Estensione difese naturali (duna):	Indice strutturale IS= costa protetta/ lunghezza costa
Ferrara	~ 49,7 km *	~ 28,7 km	~ 18 km	0,6
Ravenna	~ 47,5 km	~ 23,4 km	~ 18,3 km	0,5
Forlì-Cesena	~ 9,4 km	~ 7,2 km	~ 0,2 km	0,8
Rimini	~ 35 km	~ 22,6 km	~ 0,5 km	0,6

*compresa la linea di riva lagunare e la linea di riva dello Scanno di Goro.

Risultava dunque necessario, per una corretta gestione dei litorali dal rischio di erosione e per la programmazione di nuove strategie di difesa, partire da un'analisi storica degli interventi di difesa che si sono succeduti sul territorio e dei loro effetti sui litorali, *i.e.* la variazione della linea di riva e le modificazioni della spiaggia sommersa. Per condurre simili indagini era, tuttavia, indispensabile disporre di un archivio storico degli interventi che contenesse tutte le informazioni sulla tipologia e sulle caratteristiche strutturali e costruttive delle opere. Un primo archivio cartaceo, era stato prodotto nell'ambito del 'Piano Progettuale per la difesa della costa Adriatica Emiliano-Romagnola', volume VI – Le opere a mare: caratteristiche ed effetti sul litorale (Preti M., 1984). Al fine di aggiornare tale lavoro, ripreso anche nei successivi studi sullo stato del litorale Emiliano-Romagnolo (Idroser, 1996; ARPA-IA, 2000), commissionati dalla Regione Emilia Romagna, si è avviato il progetto 'catalogo informatico delle opere di difesa', sviluppato nell'ambito del progetto europeo CADSEALAND (AA.VV., 2006), concluso a Dicembre 2006, e più in particolare nell'ambito del progetto di Sistema Informativo della Costa (SIC) della Regione Emilia-Romagna (Perini et al., 2007).

Il "catalogo informatizzato in ambiente GIS delle opere di difesa costiera" è stato prodotto principalmente sulla base della fotointerpretazione degli anni 1943-45, 1982, 1998 e 2005.

Successivamente si è impostato un *geodatabase* più completo che è stato implementato grazie al contributo dei Servizi Tecnici Regionali di Ferrara, Ravenna, Forlì-Cesena e Rimini.

Il progetto “catalogo delle opere di difesa” si è posto come ulteriore obiettivo la realizzazione di uno strumento, aggiornabile periodicamente, che fornisse alle autorità competenti i dati sullo stato di protezione della costa ed utilizzabile per l'applicazione della modellistica numerica relativa alla propagazione delle onde e al flusso sedimentario nelle aree costiere.

Strumenti e Metodi

In assenza di un archivio organizzato, anche cartaceo, degli interventi di difesa costiera realizzati in passato, il quadro storico e attuale è stato ricostruito mappando le opere sulla base di fotografie aeree appartenenti a diversi periodi di tempo.

La procedura operativa adottata può essere schematizzata nel modo seguente:

- fotointerpretazione delle strutture rigide riconoscibili sulle foto aeree relative agli anni 1943-'45 - 1982 - 1998 - 2005;
- classificazione delle opere mappate utilizzando come riferimento le indicazioni fornite “dall’Atlante delle spiagge Italiane” del CNR (1985) e confronto con la recente classificazione riportata nell’Atlante delle opere di sistemazione costiera pubblicato da Apat (2007);
- misura dei parametri geometrici dell’opera (lunghezza dell’opera, distanza da riva, ampiezza varchi ecc.) e attribuzione del dato altimetrico alle opere emerse (Volo 2005) mediante confronto con il modello di elevazione digitale Lidar2004;
- predisposizione di un geodatabase omogeneo implementabile da parte delle autorità locali competenti con informazioni di natura tecnica sulle singole opere (data di realizzazione, materiali, anno di costruzione, anno di smantellamento ecc.);
- raccolta dei dati costruttivi, disponibili presso i Servizi Tecnici Regionali di Ferrara, Ravenna, Forlì-Cesena e Rimini e verifica del catalogo;
- pubblicazione dei cataloghi in WEB.

Fotointerpretazione delle opere di difesa costiera

Il SGSS ha acquisito in forma digitale la maggior parte delle immagini aeree disponibili per l'area costiera regionale dal 1943 al 2005. Per rendere il prodotto corretto dal punto di vista cartografico, si è proceduto, in una prima fase, alla georeferenziazione, all'ortorettifica e alla mosaicatura delle immagini aeree storiche e recenti, con particolare riferimento al Volo Raf 1943-45, Volo costa 1982, IT2000 (1998) e Volo Costa 2005.

Le foto aeree sono state georeferenziate nel sistema di riferimento adottato dalla regione Emilia-Romagna (ED50 UTM32* falso nord - 4.000.000), ortorettificate e gestite attraverso un idoneo Sistema Informativo Geografico (GIS). La georeferenziazione ha utilizzato come base cartografica la Carta Tecnica Regionale scala 1:5.000; la correzione geometrica è avvenuta mediante l'ausilio del DEM Regionale 5X5 metri. Il metodo di ricampionamento adottato è stato quello della “convoluzione cubica”. Nel caso in cui vi erano delle significative variazioni di luminosità e contrasto tra fotogrammi adiacenti sono state eseguite delle operazioni di stretching che hanno omogeneizzato le radiometrie dei fotogrammi da mosaicare. Le singole immagini ortorettificate sono state mosaicate per formare degli ortofotomosaici, tagliati sulla base del territorio rappresentato da un elemento cartografico (sezione) alla scala 1:10.000, il cui contenuto informativo dipende da una dimensione nominale del pixel compresa tra 0.5x0.5 m e 0.7x0.7 m.

Il volo RAF (1943) risulta essere il meno accurato, infatti, le ricognizioni aeree sono state eseguite in diverse giornate in un periodo di tempo che va dall'agosto 1943 al settembre 1944, con modalità di esecuzione differente sia da un punto di vista strumentale sia di quota di volo. Una trattazione esaustiva sulla metodologia e sulle procedure utilizzate nella fase di georeferenziazione

ne e ortorettifica delle foto aeree è stata sviluppata in un recente lavoro disponibile sul sito web del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli (Luciani, 2007).

Per ogni ortofotomosaico (1943, 1982, 1998 e 2005) le opere sono state fotointerpretate, direttamente a video, in ambiente GIS vettoriale, utilizzando i prodotti della ESRI in dotazione al SGSS, principalmente ArcGis 9.2 e ArcView 3.2. Le diverse opere sono state mappate in forma poligonale ed acquisite a scala di dettaglio (1:1.000), per garantire una miglior precisione e accuratezza del dato alla scala di restituzione finale 1:5.000.

Le medesime regole fotointerpretative e topologiche sono state applicate nella elaborazione e mappatura delle opere di ogni ortofotomosaico.

Nel caso delle opere emerse, vengono tracciati i limiti della porzione emersa delle opere pseudo-parallele o trasversali alla linea di riva, visibili al momento dello scatto della foto aerea (Fig.1). Quando le condizioni meteomarine sono ottimali è possibile intravedere anche la porzione sommersa dell'opera, tuttavia si è deciso di non mappare tale limite in quanto le condizioni possono variare su fotogrammi contigui, rendendo discontinuo questo dato.

La risoluzione è variabile a seconda del periodo di appartenenza della foto passando dalla fotointerpretazione a scala indicativa 1:35.000 del volo 1943, alla scala 1:10.000 del volo 2005.



Figura 1 - Opera distaccata emersa. Esempio di mappatura: vengono tracciati i limiti della porzione emersa dell'opera, visibili al momento dello scatto della foto aerea.

Nel caso delle opere soffolte, vengono tracciati i limiti della porzione dell'opera visibile come un'ombra scura sotto il livello dell'acqua al momento dello scatto della foto aerea. Non sempre le opere soffolte sono visibili chiaramente sui fotogrammi, in condizioni di mare mosso, per esempio, spesso vengono confuse con vecchie opere emerse smantellate per erosione. Solo in seguito ad una verifica da parte dei servizi tecnici competenti è stato possibile aggiornare il *geo-database* attribuendo correttamente il termine soffolte alle sole opere per le quali la sommersione era prevista dal progetto costruttivo, distinguendole quindi dalle opere *sommerse*, per le quali la massima funzionalità era progettata in condizioni di emersione.

Classificazione delle opere di difesa

Le opere di difesa individuate lungo il litorale regionale sono state classificate seguendo le indicazioni (salvo lievi modifiche) dell'“Atlante delle Spiagge Italiane” (CNR, 1985) e confrontando le tipologie riconosciute lungo il litorale emiliano-romagnolo con la recente classificazione riportata nell'Atlante delle opere di sistemazione costiera pubblicato da Apat (2007).

Fino ad ora sono state mappate esclusivamente le opere di difesa rigida, anche se è in corso il progetto di ampliamento del catalogo agli interventi di ripascimento.

La descrizione delle tipologie di opera di difesa rigida del litorale emiliano romagnolo è la seguente:

- *opera di difesa longitudinale distaccata - emergente*: segmenti di scogliera in massi posti su fondali di circa 3 m, separati da varchi aventi lo scopo di consentire lo scambio di acqua. Essi agiscono sul moto ondoso attraverso fenomeni di dissipazione dell'energia e fenomeni di diffrazione;
- *opera di difesa longitudinale distaccata - soffolta - in massi*: segmenti di scogliera in massi posti su fondali di circa 3 m la cui altezza è limitata all'impatto visivo. La segnalazione avviene attraverso boe luminose;
- *opera di difesa longitudinale distaccata - soffolta - in sacchi*: sono costituite da un allineamento di sacchi in geotessile colmati di sabbia, con dimensione di 2-3 m ciascuno, emergenti dal fondo circa 40 cm. Spesso a sostegno di opere di ripascimento;
- *opera di difesa longitudinale distaccata/aderente - soffolta - tubi longard*: guaine di tessuto sintetico riempite con una miscela di sabbia. Si installano parallelamente alla linea di riva a varie profondità (piede duna, battigia, spiaggia sommersa). Possono essere associate anche ad elementi perpendicolari che isolino delle celle, favorendo così la formazione di una spiaggia sospesa. Questa tipologia di opera è ormai abbandonata ed è presente solo nei cataloghi storici;
- *opera di difesa longitudinale interna - argine interno*: sono costituite da un argine in terra, o da un cordone dunoso, rivestiti sul lato a mare con geotessili e rinforzati con una mantellata di massi rocciosi;
- *opera di difesa longitudinale aderente - scogliere radenti*: sono costituite da massi naturali e/o artificiali e poste parallelamente alla linea di riva in corrispondenza della spiaggia emersa. Vengono utilizzate in zone senza particolare pregio ambientale;
- *opera di difesa longitudinale aderente - argini e muri di sponda*: sono strutture compatte e continue, realizzate per difendere il retrospiaggia dall'azione diretta del moto ondoso. Sono costruiti parallelamente alla linea di riva per difendere infrastrutture posizionate vicino al limite naturale della spiaggia;
- *opera di difesa longitudinale aderente - paratie a mare*: sono le palancole in calcestruzzo, ferro o legno. Vengono utilizzate come soluzioni temporanee di emergenza perché hanno breve durata essendo rapidamente scalzate al piede;
- *opera di difesa trasversale (emersa e soffolta) - pennelli*: sono strutture che si estendono dal retrospiaggia alla prima linea dei frangenti di normale mareggiata. Sono realizzati in massi, calcestruzzo ferro o legno e possono essere isolati o far parte di un sistema. L'effetto è quello di intercettare parte del trasporto lungo riva creando un accumulo sul lato sopraflutto;
- *opera di difesa trasversale - tubi longard*: guaine di tessuto sintetico riempite con una miscela di sabbia;
- *opera di difesa mista (emersa e soffolta)*: sono sistemi di difesa costruiti combinando diverse tipologie delle opere sopra descritte. Le più ricorrenti sono formate da pennelli e difese longitudinali distaccate sia soffolte che emerse;
- *infrastrutture minori*: sono opere a mare di piccole dimensioni, costruite con fini diversi da quelli della difesa, che comunque hanno una influenza, anche minima, sulla dinamica costiera.

La Tabella 2 riporta sinteticamente la suddetta classificazione e le definizioni alternative utilizzate nel piano costa RER 96 (in corsivo) e da altre Istruzioni tecniche per la progettazione ed esecuzione delle opere di difesa del Ministero dei lavori pubblici.

Attribuzione parametri altimetrici e geometrici

La mappatura in ambiente GIS permette di calcolare in automatico alcuni parametri geometrici quali le dimensioni delle opere e di ricavarne altri mediante semplici analisi come la distanza dalla linea di riva o l'ampiezza dei varchi fra opere contigue (Fig. 2).

Un parametro molto importante è la quota delle strutture riferita al livello medio mare. Ciò è stato realizzato utilizzando i dati altimetrici ad alta risoluzione, ottenuti con rilievo lidar (Perini, 2005).

Tabella 2 - Classificazione delle opere di difesa.

Posizione rispetto alla linea di riva	Posizione rispetto al livello del mare	Tipologia costruttiva	Definizioni alternative
Difesa longitudinale distaccata (parallela o obliqua)	emergente	Segmenti di scogliera in massi posti su fondali di circa 3 m, separati da varchi.	- Scogliera a mare - Frangiflutti distaccati emergenti
	soffolta	Segmenti di scogliera in massi posti su fondali di circa 3 m, altezza limitata all'impatto visivo	- Scogliera sommersa - Frangiflutti distaccati sommersi
		Allineamento di sacchi in geotessile colmati di sabbia	Frangiflutti in sacchi di sabbia
Difesa longitudinale interna	emergente	Argini in terra	Argini interni
Difesa longitudinale aderente	emergente	Scogliera in massi o gabbioni	Scogliera radente
		Sabbia e/o terra	- Argini e muri di sponda - Dune armate
		Soluzioni temporanee in legno e/o geotessuto	Paratie a mare palancole temporanee
			-
Difesa trasversale (perpendicolare o obliqua)	emergente	Si estendono dal retro spiaggia alla prima linea di frangenti di normale mareggiata e sono costruiti in massi o in legno	Pennelli
	soffolta		Pennelli sommersi Tubi Longard
Difesa mista	emergente		
	soffolta		

In corrispondenza di ciascuna struttura, infatti, è stato tracciato un profilo longitudinale dell'opera, dal quale sono state estratte le quote minima, media e massima, utilizzando come *datum* altimetrico il livello medio mare - Genova '42.

Predisposizione di un geodatabase omogeneo

La struttura finale del database è stata discussa e concordata con il servizio Difesa Suolo, della Costa e Bonifica e con i Servizi Tecnici regionali di Ferrara, Ravenna, Forlì-Cesena e Rimini, impegnati nella attività di pianificazione e difesa della costa regionale e contiene le seguenti informazioni:

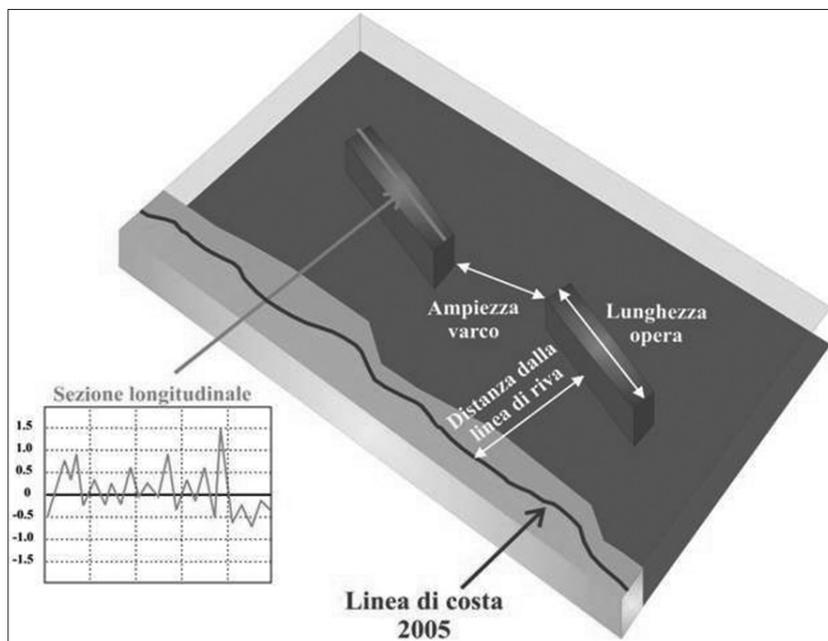


Figura 2 - I parametri calcolati sulla base della fotointerpretazione e/o dei dati lidar sono: i) la dimensione dell'opera; ii) la distanza dalla linea di riva; iii) l'apertura dei varchi; iv) la quota sul livello del mare.

- tipologia di opera;
- emersione o sommersione dell'opera;
- materiale costruttivo;
- anno di realizzazione;
- ente realizzatore;
- eventuali modifiche apportate all'opera;
- anno di smantellamento opera;
- altezza media (m s.l.m.m);
- altezza minima (m s.l.m.m);
- altezza massima (m s.l.m.m);
- lunghezza opera (m);
- ampiezza varco nord (m);
- distanza dalla linea di riva (m) rispetto all'anno di riferimento;
- comune di appartenenza;
- località;
- volo aereo di riferimento per la mappatura.

I servizi tecnici costieri hanno contribuito alla fornitura di alcuni dati costruttivi, quali: anno di realizzazione, ente, materiale etc. ed alla verifica finale delle informazioni inserite.

Pubblicazione dei cataloghi mediante WEBGIS

Attualmente i cataloghi delle opere realizzati sono stati pubblicati sul sito web del mare e della costa predisposto dal SGSS per supportare le azioni di pianificazione e di programmazione della regione in ambito costiero:

(www.regione.emilia-romagna.it/wcm/geologia/canali/cartografia/sito_cartografia/web_gis_costa.htm)

Il tema cartografico di riferimento è denominato 'Opere di Difesa', consultabile selezionando l'anno di interesse.

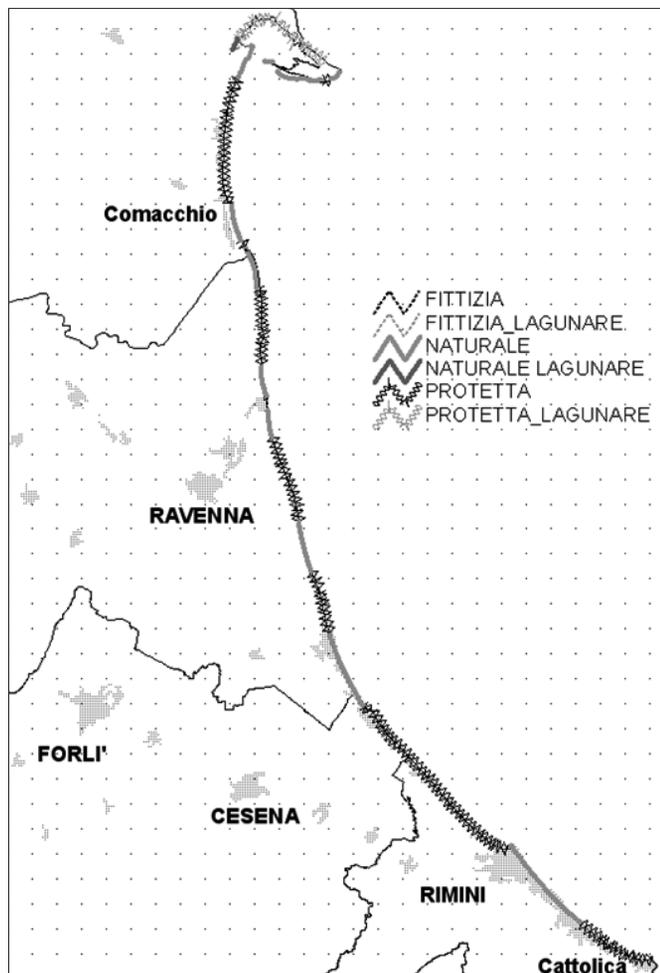


Figura 3 - Suddivisione della linea di costa ricavata dalle immagini del volo RER 2005 nei tratti: *fittizia* - un tratto di costa con varchi che interrompono la linea di riva, in prossimità delle foci fluviali e dei porti; *naturale* - un tratto di costa non protetto da opere di difesa artificiali; *protetta* - un tratto di costa protetto da opere di difesa artificiali ben distinguibili da foto aerea; *lagunare protetta* - ha le caratteristiche di un tratto protetto in ambiente lagunare (Sacca di Goro).

Applicazioni del catalogo delle opere

Il SGSS ha utilizzato le numerose informazioni contenute nei vari cataloghi delle opere di difesa per approfondire gli studi sullo stato del litorale e sulla dinamica costiera delle spiagge dell'Emilia-Romagna. L'interpretazione e l'elaborazione dei dati in essi contenuti hanno condotto, all'oggi, a due principali risultati: la ricostruzione dell'evoluzione dei sistemi di protezione costiera nel litorale dell'Emilia-Romagna nel periodo 1943-2005 e la valutazione dell'influenza delle opere di difesa sulla morfologia della spiaggia emersa e sommersa.

Ricostruzione dell'evoluzione dei sistemi di protezione costiera nel litorale dell'Emilia-Romagna nel periodo 1943-2005

Il catalogo delle opere di difesa costituisce uno strumento molto importante sia per il controllo dello stato di irrigidimento della costa che per la pianificazione di nuovi interventi.

Ciascun catalogo è stato corredato dei relativi metadati, contenenti importanti informazioni sulle procedure di elaborazione, sulla qualità dei dati e sul contenuto del *file* stesso. I metadati sono stati implementati attraverso il software "City Trek Repository Manager", prodotto dalla CORE su commissione RER. Esso costituisce uno strumento per la creazione di cataloghi evoluti di tutte le banche dati cartografiche e gestionali del Sistema Informativo Regionale. Le specifiche di riferimento sono le ISO 19115 in accordo con le normative dell'Intesa GIS Stato Regioni .

Il catalogo relativo alle opere di difesa mappate sul Volo 2005 è il più completo, contenendo le informazioni tipologiche e strutturali previste dal geodatabase creato e implementato in accordo con i Servizi Tecnici competenti.

I cataloghi relativi agli anni 1943, 1982 e 1998, invece, contengono solo le informazioni inerenti il tipo di opera.

Attraverso le informazioni relative alla distribuzione delle opere costiere, è stata realizzata una classificazione della linea di riva a scala regionale che permette di distinguere le aree protette artificialmente e i litorali naturali (Fig. 3). Il tematismo è interrogabile su WEBGIS selezionando le "linee di riva" corrispondenti agli anni: 1943-'45, 1982, 1998 e 2005.

Uno dei principali scopi per cui il catalogo è stato prodotto è, la ricostruzione della sequenza temporale della variazione delle opere di difesa basata sulle immagini aeree relative agli anni 1943 - 1982 - 1998 - 2005 al fine di comprendere l'efficacia e gli effetti prodotti dalle opere sulla linea di costa.

In questo senso l'uso dello strumento GIS offre un supporto molto efficace, permettendo la visualizzazione contemporanea delle opere presenti in diversi periodi di tempo, l'elaborazione e il confronto con altri tematismi realizzati dal SGSS, *i.e.* linea di riva, geomorfologia costiera, uso del suolo della costa (Fig. 4), per valutare le variazioni della spiaggia e quindi quantificare l'efficacia degli interventi sulla protezione della costa dall'erosione e/o ingressione marina. Di seguito vengono descritti sinteticamente gli interventi di protezione della costa emiliano-romagnola negli anni 1943, 1982, 1998 e 2005.

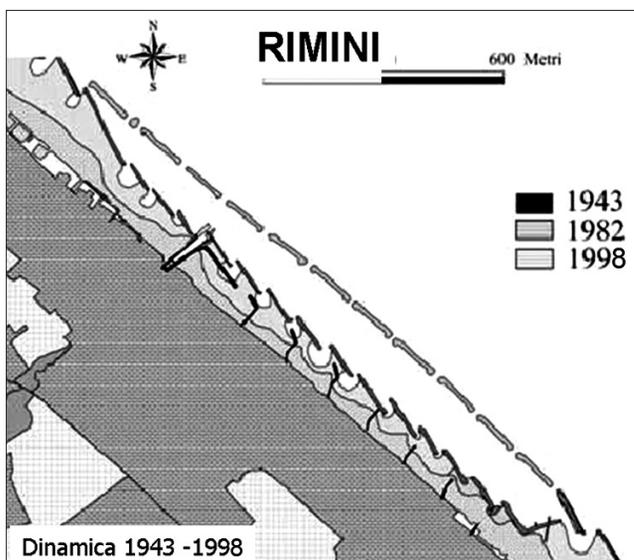
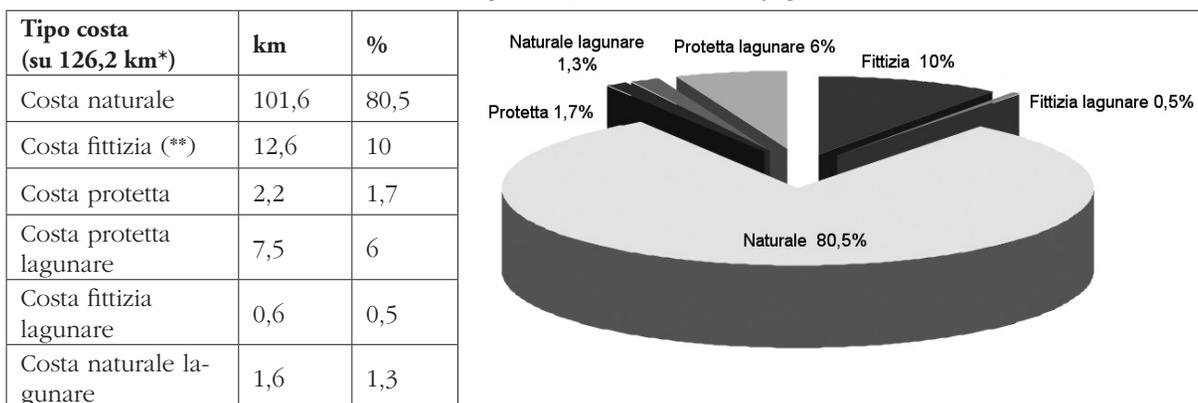


Figura 4 - Evoluzione del sistema di difesa costiera di un paraggio presso Rimini Nord confrontando le foto aeree degli anni 1943, 1982 e 1998. Sono rappresentati anche elementi della geomorfologia costiera, bassofondi (grigio chiaro) e dell'uso del suolo, aree urbane (grigio).

Opere di difesa costiera 1943

Le prime testimonianze dell'esistenza di opere di difesa sono state individuate sulla base di foto aeree datate 1943-'45 (volo R.A.F.) dalle quali risulta che meno dell' 8% del litorale regionale era protetto con opere di difesa, per lo più costituite da argini in terra dislocati a fronte delle zone bonificate nei pressi dell'abitato di Goro, mentre più dell'80% era rappresentato da costa naturale (Tab. 3a).

Tabella 3a - Natura della costa nel 1943.



(*) mancano i fotogrammi e la mappatura dello scanno di Goro e di Gorino

(**) come costa fittizia è stato classificato un tratto di litorale ferrarese, lungo circa 4.8 km, dove mancano i fotogrammi del volo RAF. Si ritiene plausibile che tale tratto sia costituito da costa naturale come si evince dalle immagini del volo GAI 1955.

Le opere di difesa dal mare e di difesa portuali all'epoca presenti,visibili e mappabili dal volo RAF, sono sintetizzate nella tabella seguente (Tab. 3b).

Nel complesso, la situazione della costa nell'anno 1943 può considerarsi diffusamente naturale; pertanto, l'assetto geomorfologico della spiaggia osservato in questo volo è legato ai soli processi naturali morfodinamici ed è la testimonianza dell'ambiente costiero prima della costruzione massiccia delle opere di difesa.

Tabella 3b - Le opere di difesa rigida nel 1943.

Classe-OPERA	Stato	Tipologia	N° elementi mappati
Difesa longitudinale distaccata	emersa	Scogliera in massi	3
Difesa longitudinale aderente	emersa	Scogliera in massi	1
Argine interno (lagunare)	emersa	Argine in terra	6
Difesa mista	emersa	Pennello/scogliera	8
Difesa trasversale	emersa	Pennelli	10
Opere portuali	emersa	Moli/dighe	15
Infrastrutture minori	emersa	Pontili in legno/poltruso	1
Foce armata	emersa	Argini e moli	14
Totale poligoni mappati			58

Opere di difesa 1982

Il catalogo opere 1982 mette in evidenza una situazione completamente mutata (Tab. 4a e 4b). La costa naturale è diminuita sensibilmente, circa del 50%, poiché, soprattutto nel decennio 1970-'80 sono state erette numerose opere di difesa costiera, la maggior parte delle quali rappresentate da 'Difese longitudinali distaccate', realizzate come scogliere emerse in massi e pietrame generalmente calcareo.

Tabella 4a - Natura della costa nel 1982.

Tipo costa (su 138.3 km*)	km	%
Costa naturale	70	50,6
Costa fittizia	6	4,3
Costa protetta	49,1	35,6
Costa protetta lagunare	10,5	7,6
Costa fittizia lagunare	2,6	1,9

(*) scanno di Goro e spit inclusi.

La costa protetta è infatti sensibilmente aumentata passando dall' 7.6% del 1943 al 43.2%. Le opere mappate da fotointerpretazione sono decisamente più numerose, con netta dominanza delle difese longitudinali distaccate (da 3 nel 1943 a 313 nel 1982). Da segnalare la comparsa di numerose opere soffolte nella zona dello scanno di Goro, non più mantenute attive negli anni successivi (1998 e 2005).

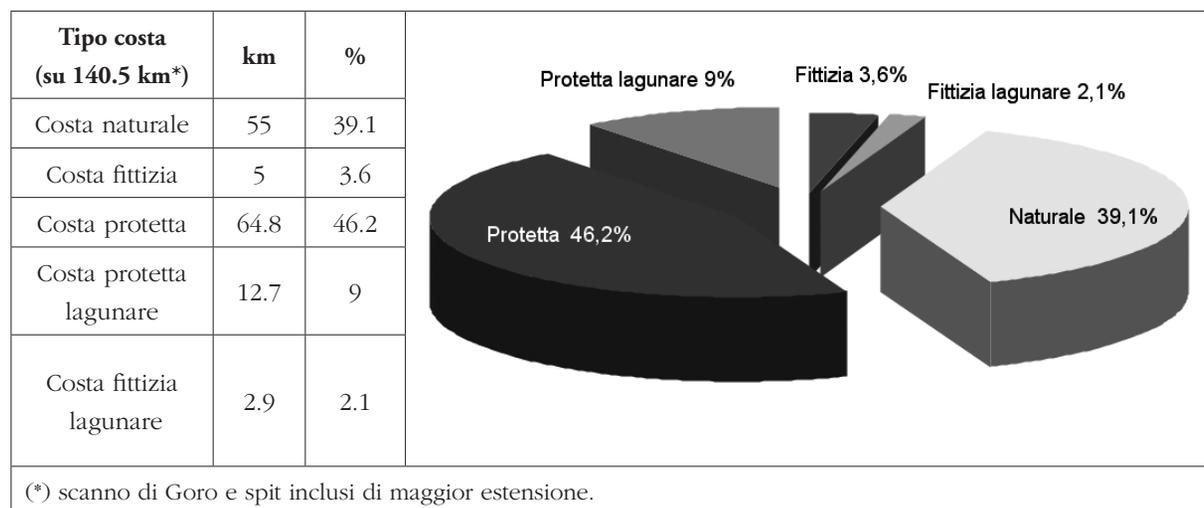
Tabella 4b - Le opere di difesa rigida nel 1982.

Classe-OPERA	Stato	Tipologia	N° elementi mappati
Difesa longitudinale distaccata	emersa	Scogliere in massi	313
	soffolta	Scogliere in massi, sacchi di sabbia, tubi Longard	1
Difesa longitudinale aderente	emersa	Scogliere in massi	18
	soffolte	Scogliere in massi	3
Argine interno	emersa	Argine in terra o sabbia	8
Difesa trasversale	emersa	Pennelli, scogliere a protezione dei moli	69
	soffolte	Pennelli	40
Difesa mista	soffolte	Scogliere/pennelli, sacchi in sabbia	38
	emersa	Scogliere/pennelli	0
Opere portuali	emersa	Moli/dighe	30
Infrastrutture minori	emersa	Pontili in legno/poltruso	5
Foce armata	emersa	Argini e moli	17
Totale poligoni mappati			542

Opere di difesa 1998

Il catalogo opere 1998 (volo IT2000) rivela un ulteriore aumento della costa protetta di circa il 10% (Tab. 5a). Aumentano ulteriormente le ‘Difese longitudinali distaccate emerse’ con l’introduzione della medesima tipologia di opere in versione sommersa (Difese longitudinali distaccate soffolte), costruite per arginare i gravi problemi ambientali insorti nel tempo nelle aree di retro scogliera (Tab. 5b).

Tabella 5a - Natura della costa nel 1998.



(*) scanno di Goro e spit inclusi di maggior estensione.

Tabella 5b - Le opere di difesa rigida nel 1998.

Classe-OPERA	Stato	Tipologia	N° elementi mappati
Difesa longitudinale distaccata	emersa	Scogliere in massi	346
	soffolta	Scogliere in massi, sacchi di sabbia, tubi Longard	3
Difesa longitudinale aderente	emersa	Scogliere in massi	32
Argine interno	emersa	Argine in terra o sabbia	10
Difesa trasversale	emersa	Pennelli, scogliere a protezione dei moli	98
	soffolte	Pennelli	22
Difesa mista	soffolte	Scogliere/pennelli	64
	emersa	Scogliere/pennelli	2
Opere portuali	emersa	Moli/dighe	38
Infrastrutture minori	emersa	Pontili in legno/poltruso	19
Foce armata	emersa	Argini e moli	23
Totale poligoni mappati			657

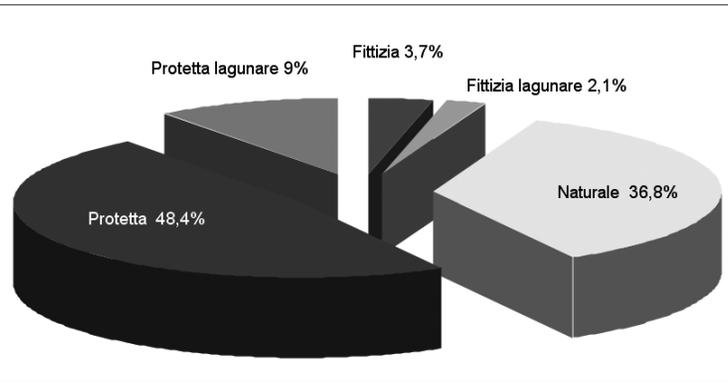
Opere di difesa 2005

Nel 2005 la costa protetta aumenta ulteriormente, di circa il 2%, in soli 5 anni, e diminuisce la costa naturale che raggiunge il valore storicamente più basso pari a circa il 36% (Tab. 6a).

Il catalogo opere 2005, come osservato in precedenza, è il più completo e dettagliato poiché deriva dalla fotointerpretazione di un volo di estremo dettaglio, è stato collaudato con i servizi tecnici e comprovato da osservazioni in campo. Per tale motivo risulta sensibilmente aumentato il numero di difese trasversali, includendo in tale categoria le scogliere realizzate a difesa delle aree portuali (Tab. 6b).

Tabella 6a - Natura della costa nel 2005.

Tipo costa (su 139.5 km*)	km	%
Costa naturale	51.3	36.8
Costa fittizia	5.2	3.7
Costa protetta	67.4	48.4
Costa protetta lagunare	12.6	9
Costa fittizia lagunare	2.9	2.1



(*) scanno di Goro e spit inclusi.

Tabella 6b - Le opere di difesa rigida nel 2005.

Classe-OPERA	Stato	Tipologia	N° elementi mappati
Difesa longitudinale distaccata	emersa	Scogliere in massi	335
	soffolta	Scogliere in massi, sacchi di sabbia, tubi Longard	25
Difesa longitudinale aderente	emersa	Scogliere in massi	37
Argine interno	emersa	Argine in terra o sabbia	13
Difesa trasversale	emersa	Pennelli, scogliere in massi e scogliere a protezione dei moli	141
	soffolte	Pennelli	8
Difesa mista	soffolte	Scogliere/pennelli	38
	emersa	Scogliere/pennelli	14
Opere portuali	emersa	Moli/dighe	42
Infrastrutture minori	emersa	Pontili in legno/poltruso	24
Foce armata	emersa	Argini e moli	28
Residui di opere	soffolte	massi, sacchi di sabbia	14
	Totale poligoni mappati		719

Valutazione dell'influenza delle opere sulla morfologia della spiaggia emersa e sommersa

La presenza delle opere di difesa influisce sensibilmente sulla morfologia delle spiagge, nella parte emersa e in quella sommersa, infatti, la costruzione di una struttura rigida modifica profondamente l'equilibrio precedente ed innesca nuove dinamiche costiere che producono diverse configurazioni.

Le principali evidenze dell'impatto delle opere di difesa sulla spiaggia sono sintetizzabili nei casi qui di seguito riportati.

In presenza di opere trasversali alla costa - moli (Fig. 5a) e pennelli (Fig. 5b):

- la linea di riva passa da una forma rettilinea ad una geometria a “dente di sega”; si osserva l'accrescimento asimmetrico della spiaggia, si individua in questo modo il lato sottoflutto, dove avviene arretramento della linea di riva, e il lato sopraflutto dove si osserva invece accrescimento. Su questa base è quindi possibile definire la direzione predominante del flusso sedimentario lungo costa, che, nella maggioranza dei casi lungo il litorale della RER è diretto da sud verso nord;
- nel caso dei pennelli è stato osservato che il contrasto che oppongono all'erosione della spiaggia ha una efficienza apparente o transitoria (inferiore ai dieci anni) e divengono inefficaci nel tempo se ad essi non vengono associate altre tipologie di difesa (ad esempio scogliere o barriere soffolte). La presenza dei moli ha invece un effetto durevole, probabilmente a causa dell'estensione della struttura generalmente oltre ai limiti del trasporto lungo costa della sabbia; esso può essere molto importante e si osservano differenze nell'ampiezza della spiaggia emersa di alcune centinaia di metri tra i due lati delle strutture.

In presenza di opere longitudinali distaccate (scogliere):

- nel tratto di mare riparato da queste opere l'energia del moto ondoso è minore e si possono depositare le sabbie trasportate dal flusso litoraneo, formando estesi bassofondi e le tipiche morfologie a tombolo (Fig. 6); la spiaggia emersa è generalmente stabile con locali variazioni di accrescimento e di arretramento;

- sottoflutto (spesso al margine nord dei sistemi di scogliera) è quasi sempre presente un tratto di spiaggia più arretrato, dove si manifesta una marcata erosione (“hot spot” erosionali);
- nella spiaggia sommersa, in corrispondenza dei varchi è frequente la formazione di truogoli talora profondi oltre un metro rispetto il fondale circostante;

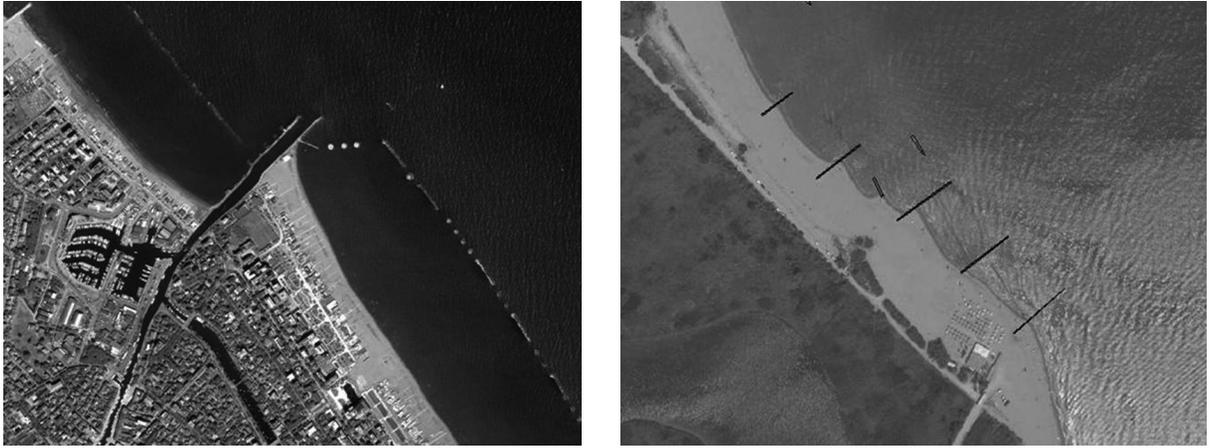


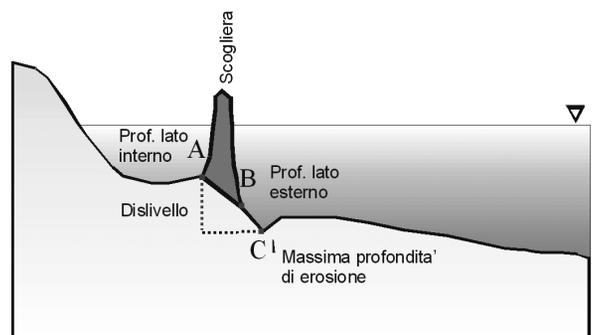
Figura 5 - Strutture trasversali: forte accrescimento della spiaggia nel lato sopraflutto dell'opera e sensibile arretramento della parte sottoflutto; a- effetto del porto-canale di Cesenatico; b- effetto pennelli Lido di Spina sud. (Volo Costa RER 2005).

- il lato a mare (esterno) delle strutture è molto spesso caratterizzato da un sensibile approfondimento dei fondali e il profilo completo della spiaggia è tipicamente “a gradino” (Fig 7). Il dislivello che si registra tra il lato interno e quello esterno è anche superiore al metro e nei fondali esterni generalmente non si osservano barre di frangimento longitudinali. Questo fenomeno origina problemi di stabilità all'opera.



Figura 6 - Accrescimento della spiaggia e formazione dei tomboli a tergo di opere longitudinali distaccate emerse (Volo Costa RER 2005).

Figura 7 - Profilo batimetrico in corrispondenza di opere longitudinali distaccate emerse. La geometria è “a gradino” con possibili approfondimenti al piede della struttura (escavazioni).



In presenza di opere longitudinali aderenti - scogliere, argini, muri e paratie:

- brusco approfondimento del profilo batimetrico immediatamente al piede della struttura e presenza di escavazioni e depositi, prodotti dai processi legati alla riflessione delle onde;
- generale assenza di barre di frangimento s.s., o rare barre longitudinali irregolari ed ondulate.

In presenza di opere di difesa mista di tipo "a celle" create dalla combinazione di opere trasversali (emerse o soffolte) e opere longitudinali distaccate, (Fig. 8), generalmente soffolte (recentemente adottate in via sperimentale in Emilia-Romagna) si osservano configurazioni simili a quelle dei sistemi di scogliera distaccata (si veda sopra), e in particolare:

- in prossimità dei varchi di comunicazione tra la cella e il mare aperto si individuano delle escavazioni profonde, che raggiungono profondità massime di circa -7 m, con dislivelli rispetto al fondale circostante superiori ai 4 m. La forma delle depressioni è generalmente asimmetrica (con maggiore sviluppo nel lato verso mare), e la loro estensione longitudinale è di circa 100-200 m; queste strutture sono collegabili a intense correnti di ritorno a seguito di episodi di mareggiata, amplificate dalla struttura semichiusa della cella.

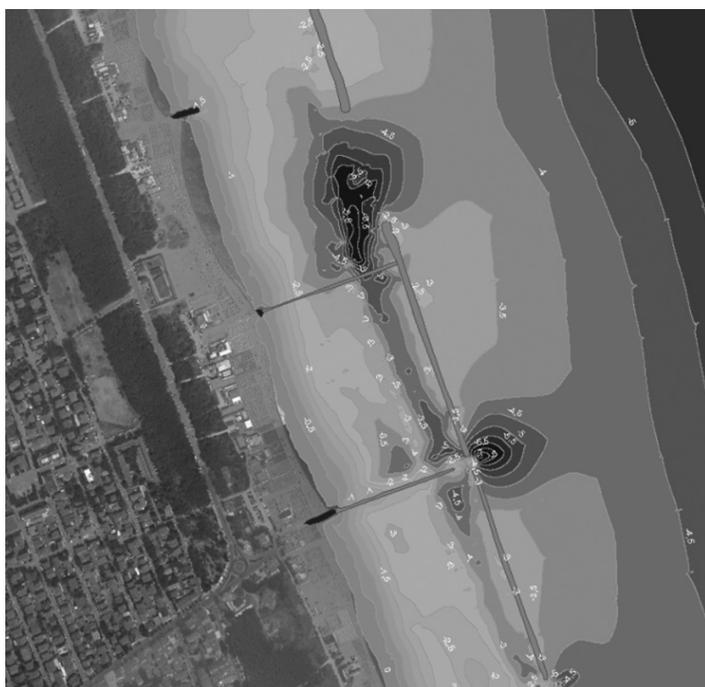


Figura 8 - Difesa mista "a celle": truogoli (grigio scuro-nero) del fondale prodotti dalla corrente di reflusso in corrispondenza dei varchi interposti tra due scogliere attigue. (Volo Costa RER 2005 e DTM batimetrico).

Uno dei numerosi esempi del rapporto tra evoluzione delle opere e dinamica costiera in aree critiche è rappresentato dalla foce del Canale Destra Reno, presso Casal Borsetti.

Considerando l'evoluzione di questo tratto costiero (Fig. 9), si può osservare che la linea di riva presso Casal Borsetti ha avuto una tendenza "fuori sequenza", facilmente attribuibile alla presenza del sistema di difesa artificiale. Le curva di variazione della linea di riva dal 1943 al 1954 nel tratto compreso tra la foce del F. Lamone e la foce del F. Reno mostra una progressiva tendenza all'arretramento, con una forte accentuazione in corrispondenza della foce del F. Reno. Negli anni successivi, fino al 1982, questa tendenza è osservabile ancora su gran parte del tratto costiero (linea a trattini), mentre in corrispondenza di Casal Borsetti è evidente un picco di avanzamento in chiara controtendenza (linea a tratti e punti, 1943-1977) che successivamente si stabilizza (dal 1982 in avanti). È significativo il fatto che il sistema di difesa di Casal Borsetti sia presente già nei fotogrammi del volo del 1977.

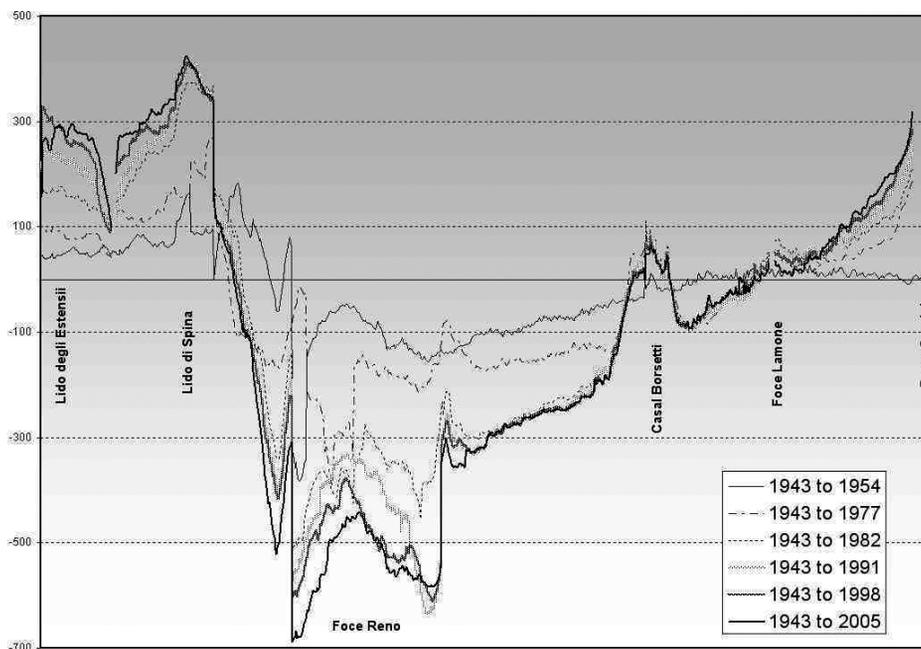


Figura 9 - Variazione della linea di riva dal 1943 al 2005 nel tratto costiero tra Porto Corsini e Lido degli Estensi; si osserva l'influenza locale del sistema di difesa di Casal Borsetti sull'andamento regionale.

Nel particolare si osserva che nel 1943 (catalogo su volo RAF 1943) la foce era circa rettilinea e delimitata da una spiaggia molto ridotta in corrispondenza dell'abitato. La successiva costruzione del sistema di opere di difesa tra gli anni '70 e '80 (catalogo 1982), ha prodotto un sensibile avanzamento della spiaggia protetta e l'arretramento delle aree adiacenti ("hot spot" erosionali). In conseguenza di ciò negli anni '90 è stato eretto un sistema di opere a difesa dei litorali a sud della foce, come si osserva in Figura 10 relativa all'anno 2005.

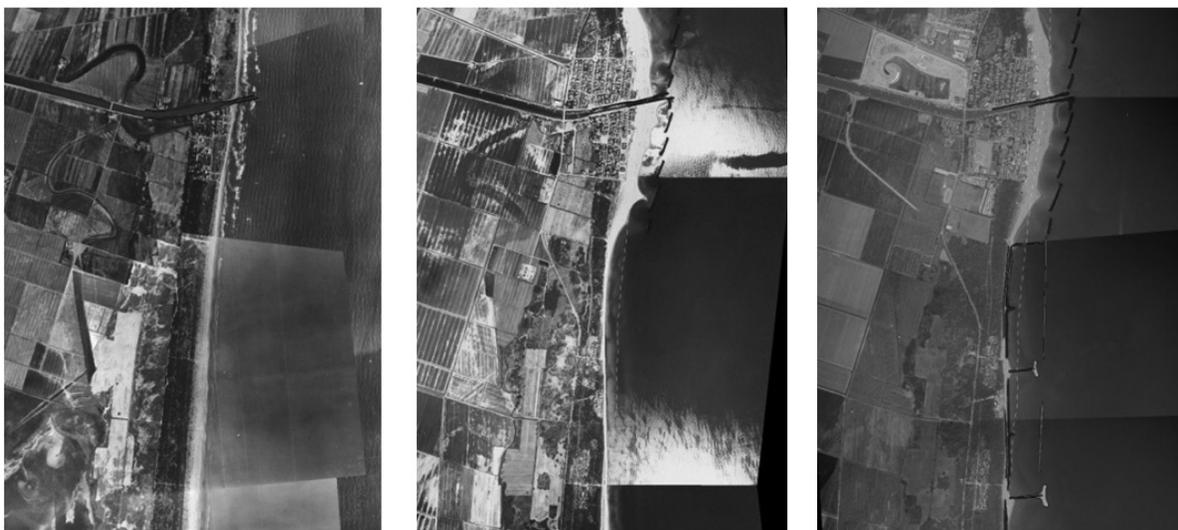


Figura 10 - Immagini in sequenza, da sinistra a destra: volo RAF 1943, volo RER 1982 e volo RER 2005. Evoluzione del litorale in corrispondenza di Casal Borsetti; si può apprezzare l'espansione dei sistemi di difesa artificiale nel tempo e la loro influenza sulla spiaggia emersa: accrescimento e stabilizzazione in corrispondenza delle scogliere ed arretramento nel tratto adiacente verso sud, stabilizzato nel 2005 con un sistema di difesa misto.

Conclusioni

Il Catalogo delle Opere di Difesa e delle Opere Marittime è uno dei prodotti più importanti realizzati grazie alla disponibilità di nuovi dati acquisiti ed elaborati nell'ambito del Sistema Informativo della Costa (Perini et al., 2005). Tale strumento offre, infatti, un nuovo approccio alla gestione della fascia costiera emiliano-romagnola, che si esprime nelle nuove metodologie di raccolta, gestione ed analisi dei dati sfruttando le tecnologie GIS.

Il progetto del Catalogo delle Opere di Difesa e delle Opere Marittime è stato concepito a fronte della mancanza di un archivio di informazioni organizzate sulle strutture di protezione artificiale erette a difesa delle spiagge e delle aree portuali dell'Emilia-Romagna, che potesse essere utilizzato dalla Regione e dagli enti locali (Provincia, Comuni) ai fini della pianificazione di nuove strategie di difesa e della progettazione ingegneristica degli interventi.

Il Catalogo delle Opere di Difesa e delle Opere Marittime, fornisce una chiara conoscenza sullo stato di protezione del litorale e sulla tipologia delle singole opere offrendo un insieme di informazioni di tipo geografico, geometrico e strutturale utilizzabili per la modellazione del moto ondoso e del flusso sedimentario sotto costa.

La costruzione del Catalogo è sintetizzabile in tre fasi principali: predisposizione di un *geodatabase* aggiornabile in cui sono contenute le caratteristiche delle opere (spaziali e descrittive), cartografia delle opere attraverso foto-interpretazione, in ambiente GIS, delle riprese aeree degli anni 1943, 1982 1998 e 2005 e, per questo ultimo anno, integrazione degli attributi con i dati costruttivi forniti dai servizi tecnici che operano sulla costa.

L'analisi dello stato di protezione della costa in anni differenti ha consentito di osservare e quantificare i vari stadi dell'“irrigidimento” del litorale emiliano-romagnolo. L'evoluzione dei sistemi di difesa rigida è stata anche confrontata con le modificazioni della geomorfologia costiera ed è stato possibile valutare l'impatto delle difese sul litorale negli ultimi 60 anni, con particolare attenzione alle interazioni tra opere e variazione della linea di riva.

L'accesso per gli utenti ai dati del Catalogo delle Opere di Difesa e delle Opere Marittime è possibile attraverso un webgis già operante

(www.regione.emilia-romagna.it/wcm/geologia/canali/cartografia/sito_cartografia/web_gis_costa.htm).

Ringraziamenti

Si ringraziano per i contributi alle diverse fasi del lavoro: Raffaele Pignone (Responsabile Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli), Ubaldo Cibin, Manuela Gardelli, Michele Montaguti, Paolo Luciani (Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli), Maurizio Farina (Servizio Tecnico Bacino Po di Volano), Franco Mastromarco (Servizio Tecnico Bacino Fiumi Romagnoli). Si ringraziano il Servizio Aerofototeca dell'Istituto Beni Culturali di Roma che ci ha fornito i fotogrammi del Volo RAF 1943-45, e la Compagnia Generale delle Riprese aeree di Parma che ha realizzato i voli aerei per conto della Regione Emilia-Romagna. Si ringrazia inoltre l'ing. Mentino Preti di ARPA-IA per le informazioni fornite.

Bibliografia

- AA. VV. (2006) - *Analysis of correlation between coast evolution and meteo-marine climatology*. Technical report (June 2006). CADSEALAND WP04: Integrated informative system to support protection strategies Deliverable 4.5, 115 pp.
- APAT - Agenzia per la Protezione dell'Ambiente (2007) - *Atlante delle opere di sistemazione costiera*. Manuale e Linee guida 44/2007.
- ARPA - Regione Emilia-Romagna (2002) - *Stato del litorale emiliano-romagnolo all'anno 2000*. I Quaderni di Arpa. Bologna.
- Consiglio Nazionale della Ricerca, (1985) - *Atlante delle Spiagge Italiane*. Fogli 99-Comacchio, 89-Ravenna, 100-Forlì, 101-Rimini, 109-Pesaro.

- Idroser - Regione Emilia-Romagna (1996) - *Progetto di Piano per la difesa dal mare e la riqualificazione ambientale del litorale della regione emilia-romagna*. Relazione generale, pp. 365.
- Luciani P. (2007) - *Ortofotopiani della fascia costiera della Regione Emilia-Romagna alla scala nominale 1:10.000*. Rapporto Interno - Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, RER, disponibile in www.regione.emilia-romagna.it/wcm/geologia/canali/cartografia/sito_cartografia/web_gis_costa.htm
- Perini L. (2005) - *Rilievo della Fascia costiera Emiliano-Romagnola con sistema Lidar aerotrasportato*. Relazione di attività - Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, RER, disponibile in: www.regione.emilia-romagna.it/wcm/geologia/canali/cartografia/sito_cartografia/web_gis_costa.htm
- Perini L., Calabrese L., Cibirin U., Lorito S., Luciani P. (2007) - *Il Sistema Informativo della Costa e i prodotti cartografici di supporto agli studi e alle strategie di difesa*. In "Ambiente e Territorio" n. 127. Terzo Forum Nazionale. Pianificazione e tutela del territorio costiero. Questioni, metodi, esperienze a confronto, pp.71-88.
- Preti M., (1984) - *Piano progettuale per la difesa della costa adriatica Emiliano Romagnola*. Volume VI, le opere a mare: caratteristiche ed effetti sul litorale. Relazione tecnica Idroser S.p.A., Bologna, Settembre 1984.

Contributo tecnico ricevuto il 8/10/2008.