

# ambiente territorio

numero 2  
aprile 2007

CULTURA DELL'AMBIENTE E SCIENZA DEL TERRITORIO

## Sommario

### EDITORIALE



Il Forum sulla pianificazione e tutela del sistema costiero  
di *Erminio M. Ferrucci* ..... pag. 6

### TERZO FORUM: PIANIFICAZIONE E TUTELA DEL SISTEMA COSTIERO



L'Intrusione Salina negli Acquiferi Costieri Emiliano-Romagnoli  
di *Marco Antonellini, Andrea Minchio e Giovanni Gabbianelli* ..... pag. 8

La conoscenza e l'innovazione nella pratica della gestione e del rischio costiero  
di *Edi Valpreda* ..... pag. 16

La dinamica litorale nel golfo di San Vito lo Capo, Sicilia nord-occidentale  
di *Gian Camillo Cortemiglia e Francesco Torre* ..... pag. 20

Il Sistema Informativo della Costa e i prodotti cartografici di supporto agli studi e alle strategie di difesa  
di *Luisa Perini, Lorenzo Calabrese, Ubaldo Cibin, Samantha Lorito e Paolo Luciani* ..... pag. 30

### RISCHIO COSTIERO



Simulazione del rischio inondazione sulla costa del golfo di Napoli  
di *Daniela Terracciano* ..... pag. 38

Oceano Indiano: l'epicentro del terremoto del 26 dicembre 2004  
di *Daniela Terracciano* ..... pag. 44

### TECNOLOGIE AMBIENTALI



Progetto di ripascimento delle spiagge romagnole mediante l'utilizzo di sabbie sottomarine  
di *Erminio M. Ferrucci* ..... pag. 48

Studio dell'idrodinamismo della Sacca di Goro nel delta del Po  
*Provincia di Ferrara* ..... pag. 60

### RUBRICHE



Aree Marine Protette ..... pag. 72  
Pubblicazioni ..... pag. 84  
Dossier ..... pag. 86  
Agenda 21 ..... pag. 90  
Dalle Aziende ..... pag. 92



# TERZO FORUM: PIANIFICAZIONE E TUTELA DEL SISTEMA COSTIERO

Luisa Perini, Lorenzo Calabrese, Ubaldo Cibir, Samantha Lorito e Paolo Luciani\*

## Il Sistema Informativo della Costa e i prodotti cartografici di supporto agli studi e alle strategie di difesa

L'area costiera della Regione Emilia-Romagna, nonostante i numerosi interventi di difesa attuati negli ultimi decenni, continua ad essere un territorio fortemente critico riguardo al quale sono indispensabili conoscenze sempre più approfondite e adeguatamente organizzate, affinché possa essere salvaguardata attraverso nuove strategie di gestione.

\* Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna

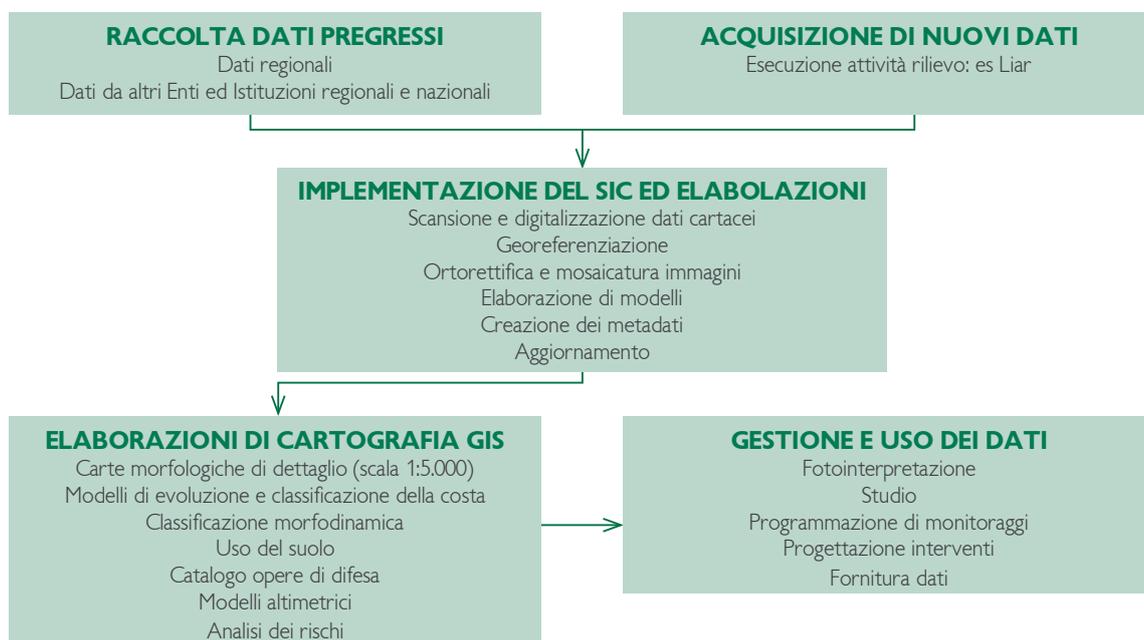
Di questo compito si è fatto carico il Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, che, anche grazie al finanziamento europeo ottenuto con l'approvazione del progetto CADSEALAND (2004-2006), ha creato il Sistema Informativo della Costa (SIC) ed ha condotto svariati studi che hanno fornito maggiori conoscenze sulla evoluzione e sulla dinamica territoriale dell'area costiera negli ultimi secoli e hanno prodotto strumenti cartografici ed elaborazioni di sintesi, indispensabili supporti alla pianificazione territoriale e alla programmazione di opere ed interventi di difesa.

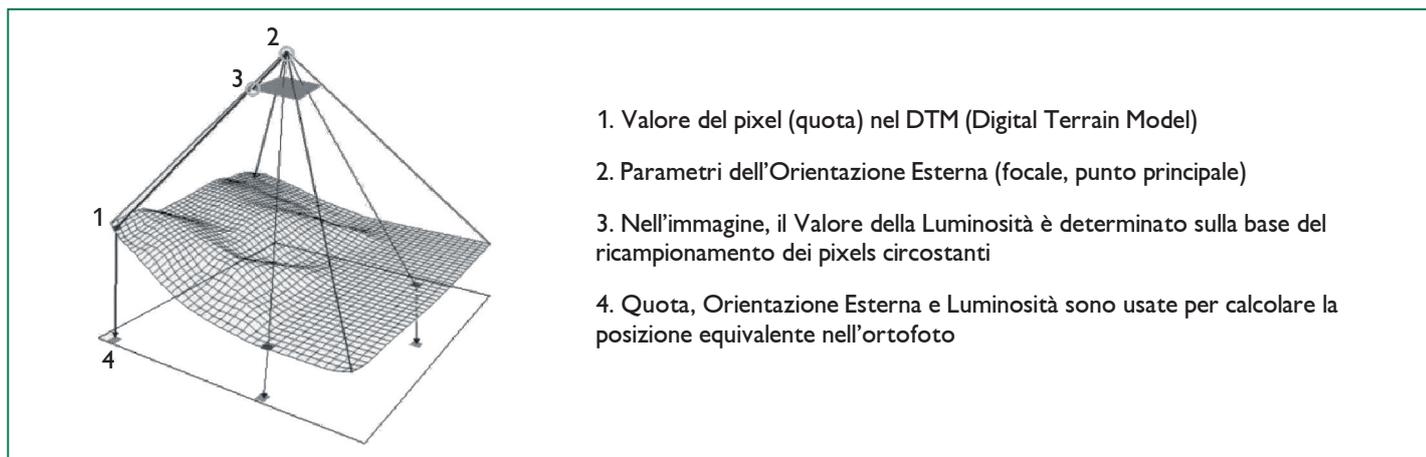
Tutto questo è stato realizzato applicando un approccio interdisciplinare e lavorando in sinergia con altri settori dell'ente. La dimensione internazionale del fenomeno dell'erosione delle coste e della gestione di queste aree ha fatto sì che l'Unione Europea si sia impegnata direttamente nella predisposizione di strumenti operativi come il database G.I.S. delle co-

ste europee alla scala 1:100.000 e le linee guida per "l'implementazione di sistemi informativi locali per la gestione dell'erosione delle coste", realizzati dalla Direzione Generale Ambiente della Commissione Europea nell'ambito del Programma EUROSION e pubblicati nel 2004 (European Commission - Directorate General Environment 2004). Le raccomandazioni UE sono particolarmente improntate alla gestione dei rischi costieri ed individuano nove gruppi tematici fondamentali per lo studio e la gestione della costa: Limiti Amministrativi; Topografia; Geologia, Geomorfologia e Sedimentologia; Idrodinamica; Uso Del Suolo; Demografia; Patrimonio; Assetto Economico e Difese Costiere.

A queste linee guida si è fatto riferimento per lo sviluppo del Sistema Informativo della Costa della Regione Emilia-Romagna, anche se, grazie alla mole di dati disponibili a livello regionale e in considerazione

Figura 1  
Procedura di implementazione del Sistema Informativo della Costa





1. Valore del pixel (quota) nel DTM (Digital Terrain Model)
2. Parametri dell'Orientazione Esterna (focale, punto principale)
3. Nell'immagine, il Valore della Luminosità è determinato sulla base del ricampionamento dei pixel circostanti
4. Quota, Orientazione Esterna e Luminosità sono usate per calcolare la posizione equivalente nell'ortofoto

delle peculiarità del sistema costiero emiliano-romagnolo, alcuni di questi campi tematici contengono informazioni più dettagliate rispetto a quanto previsto nelle indicazioni europee.

### OBIETTIVI E SVILUPPO DEL SISTEMA INFORMATIVO DELLA COSTA

Il Sistema Informativo della costa è stato creato allo scopo di disporre di uno strumento efficace, costantemente operativo e in grado di dialogare con i Servizi Tecnici Regionali, e che rispondesse alle esigenze, ormai in buona parte raggiunte, di:

- raccogliere ed organizzare i dati esistenti relativi al sistema fisico della costa;
- migliorare le conoscenze attraverso studi a scala regionale e locale introducendo anche attività di monitoraggio strategico;
- predisporre i livelli informativi utili alla definizione dello stato della costa e alla gestione dei 'rischi costieri';
- supportare l'analisi previsionale dell'impatto dei cambiamenti climatici sulla fascia costiera;
- fornire uno strumento di supporto alla gestione del territorio costiero;
- costituire un sistema per la diffusione delle informazioni, i risultati degli studi e di scambio di dati con i servizi periferici e gli enti territoriali, anche attraverso la creazione di un WEB-GIS.

Il raggiungimento dei molteplici e complessi obiettivi ha richiesto diverse fasi operative di analisi delle criticità, di raccolta dati, sia pregressi che di nuova acquisizione e quindi di studio. Il flusso di lavoro è sintetizzato nello schema di flusso della **Figura 1**.

### STRUTTURA E CONTENUTI DEL SIC

La struttura del SIC è articolata e si compone dei seguenti elementi:

- una Banca Dati Relazionale contenente tutti i livelli informativi, per lo più prodotti cartografici, sviluppati

nell'ambito dei diversi progetti dedicati alla analisi della evoluzione e alla difesa della costa;

- un collegamento al Server del Sistema Informativo del Servizio, dove sono disponibili i dati raster e vettoriali a copertura regionale che sono di comune utilizzo;

- operatori, ovvero coloro che all'interno del Servizio si occupano dell'analisi delle tematiche costiere e delle elaborazioni cartografiche, nonché gli Utenti appartenenti ad altre strutture, che utilizzano i risultati degli studi per scopi applicativi;

- software, prevalentemente GIS ed altri dedicati alla elaborazione di dati, soprattutto immagini, alla analisi e alla modellistica costiera;

- un Web-GIS che è in fase di realizzazione e sarà presto disponibile collegandosi al portale del Servizio Geologico, sismico e dei Suoli all'indirizzo [www.regione.emilia-romagna.it/wcm/geologia/canali/costa](http://www.regione.emilia-romagna.it/wcm/geologia/canali/costa).

Esso permetterà ai clienti di navigare e interrogare i dati geografici usando un browser-web. Le componenti del sistema saranno un'area pubblica libera e dedicata alla navigazione su mappa e alla consultazione dei dati attraverso un sistema di ricerca per attributi, ed un'area riservata, accessibili via pass-word, per la gestione dei dati.

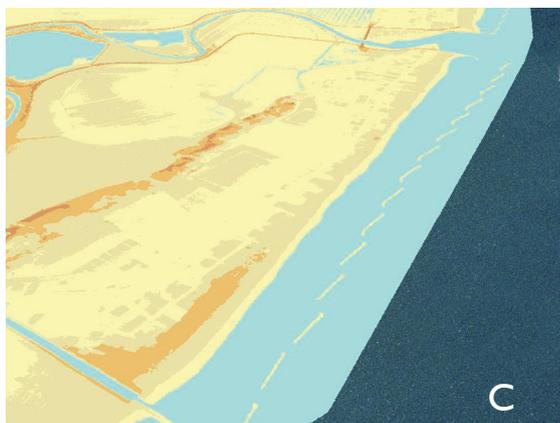
I dati pregressi acquisiti nel SIC, sono stati georeferenziati direttamente nel sistema di riferimento regionale UTM\* ED50 fuso32. I dati di nuova generazione, invece, vengono acquisiti nel sistema europeo UTM WGS84 (ETRS89), in conformità con quanto suggerito nelle linee guida EUROSION e in accordo con le nuove indicazioni INSPIRE, e convertiti anche nel sistema regionale.

### I PRODOTTI CARTOGRAFICI

Le attività di elaborazione dati, di analisi e di studio condotte negli anni 2002-2006 hanno consentito di produrre una serie di strumenti cartografici utilizzabili per processi di programmazione e pianificazione

**Figura 2**  
Schema di ortorettifica delle immagini aeree

**Figura 3**  
**A:** foto aerea IT2000 del tratto di costa a sud di Foce Savio;  
**B:** Modello digitale di superficie (DSM);  
**C:** Modello digitale del suolo (DTM)



nonché per completare gli studi sull'analisi dei rischi costieri, fornendo così un supporto innovativo e concreto alla gestione del territorio e delle emergenze.

I principali prodotti sono:

- i cataloghi delle foto aeree ortorettificate;
- i modelli digitali del terreno ad alta risoluzione e dei fondali;
- le linee di riva;
- il catalogo delle opere di difesa e delle opere marittime;

- la cartografia geomorfologica e dell'uso del suolo.

L'uso del GIS e di software dedicati all'analisi delle dinamiche costiere, come il DSAS (Cibin et al. in questo volume) hanno permesso di perseguire un approccio quantitativo ottenendo così risultati molto innovativi in questo campo.

**I cataloghi delle foto aeree.** Le immagini aeree ortorettificate offrono un supporto molto efficace per la cartografia GIS e per l'analisi del territorio, soprattutto ove si voglia perseguire un approccio geometrico-quantitativo come quello adottato dal SGSS nella cartografia degli elementi morfologici ed antropici della fascia costiera.

Per questo motivo, nella creazione dei cataloghi delle foto aeree si è dedicata una particolare attenzione a tutto il processo di acquisizione ed ortorettifica delle immagini aeree. L'ortorettifica è una procedura di raddrizzamento differenziale dell'immagine aereo-fotogrammetrica digitalizzata, sulla base di un modello digitale del terreno (DTM) della **Figura 2**.

**Voli realizzati.** Sono stati acquisiti ed elaborati tutti i voli aventi una copertura totale (o quasi) della costa emiliano-romagnola, non ancora presenti nel database regionale presso il servizio Sistemi Informativi.

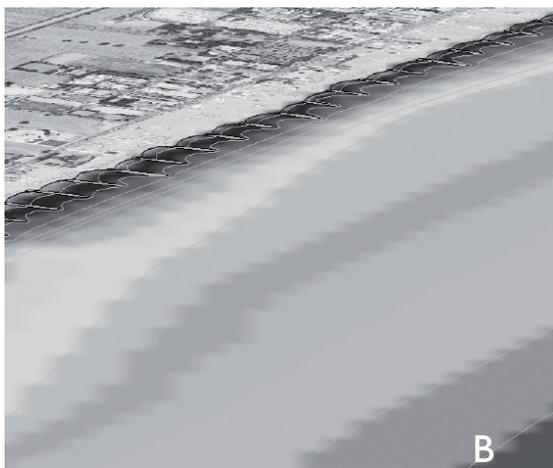
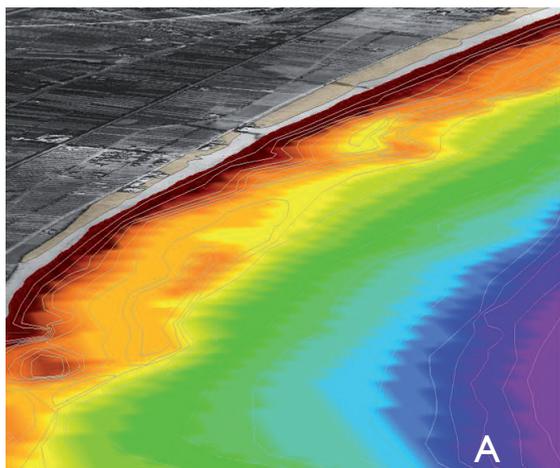
Essi sono:

Volo RAF 1944; Volo GAI 1954; Volo RER 1976-78; Volo Costa 1982; Volo Costa 1991; Volo Costa 1992; Volo Costa 2005.

**Metodologia.** La procedura adottata per la realizzazione delle ortofotocarte digitali della costa Adriatica, consta di diverse fasi: la scansione dei fotogrammi, l'ortorettifica e georeferenziazione delle immagini digitali ed infine la mosaicatura.

La *scansione dei fotogrammi* viene effettuata per mezzo di uno scanner piano ad alta risoluzione; dal punto di vista radiometrico la scansione viene effettuata a 256 livelli (8 bit) per canale, ottenendo così foto pancromatiche (in bianco e nero) a 8 bit/pixel e foto a colori a 24 bit/pixel (8 bit per ogni canale RGB).

*Ortorettifica e georeferenziazione.* La scelta di questi due metodi di correzione geometrica dipende dal tipo di immagine e dalla precisione richiesta.



**Figura 4**  
 Confronto tra il  
 il Modello digitale  
 dei fondali anno  
 1953 associato  
 all'immagine aerea  
 RAF 1943 (A)  
 e il Modello digitale  
 dei fondali anno 2000  
 associato alla Foto  
 IT2000 (B)

Mentre la semplice georeferenziazione può essere sufficiente in aree pianeggianti, l'ortorettifica è da preferirsi in aree collinari e montuose.

Quindi per le aree prevalentemente pianeggianti è stata eseguita la semplice georeferenziazione utilizzando come riferimento le CTR (Carta Tecnica Regionale) scala 1:5.000, nel sistema di riferimento regionale (UTM\* ED50), mentre per le aree dove l'orografia del terreno era più irregolare si è preferito eseguire l'ortorettifica utilizzando il modello digitale del terreno (DTM) con passo di campionamento di 5X5 metri di proprietà dalla Regione Emilia-Romagna.

**Mosaicatura.** La mosaicatura delle ortofotocarte (o delle porzioni di fotogramma) utili, consiste nell'assemblaggio delle immagini digitali, al fine di ottenere immagini omogenee dal punto di vista geometrico e radiometrico (ovvero una sorta di ricampionamento dei pixel per migliorare la risoluzione dell'immagine). Per la costa, la singola unità di realizzazione e memorizzazione delle ortofotocarte è rappresentata dalla Sezione della CTR scala 1:10.000. Ciascuna unità si estende per circa 200 metri oltre il limite della CTR, creando una zona di sovrapposizione tra immagini contigue.

### I MODELLI DIGITALI DEL TERRENO (DTM) DELLA FASCIA COSTIERA

Un'accurata cartografia morfologica e l'analisi morfodinamica del territorio, sono strumenti essenziali per la comprensione della dinamica e per l'analisi dei rischi costieri. Essi richiedono però la disponibilità di un modello altimetrico del terreno (DTM) ad alta risoluzione. Per questo motivo, per la fascia costiera emersa della Regione Emilia Romagna è stato realizzato un rilievo aereo con sistema LIDAR (Light Detection and Ranging), che è una metodologia di telerile-

vamento "attivo" per l'esecuzione di rilievi topografici di altissima risoluzione (Ciavola et al., 2006).

Per la parte sommersa, invece, è stato creato un DTM interpolando i dati acquisiti con sistemi tradizionali di rilievo topo-batimetrico.

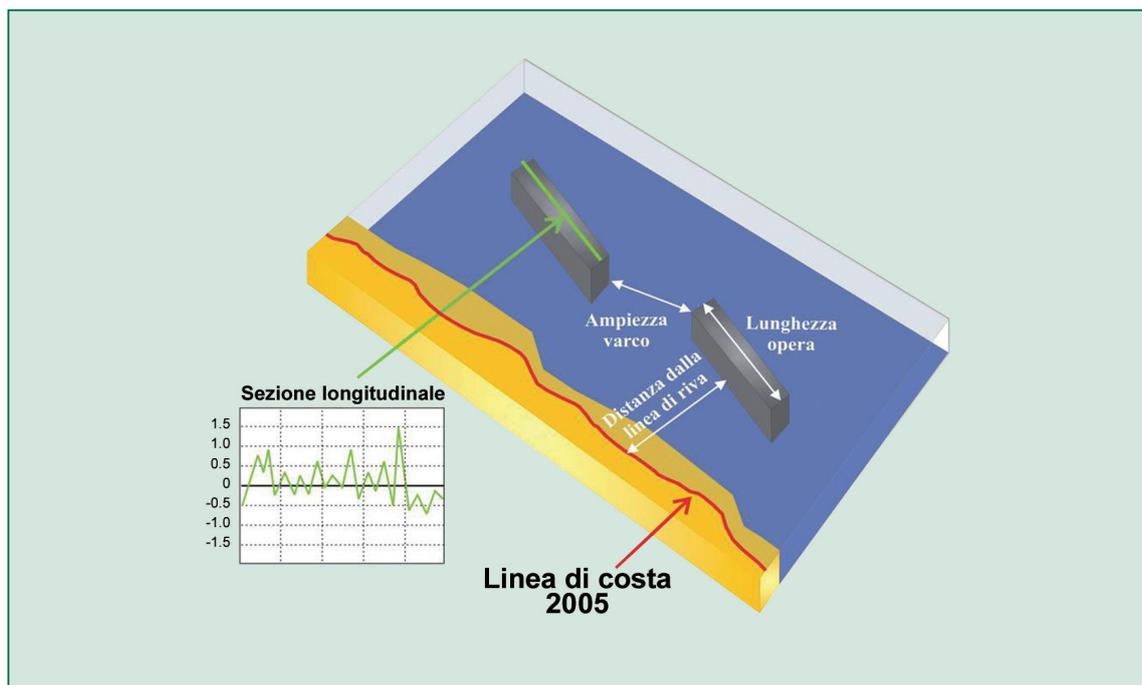
**Il DTM della fascia litoranea emersa.** Il rilievo Lidar della fascia costiera della regione, è stato condotto alla fine di settembre del 2004, nell'ambito di una convenzione tra il Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della RER e l'Istituto Cartografico della Catalogna (ICC), che è proprietario del mezzo aereo e del sistema Lidar Optech ALTM 3025, nonché sviluppatore di procedure e di software per l'elaborazione dei dati. È stata rilevata una fascia costiera ampia circa 800 m, incluse le opere di difesa, per una superficie totale di circa 9524 ettari. Purtroppo, a causa della mancanza di copertura satellitare nell'area a sud di Rimini, il rilievo è risultato incompleto.

Le caratteristiche strumentali e le specifiche di volo adottate, hanno permesso di ottenere un grigliato con i seguenti requisiti: densità dei punti: 0.5 punti/m<sup>2</sup>; dimensione della cella 1x1 m, precisione planimetrica: 1 m; precisione altimetrica: 0.2 m (**Figura 3**).

Le procedure di controllo di campo e di elaborazione dei dati messe a punto da ICC, hanno inoltre garantito una precisione altimetrica ancora superiore (pari a pochi centimetri), come si è potuto verificare durante i rilievi in campo condotti con la tecnica DGPS per la taratura del sistema.

**IDTM dei fondali marini.** Grazie al recupero in banca dati di batimetrie attuali e storiche, queste ultime fornite dall'Istituto Idrografico della Marina, è stato possibile elaborare due modelli digitali dei fondali antistanti la costa emiliano-romagnola, riferibili agli anni 1954 e 2000, preziosi per l'analisi dell'evoluzione della fascia costiera (**Figura 4**).

**Figura 5**  
 Schema di  
 acquisizione dei  
 parametri geometrici  
 delle opere di difesa



Non disponendo di un piano quotato omogeneo, come quello derivante da rilievi di tipo 'multibeam', i DTM dei fondali sono stati creati a partire dai dati batimetrici acquisiti con ecoscandaglio di tipo 'single beam'.

Il DTM anno 2000, in particolare è stato prodotto con dati provenienti da fonti diverse:

- per la spiaggia sommersa (0-10 m) sono stati utilizzati i dati batimetrici acquisiti da Arpa nell'ambito della terza campagna regionale di rilievi topo-batimetrici;
- per i fondali più profondi, invece, sono stati utilizzati dati acquisiti dal CNR-ISMAR di Bologna, confrontati con i dati di ultima acquisizione dell'Istituto Idrografico della marina. In una prima fase sono state rielaborate le isobate con equidistanza 0,5 m, tenendo conto anche delle morfologie della spiaggia sommersa, barre e bassi fondi, e delle opere di difesa, interpretate sulla base delle foto aeree.

Dalle curve batimetriche è stata poi estratta la nuvola di punti (xyz) che hanno generato la griglia del modello di dimensioni 10x10 m.

### LE LINEE DI RIVA

Lo studio della variazione della linea di riva è di estrema importanza nella gestione delle zone costiere, e per questo, negli ultimi 30 anni sono state sviluppate numerose tecniche di misura.

Ottimi risultati si ottengono mappando la linea di riva sulla base delle ortofotocarte in ambiente GIS,

anche se questo implica una certa soggettività nei risultati e l'influenza delle condizioni meteo-marine presenti durante il volo.

Per questo negli Stati Uniti è stato introdotto, come standard per la mappatura, il limite tra la sabbia asciutta e bagnata (Moore, 2000), inteso come il livello massimo raggiunto dalla più alta marea giornaliera (Dolan et al., 1980).

Per la costa emiliano-romagnola si è deciso di adottare solo parzialmente questo criterio, perché, in alcuni casi, come per esempio nella cartografia della linea di riva dal volo costa 2005, è stato possibile valutare con grande accuratezza anche le morfologie e le strutture della spiaggia indotte dalle variazioni del livello del mare (cresta della berma e solco di battaglia), che sicuramente forniscono un'informazione più concreta sulla posizione della linea di riva.

La procedura adottata si basa quindi su 2 situazioni possibili:

1. linea di riva coincidente con la 'cresta di berma normale' (interpolando nei tratti dove le strutture sono meno definibili);
2. linea di riva coincidente con il limite asciutto-bagnato dove non sono osservabili le morfologie.

Su questa base sono state interpretate e mappate le linee di riva relative ai voli: RAF 1943-45; GAI 1954-55; volo RER 1976-78; volo Costa 1982; volo Costa 1991; volo Costa 1992; volo IT2000; volo Costa 2005.

**Classificazione della linea di riva.** Le linee di riva mappate sono state inoltre classificate sulla base della tipologia, seguendo il criterio adottato da APAT nella classificazione delle coste a scala nazionale, ovvero:

- costa protetta, dove sono presenti opere di difesa artificiali ben distinguibili da foto aerea;
- costa naturale, dove non sono presenti opere;
- costa fittizia, dove la linea di riva è solo interpolata, poiché intercetta foci fluviali o porti.

## IL CATALOGO DELLE DIFESE COSTIERE E DELLE OPERE MARITTIME

Le opere di difesa del litorale emiliano-romagnolo, costruite negli ultimi 50 anni, interessano circa 60 km di costa e hanno l'obiettivo di contrastare l'erosione e di difendere dalle mareggiate le spiagge e le strutture balneari.

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 tutta la costa regionale, mai creato soprattutto a causa della frammentazione delle competenze in questo settore (stato, regione e comuni) e della conseguente dispersione delle informazioni.

Nell'ambito del progetto Cadsealand si è quindi prodotto il catalogo delle opere di difesa e delle opere marittime, i cui principali obiettivi sono:

- fornire alle autorità un quadro completo ed aggiornato dello stato di protezione della costa;
- capire, confrontando i rilievi relativi agli anni successivi, l'efficacia delle opere e/o i problemi che esse hanno creato;
- disporre di un livello informativo indispensabile per l'applicazione della modellistica numerica relativa alla propagazione delle onde 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.

Il Servizio Tecnico PO di Volano, in particolare, ha prodotto per il proprio territorio di competenza un database GIS delle opere che è stato incluso e completato nel catalogo regionale.

**1.** Nella prima fase sono state cartografate, in ambiente GIS, tutte le opere osservabili sulle foto aeree ortorettificate (voli: Raf 1943-45; volo costa 1982, volo IT 2000; volo costa 2005);

**2.** sono state classificate le singole strutture facendo riferimento alla nomenclatura adottata nell' 'Atlante delle spiagge Italiane' of (CNR 1985);

**3.** solo per le opere presenti sul volo 2005, sono stati misurati tutti i parametri geometrici, a partire dalle foto aeree e dai dati 'Lidar' (dimensioni, distanza dalla linea di riva, ampiezza dei varchi, quota sul livello del mare, ecc.) (Figura 5);

**4.** è stato creato il database, condiviso con i servizi tecnici, che ora stanno raccogliendo le informazioni mancanti, quali: anno di costruzione, ente, materiali, ecc., che verranno poi inserite nei capi già predisposti.

## LA CARTOGRAFIA GEOMORFOLOGICA E DELL'USO DEL SUOLO

**Cartografia ed analisi geomorfologica.** L'analisi geomorfologica, effettuata attraverso l'utilizzo dei dati esistenti e l'elaborazione di nuovi prodotti, consente di riconoscere e di descrivere gli aspetti fisici della costa emiliano-romagnola.

In particolare lo studio è stato focalizzato sulla geologia dei sistemi costieri e sulle caratteristiche degli elementi morfo-deposizionali della spiaggia (inclusa la duna) e la loro trasformazione negli ultimi 50 anni.

I risultati ottenuti arricchiscono le conoscenze di base per l'inquadramento territoriale e offrono un importante contributo nelle attività di pianificazione territoriale, nella valutazione della propensione alla vulnerabilità del territorio nei confronti dei pericoli naturali (inondazione, subsidenza, ecc.) e nello studio delle interazioni tra i processi morfo-dinamici litorali e le infrastrutture costiere.

La geologia dei sistemi costieri è stata ricavata dalla Carta Geologica di pianura dell'Emilia-Romagna in scala 1:250.000 (Regione Emilia-Romagna, 1999), dalle carte geologiche alla scala 1:50.000 e dalle sezioni geologiche provenienti dal database geologico della Regione Emilia-Romagna.

L'obiettivo principale della ricostruzione geologica è quello di descrivere le *litofacies* e la distribuzione in superficie e nel sottosuolo dei depositi olocenici del settore orientale della pianura padana; da queste osservazioni è stato possibile suddividere l'area costiera in 3 settori: l'area del delta del fiume Po, fortemente proteso verso mare e costituito da depositi recenti (dal XVII sec d. C. ad oggi), il settore centrale costituito dai depositi di un antico delta fossilizzato (che ebbe il suo massimo sviluppo in età romana e si spense definitivamente intorno al XVI sec. d. C.) e il settore meridionale caratterizzato da una stretta fascia di depositi deltizi e litorali alimentati dai fiumi appenninici (fiumi Ronco e Lamone, oggi Fiumi Uniti e Fiume Savio soprattutto tra il XVI e il XVIII sec d. C.) che passa verso sud ad una striscia ancor più sottile costituita da depositi di spiaggia e duna a ridosso della

piana alluvionale e, più a sud, delle conoidi alluvionali pedemontane dell'Appennino.

Lo studio di dettaglio relativo agli elementi morfo-deposizionali della spiaggia è stato condotto attraverso la foto-interpretazione di immagini di riprese aeree di anni differenti: 1943, 1982, 1998. L'elaborazione e la gestione dei dati è avvenuta utilizzando la tecnologia GIS, lavorando alla scala di 1:5.000.

Il tratto costiero studiato è compreso tra la bocca del Po di Goro e Cattolica (circa 130 km) ed è esteso circa 200 m perpendicolarmente alla linea di riva, intercettando i sistemi di duna recenti verso terra e la spiaggia sommersa interna (circa fino alla batimetrica -3 m) verso mare.

La foto-interpretazione relativa alle immagini dell'anno 1998 (volo IT2000) è stata integrata con i dati provenienti dai profili topo-batimetrici (dal rilevamento di ARPA Regione Emilia-Romagna del 2000) e dal modello digitale del terreno (DTM) derivato dai dati Lidar (Regione Emilia-Romagna, 2004).

La carta geomorfologica nasce dunque come sintesi tra foto-interpretazione, analisi morfologica e ricostruzione dell'assetto geologico della costa e costituisce un documento descrittivo delle caratteristiche fisiche del territorio; la gestione dei dati cartografici in ambiente GIS consente inoltre importanti operazioni, facilitando l'utilizzo dei risultati dell'analisi geomorfologica anche per studi specifici e tematici.

Di seguito sono riportati alcuni esempi di applicazioni:

- estrazione di livelli informativi al fine di analisi comparative: ad esempio è possibile individuare i poligoni rappresentanti la spiaggia emersa nei vari tratti costieri e confrontarli sulla base della forma, della superficie, della continuità, dell'ampiezza, ecc.;
- individuazione e studio dei fattori che influenzano la vulnerabilità del territorio ai pericoli naturali ("geo-indicatori"): ad esempio è possibile ricavare la distribuzione della barra sommersa o della duna e calcolare quale percentuale corrisponde alla duna attiva, semi-stabilizzata e stabilizzata;
- valutazione dell'impatto delle infrastrutture costiere sulla spiaggia: ad esempio si può osservare l'accrescimento o l'erosione della spiaggia emersa così come le variazioni della morfologia della spiaggia sommersa in seguito della costruzione di opere di difesa, confrontando le carte geomorfologiche di anni differenti (anno senz'opera - anno con opera); inoltre la morfologia della spiaggia sommersa e l'aspetto delle sue trasformazioni possono facilitare la comprensione dei complessi processi sedimentari

e morfo-dinamici del litorale;

- sintesi delle caratteristiche fisiche della costa emiliano-romagnola: le carte geo-morfologiche, integrate a quelle dell'uso del suolo (si veda oltre) hanno fornito numerosi parametri utilizzati nella classificazione della costa.

**Carta dell'Uso del Suolo della costa e dinamiche evolutive.** La Carta di Uso del Suolo dell'area costiera dell'Emilia-Romagna è una carta tematica di base che rappresenta lo stato attuale (2005) di utilizzo del territorio.

Conformemente alle direttive comunitarie l'interpretazione si fonda su 5 classi principali (Superfici artificiali, Superfici agricole, Superfici boscate ed ambienti seminaturali, Ambiente umido, Ambiente delle acque) e si sviluppa per successivi livelli di dettaglio fino a raggiungere 44 classi, identificative, tra l'altro, dell'assetto geo-morfologico della spiaggia emersa e sommersa, con una unità minima cartografata di 5.000 m<sup>2</sup>.

Tale carta costituisce un ausilio indispensabile alla ricerca applicata nell'ambito delle scienze costiere, alla programmazione, alla pianificazione e gestione dei vari livelli territoriali.

La struttura della Carta (e del relativo database) consente una grande flessibilità nonché un confronto temporale delle informazioni contenute, garantendo la lettura territoriale ed il monitoraggio delle dinamiche evolutive.

Dal punto di vista operativo l'analisi territoriale è stata effettuata in ambiente GIS sulla base delle foto aeree ortorettificate, come descritto in precedenza, relative agli anni: 1943-1982-2000-2005.

La fotointerpretazione a video è stata effettuata per una fascia di ampiezza pari a circa 1,5 Km dalla linea di costa e per una lunghezza di circa 130 Km compresa tra Goro e Cattolica. La scala di lavoro utilizzata è approssimabile alla scala 1:5.000.

Riassumendo a grandi linee l'assetto della costa emiliano-romagnola, relativa all'anno 2000, si osserva come il 35% del territorio sia occupato da aree agricole eterogenee, il 31% da zone urbanizzate, il 26% da aree naturali (zone umide, boschi e parchi) e solo il 5% da spiagge.

L'area costiera dell'Emilia-Romagna ha subito infatti profonde trasformazioni nel tempo sia per cause naturali che per cause antropiche. Il fenomeno dell'urbanizzazione è forse il più sentito, soprattutto nel tratto compreso tra Rimini e Cattolica. Per questo motivo si è ritenuto indispensabile mappare e confrontare la costa in differenti periodi di tempo, per

valutare sia qualitativamente che quantitativamente le persistenze e i cambiamenti interscorsi.

Le fotointerpretazioni relative agli anni 1945, 1982, 2000 e 2005 (interpretazione in corso d'opera) sono state confrontate a due a due mediante analisi spaziali in ambiente GIS.

I risultati forniscono i valori relativi all'espansione del tessuto urbano nel tempo, a scapito dei terreni agricoli e dei litorali. Proprio lo sfruttamento massiccio della spiaggia con creazione di stabilimenti balneari e di strutture ricreative ha influito enormemente sulle dinamiche costiere e sul fenomeno dell'erosione della spiaggia. Le immagini seguenti mostrano alcuni cambiamenti avvenuti nell'arco temporale 1945-2000 in un breve tratto della costa riminese.

## CONCLUSIONI

Il nuovo approccio alla gestione della fascia costiera emiliano-romagnola si esprime anche nelle nuove metodologie di raccolta, gestione ed analisi dei dati. Il primo risultato importante è stato lo sviluppo del Sistema Informativo della Costa e dei prodotti car-

tografici qui descritti (cataloghi delle foto aeree ortorettificate; i modelli digitali del terreno e dei fondali; le linee di riva; il catalogo delle opere di difesa e delle opere marittime; la cartografia geomorfologia e dell'uso del suolo).

Questi strumenti operativi, che sono il risultato di complesse procedure di elaborazione ed analisi dei dati, offrono l'opportunità di ulteriori approfondimenti, come per esempio la definizione e la quantificazione dei trend evolutivi e la classificazione della costa emiliano-romagnola (Calabrese et al., 2006). Tali studi garantiscono la disponibilità di strumenti per la gestione del territorio sempre più dettagliati, anche se è importante sottolineare che sono molteplici gli aspetti che ancora devono essere approfonditi.

La comprensione dei processi litoranei necessita di ulteriori attività di monitoraggio, soprattutto per quanto concerne gli aspetti meteo-marini e del trasporto solido.

Quest'ultimo richiederebbe l'estensione dell'analisi fin qui condotta all'intera scala del bacino idrografico. ■

## BIBLIOGRAFIA

- Atlante delle Spiagge Italiane, 1985. Fogli 99-Comacchio, 89-Ravenna, 100-Forlì, 101-Rimini, 109 - Pesaro. Consiglio Nazionale della Ricerca
- CALABRESE L., LORITO S., CIBIN U., PERINI L. (2006) - Physical classification of the northern Adriatic coast (Emilia-Romagna region, Italy) based on geomorphology, land use and coast line changes. In: *Adria 2006, International Geological Congress on the Adriatic area*, Abstract, 3
- CIAVOLA P., CORBAU C., CIBIN U., PERINI L. (2003) - Mapping of the coastal zone of the Emilia-Romagna region using Geographical Information Systems. *Proceedings of MEDCOAST 2003 Conference*, E. Ozhan (ed.), MEDCOAST, Ravenna (Italy), pp. 2363-2374
- CIAVOLA P., PERINI L., LUCIANI P., ARMAROLI C. (2006) - Il rilievo Lidar della costa dell'Emilia-Romagna: uno strumento per la valutazione dell'impatto delle mareggiate sulle zone costiere e per la caratterizzazione della morfodinamica delle spiagge, *Hydrogeo*, 2006/1, pp. 18-25
- CIBIN U., CALABRESE L., PERINI L. (2007) - L'evoluzione Della Costa Emiliano Romagnola: un Quadro Conoscitivo a supporto delle strategie di difesa. *Atti del Forum Nazionale Sulla Difesa Del Suolo "Pianificazione e tutela del territorio costiero"*
- DOLAN, R., HAYDEN B.P., MAY P. E MAY S. (1980) - The reliability of shoreline change measurements from aerial photographs. *Shore and Beach*, 48 (4), 22-29
- European Commission - Directorate General Environment 2004. *EUROSION Guidelines for implementing local information systems dedicated to coastal erosion management*. Available at: <http://www.euroSION.org/reportsonline/reports.html>
- MOORE, L. J. (2000) - Shoreline mapping techniques. *Journal of Coastal Research*, 16: 111-124
- IDROSER (1996) - Progetto di Piano per la riqualificazione ambientale del litorale della Regione Emilia-Romagna. Regione Emilia-Romagna. Bologna, Italy: 100-122
- REGIONE EMILIA-ROMAGNA (ed.) (1999) - Carta Geologica di pianura dell'Emilia-Romagna in scala 1:250.000. Bologna