

La banca dati geografica delle dune costiere in Italia: uno strumento per valutare l'interazione tra queste morfologie costiere, l'evoluzione di litorali ed il loro utilizzo

Edi Valpreda

ENEA Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia e per l'Ambiente
Via Martiri di Monte Sole 4 - 40129 Bologna tel. +39-051-6098052 E-mail: valpreda@bologna.enea.it

Riassunto

Le dune costiere rappresentano un elemento morfologico rilevante nelle politiche di gestione del rischio costiero non tradizionali. Nell'ambito del progetto "I depositi eolici delle coste italiane e il flusso di sedimenti spiaggia-duna" è stata realizzata una base di dati geografici vettoriale dedicata a queste forme costiere. La banca dati progettata e realizzata ha, come soggetto, la presenza e lo stato di vegetazione e di conservazione delle dune costiere in Italia in connessione con la tendenza evolutiva dei litorali, la presenza di opere di difesa e l'utilizzo degli arenili a fini di balneazione. La banca dati realizzata propone una classificazione complessa ed aggiornata, a scala nazionale, delle morfologie dunali costiere integrate con informazioni relative all'ambito costiero significative per la valutazione delle condizioni di rischio di erosione ed alluvionamento delle aree litorali italiane. A seguito di un accordo con il Ministero dell'Ambiente e del Territorio, la banca dati è stata realizzata utilizzando come base comune di riferimento i prodotti cartografici alla scala 1:10.000 contenuti nel Portale Cartografico Nazionale (www.atlanteitaliano.it). Essa, pertanto, è del tutto rispondente alle condizioni indicate dall'Unione Europea riguardo a completezza nazionale dell'informazione ed omogeneità di dettaglio e di sistema geografico di riferimento in quanto applica il sistema di proiezione Universale Trasversale di Mercatore e Datum geocentrico WGS4. Le tipologie delle informazioni nella banca dati creata sono molte: alcune descrivono delle caratteristiche proprie delle dune ed altre si riferiscono invece all'ambito litorale limitrofo a queste, oppure a parametri significativi per supportare delle valutazioni di evoluzione del litorale e di rischio di erosione.

Parole chiave: banche dati geografiche, metainformazione, dune costiere, erosione costiera.

Abstract

Geo Databases are very powerful for local and national planning and monitoring programmes. In Italy geo-knowledge availability, referred to environmental or geological themes, is not so widespread as in other European Countries. The MIUR project on littoral and coastal dune interaction (within which the coastal dune database was done), created a national framework on the presence and status of coastal dunes referred to littoral evolution and uses.

In this project, concerning littoral dunes in the whole Country, 14 Universities worked together organising 7 Operative Units. Inside this working group a sole common database structure was created to guarantee the spatial and conceptual congruence. From common discussions and suggestions a common empty structure was built inside ARCGIS8.2 environment. Geodata structure was planned in manner to allow each Operative Units to implement, separately, a piece of database that could be integrated to the whole database in the end of the project. The final geodataset shows a complex structure in which separate feature data sets maintain data from every operative Unit.

Aiming not only to perform a description of coastal dunes, but mainly to create a tool to allow comparison between presence and status of coastal dunes, and littoral evolution and uses, the database structure was planned to integrate both dunes description, as coastal environments and trend information. Dunes were classified according to their activity, vegetation, altitudes, presence of pedestrian paths and crossings, distance from current coastline, building and human settings. The geodatabase contains also linear a-dimensional elements allowing both beach classification based on presence of seasonal activities, as presence of seawalls or beach nourishments. This information refers only to beach tracts that face on

dunes, to consider potential interaction among human exploitations or interventions and coastal dune status and evolution. The vector geodatabase is based on land units fond of dune outfit; all data on dunes and facing beaches are linked to these forms; information on dune altitudes is linked to a single point feature. Beach uses, presence of seasonal structures, wind stations, presence of sandy beach defences are linked to separate features (drawn as lines or points placed on the beaches).

Data were referred to a common cartography at 1:10.000 nominal scale; made available trough an Institutional agreement between Italian National Ministry of Environment and MIUR project coordinator. In this way each Project Operative Units was able to work, connecting ArcGIS software, via web, to Italian Geo-Portal (administrated by Italian National Ministry of Environment). This experience is, until now, the only one done within a National Research Programme, able to involve so many different Universities to work together with a shared GI-data framework on these strategic and fraills coastal environments.

The geodatabase is completed by metadata presence, created for each geodatabase level, accordingly to suggestions coming from the most recent European strategies on geographic information that sustain a European tendency to create geo-data able to be re-used, shared and exchanged.

Keywords: geodatabase, metadata, coastal dunes, coastal erosion, Italy.

Premessa

In Italia esistono moltissimi studi sperimentali di dettaglio sul tema del rischio geologico in area costiera¹, studi che spesso utilizzano anche la tecnologia GIS, ma questi sono generalmente sviluppati a scala locale, su tratti di litorale di limitata estensione e spesso anche con metodologie tra loro non comparabili. Si ha però, a differenza di quanto avviene in altri Paesi, una scarsa percezione della rilevanza di poter disporre di informazioni geografiche omogenee a scala nazionale sotto forma di banche dati. Questo dipende certamente dall'assenza nel paese di una struttura scientifica nazionale a tal fine preposta analogamente a quanto invece avviene in altri paesi. Inoltre, in Italia, si assiste ad una maggiore difficoltà di pubblicazione e messa a disposizione libera degli utenti delle banche dati geografiche tematiche (quali sono quelle sul rischio di erosione costiera) rispetto alla situazione mondiale ed europea. Negli altri paesi infatti sia negli ambiti accademici che governativi è normale rendere accessibile il "dato" nei formati GIS e questo avviene. Pur essendo impossibile citare in modo esaustivo gli innumerevoli casi in cui questa accessibilità ai dati oltre che alla loro elaborazione è normale sia da parte di enti della pubblica amministrazione sia da parte di Università ed enti di ricerca, a solo titolo di esempio, ed in particolare nell'ambito del rischio costiero, si possono citare, per l'ambito internazionale, il Dipartimento per la Protezione Ambientale (Florida, USA), il Gruppo di Studi Costieri afferente all'Università di Geoscienze (Texas, USA), il World Research Institute (Washington; USA); analoghe iniziative sono, ad esempio, proposte in Europa in ambito ministeriale dallo "Scottish Natural Heritage" di Edimburgo e dal "Department of Geography and Environment" dell'Università di Aberdeen (UK).

Molto spesso in Italia, gli studi effettuati in ambito geologico-ambientale, che pure si basano su rilievi ed analisi di dati a componente geografica, tendono a presentare solo le interpretazioni senza rendere disponibili i dati al dettaglio di acquisizione, su cui tali elaborazioni si basano. In Italia, ancora oggi, i soli dati utilizzabili per valutazioni a scala nazionale sulla dinamica evolutiva costiera sono infatti rappresentati dall'Atlante delle Spiagge Italiane, documento cartaceo a piccola scala (1:100.000) seppure ricchissimo di contenuti informativi, anche se datati alla fine degli anni '80 (CNR, 1997). Anche i più recenti e significativi prodotti realizzati a scala nazionale sul tema del rischio costiero propongono questa impostazione in termini di scala a cui l'elaborazione è resa disponibile e modalità di accesso alla stessa (D'Alessandro e La Monica, 1999).

L'evoluzione delle politiche e delle strategie di gestione integrata del territorio, ed in particolare di quello costiero, ha evidenziato negli ultimi anni in Europa, l'indispensabilità della creazione e condivisione di banche dati geografiche come strumenti di conoscenza ed intervento sottolineando il problema delle condizioni per la loro realizzazione, condivisione e scambio.

¹ Impossibile citare compiutamente la bibliografia relativa a questa tematica. A parziale dimostrazione dell'entità e significatività di tale produzione è però consultabile la bibliografia raccolta dal GNRAC (Gruppo Nazionale per la Ricerca sull'Ambiente Costiero) e pubblicata nel Numero 10/2006 della Rivista Studi Costieri *Lo stato dei litorali italiani*.

La realizzazione delle banche dati geografiche, infatti, non ha solo un'enorme rilevanza per la conoscenza e la gestione del territorio, ma ha anche costi molto elevati. Ciò implica l'esigenza di consentire la massima condivisione della banche dati geografiche rendendo possibile la loro condivisione e riutilizzabilità. Per consentire ciò, i temi delle banche dati geografiche devono quindi essere trattati con condizioni di *dettaglio di acquisizione* (scala nominale) e di *omogeneità* (almeno a scala europea) su cui recentemente è stata definita la posizione ufficiale della Commissione Europea nel progetto INSPIRE, che ha messo a punto e proposto un riferimento ufficiale europeo per la creazione di differenti tipi di informazione geografica come base per la realizzazione di una organizzazione transnazionale col compito di certificare la riduzione di dati geografici in Europa (European Spatial Data Infrastructure). Trattandosi di dati geografici, le condizioni di omogeneità fanno riferimento a due requisiti: il tipo di *astrazione* cioè il simbolo utilizzato per rappresentare in piano gli elementi reali compresi nella banca dati, ed il sistema di riferimento geografico (tipo di proiezione e Datum). L'Europa propone e sostiene l'utilizzo del sistema di proiezione Universale Trasversa di Mercatore e del Datum geocentrico WGS84. L'Italia ha formalmente aderito a questa scelta da alcuni anni ma, nella pratica, il processo di adeguamento culturale è molto lento ed assistiamo ancora a molta disomogeneità nella produzione dell'informazione geografica.

La *certificazione* delle caratteristiche della banca dati (che ne indica anche la riutilizzabilità) avviene attraverso la compilazione della metainformazione che tutte le iniziative europee propongono come condizione imprescindibile proprio per valutare la utilizzabilità dei dati geografici stessi e che in Europa fa riferimento allo standard ISO 19115. Il progetto "I depositi eolici delle coste italiane e il flusso di sedimenti spiaggia-duna", (nel cui ambito il lavoro presentato in questa nota è stato svolto) ha fornito l'occasione per sviluppare un'esperienza, sinora unica in Italia, di produzione di una banca dati geografica applicata al tema del rischio naturale in area costiera e del tutto rispondente alle condizioni indicate dall'Unione Europea al riguardo di completezza nazionale dell'informazione ed omogeneità di dettaglio e di sistema geografico di riferimento.

La definizione dei contenuti informativi (elementi ed informazioni ad essi associate) è stata effettuata attraverso un lavoro collegiale che ha coinvolto tutti i gruppi partecipanti con il coordinamento da parte di ENEA Ambiente (PROT-PREV- Bologna) afferente, per il progetto, all'Unità Operativa dell'Università di Ferrara.

L'implementazione dei contenuti della banca dati è stata eseguita dalle singole Unità Operative, ciascuna facendo riferimento ad un proprio responsabile scientifico e con il coordinamento scientifico nazionale di Giuliano Fierro del DIPTERIS dell'Università di Genova. L'articolo descrive la struttura della banca dati e l'organizzazione dei dati al suo interno evidenziandone le potenzialità di elaborazione in funzione delle valutazioni del rischio costiero. Vengono presentate alcune elaborazioni di dettaglio sui contenuti informativi della banca dati relative all'Unità Operativa di appartenenza dell'Autore. Inoltre, allo scopo di evidenziare le enormi potenzialità che questo prodotto ha nella pianificazione del territorio a scala vasta, sono proposti alcuni esempi, in forma di sintesi, della potenzialità di utilizzo della banca dati a livello nazionale. L'analisi, in dettaglio, dei dati introdotti nelle diverse regioni attiene infatti, in questa fase, alle singole Unità Operative che hanno, in modo concertato e organico, implementato, per le parti di propria competenza, la banca dati stessa. Lo sviluppo delle analisi dei contenuti della banca dati sono state oggetto di elaborazioni specifiche presentate in questo stesso numero della rivista Studi Costieri.

Struttura della banca dati geografica delle dune costiere italiane

Rispondendo ai temi ed obiettivi del Progetto è stata progettata una base di dati geografici vettoriale in grado di raccogliere le esigenze di descrizione delle morfologie dunali costiere e di integrarle con informazioni relative all'ambito costiero significative per la valutazione delle condizioni di rischio di erosione ed alluvionamento delle aree litorali italiane.

La banca dati progettata e realizzata ha, infatti, come soggetto la presenza e lo stato di vegetazione e di conservazione delle dune costiere in Italia in connessione con la tendenza evolutiva dei litorali, la presenza di opere di difesa e l'utilizzo degli arenili a fini di balneazione.

La banca dati è stata progettata per l'ambiente ARCGIS 8 (ESRI), in conformità ad un modello concettuale ed una struttura di organizzazione delle informazioni che consente di mediare tra esigenze di dettaglio descrittivo delle forme e delle condizioni costiere ed esigenze di organizzazione concettuale e fisica dei dati. Ciò allo scopo di garantire la possibilità di sviluppare procedure di analisi spaziale (propria dei GIS) attraverso cui una informazione *semplificata* associata ad un oggetto nella banca dati, può essere confrontata con tutte le altre informazioni disponibili nella stessa banca dati, che riferiscono ad una comune ubicazione geografica. Questo tipo di analisi consente infatti la realizzazione di confronti complessi indispensabili nella valutazione dei fenomeni che interagiscono nell'ambiente e nella progettazione del territorio.

La complessità del Progetto che, interessando l'intero territorio nazionale, ha visto il coinvolgimento di ben 14 Atenei organizzati in 7 Unità Operative (Fig. 1), ha richiesto, in fase progettuale, la creazione di un modello dei dati che consentisse autonomia operativa nella sua implementazione da parte di ciascuna delle Università coinvolte nel progetto e, allo stesso tempo, garantisse la congruenza fisica e logica generale della banca dati generale e quindi dei risultati del progetto complessivo. Per consentire ciò, l'organizzazione logica della banca dati generale ha previsto un unico comune ambito (*Personal Geodatabase*), in cui tutti i dati acquisiti dalle diverse Unità Operative potessero essere inseriti, organizzato in un sistema di sotto-ambiti, definiti su base geografica, e scindibili, in fase di implementazione, in file separati (*Personal Geodatabase Features Data Set*). Ciascuno di questi sotto-ambiti corrisponde ad una delle 7 Unità Operative di cui portano il nome, e la loro struttura interna è assolutamente identica. Questa congruenza ha consentito, al completamento della fase di implementazione da parte delle singole UO, di riaccorpate tutte i singoli sotto-ambiti reinserendoli nella struttura di ordine superiore, il "geodatabase".

In ciascuno di questi *Data set* (che funziona come una singola banca dati indipendente sino al momento del suo riaccorpamento finale), le Unità Operative, ciascuna per la propria area di competenza (Fig. 2), hanno inserito le informazioni convenute, tramite un lavoro di analisi di immagine, rielaborazione di dati pregressi e rilievi *in situ*. Attraverso un accordo formale con il Ministero dell'Ambiente e Difesa del Territorio italiano è stato possibile utilizzare, come riferimento unico cartografico per il Progetto, i contenuti del Portale Cartografico Nazionale, realizzato e gestito dal Ministero, accedendovi attraverso connessione remota. In particolare, le elaborazioni sono state eseguite utilizzando i prodotti a scala nominale 1:10.000, riferiti al 1998-'99, aventi come sistema di riferimento Geografico il Datum WGS84 e la proiezione Universale Transversa Mercatore (UTM) in rispondenza agli standard stabiliti dall'Unione Europea per la produzione di dati geografici. Il Portale cartografico, infatti, è stato sviluppato di concerto con l'iniziativa europea INSPIRE - The INfrastructure for Spatial Information in Europe (<http://inspire.jrc.it/>) a cui fa sostanziale riferimento concettuale e metodologico.

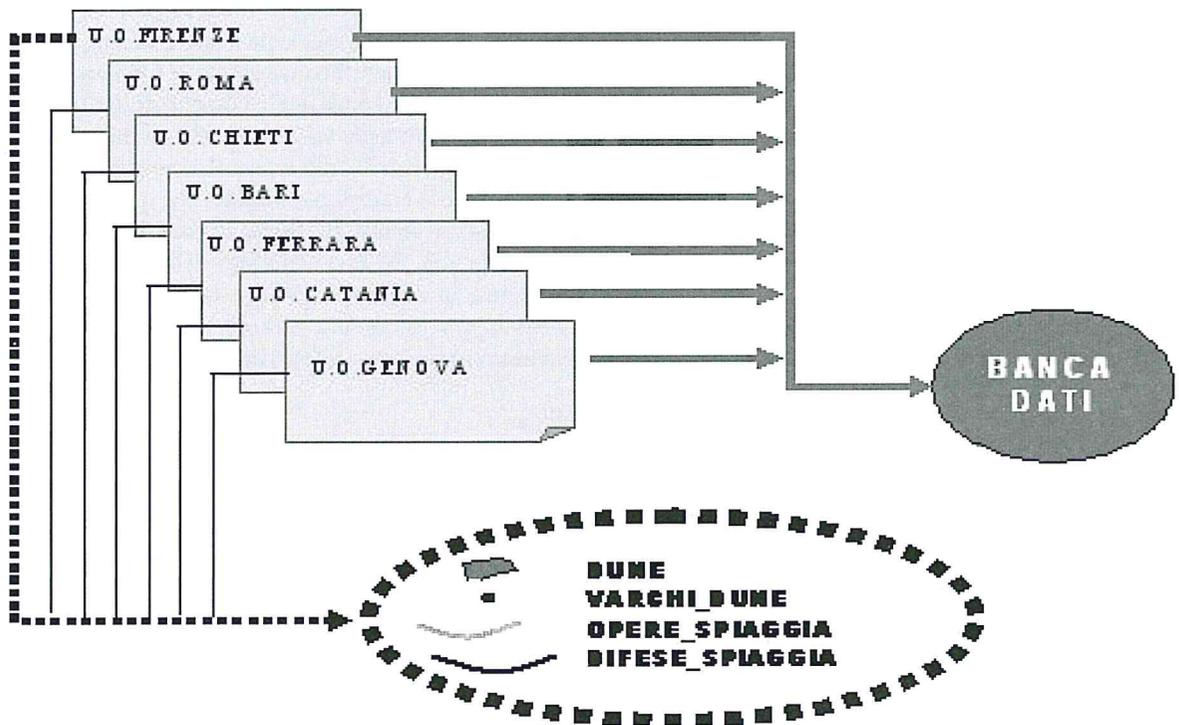


Figura 1- Schema dell'organizzazione della banca dati. I contenuti della banca dati sono organizzati secondo 7 *Feature data set*, ciascuna corrispondente ad un'Unità Operativa (U.O.) ed con un comune modello concettuale e fisico dei dati (sintetizzato e semplificato nello spazio a tratteggio). Tutti i dati inseriti sono stati riunificati alla fine del processo di implementazione da parte delle singole U.O. a tutte le Unità Operative e, i dati inseriti, sono compresi in una unica banca dati omogenea.

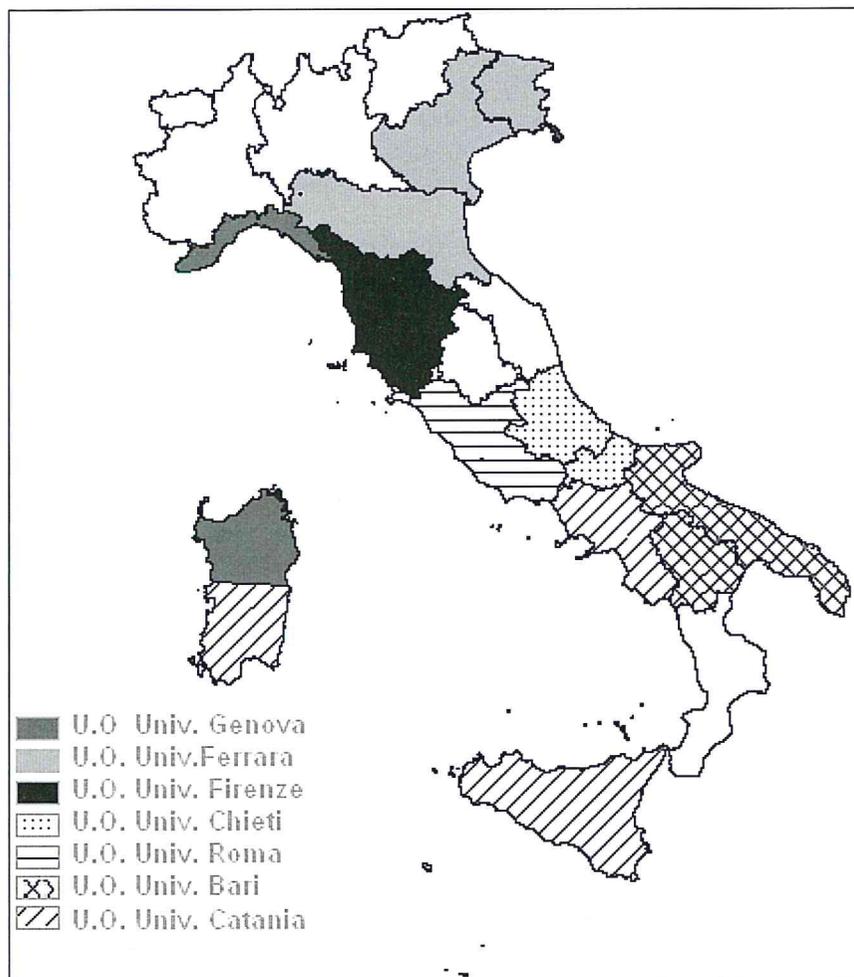


Figura 2 - Aree di indagine di competenza di ciascuna Unità Operativa. Le regioni Calabria e Marche non sono state, al momento, considerate. I dati della Regione Friuli Venezia Giulia non sono stati, al momento, inseriti nella banca dati.

Su queste basi è stato possibile creare nel Progetto una banca dati geografica sulle dune costiere che rispondeva a condizioni altrimenti non possibili:

1 - omogeneità cartografica a scala nazionale. L'attuale situazione italiana per la disponibilità di cartografia numerica (o tradizionale) di base non avrebbe offerto, infatti, alternative percorribili tranne che utilizzare cartografie datate e poco dettagliate (1:25.000 o 1:100.000 IGMI) o utilizzare cartografie di grande dettaglio ma diverse per ambiti regionali. Non sarebbe quindi stato possibile ottemperare alla condizione di congruenza geografica nazionale. Le necessarie operazioni di adeguamento tra i diversi sistemi di riferimento utilizzati nelle cartografie delle regioni italiane avrebbero limitato l'accuratezza dei risultati finali;

2 - dettaglio della scala di lavoro. Proprio il Progetto INSPIRE afferma, per elementi geografici di grande rilevanza (tra cui la linea di riva), l'esigenza di rilevare queste forme con un dettaglio nominale almeno a scala 1:10.000. Anche in questo caso, senza la possibilità di accedere al Portale cartografico, si sarebbe avuta una disomogeneità di accuratezza di rilievo che avrebbe reso difficile la produzione di un prodotto nazionale.

I contenuti informativi della banca dati

La banca dati è, in modo sostanziale, incentrata sulla presenza dei campi dunali costieri attuali, che sono stati rappresentati in base alle loro dimensioni (ingombro) derivato dalla cartografia delle loro forme dalle ortoimmagini a scala nominale 1:10.000.

Le tipologie di informazioni nella banca dati creata sono molte. Alcune descrivono caratteristiche proprie delle dune, mentre altre si riferiscono invece all'ambito litorale limitrofo a queste (ad esempio: tendenza evolutiva del litorale, uso della spiaggia, ecc), oppure a parametri significativi per supportare delle valutazioni di evoluzione del

litorale e di rischio di erosione (ad esempio: le stazioni anemometriche ubicate in un intorno significativo alle zone studiate). Tutte queste condizioni sono state pertanto valutate importanti ed inserite nel *core data* della banca dati. Le dune costiere sono, infatti, su scale temporali brevi, un elemento morfologico fondamentale di stabilizzazione nel quadro morfodinamico costiero (Carter et al., 1992) in quanto interagiscono dinamicamente con i sedimenti dei tratti di spiaggia antistanti con cui avviene lo scambio di sabbie e, in questo modo, agiscono anche come difesa naturale degli ambienti retrostanti la spiaggia soggetti ad ingressione marina, sia dovuta ad eventi contingenti (mareggiate), sia conseguente all'arretramento della linea di riva.

La conservazione della morfologia originale delle dune e della loro continuità laterale sono quindi elementi importanti per poter valutare la loro effettiva potenzialità nella mitigazione naturale del rischio di allagamento ed erosione costieri e, di riflesso, la resilienza morfologica locale. Si intende, infatti, con questo termine, la capacità di un ambiente naturale di prevenire o rispondere all'impatto di un evento potenzialmente dannoso in base a sue caratteristiche ecologiche, morfologiche o socioeconomiche (Klein e MacIver, 1999).

La tipologia delle dune è un parametro fondamentale descrittivo che esprime, oltre che lo stadio evolutivo delle dune, la condizione di conservatività del litorale su cui gli apparati dunari si sviluppano. In un ambiente litorale in lenta progradazione si creano condizioni propizie alla formazione in una successione di cordoni sabbiosi subparalleli alla riva (campi dunari) e con una sequenza morfologica e vegetazionale ben definita che, procedendo dal limite interno della spiaggia, passa dalle forme dunari embrionali (forme effimere, che si accrescono sulle piante pioniere o su materiali vari presenti sulla spiaggia), alle dune attive o *foredunes* (ove le forme sabbiose sono fissate da vegetazione alofila), alle dune stabilizzate che occupano posizioni retrostanti e su cui la vegetazione presenta associazioni arbustive-arboree. Questa successione di forme e di associazioni di specie che colonizzano i campi dunali dipende fortemente dalla mobilità della riva antistante. Una rapida progradazione o arretramento della riva produce una sovrapposizione di questi ambienti dunari e delle specie vegetali ivi presenti; il riscontro di tali sovrapposizioni di habitat assume pertanto significato di indicatore della evoluzione del litorale stesso e della dinamica del movimento.

La tipologia delle dune rilevate è, pertanto, stata distinta in modo da evidenziarne lo stadio evolutivo attuale ed anche le associazioni vegetazionali di specie su di esse presenti.

Le quote s.l.m. delle dune, la presenza di varchi, strade o sentieri che le valicano, o che ne percorrono le creste, sono stati anch'essi acquisiti ed inseriti nella banca dati in quanto indicatori di conservatività e continuità laterale.

Poiché l'evoluzione delle dune ed il loro stato di conservazione, ovviamente, risentono delle situazioni locali di utilizzo dell'area costiera sono infine state considerate la presenza di elementi di irrigidimento delle spiagge che limitano lo scambio di sedimenti tra dune e spiaggia (ad esempio la presenza di opere di difesa radenti), e la pressione antropica sulle zone di spiaggia antistanti gli apparati dunali (ad esempio la presenza di stabilimenti balneari fissi). In sintesi i contenuti informativi della banca dati si riferiscono a:

- tipo di attività della duna in relazione all'ambiente di spiaggia antistante;
- tipo di vegetazione presente sulla duna rilevata;
- ampiezza della spiaggia antistante le dune;
- presenza e tipo di antropizzazione/urbanizzazione presente sulle dune rilevate;
- tendenza della spiaggia antistante le dune (riferita a valutazioni dell'U.O. di competenza sulla dinamica del litorale nell'ultimo decennio);
- presenza e tipo di utilizzo, a fini balneari, della spiaggia antistante le dune;
- presenza e tipo di varchi sulle dune rilevate;
- stazioni di rilevamento di dati anemologici rilevanti per il paraggio.

Modello concettuale e fisico dei dati

Il modello concettuale e fisico viene sviluppato allo scopo di classificare insieme di dati all'interno di "classi" di oggetti geografici che permettano una migliore capacità di rispondere alle esigenze di elaborazione ed interrogazione. Il modello concettuale dei dati definisce i principali oggetti che il sistema deve manipolare, quali sono gli attributi che descrivono questi oggetti, come questi oggetti sono composti, come sono in relazione tra loro e tra gli oggetti e i processi che li trasformano.

Gli attributi sono proprietà associate a ciascuna entità che ne descrivono le caratteristiche. Nel caso descritto gli attributi associati ad ogni poligono-duna sono: il tipo di attività della duna, le specie di vegetazione dominanti che le colonizzano, la loro naturalità o antropizzazione, ecc. A ciascuna entità-duna sono stati, inoltre,



Figura 3 - Esempio di estrazione delle entità vettoriali (poligoni) corrispondenti alle aree occupate dai cordoni dunari costieri.

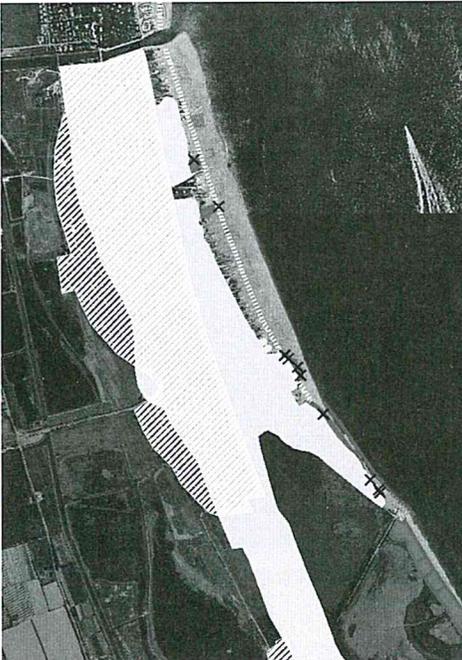


Figura 4 - Esempio di classificazione del territorio litorale in fase di implementazione della banca dati: le aree di duna (in grigio chiaro) vengono rilevate come poligoni distinti dalle aree in cui si riconosce un uso antropico (a tratteggio bianco). L'analisi spaziale successiva consente di associare anche questa ulteriore proprietà alle entità duna in base all'area condivisa.

associati attributi descrittivi dell'ambiente di spiaggia ad esse limitrofo: l'ampiezza ed il trend evolutivo dei tratti di spiaggia antistanti. Le tabelle informative associate a ciascuna entità geometrica (poligono-duna) contengono, sotto forma di colonne, tali attributi sotto forma di stringhe testo.

Il modello concettuale della banca dati si basa su distinte tipologie di oggetti che vengono definite più propriamente *entità* di tipo vettoriale e che rappresentano le astrazioni geometriche di elementi reali: le dune costiere, le quote delle dune, i varchi sulle dune, le caratteristiche dei tratti di spiaggia antistanti le aree dunali, le creste delle dune.

La banca dati è incentrata sull'entità-duna che rappresenta l'area occupata (al 1999) da cordoni dunari costieri. La loro sagoma è stata astratta come poligoni che ne rappresentano l'ingombro proiettato su un piano. La continuità laterale dei poligoni tracciati è stata valutata dai ricercatori in fase di implementazione della banca dati, in base alla presenza e dimensione di varchi sui cordoni dunari, tenuto conto anche della scala nominale della cartografia di base di lavoro (1:10.000).

La delimitazione dei poligoni che rappresentano le entità-duna è stata effettuata agendo contemporaneamente nell'ambiente grafico ed alfanumerico (tabelle degli attributi) in modo da procedere a demarcare graficamente l'area dei cordoni dunari ed inserire nelle corrispondenti tabelle gli elementi descrittivi previsti, creando condizioni univoche tra le porzioni di poligono via via creati e gli attributi a ciascuno associati.

Allo scopo si è convenuta una gerarchia nella classificazione e perimetrazione a partire dal tipo di duna (attiva e non attiva); la segmentazione successiva dei poligoni avviene sulla base del tipo di vegetazione dominante, dell'ampiezza della spiaggia antistante e quindi, del trend evolutivo recente del litorale antistante (Fig. 3). Ad ogni ulteriore e geometrica corrisponde, per ogni nuovo elemento creato, un nuovo mento dell'attributo corrispondente nella tabella associata. In questo modo le porzioni del poligono via via generate dalla progressiva scissione grafica ereditano, tutti gli attributi in precedenza associati alla specifica frazione di poligono. Per semplificare questo processo, l'ulteriore attributo relativo alla presenza di varie forme di antropizzazione sulle dune è stata associata (come condizione descrittiva e come ulteriore divisione geometrica delle entità dune) attraverso un'operazione di analisi spaziale effettuata nella fase finale di riaccorpamento delle banche dati implementate dalle diverse Unità Operative. Le aree antropizzate sono state infatti inizialmente rilevate come un elemento geometrico distinto (poligonale) parzialmente sovrapposto alle aree di duna (Fig. 4).

Alcuni ulteriori elementi descrittivi delle dune sono archiviati e descritti come elementi grafici indipendenti: è il caso dei varchi, delle linee di cresta e delle quote delle creste dei cordoni dunali. Questa scelta deriva dall'esigenza del gruppo di lavoro di poter disporre anche della posizione reale di questi elementi. La congruenza spaziale dei dati consente comunque il confronto tra questi ed i corpi dunali.

Elementi geometrici distinti rappresentano, con simboli (linee e punti), altre caratteristiche dei tratti di spiaggia antistanti i campi dunari studiati: l'uso della spiaggia, le opere di difesa radenti e le stazioni anemometriche significative.

La banca dati finale si compone di 7 entità geometriche che rappresentano le dune, le creste delle dune, i punti quotati delle dune, i varchi e passaggi antropici presenti sulle dune, le opere di difesa e l'utilizzo a fini turistico ricreativi dei tratti di spiaggia antistanti le dune, l'ubicazione di stazioni anemometriche significative.

Ciascuna entità fa riferimento ad una astrazione (elementi geometrici) distinta, per ciascuna delle quali è stata creata una struttura di archiviazione delle informazioni associate (di natura descrittiva e numerica).

Entità "Duna"

Elemento poligonale che rappresenta l'intera area di duna in cui ricadono dune incipienti, avandune e dune secondarie o inattive. Sono classificate per:

TIPO DI DUNA: è prevista una suddivisione in attiva o riattivata (AT) o inattiva (NA)

AMPIEZZA DELLA SPIAGGIA: sono presenti 3 classi ($A < 20$ metri, $20 < A < 60$ metri, $A > 60$ metri). La valutazione deriva da misure effettuate, via connessione web, sulle ortoimmagini del Portale Cartografico. Si riferisce alla distanza tra il piede, verso mare, della duna rilevata e la linea di riva.

TENDENZA DELLA SPIAGGIA: si riferisce ai soli tratti di spiaggia antistanti le dune rilevate. Sono previste 3 classi (tendenza all'avanzamento, tendenza all'arretramento, stabile) e deriva dagli studi e conoscenze pregresse delle Unità Operative di riferimento.

TIPO DI VEGETAZIONE SULLE DUNE: sono presenti 6 classi in base alla tipologia visivamente dominante (Arborea/Erbacea/Assente/Arbustiva/Arborea rada/Arbustiva rada) (Figg. 5 e 6).

TIPO DI USO DELLE DUNE: prevista una classificazione in 4 classi: Naturale (NA); Aree urbane (UR); Urbanizzato sparso (US); Antropizzato (AN). Con questa ultima definizione si intendono le aree di duna utilizzate ma non cementificate (ad esempio aree adibite a parcheggio a suolo nudo o ad attività sportive). L'associazione di questa caratteristica alle entità dune deriva da operazioni di analisi spaziale prima descritte.



Figura 5 - Duna costiera non attiva con vegetazione dominante di tipo arbustivo.



Figura 6 - Dune costiere, riattivate, caratterizzate da vegetazione arborea.

Entità "Cresta delle dune"

Elementi lineari che indicano, graficamente, l'andamento medio delle creste dei cordoni di dune sia attive, sia inattive. Le linee non hanno informazioni associate.

Entità "Quota delle dune"

Elementi puntuali che individuano i valori numerici delle quote delle creste dunari (sul livello del mare). È specificato, con un codice associato a ciascun valore, la fonte del dato: cartografia tecnica regionale, rilievo diretto, tavole IGM, valutazioni *in situ*). È importante tenere presente che la quota s.l.m. può anche differire sensibilmente dall'altezza delle dune.

Entità "Opere"

Elementi lineari posizionati, per convenzione, al limite della battigia distinti per tipi diversi di opere: RIPASCIMENTI (RI); OPERE RADENTI (OR); RIPASCIMENTI associati ad OPERE RADENTI (RO). Solo per i tratti di spiaggia antistanti le dune.

Entità "Uso della spiaggia"

La presenza di attività di balneazione temporanee (TE) o permanenti (PE) nei tratti di spiaggia antistanti le dune è stata rappresentata con elementi lineari dimensionali posizionati in prossimità del limite tra spiaggia e dune a cui sono state associate nelle tabelle allegate le possibili opzioni di uso.



Figura 7 - Sentiero lungo la cresta che attraversa una duna costiera attiva con vegetazione dominante di tipo cespugliato.

Entità "Varchi"

Elementi puntuali posizionati all'interno dei poligoni di duna in prossimità della posizione reale del varco sul lato verso mare. E' prevista la distinzione tra: sentieri (SE), strade (ST) che hanno sbocco al mare, strade/sentieri lungo le creste dunari (SL) (Fig. 7).

Entità "Vento"

Elemento puntuale che riporta la posizione geografica di stazioni meteorologiche significative, anche al di fuori dell'area costiera, scelte in base alla disponibilità di serie di dati (vengono associate nome, quota di rilievo, frequenza, anni di osservazione).

La struttura della banca dati è piuttosto articolata ed è stato necessario un consistente impegno affinché venissero mantenute condizioni di congruenza dei contenuti nella fase di implementazione collettiva. Le condizioni descrittive possibili degli attributi sono, ad esempio, state prefis-

sate in base a definizioni concordate in fase progettuale; inoltre, per garantire la conformità dei dati inseriti, è stata predisposta la definizione di "domini" che contengono tali espressioni e cioè l'insieme dei valori (o descrizioni) ammessi per ogni attributo. In questo modo l'inserimento degli attributi avviene tramite una serie di menu a tendina che propone tutte le opzioni possibili all'operatore evitando ogni tipo di digitazione diretta nelle tabelle dei dati. Ognuna delle definizioni possibili è inoltre sintetizzata da un codice alfanumerico.

Metainformazione

La banca dati si compone di tre ambiti interconnessi: la componente geometrica, la componente informativa e la metainformazione.

La componente geometrica e quella informativa (alfanumerica) sono normalmente contemplate in un GIS.

La metainformazione è un elemento fondamentale perché rappresenta l'informazione dell'informazione. Viene infatti raccolta in questa sezione della banca dati, le informazioni relative al *dove*, al *come* e da *chi* in merito ai dati contenuti.

E' quindi un fondamentale componente di una banca dati perché ne certifica i contenuti dichiarando le condizioni di realizzazione, i responsabili, e quindi, in estrema sintesi, illustra le effettive possibilità di uso dei dati da parte di chiunque, anche a distanza di tempo.

I formati possibili di riferimento per la produzione di una organica metainformazione associata ai dati, sono diversi.

La banca dati delle dune nazionali è stata realizzata in modo da essere uniformata con i principi guida del programma Europeo INSPIRE per permettere e favorire l'interscambio ed il riutilizzo di informazioni spazialmente georiferite (banche dati geografiche).

Nella banca dati descritta, la metainformazione è stata inserita manualmente dagli scriventi, nella fase di progettazione ed organizzazione della struttura dei dati, compilando un catalogo di metadati realizzato secondo un model-

lo già implementato nel sistema GIS ARCGIS utilizzato dal Progetto. Accanto a questo tipo di informazioni il sistema consentiva l'inserimento, in via automatica, di elementi di tipo geometrico e spaziale. Questa parte della metainformazione, essendo gestita direttamente dal sistema GIS, è aggiornata automaticamente, ed in tempo reale, ogniqualvolta nell'ambiente grafico si effettuino variazioni alla componente geometrica associata. Essa, infatti, descrive la natura degli oggetti grafici (punti, linee, poligoni), la loro posizione nello spazio (x, y minima e massima), la loro entità numerica, la data di loro modifica ultima, ecc.

Il modello citato, composto di elementi ed attributi (codificati in XML), fa riferimento allo standard del Federal Geographic Data Committee's (FGDC). Non era, infatti, al momento della realizzazione del progetto, disponibile un catalogo, già implementato nel sistema GIS, che facesse riferimento specifico allo standard Europeo ISO 19115. L'utilizzo di metadati creati secondo uno standard condiviso da tutti i produttori di dati geografici è, infatti, da più tempo percepito negli Stati Uniti che in Europa. Negli USA, infatti, dal 1994 vige la legge federale che istituisce la presenza di una "Spatial Data Infrastructure" (SDI) nazionale ed impone alle agenzie federali di creare dati geografici con metadati standardizzati oltre che verificare, prima di produrre nuovi dati geografici, che questi non siano già disponibili. Esiste a tal fine un catalogo accessibile, attraverso Internet (*Clearinghouse*) che, in base allo standard del FGDC, descrive il *come, dove e chi* dei dati a componente geografica esistenti nel paese. Anche in Europa, dal Giugno 2005, esiste una Direttiva Europea (10553/05) che, recentemente entrata in vigore, sollecita la creazione, in ogni stato membro, di infrastrutture per i dati a componente geografica (con compiti analoghi a quella americana); la direttiva sancisce anche regole generali per la creazione dei metadati. Le specifiche in essa contenute indicano le componenti indispensabili (minime) per la creazione di metainformazione adeguata.

La direttiva Europea richiede che siano dichiarate :

- la conformità del set di dati geografici;
- la dichiarazione delle modalità e degli eventuali limiti di accesso, di uso dei dati (e l'eventuale loro costo);
- la qualità dei dati (compreso il riferimento di validità temporale);
- la descrizione dell'Autorità responsabile per la creazione, gestione, mantenimento e distribuzione dei dati;
- le limitazioni all'uso pubblico dei dati (per motivi di sicurezza, diritti di proprietà, ecc).

La struttura utilizzata nella banca dati descritta risponde a tutti questi requisiti, ed offre un risultato pienamente rispondente a queste recenti indicazioni normative.

I metadati creati descrivono, infatti, per ogni livello della banca dati (*Geodatabase, Feature classes e Feature data set*) tutte queste condizioni (Figg. 8 e 9); è stata inserita, inoltre, una serie di informazioni che descrive, nel dettaglio, il contenuto ed il significato delle chiavi della legenda utilizzate nella banca dati stessa (cioè delle descrizioni contenute nei campi delle tabelle in forma di stringa e di codici sintetici associati) (Fig. 10).

<i>Description:</i>	
<i>Abstract:</i>	Atlante GIS delle dune costiere in Italia aggiornato al 1998-99 con integrazioni al 2003 e con scala nominale 1:10.000. Il rilievo delle forme si basa sostanzialmente sull'esame di ortofotografie numeriche del VOLO ITALIA, riferite al 1998-99, realizzate dalla CGR ed esaminate via web per gentile concessione del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio- Direzione V.I.A. I rilievi sono integrati con dati esistenti, documenti cartografici e rilievi diretti.
<i>Purpose:</i>	Banca dati geografica relativa allo stato delle dune costiere in Italia in relazione al bilancio duna-spiaggia. Realizzazione nell'ambito del Progetto "I depositi eolici delle coste italiane e il flusso di sedimenti spiaggia- duna" Finanziamento MIUR 2002-2004- progetti Cofinanziati di Interesse Nazionale
<i>Supplemental_Information:</i>	Coordinatore Prof. Giuliano Fierro- Università di Genova, Dipartimento di Studio del Territorio e delle sue Risorse DIPTERIS
<i>Time_Period_of_Content:</i>	
<i>Time_Period_Information:</i>	
<i>Single_Date/Time:</i>	
<i>Calendar_Date:</i>	1998-99- 2003
<i>Currentness_Reference:</i>	Rilievi diretti al 2003 integrati da osservazione di ortofotografie numeriche riferite al 1998-99

Figura 8 - Esempio, parziale, dei contenuti della metainformazione associata al livello "Geodatabase", che corrisponde alla banca dati complessiva.

*Description:**Abstract:*

Banca dati georiferita relativa alle dune costiere dei litorali in Emilia Romagna e Veneto

Purpose:

Analisi tramite ortofotomagini, cartografie e rilievi in situ delle forme dunari costiere attuali in relazione ai processi evolutivi del sistema spiaggia-duna

Supplemental Information:

I rilievi e le elaborazioni sono state effettuate, per il tratto di litorale dell'Emilia Romagna e del Veneto fino alla foce del fiume Adige, dall'Università di Ferrara (Dipartimento Scienze della Terra), mentre per il litorale veneto compreso tra la foce del fiume Adige e la foce del fiume Tagliamento, dall'Università di Trieste (Dipartimento Scienze Geologiche Ambientali e Marine)

*Time Period of Content:**Time Period Information:**Single Date/Time:*

Calendar Date: inizio progetto 2002

Time of Day: Fine progetto 2004

Currentness Reference:

Dati al 1998-99 integrati da osservazioni al 2003

Status:

Progress: In fase di elaborazione

Maintenance and Update Frequency: Non previsto

*Spatial Domain:**Bounding Coordinates:*

West Bounding Coordinate: 12.186506

East Bounding Coordinate: 13.100476

North Bounding Coordinate: 45.675113

South Bounding Coordinate: 44.008969

*Keywords:**Theme:*

Theme Keyword Thesaurus: Dune, Spiaggia, Erosione, Italia

Theme Keyword: Dune Costiere, Erosione, Emilia Romagna, Veneto

Access Constraints: I dati sono di proprietà dei soggetti che hanno eseguito la ricerca e possono essere richiesti attraverso il Coordinatore del progetto

Use Constraints:

Attività di ricerca non a fine di lucro

*Point of Contact:**Contact Information:**Contact Person Primary:*

Contact Person: Prof. Umberto Simeoni

Contact Organization: Università di Ferrara - Dipartimento di Scienze della Terra -

Figura 9 - Esempio, parziale, dei contenuti della metainformazione associata ai livelli "Feature class", che corrisponde alle banche dati relative a ciascuna Unità Operativa. Nel caso riportato, i contenuti si riferiscono all'Unità Operativa dell'Università di Ferrara.

*Description:**Abstract:*

Elemento poligonale che rappresenta l'intera area di duna

Purpose:

Rappresentare l'areale relativo a: dune incipienti, dune attive (o riattivate) e dune inattive

Supplemental Information:

Poligono a cui sono associate caratteristiche di:

VEGETAZIONE suddivisa in: Arboreo, Arbustivo, Erbaceo, Assente; per la sola duna attiva (o riattivata) è prevista un'ulteriore suddivisione in Arboreo Rado ed Arbustivo Rado;

AMPIEZZA SPIAGGIA antistante suddivisa in 3 classi: < 20 metri, 20-60 metri, >60 metri;

TENDENZA EVOLUTIVA della spiaggia antistante suddivisa in avanzamento, arretramento e stabile

Figura 10 - Esempio, parziale, dei contenuti della metainformazione associata ai livelli "Feature data set" che corrisponde ai singoli gruppi di elementi omogenei (dune, creste di duna, quote, ecc). Nel caso presentato i contenuti si riferiscono alla Feature Data Set "Duna". E' evidente come questo tipo di descrizione, strettamente correlata con gli elementi grafici, risulti vantaggioso nella condivisione e scambio e riutilizzo dei dati.

Conclusioni

La conoscenza puntuale del territorio che le banche dati geografiche a tema (come quella presentata, relativa alle dune costiere) rendono disponibile, rappresenta uno strumento non consueto nella regione mediterranea. D'altra parte, nell'ultimo decennio, si è molto accresciuta l'attenzione verso i fenomeni di rischio naturale nell'area costiera, particolarmente vulnerabile e su cui i cambiamenti (in senso di perdita di litorale) hanno un immediato risvolto in termini di danno economico (dal punto di vista degli operatori) e di perdita di risorsa da disporre (dal punto di vista di un generico fruitore esterno).

L'esigenza di poter pianificare le scelte di mitigazione possibile del rischio costiero è una forte sollecitazione alla capacità degli enti locali di disporre di adeguata conoscenza in termini di forma, di aggiornamento e di sua accessibilità. La capacità di gestire banche dati geografiche non richiede più, come un tempo, strumenti molto costosi e complessi: la tendenza del mercato è di rendere compatibili i diversi sistemi GIS esistenti, e di creare piattaforme di semplice utilizzo. La richiesta di informazione che tratta la componente geografica avviene anche da parte dei cittadini e non solo degli esperti del settore. La società dell'*e-governance* propone modelli in cui il cittadino conosce le vulnerabilità del suo territorio accedendo ai sistemi web-GIS tramite Internet, senza disporre di alcun software specialistico. In questo contesto, confrontando la realtà italiana con quella europea ed internazionale, emerge con evidenza la mancanza di strutture nazionali preposte alla realizzazione di banche dati geografiche tematiche che rispondano alle esigenze di conoscenza, gestione dei rischi naturali e programmazione delle possibili azioni di mitigazione. Dalla sollecitazione dei grandi progetti europei sull'informazione geografica, a cui la banca dati realizzata, si ispira concettualmente, è presumibile che anche l'Italia sviluppi nel prossimo futuro, strategie e progetti a scala nazionale che superino questa momentanea carenza di strumenti a scala nazionale, significativi per dettaglio e disponibili, invertendo la tendenza attuale di creazione di banche dati geografiche, create per iniziativa del singolo ricercatore, redatte senza un contesto culturale tecnico di riferimento, difficilmente conosciute, scambiate senza la certificazione di qualità fornita dalla presenza di metadati, e spesso vincolate a diritti di proprietà che ne impediscono, di fatto, un ampio riuso.

D'altra parte poter elaborare dati geografici certificati e di alto dettaglio consente non solo una capacità di rappresentazione di notevole elasticità e semplicità. La banca dati propone un'enorme potenzialità di rappresentazione semplice di temi inseriti oltre che lo sviluppo di analisi integrate tra i contenuti informativi disponibili. Alcune di queste elaborazioni sono state ipotizzate sin dalla fase di organizzazione del modello concettuale.

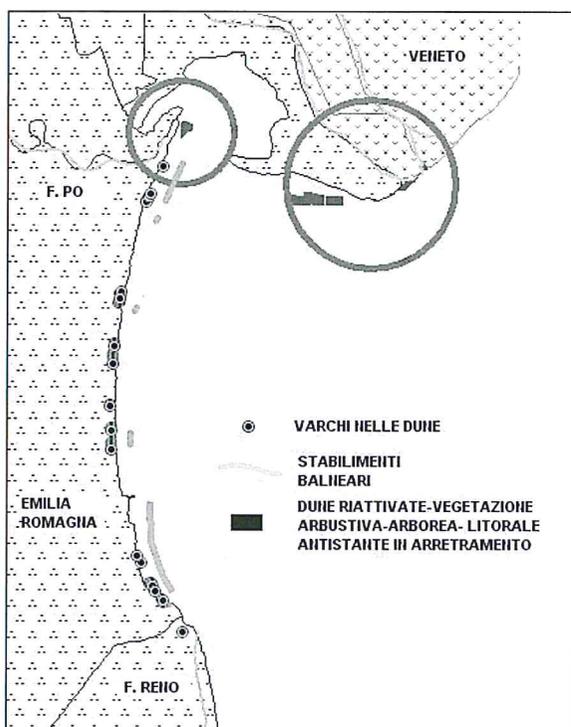


Figura 11 - Esempio di analisi spaziale complessa effettuata in Emilia Romagna e Veneto, tra i fiumi Reno e Po sui dati dell'Unità Operativa dell'Università di Ferrara. Sono confrontate la presenza di varchi nelle dune attive, la presenza di stabilimenti balneari sulle spiagge ad esse limitrofe e la concomitanza di arretramento del litorale e presenza nelle dune attive di vegetazione di tipo arbustivo o arboreo ad indicare uno stato di smantellamento profondo del cordone dunare stesso. Questa condizione risulta localizzata in figura all'interno delle aree cerchiata.

Sono possibili anche una serie di valutazioni di natura quantitativa altrimenti impensabili. Indicatori di stato possono essere facilmente calcolati e, quindi, rappresentati. Sono infatti disponibili per ciascuno degli elementi geometrici attribuiti quantitativi che possono essere elaborati e matematicamente confrontati (quote, aree, ecc). Ad esempio la distribuzione dei valori delle quote sulle dune attive rilevate sull'intero litorale dell'Emilia Romagna risulta essere variabile tra 1 e 9.5 metri s.l.m. con i valori massimi ubicati al confine con il Veneto; risultano essere stati rilevati dall'U.O. Università di Ferrara 546 punti quotati di cui 190 da rilievi diretti. L'area complessiva delle dune attive in questa regione risulta essere pari a circa 0.6 km².

Oltre a queste semplici elaborazioni di parametri numerici, ben più interessanti e significative analisi comparate possono essere facilmente effettuate. Ogni caratteristica inserita è infatti elaborabile, sempre considerando anche la sua posizione geografica (*dove*) ed in relazione agli elementi vicini inseriti.

In questo modo è possibile mettere a confronto fenomeni diversi che agiscono nello stesso contesto spazio e metterli in relazione tra loro. Una tra le tante possibili elaborazioni complesse, e realizzate negli studi svolti nelle aree d'indagine (Simeoni et al., 2005), mette in relazione lo stato di degrado delle dune (e per erosione, e per attraversamento) con la tendenza evolutiva dei litorali antistanti e con la presenza di attività di balneazione e stabilimenti ad essa connessi. Risulta, ad esempio, di particolare significato individuare le situazioni in cui si ha una condizione di tendenza all'arretramento del litorale, e le dune, in passato, stabilizzate, si trovano oggi interessate da fenomeni di erosione diretta da parte del mare. Per effettuare questa analisi spaziale, interessante per evidenziare zone dunali a maggiore fragilità, è necessario poter confrontare caratteristiche delle dune contemporaneamente a quelle dell'ambiente litorale ad esse limitrofo.

Applicando la procedura di analisi al territorio Emiliano Romagnolo si evidenzia, a scala regionale, un risultato non scontato in relazione all'impatto delle strutture di balneazione sullo stato di conservazione delle dune. Le situazioni di maggiore smantellamento in atto dei cordoni dunari si evidenziano in zone non attrezzate a scopi turistici (Fig. 11, zone cerchiare); l'ubicazione di sentieri ed attraversamenti delle morfologie dunari sono invece concentrate in corrispondenza dei tratti di spiaggia attrezzata.

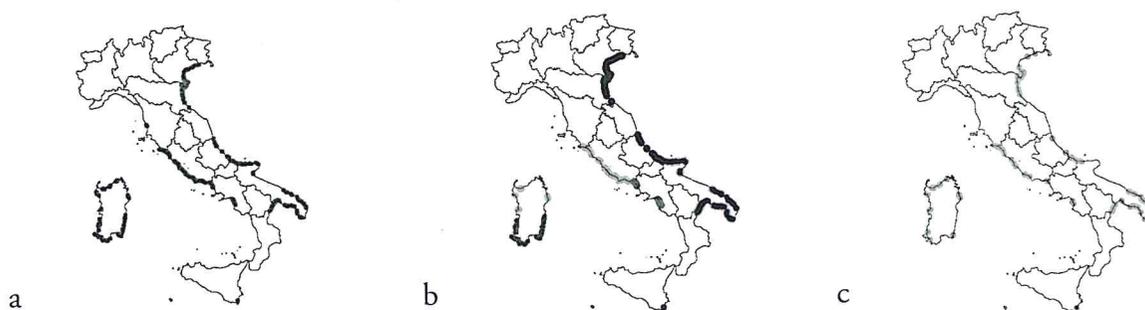


Figura 12 - a) I tratti di litorale rilevati ed inseriti nella banca dati; b) esempio di classificazione complessa delle dune costiere in base alla loro naturalità: in grigio le dune attive su cui insiste una qualsiasi forma di antropizzazione; in nero le dune attive naturali; c) esempio di classificazione complessa delle dune costiere: dune attive con tratti di spiaggia antistanti ad ampiezza inferiore a 20 metri e tendenza all'arretramento. Dati implementati dalle 7 U.O. del Progetto.

La possibilità di utilizzare la banca dati consente di effettuare in modo automatico e semplice queste analisi, altrimenti piuttosto complesse, attuando tutte le possibili condizioni di interrogazione tra le caratteristiche introdotte: il tipo di duna, il tipo di vegetazione su di essa dominante, l'ampiezza della spiaggia antistante, il trend del litorale antistante, la presenza e la natura di stabilimenti balneari stagionali, la presenza (e natura) dei varchi sulle dune.

Un ulteriore schematico esempio dei risultati possibili è la valutazione del grado di antropizzazione delle dune attive che potrebbe rappresentare il primo livello per l'avvio di politiche di priorità di intervento per la protezione di questi ambienti fragili ed importantissimi per l'equilibrio ambientale e sedimentologico costiero (Fig. 12). L'efficacia di un simile strumento è evidente se si considera che il progetto ha analizzato a scala nazionale il fenomeno e che questa dimensione dell'approccio (ancorché non ancora completo per tutte le aree di litorale italiano) rende possibili analisi di una estrema efficacia per organismi di governo del territorio sovra regionali.

Assume inoltre un particolare significato nell'ottica di utilizzare la banca dati come descrizione di uno stato zero di riferimento per rilievi ripetuti nel tempo che consentano di confrontare l'evolvere della situazione in un approccio multitemporale ed individuare tendenze e criticità. Su questa base vengono sviluppate le politiche ambientali a scala paese.

La possibilità, che si è concretizzata nel corso del progetto, di attivare un processo di concreta interazione con il Ministero dell'Ambiente e del Territorio, nell'ottica di integrazione, della banca dati realizzata, nel Portale Cartografico Nazionale, possono essere la base di un utilizzo della banca dati stessa e di avvio di un nuovo percorso di integrazione e di sviluppo di azioni di integrazione e di implementazione di ulteriori strati tematici geografici certificati e condivisi.

Ringraziamenti

Si ringraziano il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio per la disponibilità ed il supporto fornito, il coordinatore del Progetto, Prof. Giuliano Fierro e tutti i colleghi delle Unità Operative del Progetto PRIN 2002, per la fattiva collaborazione nell'impostazione della banca dati e nella sua implementazione.

Bibliografia

- Bartlett D.J. (2000) - *Working on the frontiers of science: applying GIS to the coastal zone*. In: Marine and Coastal Geographical Information Systems, Wright, D.J. & Bartlett, D.J. Eds, Taylor and Francis. Pp.11-24, London.
- Brown I., Jude S., Koukoulas S., Nicholls R., Dickson M., Walkden M. e Jones A. (2004) - *Dynamic Simulation and Visualisation of Coastal Erosion: Past, Present and Future*. GISRU04, University of East Anglia, Norwich, 28-30 April 2004.
- Carter R.V. G., Curtis T.G.F. e Sheely-Sheffington M.J. (1992) - *Coastal dunes: Geomorphology, Ecology and Management*. Balkema, Rotterdam.
- CNR- M.U.R.S.T. (1997) - *Atlante delle Coste Italiane. Dinamismo, tendenza evolutiva, opere umane*. 108 Fogli in Scala 1:100.000, SELCA, Firenze.
- D'Alessandro L. e La Monica G.B. (1999) - *Rischio per erosione dei litorali italiani*. Atti dei Convegni Lincei, vol.154: 251-256.
- Fotheringham S., Rogerson P. Eds.(1994) - *Spatial analysis and GIS*, Taylor & Francis, pp.296, London.
- Harvey C. e Press J. (1996) - *Databases in Historical Research. Theory, methods and applications*. Macmillan Press Ltd., Houndmills, Basingstoke and London.
- Houston J. A. Edmondson S. E. e Rooney P.J. (2001) - *Coastal Dune Management: Shared Experience of European Conservation Practice*. Liverpool University Press, pp. 472.
- Klein R.J.T. e MacIver D.C. (1999) - *Adaptation to climate variability and change: methodological issues*. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, vol. 4 (3-4): 189-198.
- Nicholls R., Brown I., Dawson R., Dickson M., Hall J., Koukoulas S., Mokrech M., Pearson S., Rees J., Richards J., Stansby P., Walkden M., Watkinson A. e Zhou J. (2005) - *An Integrated Assessment of Erosion and Flooding in North-East Norfolk, England*. LOICZ II Inaugural Open Science Meeting, Egmond aan Zee, Netherlands, 27-29 June 2005.
- Simeoni U., Valpreda E., Schiavi C. e Corbau C. (2005) - *Le dune costiere dell'Emilia Romagna*. Studi Costieri, 11: 121-132.
- Tuttle D. C. (1987) - *A small community's response to catastrophic coastal bluff erosion*. ASCE Fifth Symposium on Coastal and Ocean Management. Coastal Zone, vol. 87, (2): 1876-1881.
- Wickham H.G. (1984) - *Management of vegetated Dune Reserves on a Receding Coast*. Journ. Soil Cons., NSW 40(i): 46-55.

Manoscritto ricevuto il 19/07/2005; accettato il 20/10/2005.