

Analisi multitemporale della linea di costa con tecniche di fotogrammetria area ed immagini QuickBird

Mauro Lo Brutto (*), Daniela Pennacchio (*)

(*) Dipartimento di Rappresentazione, Università di Palermo, Via Cavour 118, 90133 Palermo
e-mail lobrutto@unipa.it, danielapennacchio@unipa.it

Riassunto

Il lavoro descrive l'attività svolta dal Dipartimento di Rappresentazione dell'Università di Palermo in cooperazione con la locale Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente (ARPA Sicilia) relativamente all'analisi multitemporale della linea di costa in Sicilia. L'analisi è stata condotta mediante la produzione e il confronto di ortofoto realizzate da foto aeree e da immagini satellitari ad alta risoluzione a partire dal 1955 fino al 2006. In particolare, vengono presentati i primi risultati conseguiti per una unità fisiografica costiera utilizzata come zona test per le verifiche delle precisioni conseguibili.

Abstract

The paper describes the work carried out by the Dipartimento di Rappresentazione of the University of Palermo in cooperation with the local Regional Agency for the Protection of the Environment (ARPA Sicilia) regards the shoreline trends in Sicily. The evaluation of past and recent shoreline trends was made from aerial photos and very high resolution (VHR) imagery for the period 1955 to 2006. In particular, the paper presents the first results obtained for a coastal physiographic unit used as test area to verify the accuracy of shoreline detection .

Introduzione

L'Italia è uno dei paesi maggiormente esposti all'erosione costiera; da recenti studi è emerso che su un totale di circa 7500 km di coste ben 1700 km sono soggette a fenomeni di erosione. In Sicilia circa 220 km di costa, che rappresenta il 15% del totale, sono soggetti a fenomeni di erosione costiera (Eurosion, 2004). Il problema dell'erosione costiera rappresenta quindi uno dei maggiori aspetti di vulnerabilità ambientale. I processi erosivi, ormai in atto da alcuni decenni, rischiano di coinvolgere irreversibilmente aree costiere con insediamenti urbani o caratterizzate dalla presenza di zone ad elevato pregio naturalistico-culturale (es. aree protette, siti di interesse archeologico, ecc.) con conseguenze gravi anche da un punto di vista economico. Per questo motivo da diversi anni in molte regioni italiane sono state intraprese azioni di controllo e monitoraggio della linea di costa.

In Sicilia l'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente (ARPA) ha recentemente redatto un progetto per la *“Realizzazione del Sistema di Monitoraggio dell'Erosione delle Coste in Sicilia”* basandosi sui riferimenti tecnici e normativi dell'Unione Europea (Racc. 2002/413/CE, COM, 2000, 547) relativi all'attuazione della Gestione Integrata delle Zone Costiere (GIZC) in Europa. Il progetto ha l'obiettivo di rispondere alla domanda istituzionale d'informazione relativa alle problematiche ambientali delle aree costiere. Lo scopo principale è quello di realizzare un programma sistematico di acquisizione periodica di dati dell'assetto geomorfologico dei litorali siciliani, finalizzato a valutare le tendenze evolutive all'arretramento o all'avanzamento dei litorali, quantificare e monitorare lo stato di erosione delle coste, acquisire dati conoscitivi utili all'attività

di pianificazione costiera a scala regionale. Il progetto prevede che il monitoraggio dello stato dell'erosione delle coste in Sicilia, sia raggiunto attraverso le seguenti fasi (Palumbo, 2006):

Fase 1. Valutazione, a scala di unità fisiografica costiera, delle tendenze evolutive recenti ed attuali dei litorali siciliani;

Fase 2. Creazione di un sistema permanente di monitoraggio geomorfologico dei litorali di interesse esposti storicamente all'erosione (litorali critici) a supporto dell'attività di pianificazione costiera regionale.

L'organizzazione del monitoraggio consente di prevedere eventuali successivi approfondimenti delle indagini in alcuni tratti costieri in base ad esigenze specifiche, in maniera tale da potere effettuare un monitoraggio a scala locale in aree in cui è già disponibile un quadro conoscitivo geomorfologico generale derivante dalle attività del progetto.

La fase 1 ha come obiettivo la ricostruzione delle tendenze evolutive dei litorali attraverso l'indicatore "variazione della posizione della linea di costa" sulla base dell'analisi di una serie temporale di immagini telerilevate delle unità fisiografiche costiere relative agli ultimi decenni. Tale fase è stata progettata e realizzata in collaborazione con il Dipartimento di Rappresentazione dell'Università di Palermo che ha affrontato in particolare tutti gli aspetti relativi alla elaborazione delle immagini telerilevate. In particolare, il lavoro della fase 1 è stato suddiviso nei seguenti processi:

- produzione di ortofoto da una serie temporale di immagini aeree relative al periodo dal 1955 al 1997;
- produzione di ortofoto da immagini satellitari ad alta risoluzione relative all'anno 2006;
- individuazione della posizione della linea di costa dalle ortofoto aeree e satellitari e implementazione di un Sistema Informativo Geografico per la gestione dei dati dell'erosione;
- analisi multitemporale della linea di costa e stima dell'entità e del tasso di erosione costiera rilevata nell'arco temporale considerato (1955-2006).

Le ricerche condotte presso il Dipartimento di Rappresentazione sono state indirizzate ad approfondire ed analizzare alcuni aspetti topografici e fotogrammetrici connessi con le attività da svolgere. L'uso di fotogrammi e immagini satellitari prodotte in tempi diversi, con caratteristiche differenti e per finalità diverse pone alcune problematiche che è necessario affrontare in maniera adeguata in modo da ottenere prodotti omogenei tra loro, confrontabili in termini di precisione e adeguati per le finalità del monitoraggio.

I principali problemi che sono stati affrontati sono relativi: alle modalità per il rilievo e per l'individuazione dei punti di appoggio necessari per l'orientamento dei diversi voli fotogrammetrici e delle immagini satellitari, alle precisioni conseguibili nelle ortofoto, alla individuazione della linea di costa dalle ortofoto.

Aree di studio e dati utilizzati

Come già evidenziato la valutazione delle tendenze evolutive costiere viene effettuata a scala di "unità fisiografica costiera"; con tale definizione viene individuato il tratto di costa nel quale i sedimenti che formano la costa presentano movimenti confinati all'interno dell'unità stessa. Per individuare una "unità fisiografica costiera" vengono esaminate la morfologia emersa e sommersa della costa, l'orientamento della linea di riva e si considera che il trasporto solido lungo la costa si interrompa al di sotto della profondità dei 10 metri.

Complessivamente la Sicilia è stata suddivisa in 24 unità fisiografiche costiere; le attività del progetto di ricerca sono state programmate su sette unità fisiografiche costiere ritenute particolarmente critiche relativamente all'erosione costiera. In particolare, sono state considerate le seguenti unità (Figura 1):

- Unità fisiografica costiera 1 - da Milazzo a Capo Peloro
- Unità fisiografica costiera 3 - da Scaletta Zanglea a Giardini
- Unità fisiografica costiera 8 - da Punta Braccetto a Licata
- Unità fisiografica costiera 10 - da Punta Bianca a Capo Rossello

- Unità fisiografica costiera 12 - da Capo San Marco a Punta Granitola
- Unità fisiografica costiera 19 - da Cefalù a Capo D'Orlando
- Unità fisiografica costiera 20 - da Capo D'Orlando a Capo Calavà.

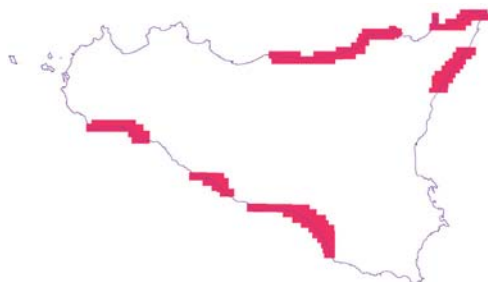


Figura 1 – Ubicazione delle unità fisiografiche costiere.

Per le unità considerate sono stati presi in considerazione le seguenti riprese aeree e satellitari:

1. Volo IGM 1955 (pellicola b/n, scala media dei fotogrammi 1:33.000, quota media di volo 6.000 m);
2. Volo ATA 1987 (pellicola a colori, scala media dei fotogrammi 1:10.000, quota media di volo 1.500 m);
3. Volo ATA 1997 (pellicola b/n, scala media dei fotogrammi 1:20.000, quota media di volo 3.000 m).
4. Copertura satellitare del sensore QuickBird relativa all'anno 2006.

A partire da tali riprese sono state programmate le fasi iniziali del progetto di ricerca che schematicamente possono essere suddivise in: rilievo topografico dei punti di appoggio, operazione di orientamento dei fotogrammi e delle immagini satellitari, generazione dei DTM, ortoproiezione delle immagini, operazioni di verifica e confronto dei dati prodotti.

In questa nota vengono presentati i risultati conseguiti per l'unità fisiografica costiera 10 (Punta Bianca - Capo Rossello) utilizzata come zona test per definire sperimentalmente le procedure da adottare nella elaborazione complessiva dei dati.

Procedure topografiche per il rilievo dei punti di appoggio

Il lavoro relativo al rilievo dei punti di appoggio è stato organizzato nelle seguenti fasi:

- 1) individuazione preliminare dei punti di appoggio;
- 2) esecuzione del rilievo topografico con tecniche GPS;
- 3) verifica dei punti di appoggio.

La fase preliminare di individuazione dei punti di appoggio è stata necessaria per scegliere particolari naturali che fossero comuni nelle diverse riprese fotogrammetriche e nelle immagini satellitari. Tale operazione, fondamentale per potere orientare i vari fotogrammi con gli stessi punti di appoggio, non sempre è risultata agevole a causa delle rapide modificazioni del territorio che sono avvenute nel corso degli anni nelle zone costiere.

Il rilievo topografico è stato affidato ad una ditta specializzata che ha condotto le operazioni secondo quanto indicato nelle prescrizioni tecniche previste nel progetto. In particolare, il rilievo è stato eseguito in modalità statica (tempi di acquisizioni pari a circa 30'), collegando ogni punto di appoggio ai due vertici noti più vicini (vertici della rete IGM95 e della rete di raffittimento regionale) in maniera che le singole *baseline* non avessero lunghezze superiori ai 15 km. Complessivamente sono stati rilevati 43 punti con scarti planimetrici e altimetrici di circa 2 cm (Figura 2).

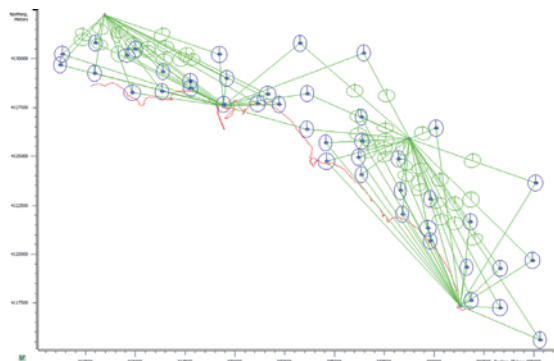


Figura 2 - Schema del rilievo dei punti di appoggio dell'unità fisiografica 10

Orientamento delle riprese fotogrammetriche

Per la produzione delle ortofoto complessivamente sono stati utilizzati 21 fotogrammi suddivisi in 4 strisciate per la ripresa del 1997, 32 fotogrammi suddivisi in 12 strisciate per quella del 1987 e 9 fotogrammi suddivisi in tre strisciate per quella del 1955. Le immagini fotogrammetriche sono state acquisite con uno scanner fotogrammetrico alla risoluzione di 1200 dpi per le riprese del 1955 e del 1987 e di 1800 dpi per la ripresa del 1997. La dimensione dei GDS (*Ground Sample Distance*) è risultata pari a circa 0.80 m, 0.21 m e 0.32 m rispettivamente per le riprese del 1955, del 1987 e del 1997.

I fotogrammi della ripresa del 1955, pur essendo stati realizzati con una camera fotogrammetrica, sono privi di certificato di calibrazione e di marche fiduciali. L'unica informazione disponibile è relativa alla distanza principale. Per il loro utilizzo è stato necessario ridefinire un sistema di riferimento interno con le relative marche fiduciali e ricalcolare i parametri dell'orientamento interno (distanza principale, punto principale, distorsione radiale) durante le procedure di triangolazione aerea.

Le operazioni di triangolazione aerea sono state condotte con il software Socet Set 5.4.1. La ripresa fotogrammetrica del 1997 è stata orientata utilizzando 17 punti di appoggio e 21 *check point* per la verifica dell'accuratezza (Figura 3). La ripresa del 1987 è stata suddivisa in due blocchi per la mancanza di una striscia in corrispondenza della zona centrale dell'unità fisiografica. Complessivamente sono stati utilizzati 13 punti di appoggio per un blocco e 14 per l'altro (Figura 4). Data la particolare distribuzione dei fotogrammi (in genere 2 o 3 fotogrammi per striscia) non è stato possibile inserire dei *check point*. Le operazioni di orientamento dei fotogrammi della ripresa del 1955 sono risultate particolarmente impegnative in quanto non è stato possibile ritrovare



Figura 3 – Grafico di volo del 1997

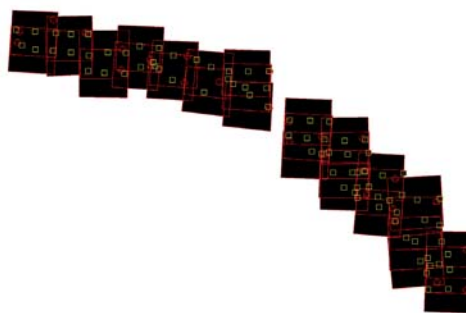


Figura 4 – Grafico di volo del 1987

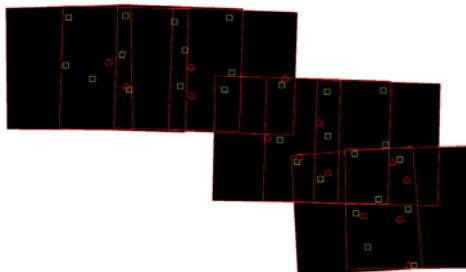


Figura 5 – Grafico di volo del 1955

nessuno punto di appoggio rilevato topograficamente. Per questo motivo si è scelto di utilizzare come punti di appoggio alcuni punti di legame individuati appositamente nella triangolazione della ripresa del 1997. Anche questa operazione è risultata abbastanza impegnativa sia per la scarsa qualità dei fotogrammi del 1955, che non sempre consentiva di individuare con esattezza i particolari sul terreno, sia per le notevoli trasformazioni del territorio avvenute nell'intervallo di tempo considerato. In totale sono stati comunque

individuati 14 punti di appoggio distribuiti soltanto nelle zone coperte dalla ripresa del 1997 (Figura 5). La tabella 6 riassume schematicamente i risultati conseguiti nelle tre triangolazioni.

Ripresa fotogrammetrica	GCP			CP		
	SQM Est [m]	SQM Nord [m]	SQM Quota [m]	SQM Est [m]	SQM Nord [m]	SQM Quota [m]
1997	0.23	0.23	0.11	0.28	0.23	0.82
1987 (Est)	0.11	0.14	0.11	-----	-----	-----
1987 (Ovest)	0.16	0.18	0.09	-----	-----	-----
1955	1.15	0.81	1.26	-----	-----	-----

Tabella 6 – Risultati delle triangolazioni aeree

Orientamento dell'immagine QuickBird

La copertura satellitare utilizzata è rappresentata da due immagini QuickBird del tipo Ortho Ready Standard acquisite rispettivamente ad agosto e a novembre del 2006 (Figura 7). Le immagini sono state fornite in modalità *pan-sharpened* con le tre bande del visibile (RGB) più l'infrarosso vicino e con un pixel ricampionato a 0.60 m.



Figura 7 – Immagini QuickBird

L'orientamento è stato eseguito a partire dai coefficienti delle funzioni polinomiali razionali (*Rational Polynomial Coefficients* – RPC) forniti con i metadati (file RPB) utilizzando alcuni punti di appoggio topografici. Le immagini sono state orientate rispettivamente con 6 e 8 punti di appoggio; in entrambi i casi sono stati utilizzati dei *check points* per la verifica dei risultati (Tabella 8).

	GCP			CP		
	N.	SQM Est [m]	SQM Nord [m]	N.	SQM Est [m]	SQM Nord [m]
QuickBird 1	6	0.62	0.86	6	0.34	1.18
QuickBird 2	8	0.43	0.47	15	0.70	0.65

Tabella 8 – Risultati dell'orientamento delle immagini QuickBird

Produzione ortofoto

Per la generazione delle ortofoto sono stati calcolati i modelli digitali del terreno (*Digital Terrain Model* - DTM) per ogni ripresa fotogrammetrica. Il calcolo è stato eseguito tramite le procedure di

image-matching disponibili nel software utilizzato imponendo una spaziatura tra i punti pari a 10 m x 10 m.

Le ortofoto sono state calcolate con un GSD di 0.50 m per le riprese del 1997 e del 1987, di 0.80 m per quella del 1955 e di 0.60 m per le immagini QuickBird. I mosaici ottenuti sono stati verificati confrontando le coordinate di alcuni punti caratteristici su ogni ripresa.

Le ortofoto sono state utilizzate per effettuare una prima approssimativa valutazione dello spostamento planimetrico della linea di costa. In questa fase non si è infatti affrontato il problema della definizione della linea di costa in maniera tale da tenere in considerazione anche i problemi dovuti alle variazioni periodiche (maree) e alla conformazione morfologica (parametri geomorfologici).



Figura 9 – Porzione delle ortofoto realizzate (da sinistra 1955, 1987, 1997 e 2006)

Conclusioni

L'attività svolta ha permesso di eseguire il lavoro in maniera coerente con gli obiettivi del progetto e di condurre delle verifiche sulle procedure adottate. L'impostazione generale del progetto, che ha previsto la produzione di tutti i dati territoriali necessari per il monitoraggio costiero, è sicuramente da preferire rispetto ai controlli che si basano sull'impiego di dati pre-esistenti.

Alcune fasi del lavoro sono risultate particolarmente critiche; in particolare, la fase di rilievo topografico dei punti di appoggio ha evidenziato una serie di problematiche relative soprattutto alla scelta dei punti in funzione della conformazione geometrica dei blocchi fotogrammetrici e alla possibilità di osservare i punti di appoggio su riprese diverse. Inoltre, le differenze nelle scale fotogrammetriche delle riprese utilizzate hanno spesso reso difficoltoso le operazioni di confronto.

Lo studio ha comunque evidenziato alcuni aspetti potenzialmente molto interessanti per il prosieguo dell'attività. I risultati conseguiti dal punto di vista metrico sono molto incoraggianti e possono fare ipotizzare sicuramente la realizzazione di cartografie tematiche alla scala 1:5000. L'impegno richiesto per l'esecuzione del lavoro, particolarmente gravoso soprattutto nella fase iniziale, risulta abbastanza semplice per eventuali controlli successivi.

Bibliografia

- Chandler JH, Cooper M. (1989), "The extraction of positional data from historical photographs and their application in geomorphology", *Photogrammetric Record*, 13: 69–78.
- EUROSION (2004), *Living with coastal erosion in Europe. Sediment and Space for Sustainability*, European Commission, Netherland.
- Palumbo V. (2006), "Il progetto di monitoraggio dell'erosione costiera in Sicilia: il contributo di ARPA Sicilia all'applicazione in ambito regionale della strategia europea di difesa dell'erosione costiera". *Geologi di Sicilia - Boll. dell'Ordine Regionale dei Geologi di Sicilia*, 2: 5-12.