

METODOLOGIE PER L'ESTRAZIONE DELLA LINEA DI COSTA DA IMMAGINI SATELLITARI AD ALTISSIMA RISOLUZIONE

Valerio BAIOCCHI (*), Filippo DEL GUZZO (**), Donatella DOMINICI (**), Keti LELO (*),
Mirko VILLANOVA (*)

(*) Area Geodesia e Geomatica, DITS, "Sapienza" Università di Roma, Via Eudossiana, 18 00184- Roma
tel +390644585068, fax+390644585515, e-mail, valerio.baiocchi@uniroma1.it

(**) Università degli Studi di L'Aquila, Dipartimento di Architettura ed Urbanistica – 67040 Monteluco di Roio, tel
+39 0862434118, email: dominici@dau.ing.univaq.it

Riassunto

Questa comunicazione presenta i risultati di uno studio condotto dall'Università degli Studi di L'Aquila, Dipartimento di Architettura ed Urbanistica, e l'Università degli studi Sapienza di Roma, Dipartimento Idraulica Trasporti e Strade, inerente i metodi semiautomatici per l'estrazione di informazioni riguardanti la linea di costa da immagini satellitari ad altissima risoluzione (VHR): in particolare due immagini Quickbird recenti della zona costiera di Pescara sono state utilizzate per verificare l'efficienza di queste metodologie. Le immagini ad altissima risoluzione, vengono trattate sempre più spesso utilizzando approcci *object-oriented* per l'estrazione di informazioni tematiche, questo metodo di classificazione rappresenta una evoluzione concettuale rispetto al classico approccio *pixel based*. L'ortorettificazione rigorosa delle immagini è considerata di fondamentale importanza per questo tipo di applicazioni dato che il confronto di differenti immagini acquisite in differenti periodi può essere correttamente effettuata solo se le immagini sono georiferite correttamente rispetto ad un dato sistema di riferimento. La giusta scelta dei parametri di segmentazione, strettamente legata all'obiettivo dello studio, porta a soddisfacenti risultati della classificazione: inoltre sono stati sviluppati e confrontati operatori logici e matematici per estrarre elementi caratterizzati da forme allungate quali quelle che compongono la zona costiera.

Abstract

This contribution presents the results of a study conducted by the University of L'Aquila, Dipartimento di Architettura ed Urbanistica, and the University La Sapienza, Dipartimento Idraulica Trasporti e Strade, dealing with comparative semi-automatic methods for extracting information about coastal lines from very high resolution (VHR) optical satellite images. Two recent standard Quickbird images of the coastal area of Pescara have been utilized for the analysis. When dealing with very high resolution satellite images, object-oriented classification methods are often used to extract information. This classification method represents a conceptual evolution with respect to the traditional pixel oriented method, implying a preventive subdivision of the image in homogeneous objects through a procedure called segmentation. One of the greatest advantages of the object-oriented approach relies on the classification consistency. The correct selection of the segmentation parameters, strongly related to the objective of the study, is the key for a satisfying classification result. Scale, color and shape parameters have been carefully selected to avoid over or under-segmentation. Further on, mathematic and logical operators have been developed and compared to extract elements characterized by elongated shape, characteristic of the coastal areas.

Introduzione

Questo studio si è inserito nel progetto SICORA (Supporto Informativo per la gestione Costiera della Regione Abruzzo) che ha lo scopo di attivare un'azione di sostegno ai comuni abruzzesi in relazione ad opere di difesa costiera e contemporaneamente operare un'azione di supporto alla programmazione della pianificazione regionale in materia di difesa costiera e sviluppo sostenibile della costa abruzzese. Tale progetto vede coinvolti la Regione Abruzzo e l'Università dell'Aquila.

L'attività di monitoraggio del litorale è una pratica essenziale per un giusto sviluppo del patrimonio ambientale nell'ambito di una Regione come l'Abruzzo. Le tecniche di controllo fino ad ora utilizzate, rilievo classico e GPS ed indagini con fotogrammetria aerea, sono valide ma non particolarmente pratiche ed economiche per un monitoraggio continuo della zona costiera. Si è allora optato per una sperimentazione utilizzando e sfruttando le potenzialità delle immagini ad alta risoluzione. La disponibilità di satelliti commerciali con a bordo sensori ad alta risoluzione fornisce, infatti, una importante opportunità di acquisizione di immagini pancromatiche e multispettrali: le elevate risoluzioni spaziali raggiungibili dai sensori EROS A (2m/pixel), IKONOS (1m/pixel) e QuickBird (0.60m/pixel), hanno aperto interessanti prospettive per un loro impiego sia nel campo della descrizione metrica del territorio (cartografia a grande e a media scala), che dell'analisi multispettrale dei dati e quindi utilizzo per scopi di monitoraggio. Lo scopo del presente lavoro è quello di definire una strategia efficiente in termini di tempi e di costi per estrarre le linee di costa dalle immagini ad altissima risoluzione. Le immagini ad alta risoluzione, al momento della presa, contengono distorsioni geometriche e radiometriche che ne impedirebbero il corretto utilizzo nelle applicazioni cartografiche e quindi, prima del rilascio, esse sono corrette radiometricamente. I differenti livelli di correzione geometrica caratterizzano le diverse tipologie di prodotto ed i costi/area. Al fine di non incorrere in grossolani equivoci occorre precisare che, per applicazioni cartografiche, anche le immagini distribuite come "georeferenziate" (con un Circular Error associato), necessitano di un vero e proprio appoggio a terra tramite un certo numero di punti di coordinate note (GCP "Ground Control Point"). Lo scopo finale dello studio è quello di definire una metodologia funzionale standardizzata che possa essere utilizzata in periodi successivi per produrre una linea di costa vettoriale. Questa operazione implica inoltre la pianificazione e l'esecuzione di un complesso piano di acquisizioni possibilmente coincidenti con le fasi di massima e minima marea. Attualmente un gruppo di esperti coinvolti nel progetto Sicora, sta valutando la definizione della linea di costa più adatta per la realtà delle coste abruzzesi per questa ragione il presente lavoro intende approfondire solo le tecniche per estrarre le informazioni così come possono essere osservate all'atto della presa. Le correzioni dovute, ad esempio, all'effetto di marea saranno implementate quando definizione univoche saranno stabilite.

Dati e metodologie impiegati

Il progetto si basa sulla restituzione della linea di costa utilizzando immagini satellitari multispettrali della città di Pescara usando il software Definiens Professional 5.0. Il lavoro si può schematizzare in cinque fasi principali:

- L'ortorettificazione delle immagini mediante modello fotogrammetrico rigoroso
- La segmentazione multirisoluzione;
- La classificazione degli oggetti;
- Esportazione della linea di costa;
- Analisi diacronica della linea di costa:

Le immagini utilizzate per questo studio sono del tipo Quickbird standard e quindi presentano una risoluzione di 0.61 m per il pancromatico e 2.44 per i vari canali del multispettrale. La Regione Abruzzo ha deciso di dotarsi di acquisizioni con cadenza annuale per poter valutare i trend di variazione. Attualmente sono disponibili solo un'acquisizione di agosto 2004 ed una di settembre 2006. Le immagini acquistate sono del tipo Standard: si tratta di un tipo di immagine molto diffuse che vengono preventivamente "ortorettificate" in maniera molto approssimata senza utilizzare Ground Control Point ma basandosi esclusivamente sui parametri di posizionamento approssimativo del satellite; le correzioni di quota per tali immagini vengono effettuate rispetto a un dem approssimato (GTOPO30), che, soprattutto in aree con forti dislivelli può creare grosse degradazioni della precisione planimetrica. E' comunque necessario utilizzare ground control point a coordinate note per migliorare il posizionamento. In precedenti comunicazioni (Baiocchi et al. 2004, Baiocchi et al. 2006) si è verificato che utilizzando un modello fotogrammetricamente rigoroso (modello di Toutin sviluppato all'interno di PCI) l'ortorettificazione delle immagini pancromatiche poteva essere

effettuata con accuratezze finali contenute entro i 3-4 metri giudicata compatibile con il fenomeno in studio a causa della già citata variabilità per case naturali ed antropiche.

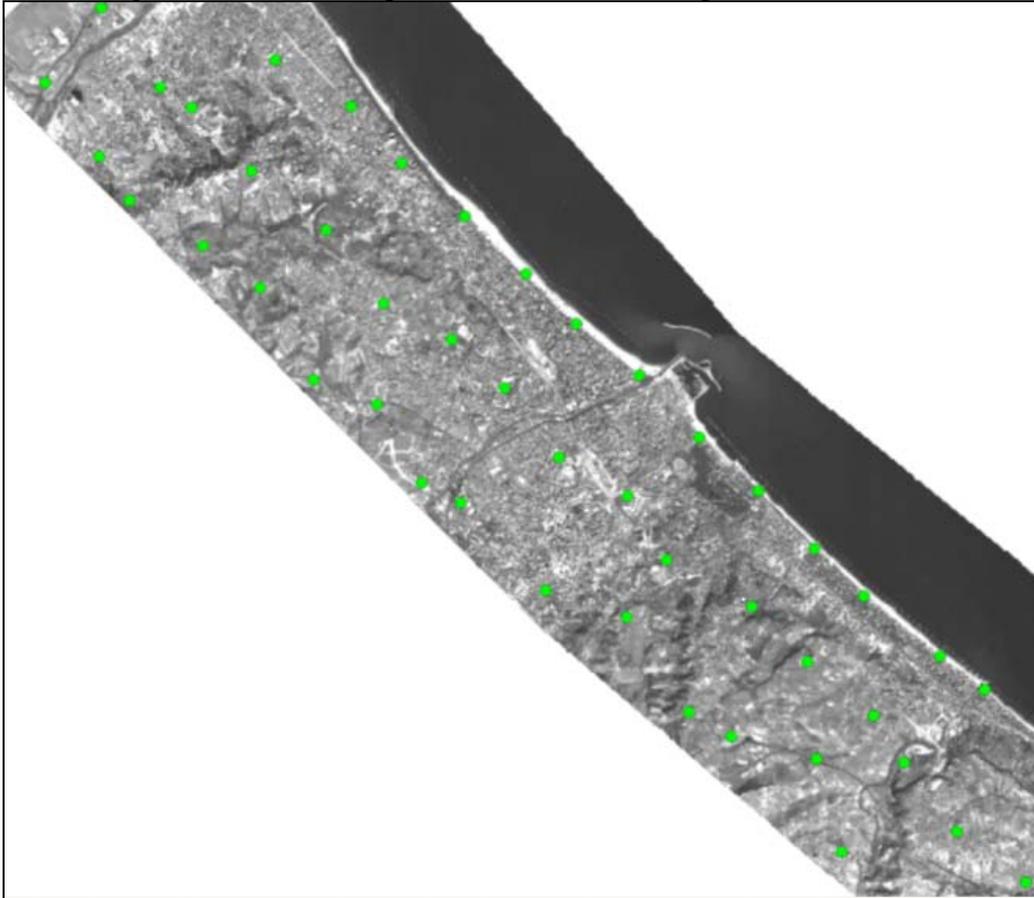


Figura 1- L'area in studio e la distribuzione dei Ground control point, la parte centrale è occupata dal porto di Pescara.

I GCP sono stati acquisiti mediante un apposita campagna GPS eseguita con ricevitori geodetici doppia frequenza. La prima cosa che si è voluto verificare è se il passaggio dallo spazio immagine delle pancromatiche allo spazio immagine delle corrispondenti multispettrali fosse possibile mediante una semplice variazione di scala dovuta alla differente risoluzione pur nelle medesime condizioni di presa. Per tale ragione le coordinate immagine, originariamente collimate sulle immagini pancromatiche sono poi state ricalcolate per le multispettrali dividendole per il differente fattore di scala (per questo tipo di immagini la risoluzione multispettrale è 4 volte inferiore a quella del pancromatico: come già detto da 0.61 a 2.44 metri. L'analisi dei residui sui GCP e su alcuni punti non utilizzati per il calcolo del modello (da considerarsi quindi come Check point) ha permesso di stabilire con certezza che le coordinate immagine erano, in questo modo, calcolate correttamente. Data la maggior visibilità dei dettagli sulle pancromatiche, per ovvie ragioni di risoluzione, si ritiene quindi che sia questa la metodologia da utilizzare ove siano disponibili le immagini pancromatiche corrispondenti alle multispettrali. Le procedure per la segmentazione delle immagini sono un campo diffusamente investigato negli ultimi anni nell'ambito delle metodologie object oriented. Benché la classificazione object oriented sia un approccio relativamente recente sono diffusi una tale varietà di metodi automatici o semiautomatici per generare oggetti all'interno delle immagini, che non è possibile in questa sede darne una descrizione esauriente (Batz, M. & A. Shape, 2000, Carleer et al., 2005, Curlander and Kober, 1992). Le caratteristiche ideali di una segmentazione sono: generazione di regioni omogenee, garanzia di un adeguata distinzione delle classi, generazione di oggetti le cui dimensioni sono adeguate con la scala della rappresentazione finale, universalità e applicabilità della procedura ad altre circostanze, efficienza in termini di tempi e di costi. La procedura per l'estrazione della linea di costa qui applicata si articola nelle seguenti fasi:

1. Inizializzazione: i parametri di segmentazione sono definiti basandosi sulle caratteristiche dell'area di costa in esame: in questo caso siamo in presenza di una bassa costa sabbiosa.
2. Individuazione della linea di costa: i parametri di input sono definiti sulla base della precedente fase di segmentazione. La procedura viene verificata attraverso due approcci differenti:
 - Individuazione della linea di passaggio terra/mare attraverso una classificazione multirisoluzione delle immagini;
 - Selezione diretta degli oggetti ottenuti applicando dei criteri descrittivi di forma.
3. Estrazione della linea di costa: in questa fase viene effettuata la definitiva selezione e pulizia dell'oggetto "linea di costa" e i risultati sono esportati in formato vettoriale.

Per l'area in studio sono state verificati differenti livelli di segmentazione per valutare la soluzione ottimale. La zona di transizione mare/terra è caratterizzata da oggetti paralleli di forma allungata. In base a ripetuti tentativi si è osservato che un valore di 30 per lo *scale parameter* è appropriato utilizzando l'area di passaggio terra/mare come *acid test* (Fig. 2).

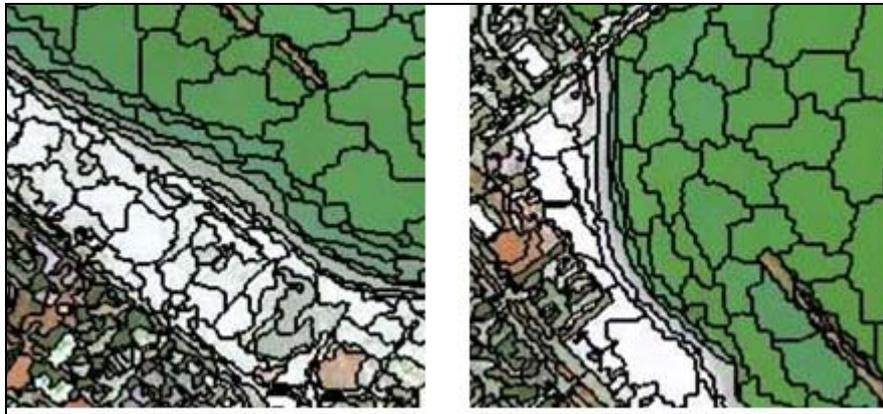


Figura 2 – Patterns di segmentazione

Una volta definiti i parametri di segmentazione, evitando sopra o sotto segmentazioni, la procedura di individuazione della linea di costa viene verificata utilizzando due metodi. Una buona classificazione dell'immagine si ottiene quando le classi sono inequivocabilmente definite e separate le une dalle altre con una minima possibilità di errore. Una classe può essere definita intrinsecamente (ad esempio: oggetti che ricadono in un determinato intervallo spettrale e con determinate caratteristiche geometriche), secondo criteri logici (ad esempio: la classe "spiaggia" come tutti gli oggetti adiacenti alla classe "mare"), o combinando le due definizioni. Definire una classe troppo strettamente può far perdere di validità al metodo; per questa ragione, si è preferito lasciare una parte di condizioni logiche per garantire un processo di estrazione generalizzato.

Una rapida analisi dei risultati della segmentazione suggeriscono l'utilizzazione di metodi di classificazione in base alle caratteristiche della forma. Il criterio su cui si basa l'algoritmo proposto è semplice: per identificare gli elementi si considera il rapporto lunghezza/larghezza dell'oggetto stesso. Differenti *range* di valori sono stati definiti creando delle sotto-classi che raffinano successivamente il processo di selezione. Dapprima si selezionano oggetti aventi un rapporto lunghezza /larghezza $> 4,5$, successivamente, da questa classe, gli oggetti che hanno un valore lunghezza /larghezza $> 6,5$ ed infine si estraggono quelli con valore lunghezza /larghezza $> 8,5$. Questo flusso di processamento causa la progressiva diminuzione degli oggetti candidati, escludendo gran parte degli errori di sovrastima ma anche causando visibili errori di omissione. La fase successiva permette di rimediare agli errori di omissione attraverso una funzione condizionale (if), che *promuove* gli oggetti appartenenti ad un livello gerarchico più elevato. Il modello descritto è stato facilmente implementato in *Definiens Professional*. Da un primo confronto con l'immagine Quickbird la linea di costa definita seguendo questo metodo sembra abbastanza accurata. Il problema principale è legato al fatto che aree

allungate non descrivono solamente zone di costa ma anche altre caratteristiche quali strade, fiumi etc. Benchè ulteriori approfondimenti sono necessari per ottenere un algoritmo più efficiente, è evidente che non è facile escludere tali elementi dai risultati della classificazione finale. I metodi di classificazioni delle immagini basati sulle caratteristiche spettrali sembrano essere la migliore e più efficiente soluzione e, questo tipo di procedure in Definiens, possono essere considerate come procedure standard. Benchè la linea di costa sia l'unica *feature* di interesse, una classificazione *supervised* è stata effettuata sull'intera immagine, dopo un'attenta selezione dei *training sets* e la determinazione di opportune caratteristiche spaziali degli oggetti. Un algoritmo *Nearest neighbour* standard porta come risultato le seguenti classi: acqua limpida, acqua torbida, linea di costa, sabbia, zona edificata, suolo spoglio. Una campagna di controllo a terra non è stata eseguita ma il confronto con l'immagine Quickbird mostra un soddisfacente accordo per quello che riguarda la linea di costa. E' possibile a questo punto estrarre la linea di costa individuata poligonizzando ed unendo gli oggetti classificati e successivamente creando una polilinea mediante le funzioni di scheletrizzazione (la funzione di scheletrizzazione implementata all'interno di Definiens si basa sulla triangolazione di Delaunay dei poligoni). Tutte le immagini ortorettificate disponibili insieme con le linee di costa generate, sono state visualizzate in ambiente GIS (Fig. 3) Il passo successivo è classificare ogni vettore per indicare il tipo di caratteristica della costa che si vuole rappresentare. Nel nostro caso, i tratti di costa naturali da quelli modificati dall'uomo sono facilmente riconoscibili. All'interno dei tratti di costa naturali nella nostra area, sono presenti soltanto basse coste sabbiose. L'accuratezza dei risultati va valutata in funzione di quella delle immagini originali ortorettificate: per varie cause già esposte in precedenti comunicazioni riteniamo che l'accuratezza di tali ortofoto rispetto ai checkpoint sia contenuta entro i due metri, ipotizzando una distribuzione normale dell'accuratezza geometrica, la distanza tra i pixel ed i check point dovrebbe essere generalmente inferiore a 2.44 metri. La precisione semantica della classificazione delle caratteristiche della linea di costa digitalizzate, definisce la percentuale degli oggetti vettorializzati, riconosciuti ed identificati. Questi termini sono definiti come segue:

- Individuati: oggetti elementari della linea di costa che sono virtualmente riconoscibili sulla foto originale mediante classica fotointerpretazione.
- Vettorializzati: oggetti elementari della linea di costa che sono stati individuati come *feature* della costa
- Riconosciuti: oggetti elementari della linea di costa che sono stati vettorializzati e caratterizzati ad un primo livello tematico (costa naturale, costa modificata dall'uomo, acqua torbida etc.)
- Identificati: oggetti elementari della linea di costa che sono stati vettorializzati, riconosciuti e caratterizzati ad un secondo livello tematico (ad esempio, all'interno della costa naturale: spiagge, scogliere etc.)

Rapporto	Restituzione della linea di costa
Oggetti riconosciuti oggetti individuati	97%
Oggetti identificati vs. detected objects	80%

Tabella 1-Precisioni semantiche

C'è da notare a questo punto che anche con una rigorosa ortorettificazione delle immagini Quickbird, c'è ancora una certa ambiguità nell'esatta posizione della linea di costa. Come già ricordato, l'ora di osservazione, in funzione dell'effetto di marea, è un'ulteriore causa di indeterminazione sull'individuazione della linea di costa.

Risultati

I risultati ottenuti debbono essere considerati preeliminari, in quanto le immagini dovrebbero essere

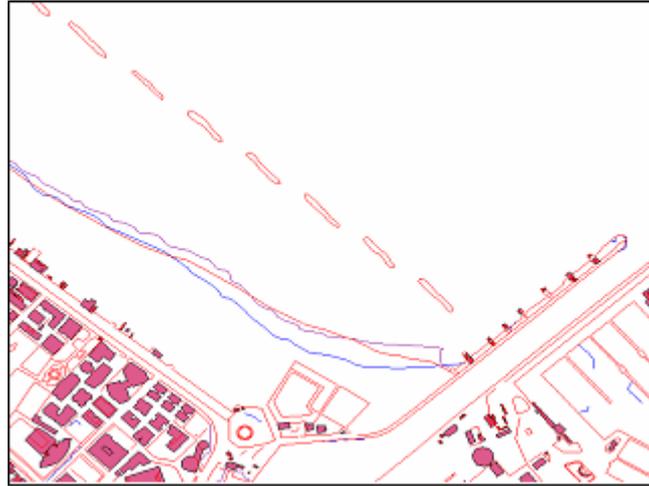


Figura 3 – Dettaglio del confronto delle linee di costa: in rosso la linea ricavata dalla cartografia regionale (2001), in blu la linea estratta dall'immagine del 2006 ed in violetto quella estratta dall'immagine del 2004.

corrette rispetto all'effetto di marea, e la cartografia mostra la linea di costa nell'istante in cui la presa aerea è stata effettuata. Ciò nonostante è possibile illustrare le trasformazioni mostrando le differenti linee di costa. Una prima analisi dei risultati ottenuti mostra risultati discordanti, fra l'altro sembra che ci sia una marcata differenza tra la zona a nord ed a sud del molo di Pescara. Dal confronto delle immagini 2004 e 2006 sopra un'area di costa di 15.5 km, il minimo ed il massimo valore di differenza sono rispettivamente -19.8 e +21.5 metri (valore positivo indica accrescimento).

Conclusioni

L'ortorettificazione di immagini multispettrali può essere accuratamente eseguita attraverso la preventiva collimazione dei punti sulle corrispondenti immagini pancromatiche. Le immagini ad altissima risoluzione (VHR) come Quickbird danno eccellenti risultati nella mappatura delle linee di costa anche in zone particolarmente complesse come le aree portuali con un elevato livello di accuratezza. L'approccio *object oriented* aiuta a individuare facilmente e rapidamente le linee di costa in zone caratterizzate da coste basse e sabbiose. La classificazione basata sui valori spettrali mostra risultati migliori in termini di costi e di efficienza, se comparata con la classificazione basata sulla forma degli elementi, benché ulteriori indagini sono necessarie per definire univocamente la *routine* di estrazione. I risultati ottenuti non possono essere correttamente stimati in quanto le correzioni dovute all'effetto di marea non sono a tutt'ora disponibili; dati ancillari climatologici e batimetrici sono quindi necessari per sviluppare il modello in maniera più accurata. Comunque l'obiettivo di mappare zone costiere con le immagini ad alta risoluzione può essere efficientemente implementato in termini produttivi, una volta messo a punto uno specifico modello.

Ringraziamenti

Si ringraziano sentitamente l'ing. Carlo Visca ed il geom. Franco Macedonio del Servizio Opere Marittime e Qualità delle Acque Marine della Regione Abruzzo per aver reso disponibili le immagini ortorettificate.

Bibliografia

- Baatz M., Schäpe A. (2000), "Multiresolution segmentation: An optimization approach for high quality multi-scale image segmentation", *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII* (J. Strobl and T. Blaschke, editors), Wichmann, Heidelberg, pp. 12–23.
- Ketting R.L., Landgrebe D.A. (1976), "Classification of multispectral image data by extraction and classification of homogeneous objects", *IEEE Transactions on Geoscience Electronics*, GE-14(1): 19–26.