

VALUTAZIONE DELL'ACCURATEZZA NELL'ESTRAZIONE DELLA LINEA DI RIVA SU IMMAGINI MULTISPETTRALI AD ALTA RISOLUZIONE

Niccolò IANDELLI (*), Enzo PRANZINI (*)

(*) Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Firenze, Borgo Albizi, 28 - 50122 Firenze

Riassunto

L'utilizzazione delle immagini rilevate da satellite per il monitoraggio dell'erosione costiera non ha portato a risultati apprezzabili in quanto, nella gran parte dei casi, il tasso di spostamento medio annuo della linea di riva risultava inferiore alla risoluzione geometrica dei sensori. Dal momento in cui si sono rese disponibili immagini ad alta risoluzione si sono moltiplicate le applicazioni del telerilevamento al monitoraggio dell'erosione costiera, ma l'accuratezza dei dati ottenuti non è ritenuta ancora tale da consentire l'abbandono dei tradizionali metodi di rilievo. Il presente lavoro valuta se un ulteriore incremento della risoluzione delle immagini prodotte dai sensori che lavorano nell'intervallo di lunghezze d'onda Visibile – VNIR (*Very Near InfraRed*) possa o meno portare ad una più accurata analisi dei processi erosivi. A tal fine sono state utilizzate immagini Ikonos e C.A.S.I. Le linee d'acqua estratte da tali immagini sono state confrontate con quella acquisita sul terreno con un GPS in modalità RTK e con quelle tracciate da 6 fotointerpreti su ortofoto digitali da bassa quota. L'estrazione automatica o semi-automatica della linea di riva da immagini telerilevate, qualunque sia la loro risoluzione, non consente di superare una soglia di accuratezza di un paio di metri. L'errore del posizionamento è anche funzione della pendenza della nearshore, cosa che risulta evidente dai risultati della fotointerpretazione.

Abstract

Remote sensing has traditionally given limited results in beach erosion monitoring since, in most cases, mid-term displacement rates are lower than the resolution of satellite images. High resolution images have recently created new perspectives in remote sensing for beach erosion monitoring scopes, but the accuracy of results is not sufficient to allow traditional methods of topographic surveying to be fully replaced. In this paper we analyse if a further increase in the geometric resolution of visible and very near infrared sensors can improve the assessment of erosion processes. Ikonos and 1-meter-resolution CASI images, the latter acquired in eight bands within the 447-758 nm range, were processed in order to retrieve the water line position. This was compared to both a GPS-RTK water line acquired at the time of the satellite overfly, and to lines drawn by photo-interpretors over high resolution airborne photographs also taken at the same time. Automatic or semi-automatic shoreline extraction from remotely sensed images, regardless of their resolution, cannot overcome the two-meter accuracy threshold. Discrepancy is larger where nearshore slope is limited; the same problem affects traditional interpretation of airborne photographs.

Introduzione

La determinazione della posizione della linea di riva costituisce un passo fondamentale nel processo di monitoraggio dell'erosione costiera (Pranzini e Wetzel, 2008). In questo ambito l'utilizzazione delle immagini rilevate da satellite non ha portato a risultati apprezzabili, in quanto, nella gran parte dei casi, il tasso di spostamento medio annuo della linea di riva risultava inferiore alla risoluzione geometrica dei sensori. Dal momento in cui si sono rese disponibili immagini ad alta risoluzione si

sono moltiplicate le applicazioni del telerilevamento al monitoraggio dell'erosione costiera, ma l'accuratezza dei dati ottenuti non è ritenuta ancora tale da consentire l'abbandono dei tradizionali metodi di rilievo, se non dove i tassi erosivi sono elevati (Carli et al., 2008).

E' comunque opportuno sottolineare che l'elemento morfologico che è possibile estrarre da immagini rilevate da aereo o da satellite è la linea d'acqua istantanea, che solo occasionalmente coincide con la linea di riva, intesa come l'isoipsa zero. Se è noto il valore della marea astronomica e barica e quello della pendenza della battigia, è possibile traslare la linea d'acqua per ottenere la linea di riva. Mentre il valore della marea astronomica e barica può essere ottenuto da mareografi o calcolato da parametri astronomici e barici, non è possibile conoscere la pendenza della battigia con l'accuratezza necessaria per una corretta traslazione senza effettuare un rilievo a terra contemporaneo all'acquisizione del dato telerilevato, cosa che rende superfluo il ricorso a dati aerei o satellitari.

Questi problemi sono indipendenti dal tipo di immagine utilizzata e dalla procedura adottata per l'identificazione del confine acqua-non acqua, tanto che in questo lavoro ci dedicheremo esclusivamente alla determinazione della posizione della linea d'acqua istantanea, rimandando il lettore ad una pubblicazione precedente (Iandelli e Pranzini, 2008) per eventuali approfondimenti su questa tematica.



Area di studio: la spiaggia del Gombo

L'area di studio corrisponde ad un tratto di circa 600 m del litorale posto a nord della foce del Fiume Arno e difeso da 5 scogliere parallele (Fig. 1). Il lobo settentrionale del delta dell'Arno è in erosione fin dalla seconda metà dell'800, con un arretramento della linea di riva che, fra il 1881 e il 2001, ha raggiunto i 1300 m (Pranzini, 2008).

La spiaggia antistante la Tenuta Presidenziale del Gombo fu difesa, fra il 1962 e il 1965, con la costruzione di cinque scogliere parallele, 4 delle quali, le più meridionali, sono state allungate e rialzate nel 1985. La risposta della spiaggia a questi interventi è stata studiata recentemente da Bowman e Pranzini (2003), che hanno messo in evidenza come queste modifiche abbiano aumentato l'efficienza delle scogliere, che si sono collegate a terra con 4 tomboli, incentivando però l'erosione del tratto di costa posto a nord, ossia sottoflutto. Ciò ha innescato un processo di *up-drift erosion* che determina una progressiva demolizione dei tomboli, tanto che oggi solo quello più meridionale arriva a congiungersi con la scogliera.

Figura 1 - Foto aerea dell'area di indagine con i transetti di controllo (la quinta scogliera è posta a nord della zona rappresentata).

La scelta di quest'area per il nostro studio risiede nella sua particolarità morfologica, generata dalla presenza delle scogliere, che permette di avere una forte variabilità della pendenza della battigia e garantisce frequenti condizioni di mare calmo.

Materiali e metodi

La spiaggia del Gombo è stata oggetto di un rilievo topografico e batimetrico effettuato in contemporanea con l'acquisizione dei dati telerilevati al fine di valutare l'accuratezza delle diverse tecniche di monitoraggio dell'erosione costiera (Beachmed, 2005). Per l'analisi della posizione della linea d'acqua istantanea, ossia quella in cui, in un determinato momento, terra, acqua ed atmosfera si toccano, si è fatto riferimento al rilievo effettuato con GPS in modalità RTK al momento del sorvolo della zona da parte del satellite Ikonos. La pendenza della battigia è stata tratta dal rilievo batimetrico effettuato due giorni prima, e considerato ancora valido in quanto il mare si era mantenuto perfettamente calmo. In contemporanea con il rilievo batimetrico erano state effettuate acquisizioni da aereo (Partenavia P68) con uno scanner multispettrale CASI (*Compact Airborne Spectrographic Imager*) ed una camera metrica digitale (Rollei 6008-DB44) con risoluzione a terra pari a 0.2 m. Il volo era stato effettuato dalla Soc. Aquater su incarico del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Firenze in occasione delle ricerche condotte all'interno del Progetto Beachmed.

Le immagini CASI sono state rilevate con configurazione spettrale su 8 bande nel range 447 - 758 nm, la cui posizione rispetto a quella delle bande Ikonos è mostrata in Figura 2. In funzione della quota di volo e delle caratteristiche geometriche del sensore le dimensioni a terra del pixel risultano pari 1 m x 1 m.

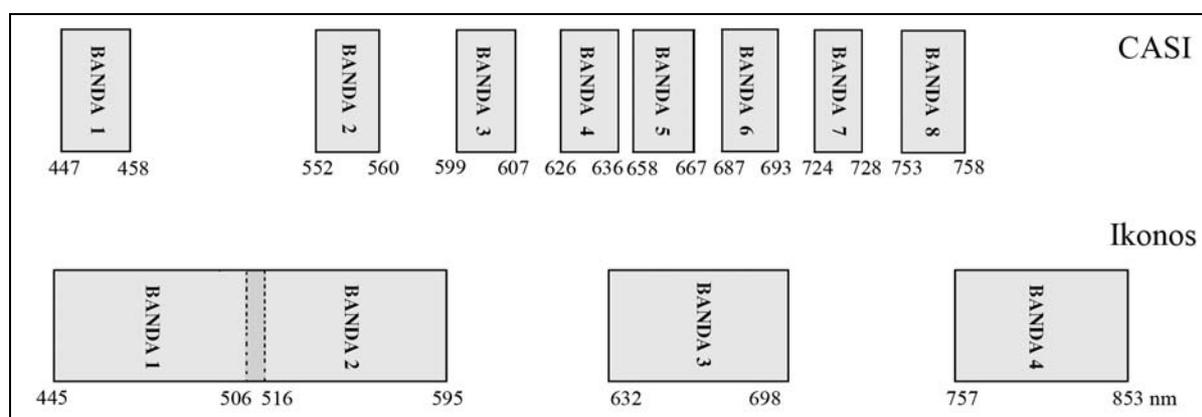


Figura 2 - La distribuzione delle bande di acquisizione del CASI confrontata con quella di Ikonos.

Elaborazione delle immagini

Le varie immagini sono state elaborate con il software ENVI ver. 4.4 e integrate per le successive analisi in ambiente GIS (ESRI ArcGIS ver. 9.1).

Le immagini multispettrali Ikonos e CASI sono state elaborate al fine di ottenere la migliore discriminazione tra *pixel* di terra e *pixel* di mare, per poi estrarre da ciascuna di esse la linea d'acqua.

Per i dati Ikonos la prima elaborazione è consistita in un semplice *slicing* di Banda 4 (VNIR), sfruttando il contrasto spettrale fra acqua e terra. Si è quindi prodotto l'NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), che sfrutta il contrasto spettrale tra Rosso e Infrarosso Vicino della vegetazione, ma che è stato utilizzato anche per mappare specchi d'acqua (Hirose et al., 2005) e che recentemente ha dimostrato di consentire una buona identificazione della linea di riva (La Monica et al., 2008). È stata quindi prodotta l'immagine NDWI (*Normalized Difference Water Index*; McFeeters, 1996), simile all'NDVI, ma con la banda del Verde al posto della banda del Rosso, e che va ad assegnare all'acqua valori positivi, mentre il suolo e la vegetazione vengono ad

assumere valori negativi. Sempre con i dati Ikonos sono state prodotte immagini del Rapporto fra bande, ed in particolare Banda 2 / Banda 4, che in studi precedenti aveva dimostrato di consentire una buona discriminazione fra terra ed acqua (Iandelli e Pranzini, 2008).

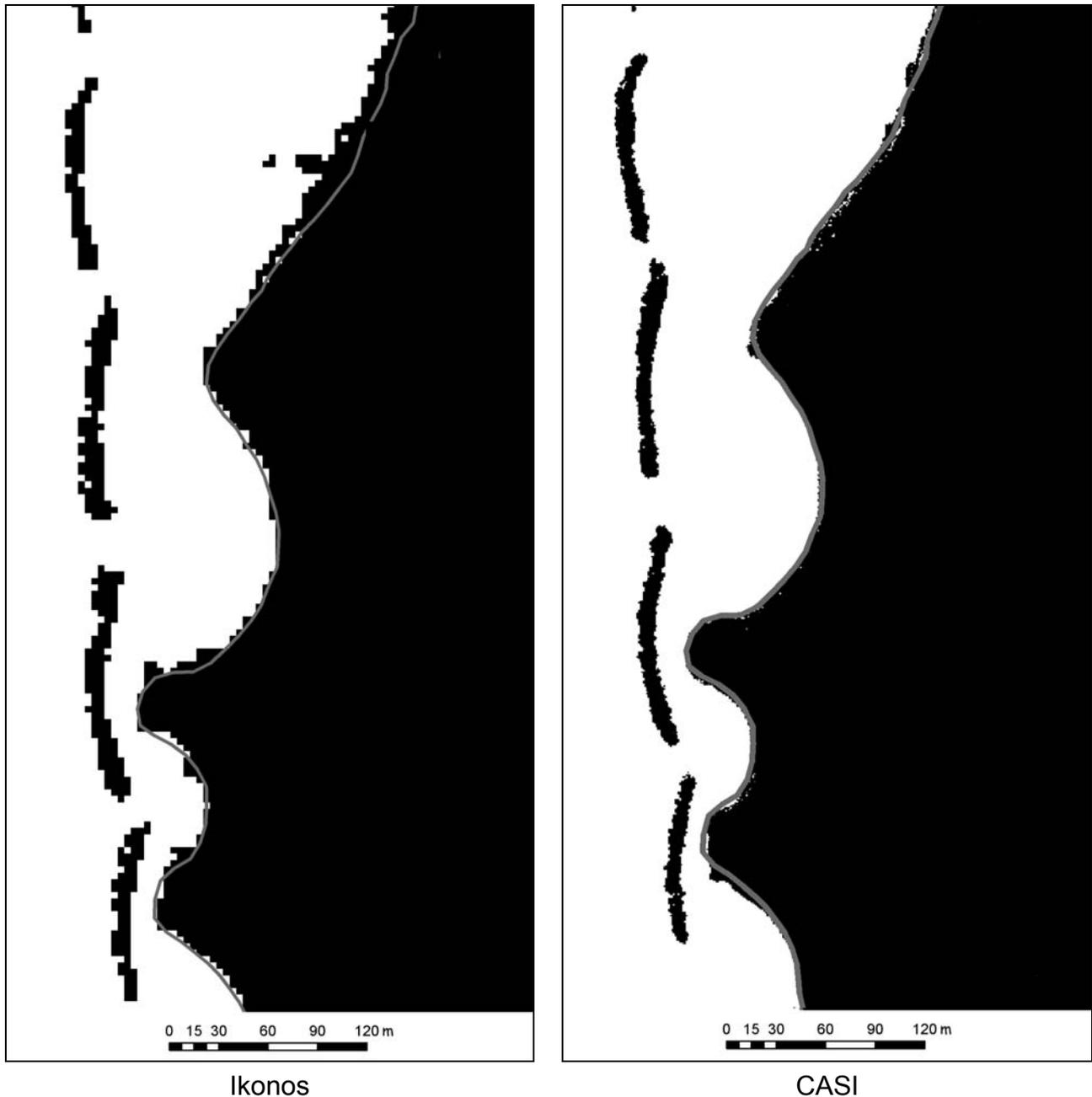


Figura 3 - Immagine Ikonos (B2 / B4) e CASI (B2 / B8) con *slicing* in due livelli e posizione della linea d'acqua GSP.

Le stesse elaborazioni sono state effettuate usando quelle bande del sensore CASI che hanno un *range* spettrale simile a quello delle bande del sensore Ikonos: *slicing* di Banda 8 (NIR), Rapporto B2 / B8; NDVI (con Banda 5 e Banda 8); NDWI (con Banda 2 e Banda 8).

Parallelamente alcuni operatori esperti di morfologia costiera, lavorando in modo indipendente l'uno dall'altro, hanno tracciato a monitor la linea d'acqua sulle ortofoto.

Le linee d'acqua estratte da tutte le elaborazioni sono state confrontate con quella rilevata con GPS in modalità RTK; è stata quindi misurata la distanza fra di esse lungo 15 profili per i quali è nota la pendenza della battigia.

I valori dello scostamento medio fra la linea “vera” e quelle estratte dalle immagini Ikonos sono riportati in Tabella 1 e mostrano come il posizionamento migliore, con un errore medio di 2,1 m, si sia ottenuto con il rapporto tra la Banda 2 e la Banda 4 (Fig. 3), come già emerso negli studi precedenti effettuati su di un’area campione del Golfo di Follonica (Iandelli e Pranzini, 2008). In entrambi gli studi lo scostamento arriva ad essere quasi pari alla metà della risoluzione del sensore, risultato oggettivamente confortante.

Tabella 1 - Distanza media in valore assoluto fra la linea d’acqua rilevata con GPS in modalità RTK e quella estratta dalle diverse elaborazioni dei dati Ikonos.

B4	B2/B4	NDVI	NDWI
4,0 m	2,1 m	3,6 m	3,4 m

Utilizzando le immagini rilevate dal sensore CASI, che, ricordiamo, ha prodotto immagini con dimensione del pixel al suolo di 1 m, il posizionamento della linea d’acqua avviene con uno scostamento non molto diverso in valore assoluto, ma dalle 2 alle 4 volte maggiore della risoluzione geometrica di questo sensore (Tab. 2). Anche in questo caso è il rapporto Verde / Infrarosso (Banda 2 / Banda 8) (Fig. 3) a raggiungere la performance migliore (2,1 m), seguito da vicino dal semplice *slicing* di B8, che ha un errore medio di 2,7 m.

Tabella 2 - Distanza media in valore assoluto fra la linea d’acqua rilevata con GPS in modalità RTK e quella estratta dalle diverse elaborazioni dei dati CASI.

B8	B2/B8	NDVI	NDWI
2,7 m	2,1 m	4,0 m	2,7 m

Per valutare le effettive difficoltà che si hanno nella determinazione della posizione della linea d’acqua sulle immagini, indipendentemente dalla loro risoluzione, si è proceduto con il test dei 6 fotointerpreti (Fig. 5). Questi hanno potuto utilizzare un’immagine a colori reali e con una risoluzione di 20 cm, non beneficiando però dell’informazione che si ha nell’Infrarosso vicino. Nell’operazione di identificazione della linea di contatto fra acqua e sabbia bagnata hanno potuto fare ricorso all’analisi della forma, escludendo andamenti della linea d’acqua non coerenti con questo sistema costiero, e della tessitura, con la battigia liscia, data dalla sabbia fine, ed il mare con minuscole increspature; inoltre, la linea bianca di frangimento delle pur piccole onde suggeriva di posizionare la linea cercata verso terra.

Nonostante ciò, i risultati appaiono decisamente scadenti, anche se decisamente migliori di quelli ottenuti con il telerilevamento. In Tabella 3 vengono riportati gli scostamenti fra la linea d’acqua fotointerpretata e quella GPS per ciascun operatore nelle 15 sezioni di controllo. Nella stessa Tabella vengono mostrati anche i valori della deviazioni standard per ciascun transetto (che quantifica le differenze di interpretazione dei vari operatori) e quelli dell’errore medio e della deviazione standard per ciascun operatore (che rappresentano una specie di pagella del loro operato).

Le posizioni medie estreme tracciate dagli operatori collocano la linea d’acqua 1.27 m a terra rispetto alla linea GPS e 1.08 m a mare di essa. Letta in termini relativi si tratta di una accuratezza pari a 5 o 6 pixel: è evidente che non vi è nessuna relazione con la risoluzione dell’immagine, e ciò dimostra che vi sono limiti, forse invalicabili, ad una determinazione da remoto della linea d’acqua. Analizzando i valori della distanza media delle linee rispetto da quella GPS in corrispondenza dei transetti (in valore assoluto), si nota come questi siano maggiori in quei tratti di litorale in cui la pendenza della battigia è minore (Fig. 6a). Una tale relazione fra lo scostamento della linea telerilevata e quella GPS era stato già osservato nell’area test del Golfo di Follonica (Iandelli e Pranzini, 2008), ma rilevarla nei valori della deviazione standard (Fig. 6b) dimostra le oggettive difficoltà che hanno trovato i vari fotointerpreti nel posizionare la linea d’acqua quando la pendenza

della battigia è debole. Ciò avviene nei tratti di litorale più riparati dalle scogliere, mentre in corrispondenza dei varchi la pendenza è maggiore tanto che le 6 linee fotointerpretate vanno quasi a coincidere (Fig. 5).

Tabella 3 - Distanza (in metri) fra la linea di riva tracciata sulle ortofoto digitali con risoluzione 0.2 m e quella rilevata con GPS in modalità RTK. Valori negativi indicano che la linea d'acqua tracciata dall'operatore è posizionata verso terra rispetto a quella GPS.

Numero transetto	Pendenza (%)	Operatore						Dev. st. Transetto
		1	2	3	4	5	6	
1	6,66	1,93	2,00	2,43	-1,29	1,60	-0,37	1,51
2	9,08	0,93	0,73	-3,19	-1,76	1,34	-0,62	1,77
3	11,53	0,99	0,89	1,21	-2,73	1,08	-0,73	1,57
4	14,74	0,01	0,17	-1,40	0,12	0,07	-0,93	0,67
5	7,75	1,31	1,33	-0,86	1,24	1,65	0,08	0,97
6	10,55	0,12	0,13	-1,69	0,07	-1,77	0,07	0,94
7	7,53	-0,04	-0,17	-1,51	-0,10	0,23	-1,45	0,77
8	8,22	0,52	0,79	-1,45	0,22	0,96	-0,41	0,90
9	6,82	-1,28	-2,78	-3,16	-2,36	-2,36	-3,44	0,76
10	10,27	1,13	2,90	0,58	3,41	2,73	1,19	1,16
11	14,02	1,10	1,15	-0,63	1,46	1,57	-0,09	0,90
12	2,67	2,93	2,84	-3,40	2,93	3,19	0,55	2,59
13	4,16	1,32	0,18	0,72	-1,71	0,53	-1,31	1,20
14	5,47	0,07	0,07	-5,23	0,01	-0,06	-4,83	2,61
15	3,99	5,23	5,15	-1,49	5,03	5,23	2,76	2,70
Media Op.		1,08	1,02	-1,3	0,34	1,07	-0,64	
Dev.st Op.		1,50	1,78	1,99	2,41	1,86	1,78	



Figura 5 - Linee d'acqua tracciate da 6 fotointerpreti sulle ortofoto con risoluzione di 20 cm (particolare del tratto studiato).

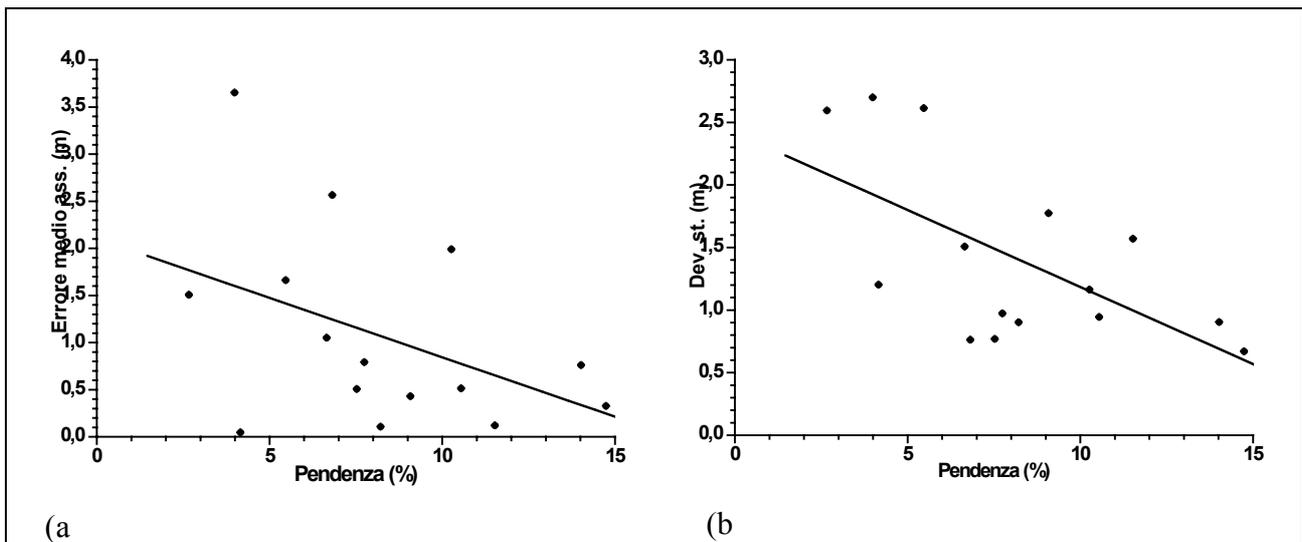


Figura 5 - Distanza media (a) e Deviazione standard dei valori della distanza (b) fra le linee d'acqua tracciate dai 6 fotointerpreti e quella GPS in corrispondenza dei transetti in funzione della pendenza della battigia.

Conclusioni

Dalla comparazione delle misure effettuate è risultato evidente come l'incremento della risoluzione geometrica dei sensori non provochi automaticamente un incremento sostanziale della precisione con cui può essere identificata la posizione della linea d'acqua. Il risultato ottenuto dalle migliori elaborazioni (con un errore medio di circa 2 m) sembra un limite "fisico" di difficile superamento con immagini rilevate nelle bande del visibile e dell'infrarosso molto vicino. Il futuro del telerilevamento, nel settore della dinamica costiera, sembra pertanto essere legato alla disponibilità di sensori che operino su lunghezze d'onda leggermente maggiori, dove la riflettività della sabbia bagnata è significativamente diversa da quella della sabbia coperta da un velo d'acqua (Carli et al, 2008). La difficoltà oggettiva di identificazione della linea è dimostrata dalla comparazione fra la linea GPS e quelle tracciate dai vari fotointerpreti. Per questi, risultati migliori si potrebbero ottenere con un maggiore training basato sul confronto dei propri risultati con la linea "vera"; ciò porterebbe forse all'eliminazione di alcuni errori grossolani. Lo sviluppo di simili procedure in campo informatico e l'inserimento di alcuni vincoli, ad esempio quelli imposti alla linea di frangimento, potrebbero forse incrementare anche l'accuratezza del dato estratto da immagini telerilevate.

Rimane il problema che il contrasto spettrale fra sabbia asciutta e sabbia bagnata è maggiore di quello esistente fra quest'ultima e l'acqua, e dovremmo attenderci che i sistemi automatici tendano a posizionare la linea d'acqua più verso terra che verso mare, cosa non confermata dai nostri test. E' probabile che la linea di frangimento, bianca in tutte le bande, contribuisca a creare un confine fra terra e mare spostato verso il largo.

Al momento dobbiamo accontentarci di una linea d'acqua posizionata con un'accuratezza massima di un paio di metri, dalla quale partire con ulteriori approssimazioni per ottenere la linea di riva. E' sufficiente per il monitoraggio dell'erosione costiera? Se da un lato il tasso di erosione della gran parte delle spiagge italiane è inferiore a 2 m/anno, dall'altro la variabilità giornaliera e stagionale della linea di riva è di gran lunga maggiore (Bowman e Pranzini, 2008), tanto che sembra ridicolo cercare di "congelarla" con misure al millimetro, attribuendo così ad essa un significato che trascende quel "principio di indeterminazione" che sembra caratterizzarla. Sarà forse meglio avere più misure meno esatte, dalle quali estrarre una posizione media annua e una variabilità intrinseca ad ogni sistema costiero. L'insieme dei due valori ci porterà ad identificare il rischio per erosione meglio di quanto non possano fare sporadiche misure estremamente precise. Se i dati telerilevati ci

consentono ciò, ad un prezzo più basso di quello delle tradizionali tecniche di rilievo, ben vengano. Il problema è che oggi i costi di una immagine ad alta risoluzione sono maggiori di quelli di un operatore che batte un equivalente tratto costiero.

Bibliografia

- Beachmed (2005), *Beachmed - 3° Quaderno tecnico, Fase C*, Regione Lazio, Roma. Pp. 278.
- Bowman D. e Pranzini E. (2003), "Reversed response within a segmented detached breakwater - the Gombo case, Tuscany coast, Italy", *Coastal Engineering*, 49: 263-274
- Bowman D., Pranzini E. (2008) - *Shoreline monitoring: review and recommendations*. In: Beach Erosion Monitoring, E. Pranzini & L. Wetzel Eds., BeachMed-e/OpTIMAL Project, Nuova Grafica Fiorentina, Firenze, pp 15-24.
- Carli S., Iandelli N., Pranzini E. e Salvatori R. (2008), "L'utilizzazione di immagini telerilevate ad alta risoluzione per lo studio dell'erosione costiera: estrazione della linea d'acqua e valutazione della sua accuratezza". *Studi costieri*, 14: 43-54.
- Hirose K., Soyji M., Hang H.T.M., Anh N.H., Triet T. Nam V.N. and Tran T.B. (2005), Satellite data application for mangrove management. *16th Workshop OMISAR*. pp. 7.1-7.4
- Iandelli N., Pranzini E. (2008), *Waterline extraction from Ikonos images addressed at beach erosion monitoring*. In: Beach Erosion Monitoring, a cura di E. Pranzini e L. Wetzel, BeachMed-e/OpTIMAL Project, Nuova Grafica Fiorentina, Firenze, pp 51-60.
- La Monica G.B., Petrocchi E., Salvatore M.C., Salvatori R., Casacchia R. (2008), *A new approach to detect shoreline from satellite images*. In: Beach Erosion Monitoring, a cura di E. Pranzini e L. Wetzel, BeachMed-e/OpTIMAL Project, Nuova Grafica Fiorentina, Firenze, pp 61-74.
- McFeeters S.K. (1996), "The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features.", *Int. J. Remote Sensing*, 17: 1425-1432
- Pranzini E. (2008), "L'intervento di stabilizzazione del litorale de Le Lame (Parco San Rossore Migliarino Massaciuccoli, Toscana)" *Studi Costieri*, 14: 29-42
- Pranzini E., Wetzel L. (2008), *Managing Mediterranean beaches: the need for quality and standardised data in beach monitoring at different scales*. In: Beach Erosion Monitoring, a cura di E. Pranzini e L. Wetzel, BeachMed-e/OpTIMAL Project, Nuova Grafica Fiorentina, Firenze, pp 9-11.
- Stumps R.P. e Holderied K. (2003), Determination of water depth with high-resolution satellite imagery over variable bottom types. *Limn. Oceanogr.*, 48: 547-556.
- Yates M.G., Jones A.R., McGrorty S e Gross-Custard J.D. (1993), The use of satellite imagery to determine the distribution of inter-tidal surface sediments of the Wash, England. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 36: 333-344.