

Il video monitoraggio per gli studi costieri

Renata Archetti, Eleonora Torricelli

Introduzione

Il monitoraggio dell'evoluzione delle spiagge riveste un ruolo fondamentale in ogni politica territoriale in cui sia coinvolta la fascia litoranea.

Molti processi costieri lasciano segni visibili sulla superficie terrestre, che possono essere monitorati da lontano con un sistema automatizzato di riprese video.

Negli ultimi anni l'avvento di nuove tecnologie ha profondamente cambiato le metodologie che riguardano il monitoraggio ambientale. In particolare il monitoraggio della fascia costiera è stato interessato da tecniche quali il telerilevamento, il GPS (Global Position System) ed il video monitoraggio (Holman *et al*, 1993). In particolare, il monitoraggio di zone costiere usando apparati video è diventato recentemente abbastanza frequente con il diminuire dei prezzi dei sistemi di video digitalizzazione e dei computer, anche di notevole potenza, per la gestione delle immagini (Ferretti *et al*, 2002).

Questo tipo di monitoraggio, in confronto alle tecniche tradizionali, risulta essere più economico, in quanto sono minimi i costi di manutenzione e manodopera, e può acquisire un ampio insieme di dati a lungo termine con alta risoluzione spaziale e temporale anche in condizioni di mare ostile. Inoltre il suo utilizzo più generale permette di controllare le variazioni delle linee di costa (Plant & Holman, 1997), l'andamento dei sedimenti in sospensione, il ripascimento di spiagge (<http://www.videomonitoring.com/atm>), il traffico marittimo, l'uso delle spiagge etc. Il video monitoraggio quindi si rivela un'ottima alternativa ai più costosi sistemi di telerilevamento per lo studio della fascia costiera in considerazione del fatto che tale sistema presenta un'accuratezza dello stesso ordine di grandezza del monitoraggio con immagini satellitari.

La chiave di ogni tecnica di video monitoraggio è l'interpretazione quantitativa dei dati video acquisiti. L'informazione quantitativa può essere estratta da un'immagine se questa costituisce una rappresentazione in scala reale in cui collocare l'oggetto, o gli oggetti, in esame (Archetti *et al*, 2004).

La motivazione di una ricerca orientata e spesso associata ad applicazioni pratiche include: l'identificazione e la quantificazione dell'erosione della linea di costa,

l'assestamento e la performance di un'opera di difesa costiera che rappresentano gli input base dell'ingegneria costiera.

Il principale strumento che consente di valutare i fenomeni di cui si è accennato, per scopi legati alla gestione della spiaggia, sia da parte dei privati che da parte degli enti pubblici locali, e per scopi legati alla ricerca scientifica, è senza dubbio il continuo e regolare monitoraggio della costa e dei fenomeni stessi.

Tra i diversi gli obiettivi del video monitoraggio si possono ricordare:

- Studio dell'evoluzione costiera a medio/lungo termine per l'impostazione di piani di sviluppo e di gestione;
- Analisi del bilancio sedimentario del litorale per lo studio dei rapporti fra input fluviale e depressione *cross-shore* e *long-shore* dei materiali;
- Studio dell'evoluzione costiera a breve termine per la valutazione dell'impatto delle opere marittime e per la valutazione dell'efficacia degli interventi;
- Determinazione dell'estensione e della qualità dell'arenile al fine di ottimizzarne gli usi.

Le principali indagini che possono essere effettuate sono rivolte alla definizione ed alla evoluzione dei parametri morfologici che caratterizzano il litorale. Le informazioni che possono essere ottenute tramite il video monitoraggio e le sue potenzialità sono in continuo sviluppo.

La tecnica dell'acquisizione remota di immagini è stata ampiamente utilizzata per la zona costiera con differenti obiettivi, che vanno dallo studio dell'uso del territorio, ad aspetti ambientali fino all'elaborazione di mappe topo-batimetriche che si sono maggiormente sviluppate mediante tecniche radar, video con utilizzo d'immagini aeree e satellitari (Aarninkhof, 2003).

Un ampio programma di ricerca svolto dall'Università di Bologna iniziò con il progetto internazionale *CoastView*, finanziato nel V programma quadro dell'UE terminato nell'aprile 2005, allo scopo di sperimentare un sistema di monitoraggio dei siti costieri attraverso tecniche video ([http:// www.thecoastviewproject.org](http://www.thecoastviewproject.org)).

La ricerca e lo sviluppo di un'acquisizione remota di immagini video, attraverso il sistema *Argus*, fu sperimentata per la prima volta dai ricercatori del CIL (*Coastal Imaging Lab*) negli anni '80, utilizzando una videocamera montata su un treppiede, allo scopo di studiare il *run-up* ondoso ed, in particolare, il periodo delle onde gravitazionali (onde di lungo periodo, 30 secondi), fenomeno comune in Oregon (Holman e Bowen, 1984). Inizialmente le videocamere utilizzate fornivano solo

immagini in bianco e nero e l'unica elaborazione, prodotta *off-line*, era l'immagine media (chiamata poi *time-exposure*). Successivamente vennero introdotti altri tipi di elaborazioni, sempre prodotti *off-line*, le immagini *variance* ed i *time-stack* (serie storiche dei pixel).

La prima stazione Argus fissa fu installata nel 1992 sulla costa dell'Oregon ad Agate Beach (Newport).

Numerosi siti di interesse scientifico sparsi nel mondo, vengono monitorati con un sistema di videomonitoraggio (<http://www.planetargus.com>). ARGUS costituisce il primo ed il riferimento tra tanti altri sistemi che sono stati sviluppati in seguito; segnaliamo il sistema Erdman sviluppato da Rusty Erdman (www.videomonitoring.com).

Le stazioni di video monitoraggio sono spesso costituite da alcune videocamere o fotocamere digitali puntate obliquamente lungo la costa, in grado di ricoprire un campo visivo fino a 180°, corrispondente ad un tratto di costa lungo da 3 a 6 chilometri, in funzione dell'altezza a cui le videocamere sono installate e della lunghezza focale delle lenti. Al sistema di videocamere è connesso un computer, alloggiato nei pressi della stazione, che ha il compito di gestire l'acquisizione delle immagini e restituirle poi in rete, in modo che queste siano poi immediatamente accessibili ai laboratori di analisi (<http://www.netcoast.nl/info/argus/argus.htm>, <http://coastal.er.usgs.gov/wfla/video/>).

Le riprese sono effettuate più volte durante le ore di luce di una giornata da telecamere fisse ed il sistema era stato programmato per elaborare diversi tipi di immagini prodotte *off-line*.

Le immagini

Le immagini vengono acquisite dalle video-fotocamere con dimensioni variabili a seconda della tipologia dello strumento, durante il periodo di luce di ogni giornata, ad intervalli di un'ora.

L'hardware è programmato per estrarre diversi tipi di immagini che consistono in fotogrammi istantanei tradizionali (*snapshot*), immagini statistiche (*time exposure*, *day timex* e *variance*) e serie storiche dell'intensità dei pixel (*time-stack*), di seguito illustrate. Sono in via di sperimentazione le riprese notturne acquisite mantenendo lunghi tempi di esposizione necessari ad impressionare il sensore. Questa tipologia d'immagine (*timex-notturna*) sarà utilizzata per eseguire solidi di spiaggia qualora

l'escursione mareale necessaria per eseguire la batimetria intertidale non sia nelle ore di luce di una giornata.

Immagini istantanee (*Snapshot*)

Le immagini *snapshot* (o *snap*) rappresentano le immagini più semplici, in quanto consistono in immagini istantanee della spiaggia. La *snap* documenta semplicemente l'attività del sistema spiaggia, ovvero ciò che accade al momento dall'acquisizione. È utile ad esempio per osservare i ripascimenti, le caratteristiche del campo d'onda, ma di per sé non è utile per ottenere informazioni di tipo quantitativo. Più immagini *snap* vengono utilizzate per elaborare altre tipologie di immagini come le *time-exposure* e le *day timex* (in assenza di immagini medie reali) e le immagini *variance*.

Immagini medie (*Time-exposure*)

L'immagine con maggiore potenzialità nel fornire informazioni di tipo morfologico ed idrodinamico è la *time-exposure* (o *timex*). Essa viene creata mediando l'intensità di ogni pixel di 600 *snap* prese alla frequenza di un'immagine al secondo per un periodo di 10 minuti. La videocamera acquisisce 600 immagini (1 Hz) e ne restituisce un'immagine media rimuovendo il rumore visivo cioè la variabilità a breve termine. Da questa immagine si possono identificare le posizioni di elementi chiave costieri come la posizione della linea di riva, la posizione delle barre sommerse e delle *rip current* (correnti di ritorno).

L'immagine *time-exposure* presenta bande d'alta intensità luminosa chiare che si formano in conseguenza al processo di media temporale che corrispondono alle zone in cui, preferenzialmente, le onde frangono, vale a dire sopra le barre e in prossimità della riva, ovvero con la diminuzione della profondità del fondale. Lippmann e Holmann (1989) hanno dimostrato che tali bande riflettono l'andamento della batimetria della spiaggia sommersa, sebbene la modellizzazione della posizione delle barre di frangimento, può presentare un considerevole *offset* (più di 30 metri) al variare del livello di marea e dell'altezza delle onde incidenti. Questa tendenza può, comunque, essere corretta in modo empirico (Van Enckevort e Ruessink, 2001) o con l'aiuto di una rete neurale (Kingston et al., 2003). Immagini *timex* raddrizzate permettono, così, di intraprendere un'analisi morfodinamica.

È in fase di sperimentazione l'acquisizione di immagini medie reali create usando un nuovo approccio. La media d'immagini sarà ottenuta usando un filtro neutro e un lungo tempo di esposizione. Con un filtro appropriato, un'esposizione di oltre 16 secondi può essere ripresa un'immagine che è realmente la media delle immagini in quel periodo (16 secondi appunto).

Il sistema metterà insieme una serie di queste immagini facendone poi ulteriormente la media, in pratica ad es. se ogni immagine rappresenta 16 secondi di media, in 10 minuti facendo ulteriormente la media di queste immagini avremmo un'immagine che rappresenta 160 secondi di media e così via (Conley *et al*, 2006).

Le immagini medie rettificate, in termini di coordinate reali, permettono di intraprendere un'analisi morfodinamica. Questo tipo d'analisi è stata utilizzata per quantificare la variabilità spaziale e temporale della morfologia delle barre sommerse a Duck, USA (Lippmann e Holman, 1990) e a Noordwijk, Olanda (Van Enckevort & Ruessink, 2003), per studiare il (ciclico) comportamento delle barre *longshore* (Wijnberg e Holman, 1997; Alexander, 2001) e delle barre in direzione normale alla linea di riva (Konicki e Holman, 2000), per monitorare la risposta morfologica di una baia costiera a una serie limitata di eventi di tempesta (Morris et al., 2001).

Questo tipo di immagine è un buon indicatore delle posizioni delle barre sommerse (Lippman e Holman, 1990), della linea di riva, di elementi caratteristici come per esempio le cuspidi (Holland e Holman, 1996) e delle *rip-current* e dei *rip channel* (Symonds et al., 1997; Ranasinghe et al., 1999, 2000).

Immagine *variance*

Le immagini *variance* sono immagini ottenute dall'elaborazione delle stesse serie di *snapshot* utilizzate per produrre le *timex*, ma in questo caso ad ogni pixel viene associata la varianza statistica delle intensità luminose che lo hanno caratterizzato nel corso di 10 minuti. Nell'equazione seguente x_i rappresenta ogni singola *snap*, μ la *timex* e N il numero totale di *snap*.

$$\sigma_i^2 = \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2 / N$$

Le immagini *variance* sono usate per definire meglio la posizione della linea di riva e la zona di frangenza, in quanto l'analisi della varianza aiuta a distinguere regioni che cambiano nel tempo da quelle "statiche" evidenziando le prime come aree luminose

e le seconde come aree scure. Perciò, questa tipologia d'immagine è utile per riconoscere a posizione della linea di riva, identificabile dalla separazione fra superficie luminosa e superficie buia e l'ampiezza della spiaggia. Queste immagini, pur avendo un alto potenziale, hanno avuto un minore utilizzo rispetto alle precedenti.

Le diverse tipologie d'immagini (Figura 1) hanno diverse potenzialità in funzione degli obiettivi preposti. Nella sono rappresentate le tre diverse tipologie d'immagini riprese a Lido di Dante dalla stessa telecamera nella stessa ora. Si può notare la differenza tra un'immagine istantanea (*snapshot*), una media (*time-exposure*) ed una relativa alla varianza (*variance*).



Figura 1: Immagini *Snapshot*, *Time exposure* e *Variance* a Lido di Dante.

Immagini *Day-timex*

Attraverso un processo di media, analogo a quello impiegato per la produzione delle immagini medie, applicato però all'intero intervallo di ore di luce di una giornata, si ottengono le immagini *day-timex*.

Queste costituiscono immagini rappresentative di un'intera giornata, ricavate dalla media (in termini di intensità dei pixel) delle *snapshot* acquisite a intervalli di un'ora per tutto il periodo di luce. Sono utili per rilevare la posizione delle barre e dei canali di *rip* e per identificare la posizione della linea di riva media giornaliera.

Immagine *Time-Stack*

Le immagini *time-stack* rappresentano una grande innovazione introdotta dal sistema Argus nello studio della zona costiera attraverso le informazioni derivanti dalle

intensità dei pixel. Oltre a dati video mediati nel tempo, i dati acquisiti possono essere destinati alla raccolta di serie temporali dell'intensità dei pixel. Queste immagini sono utilizzate in un'analisi che riguarda metodi per valutare e quantificare i processi idrodinamici risalendo alle caratteristiche del campo d'onda, alle velocità delle correnti e ai processi di *swash* (flusso e riflusso dell'onda sulla spiaggia).

Fissato, su un'immagine base, un vettore di pixel, in direzione *cross-shore* (perpendicolarmente a costa) o in direzione *long-shore* (parallelamente a costa), può essere estratta la serie storica della loro intensità luminosa in rapida successione nel tempo, detta *time-stack*. Si ottiene una riga di intensità ripetuta in un arco di tempo arbitrario, che può durare pochi secondi oppure alcuni anni.

Il concetto alla base di questo approccio è che ogni pixel viene considerato come se fosse uno strumento di monitoraggio posizionato *in situ* in quel punto. Così mentre le misurazioni tradizionali richiedono l'installazione *in situ* di strumenti ad alto costo di manutenzione, l'utilizzo dei pixel è molto più pratico ed economico. Questo tipo di elaborazione è utilizzata per misurare la celerità e la direzione delle onde, il *wave run-up* e l'escursione dello *swash* (flusso e riflusso dell'onda sulla spiaggia), per monitorare la migrazione della linea di riva, e per calcolare la batimetria della zona offshore (<http://www.planetargus.com>).



Figura 2: Esempio di *time-stack* relativo ad un vettore di pixel disposti perpendicolarmente a riva tracciabili sull'immagine di Lido di Dante 14 novembre 2004 ore 14.12 (Archetti et al., 2004).

Nell'immagine *time-stack* (Figura 2) si ha sull'asse verticale il tempo e su quello orizzontale lo spazio (*cross-shore* o *long-shore*). Le striature bianche indicano l'andamento dei frangenti delle onde.

Durante il periodo di elaborazione di un'immagine *time-stack* il sistema acquisisce le immagini a 2 Hz, per aumentare la risoluzione temporale, al fine di seguire meglio l'andamento del campo d'onda e delle correnti. Le immagini sono state usate per quantificare la celerità e l'angolo d'incidenza delle onde che si propagano verso riva (Lippmann e Holman, 1991) e per calcolare la statistica delle onde frangenti e i modelli di frangimento delle onde lungo la zona di *surf* (Lippmann e Holman, 1992)

Grazie a segni visibili che permangono sulla superficie del mare (tracce di schiuma e di turbolenza al passaggio di un'onda), i *time-stacks* permettono il monitoraggio delle correnti *longshore* (Chickadel e Holman, 2002a; Chickadel et al., 2003, Cohen et al., 2004) e *cross-shore* (Chickadel e Holman, 2002b), indotte dal passaggio delle onde e dal moto dell'onda di marea, processo studiato in particolare per una baia costiera (Davidson e Morris, 2002). *Time-stacks* rappresentanti la zona di battigia, in senso perpendicolare a riva, (Holland e Holman, 1993), sono stati impiegati per valutare le caratteristiche del *wave run-up* in una spiaggia naturale (Holland et al., 1995) e l'idro- e morfo-dinamica della regione di *swash* (Holland e Puleo, 2001). Le capacità del sistema video riguardo lo studio della zona di *swash* includono, attualmente, la realizzazione di mappe (bidimensionali) dei profili di velocità del campo d'onda, ottenute mediante la tecnica "*particle image velocimetry*" (PIV) (Puleo et al., 2000, Holland et al., 2001), che è stata utilizzata, in particolare, per stimare i coefficienti d'attrito che si sviluppano durante la propagazione dell'onda e nella zona di *swash* (Puleo e Holland, 2001). La quantificazione dei processi idrodinamici dalle immagini video si basa ampiamente sulla visualizzazione delle singole creste d'onda e dei segni lasciati dalle correnti superficiali, che dipendono dalla risoluzione locale dei pixel (in dipendenza, a sua volta, dalle caratteristiche delle lenti e dalla distanza della videocamera dalla zona ripresa), dal clima ondoso dominante (per onde di lungo periodo le creste sono relativamente ben risolte dal video), e dalle condizioni atmosferiche (frequenti piogge e nebbia rendono difficile la visibilità).

I *time-stack* sono analizzati con appropriati algoritmi e successivamente assimilati in modelli numerici o direttamente raccolti con esperimenti di campo per un completo sistema di previsione dei fenomeni *nearshore* (Archetti et al., 2004).

***Merging* e Raddrizzamento delle immagini**

Le videocamere digitali inquadrano aree differenti del sito monitorato dove esistono GPC (*Ground Control Points*) e minime zone di sovrapposizione che rendono possibile il processo di *merging* delle immagini (unione delle immagini singole) riferite a uno stesso momento di ripresa. I GCP rappresentano i punti le cui coordinate reali tridimensionali sono note, perché registrate attraverso metodi di rilievo diversi ed indipendenti.

Il processo di *merging* consiste nel far aderire le diverse immagini in modo da ottenerne una complessiva che rappresenti l'intera area in esame, pur mantenendo l'effetto della prospettiva. Si produce quindi una rappresentazione piana in coordinate reali di tutta l'area inquadrata dalle videocamere.

La rettificazione delle immagini *merged* è necessaria per poter mappare, in un sistema di coordinate reali, gli elementi morfologici riconoscibili sull'immagine. Il procedimento per il raddrizzamento delle *timex* si basa sui concetti di fotogrammetria, con l'utilizzo di un sistema omografico per il passaggio da coordinate immagine a coordinate reali. Se si tratta di sistema di acquisizione fisso, è possibile definire alcuni dei parametri intrinseci ed estrinseci. Nel caso contrario è difficile definire la configurazione geometrica del sistema di acquisizione per ogni ripresa effettuata, il raddrizzamento verrà operato con il solo utilizzo dei GCP.

I punti di appoggio (GCP) vengono distribuiti nel sito studiato in modo che ne siano disponibili almeno tre per videocamera per la determinazione dell'orientamento esterno.

Per le immagini ricavate dalle videocamere dotate di tre GCP si ricava un sistema minimo e determinato di equazioni in cui le coordinate immagine e reali dei punti di appoggio costituiscono termini noti e i parametri di orientamento esterno le incognite. Per le immagini con più di tre GCP (in numero maggiore al minimo necessario) si ricava un sistema di equazioni esuberante, in cui le coordinate immagine dei punti di appoggio sono da considerare come grandezze misurate, e che deve essere risolto attraverso una tecnica di compensazione delle misure, mediante la quale si calcolano le incognite e contemporaneamente si riaggiustano le coordinate immagine iniziali.

Potenzialità del videomonitoraggio

Le informazioni contenute nelle immagini Argus e le sue applicazioni sono molte e sono state profondamente indagate. L'affidabilità la precisione e la versatilità del sistema di video monitoraggio costiero è stato rigorosamente documentato in letteratura scientifica (Aarninkhof et al., 2000, 2005; Alexander e Holman, 2004; Chickadel et al, 2003; Holman e Guza, 1984; Stockdon e Holman, 2000, Holland e Holman, 1993a; Holland e Holman, 1993b; Holland e Holman, 1999; Holland et al., 2001; Holman et al., 1991; Lippmann e Holman, 1989; Lippmann e Holman, 1991; Plant e Holman, 1997; Armaroli et al., 2003)

Lo scopo del video monitoraggio è, in primo luogo, quello di identificare i segni degli elementi e dei processi presenti nel sistema costiero e, successivamente, di quantificarli nello spazio e nel tempo. Come visto nei paragrafi precedenti, le immagini *timex*, *day-timex* e *variance* sono utili strumenti d'identificazione sia degli elementi morfologici che di quelli idrodinamici.

I *time-stack*, invece, sono utili nella quantificazione dei fenomeni idrodinamici, dal momento che rappresentano la diversa intensità luminosa dei pixel al passaggio del moto ondoso e delle correnti.

Un altro sistema di quantificazione, accennato in precedenza, si ottiene operando un'elaborazione sulle immagini statistiche, che consiste in un raddrizzamento delle immagini stesse.

Tale tecnica permette di ottenere informazioni quantitative di un ampio *range* di elementi costieri e dei processi a cui essi sono sottoposti, dal momento che l'immagine si trasforma in planimetrica permettendo così anche la costruzione di una mappa, secondo il sistema di coordinate considerato, della zona costiera.

E', così, possibile definire il suo grado di variabilità, e quantificare gli importanti processi che ne causano l'erosione, come il *wave run-up*, e l'energia totale delle onde (Aarninkhof et al., 2002).

L'elaborazione e le analisi applicabili alle immagini, possono essere eseguite in modo automatico da un sofisticato software di facile implementazione.

Le informazioni che si possono ottenere sono:

- la posizione, i movimenti e la morfologia delle barre sommerse (altezza, lunghezza, larghezza e profondità);
- la batimetria della zona inter- e sub-tidale;

- la posizione della linea di riva;
- l'ampiezza della spiaggia e i suoi cambiamenti in area;
- il profilo della spiaggia e i suoi cambiamenti in volume;
- l'impatto delle strutture ingegneristiche costiere;
- l'idrodinamica delle onde e delle correnti superficiali (altezza, periodo e angolo di incidenza delle onde, intensità della corrente lungo costa e delle *rip current* (correnti di ritorno)) (Lippman et al, 1989, Stockdon et al, 2000).

Le immagini Argus sono state impiegate nello studio di un ampio *range* di tipi di spiagge e di processi costieri (Holman et al.,1993), che hanno riguardato analisi morfologiche, quantificazione dei processi idrodinamici e mappatura della batimetria della spiaggia intertidale, sub-tidale e sub-aerea.

Linea di riva

Nell'ultimo decennio l'uso dell'acquisizione remota di immagini mediante tecniche di video monitoraggio ha interessato con maggiore interesse l'ambiente litorale ed i processi costieri.

Una delle applicazioni più interessanti, riguarda l'identificazione della linea di riva dalle immagini *time-exposure* e la successiva determinazione della batimetria della spiaggia intertidale. Senza dubbio il problema di base era quello di convertire uno spazio 2D in uno spazio tridimensionale. Diversi studiosi hanno risolto il problema associando ad un punto, con una coordinata immagine (u,v), una coordinata reale nota x, y, z (Plant e Holman, 1997; Madsen e Plant, 2001; Turner, 2001;Aarninkhof et al., 2003; Kingston et al., 2003), mentre altri hanno utilizzato tecniche di stereoscopia (Holland and Holman, 1993; Holland and Holman, 1997; Holland and Puleo, 2001).

Per una valutazione della variazione della linea di riva è necessario che le immagini siano calibrate e rettificate (Holland et al, 1997).

Il processo di calibrazione di un'immagine comporta tutte quelle operazioni che vertono ad informare il sistema riguardo alle grandezze nelle quali vogliamo che vengano espressi i risultati.

Come già accennato, il processo di rettificazione di un'immagine ribalta la stessa immagine su un piano orizzontale in modo tale che le distanze possano essere misurate direttamente sull'immagine.

Batimetria intertidale

I modelli più comuni per identificare la batimetria della spiaggia intertidale dalle immagini video, generalmente, si basano su due diversi passaggi. In primo luogo viene identificata la posizione orizzontale della linea di riva, da immagini *timex* raddrizzate, e in secondo luogo se ne stima l'associata elevazione verticale a partire dalle condizioni idrodinamiche presenti durante il periodo di acquisizione dell'immagine considerata. Tale procedimento produce un contorno *longshore* dell'elevazione della spiaggia intertidale. Mappando una serie temporale di tali contorni durante un ciclo di marea è possibile costruire l'andamento tridimensionale della superficie della spiaggia intertidale tra due contorni corrispondenti alla linea di riva durante la bassa marea e durante l'alta marea.

Questo approccio assume che cambiamenti morfologici a scale spaziali da 10 a 100 metri, siano minimi durante il periodo di tempo campionato (generalmente da 6 a 10 ore).

Senza dubbio uno dei principali problemi è stato quello di riuscire a sviluppare un modello affidabile per l'individuazione della linea di riva.

I primi modelli per la determinazione della linea di riva (Plant e Holman, 1997; Janssen, 1997; Davidson et al., 1997) sono stati sviluppati quando ancora le stazioni Argus acquisivano solo immagini in bianco e nero. Questi modelli miravano ad identificare un andamento caratteristico nella distribuzione delle intensità dei pixel campionate nella zona di *swash*. Il modello "SLIM", (Plant e Holman, 1997; Madsen e Plant, 2001), basato proprio su tale approccio, considera la linea di massima intensità di frangimento in prossimità della riva ("*ShoreLine Intensity Maximum*", SLIM), come buona approssimazione della posizione della linea di riva. Tale modello ha dimostrato di funzionare bene in presenza di una ben pronunciata SLIM, quindi, applicato a spiaggia riflettive sia in condizioni di basso che di alto regime ondoso. In spiagge dissipative, invece, dove per la presenza di barre sommerse e di bassa

pendenza del profilo di spiaggia, non si forma un'adeguata SLIM, tale modello non può essere applicato. Il problema di una SLIM poco marcata e la conseguente assenza di un netto contrasto tra acqua e spiaggia, che impediscono il buon funzionamento del modello SLIM, è stato superato, dopo il 1997, con lo sviluppo di una seconda generazione di modelli per la determinazione della linea di riva, basati su immagini a colori.

Il modello PIC (*Pixel Intensity Clustering*) (Aarninkhof e Roelvink, 1999), adotta una tecnica di raggruppamento di pixel per separare quelli bagnati da quelli asciutti, il modello ANN (*Artificial Neural Network*) (Kingston *et al*, 2000), applica l'approccio della "rete neurale artificiale" per distinguere tra pixel bagnati e asciutti, e, infine, il modello CCD (*Colour Channel Divergence*) (Turner *et al*, 2000b), distingue i pixel bagnati da quelli asciutti in base alla divergenza delle individuali bande di colori rosso, blu e verde.

Confronto tra i modelli e conclusioni

Il confronto riguarda la consistenza dei risultati ottenuti da ciascun metodo, sulla base di circa 40 immagini video, selezionate da ogni sito, riguardanti un ampio *range* di condizioni idrodinamiche, morfologiche ed atmosferiche. La metodologia adottata per il confronto tra i risultati del posizionamento della linea di riva e della determinazione dell'associata elevazione, può essere consultata in Aarninkhof *et al.* (2003).

Le tecniche per la determinazione della riva di riva operano in un *range* di applicabilità che dipende da:

- Condizioni atmosferiche. Cambiamenti nelle condizioni atmosferiche possono fortemente influenzare i contrasti di colore nelle immagini video. Per garantire un ampio *range* di applicabilità, i modelli che si basano sulla determinazione tramite le differenze di colori, dovrebbero essere in grado di affrontare diverse condizioni. Questo si può ottenere calibrando tali modelli in relazione a diverse situazioni meteorologiche.
- Regimi idrodinamici in prossimità della riva. Tutte le tecniche sono sensibili ai cambiamenti nelle condizioni di *swash* e di frangimento a riva, cosa che avviene in maniera differente per lo SLIM rispetto ai modelli che si basano

sul colore. Lo SLIM, infatti, conta sulla presenza di una ben pronunciata linea di frangimento a riva ed esso migliora le sue prestazioni per valori crescenti di ξ_{shore} . In assenza di un regime ondoso in grado di produrre una ben evidente linea di frangimento a riva, il modello SLIM, non è in grado di restituire la posizione della linea di riva. Per quanto riguarda gli altri modelli, essi tendono a localizzare la linea di riva tanto più verso terra, quanto più la zona di *swash* tende ad allargarsi.

- Caratteristiche morfodinamiche del sito in esame. Tutti i modelli sono applicabili a spiagge che presentano un andamento *longshore* uniforme. Solo i modelli ANN e PIC sono in grado di gestire anche spiagge caratterizzate da elementi non uniformi come strutture dissipative (per esempio barre).

I quattro modelli, sembrano fornire linee di riva ben correlate tra loro, distanti, tuttavia, di un certo *offset* l'una dall'altra. Il modello SLIM, tra tutti, determina una linea di riva particolarmente distante dalle altre, più verso mare, e in generale si dimostra essere il peggiore, rispetto agli altri, probabilmente per l'alta sensibilità alle variazioni delle condizioni idrodinamiche. Le altre tecniche danno risultati piuttosto simili tra loro; il PIC posiziona la linea di riva più verso terra.

Rispetto all'accuratezza, dai calcoli, qui tralasciati, il modello ANN si dimostra essere il migliore sull'intero *range* di condizioni. Per quanto riguarda la stima dell'elevazione della linea di riva, tutti i metodi traggono beneficio includendo nella formulazione sia il *wave set-up*, che il *surf beat*, che lo *swash*.

Bibliografia

Aarninkhof, S.G.J., Janssen, P.C. and Plant, N.G. *Quantitative estimations of bar dynamics from video images*. Proc. Coastal Dynamics Conf., Plymouth, UK, 1997.

Aarninkhof S. G. J. and Roelvink J.A. *Argus based monitoring of intertidal beach morphodynamics*. Proc. of Coastal Sediments Conf., 1999.

Aarninkhof, S.G.J., Caljouw, M., Stive, M.J.F. (2000), Video-Based, quantitative assessment of intertidal beach variability, In: Proc. 27th International Conference of Coastal Engineering, Vol. IV, pp 3291-3304.

Aarninkhof S. G. J., Plant, N.G., Turner I. L., Kingston K. S. *Shoreline identification from video imagery: intercomparison and ground truthing of four detection models*. In prep. 2002.

Aarninkhof, S.G.J.(2003), Nearshore Bathymetry derived from Video Imagery, PhD Thesis, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands.

Aarninkhof, S.G.J., Ruessink, B.G. and Roelvink, J.A. (2005), Nearshore subtidal bathymetry from time exposure images, Journal of Geophysical Research, Vol. 110, C06011, doi: 10.1029/2004JC002791.

Alexander P. S. *Quantitative analysis of nearshore morphological variability based on video imaging*. MSc thesis, Oregon State University, 2001.

Alexander, P.S. and Holman, R.A. (2004), Quantitative analysis of nearshore morphological variability based on video imaging, Marine Geology, 208 (1), pp. 101-111.

Archetti R., Lamberti A. (2004). Monitoraggio idrodinamico di una spiaggia protetta. confronto tra misure ed elaborazioni di immagini. XXIX Convegno nazionale di Idraulica e Costruzioni idrauliche. Trento, 7-10 settembre 2004. pp. 663-670.

Archetti R., Lamberti A. (2005). Il progetto CoastView: applicazioni per la nautica e per la difesa costiera. Atti dell'VIII edizione delle Giornate Italiane di Ingegneria Costiera. Civitavecchia 23-25 Novembre 2005.

Armaroli, C, Ciavola, P., Balouin, Y., Gatti, M. 2004. An integrated study of shoreline variability using GIS and ARGUS techniques. *J. Coastal Research*. SI 39. Proceeding of the International Coastal Symposium. ISSN 0749-0208.

Chickadel C. and Holman R. A. *Measuring longshore current with video techniques*. In: Eos Trans. AGU, 82(47), Fall Meet. Suppl, 2002a.

Chickadel C. and Holman R. A. *Optical measurements of low frequency cross-shore flows*. In: Eos Trans. AGU, 83(47), Fall Meet. Suppl, p. F717, 2002b.

- Chickadel, C.C., R.A. Holman, and M. Freilich. 2003. An optical technique for the measurement of longshore currents, *J. Geophys. Res.*, 108 (C11), 3364, doi:10.1029/2003JC001774, 2003.
- Clark J. R., 1996 *Coastal Zone Management Handbook*, Lewis Publisher, CRC, Boca Rota Florida.
- Cohen, A.B., Aarninkhof, S.G.J., Chickadel, C. and Battjes, J.A. (2004). *Video-derived observations of alongshore currents*. ICCE 2004, ASCE.
- Davidson M. A., Huntley D., Holman, R.A., George K. *The evaluation of large (km) intertidal beach morphology on a macrotidal beach using video images*. In: Proc. Coastal Dynamics '97, New York: ASCE, 385-394, 1997.
- Davidson M. A. and Morris B. D. *The use of video remote sensing for the evaluation of high resolution wave parameters and sub-tidal morphology*. Submitted to Coastal Engineering, 2002.
- Ferretti O., Delbono I., Barsanti M., Conley D.C., 2002 - Dinamica costiera: monitoraggio tramite web camera e con metodologie tradizionali. Litorali da Sestri Levante a Lavagna. *Abstract, 3° Convegno Nazionale Scienze del Mare, Bari Nov. 2002, 108*.
- Holland, K.T. and Holman, R.A. *The statistical distribution of swash maxima on natural beaches*. Journal of Geophysical Research, 98(C6), 10271-10278, 1993.
- Holland K.T., Raubenheimer B., Guza R. T., Holman R.A. *Run-up Kinematics on a natural beach*. Journal of Geophysical Research 100, 4985-4993, 1995.
- Holland K. T. and Holman R. A. *Field observations of beach cusps and swash motions*. Marine Geology 134, 77-93, 1996.
- Holland K.T. and Holman R.A. *Video estimation of foreshore topography using trinocular stereo*. Journal of Coastal Research 13(1), 81-87, 1997.
- Holland, K.T. and Holman, R.A. (1999), Wavenumber-frequency structure of infragravity swash motions, *J. Geophys. Res.*, 104 (C6), pp. 13479-13488.
- Holland K.T. and Puleo J. A. *Variable swash motions associated with foreshore profile change*. Journal of Geophysical Research 106, 4613-4623, 2001.
- Holman, R.A. and Guza, R.T. (1984), Measuring run-up on a natural beach, *Coastal Engineering*, 8, pp. 129-140.
- Holman, R.A., Lippmann, T.C., O'Neill, P.V. and Hathaway, K. (1991), Video estimation of subaerial beach profiles, *Marine Geology*, 97, pp. 225-231.
- Holman R.A, Sallenger Jr A. H., Lippmann T. C. and Haines J. W. *The application of video image processing to the study of nearshore processes*. *Oceanography* 6, n° 3, 1993.

- Janssen P.C. *Intertidal beach level estimations from video images*. MSc. thesis, Delft University of Technology (Delft Hydraulics, Report Z2079), 1997.
- Konicki K. M. and Holman R. A. *The statistics and kinematics of transverse sand bars on an open coast*. Marine Geology 169, 69-101, 2000.
- Kingston K. S., Ruessink B. G., Van Enckevort, I. M. J., Davidson M. A. *Artificial neural network correction of remotely sensed sandbar location*. Marine Geology 169, 137-160, 2000.
- Kingston K. S., Mallet C., Plant N. G., Davidson M. A. *Intertidal mapping of morphological features from remotely sensed data*. Submitted to Journal of Geophysical Research, 2003.
- Lippmann T.C. and Holman R. A. *Quantification of sand bar morphology: a video technique based on wave dissipation*. Journal of Geophysical Research 94, 995-1011, 1989.
- Lippmann T.C. and Holman R. A. *The spatial and temporal variability of sand bar morphology*. Journal of Geophysical Research 95, 11575-11590, 1990.
- Lippmann T.C. and Holman R. A. *Phase speed and angle of breaking waves measured with video techniques*. In: Proc. Coastal Sediments '91, New York: ASCE, 1991.
- Lippmann T.C. and Holman R. A. *Wave group modulations in cross-shore breaking patterns*. In: Proc 23rd Int. Conf. On Coastal Engineering, New York: ASCE, 918-931, 1992.
- Madsen A. J. and Plant N. G. P. *Intertidal beach slope predictions compared to field data*. Marine Geology, in press, 2001.
- Morris B. D., Davidson M. A., Huntley D. A. *Measurements of the response of a coastal inlet using video monitoring techniques*. Marine Geology 175, 251-272, 2001.
- Plant N. and Holman R.A. *Intertidal beach profile estimation using video images*. Marine Geology 140, 1-24, 1997.
- Puleo J., Holland K.T., Kooney T. N., Sallenger A. H. Jr. *Field observations of swash zone flow patterns and 3d morphodynamics*. In: Proc. 27th Int. Conf. On Coastal Engineering, ASCE, 637-650, 2000.
- Ranasinghe, R., Symonds, G. and Holman, R., 1999. Quantitative Characterisation of Rip Dynamics Via Video Imaging, Proc. Coastal Sediments '99, N. C. Kraus (ed), Long Island, N. Y., ASCE, 987-1002.
- Ranasinghe, R., Symonds, G., Black, K., and Holman, R., 2000. Processes governing rip spacing, persistence and strength in a swell dominated, microtidal environment, Proc. Int. Conf. Coastal Eng., Sydney, Australia, July 16-21, 2000.
- Stockdon H. F., Holman R. A. *Estimation of wave phase speed and nearshore*

bathymetry from video imagery. Journal of Coastal Research 105, C9, 22015-22033, 2000.

Symond G., Holman R.A., Bruno B. *Rip-currents*. In: Proc. Coastal Dynamics '97, New York: ASCE, 584-585, 1997.

Turner I., Leyden V., Symond G., McGrath J., Jackson A., Jancar T., Aarninkhof S. G. J. and Elshoff L. E. *Comparison of observed and predicted coastline changes at the Gold Coast artificial (surfing) reef*. Proc. of Int. Conf. On Coastal Engineering, Sydney, 2000.

Van Enckevort, I. M. J. and Ruessink B. G. *Effect of hydrodynamics and bathymetry on video estimates of nearshore sandbar position*. Journal of Coastal Research 106, 16969-16979, 2001.

Van Enckevort, I. M. J. and Ruessink B. G. *Video observations of nearshore bar behaviour. Part 1: alongshore uniform variability*. Continental Shelf Research 23, 501-512, 2003a.

Van Enckevort, I. M. J. and Ruessink B. G. *Video observations of nearshore bar behaviour. Part 2: alongshore non-uniform variability*. Continental Shelf Research 23, 513-532, 2003b.

Wijnberg K. M. and Holman R. A. *Cyclic bar behaviour viewed by video imagery*. In: Proc. Coastal Dynamics '97, New York: ASCE, 375-384, 1997.

Siti internet

<http://coastal.er.usgs.gov/wfla/video/>
<http://www.planetargus.com>
<http://www.netcoast.nl/info/argus/argus.htm>
<http://www.regione.liguria.it/webcam>
<http://www.planetargus.com>
<http://www.videomonitoring.com/atm>
[http:// www.thecoastviewproject.org](http://www.thecoastviewproject.org)