

## Stima delle accuratezze spaziali delle morfologie estratte da video-monitoraggio: il caso della stazione Torre del Sole (Lazio, Terracina)

Luca Parlareco

Scuola di Dottorato in Scienze della Terra, Università di Ferrara, Via Saragat, 1 - 44100 Ferrara.

### Riassunto

Nell'ambito di un dottorato di ricerca in Scienze della Terra presso l'Università di Ferrara è stata analizzata la risposta di un tratto di litorale sabbioso (Terracina, Lazio) ad un intervento di ripascimento tramite l'utilizzo di dati di video-monitoraggio. Dalle foto rettificate sono stati estratti due indicatori della morfologia di spiaggia, ovvero il posizionamento della frangenza a riva e sulle barre sommerse. La variabilità morfologica di questi due indicatori è stata analizzata su un tratto di circa 1000m di litorale per un periodo di 34 mesi, da Gennaio 2008 ad Ottobre 2010.

Nella presente nota si presenteranno le metodiche utilizzate per valutare l'attendibilità morfologica degli indicatori estratti dalle immagini video, e quindi le incertezze del posizionamento planimetrico delle morfologie utili ad una corretta interpretazione della loro variabilità in senso cross-shore.

**Parole chiave:** barre, linea di riva, altezza d'onda, frangimento, dissipazione energetica.

### Abstract

*During a PhD project at the Ferrara University the response to beach face nourishment at the barred beach of Terracina (Tyrrhenian sea, Italy) was analysed. This study was based on a dataset of time-exposure video-images collected during a 34-month period (january 2008 - october 2010). Proxies for shoreline and sandbar crest positions were extracted from video-images and compared with measurements from topographic and bathymetric surveys. The morphologic variability of these two proxies was analysed along a 1000 m long beach section. In the present note the methods used to asses the morphologic representativeness of video-morphologies are presented.*

**Keywords:** bars, shoreline, wave height, wave breaking, wave energy dissipation.

### Introduzione

Il video-monitoraggio rappresenta un potente strumento per monitorare l'evoluzione delle spiagge, permettendo un'osservazione con elevata frequenza temporale, per lunghi periodi e con elevate risoluzioni spaziali. Il video-monitoraggio utilizza un sistema di video-camere, che opportunamente posizionate, permette un'osservazione continua di estese porzioni di litorale anche, e soprattutto, durante gli eventi di mareggiata. Il concetto alla base di questa tecnica è l'interpretazione quantitativa dei dati video acquisiti, dove la foto, a seguito di opportune elaborazioni (Holland et al., 1997), costituisce una rappresentazione in scala dello spazio circostante.

Con l'obiettivo di monitorare l'evoluzione post-ripascimento del litorale di Terracina (LT), la Regione Lazio ha commissionato l'installazione di un sistema di video monitoraggio alla SVM s.r.l.. In data 18 Giugno 2007, sul tetto dell'albergo Torre del Sole, presso il lungomare di Terracina (Latina), è stata installata una stazione di video monitoraggio costituita da due fotocamere che guardano (quasi) ininterrottamente 180° di litorale. Tale sistema è analogo a quello installato presso Igea Marina (Ravenna) nel 2006 (Archetti et al.,

2008; Archetti e Zanuttigh, 2010). Le immagini fornite dalla stazione sono di due tipi, snapshot e timex. La prima rappresenta una semplice foto della spiaggia, mentre la seconda rappresenta il dato con maggiore potenzialità nel fornire informazioni di tipo morfologico, ovvero un'immagine media costruita su 10 minuti di registrazione. Da questa immagine si può identificare, pertanto, la posizione di elementi costieri connessi (più o meno direttamente) alla dinamica del moto ondoso quali, la posizione della frangenza a riva e sulle barre sommerse. Queste identificazioni sono rese possibili dalla presenza nella foto di bande ad alta luminosità (chiare) che si formano durante l'intervallo di media temporale in corrispondenza delle zone di frangimento.

La stretta dipendenza di tali video-morfologie con le condizioni meteo-marine agenti al momento dello scatto rende l'interpretazione morfologica di tali dati molto complessa, soprattutto in funzione di una confrontabilità tra video-morfologie ottenute in diverse condizioni mareali e di altezza d'onda ( $H_s$ ). Per tale motivo, di seguito si presentano le metodiche utilizzate per vincolare l'interpretazione morfologica delle video-morfologie estratte nel sito di studio durante un intervallo temporale di 34 mesi.

### Struttura dei rilievi topografici di controllo

A partire dal Novembre 2008 sono stati eseguiti una serie di campagne topo-batimetriche per monitorare l'evoluzione morfologica della porzione di spiaggia ripasciuta e contestualmente calibrare tutte le informazioni video-morfologiche ottenibili dal sistema di Torre del Sole.

La struttura del campionamento topografico è stata vincolata dalla necessità di calibrare le potenzialità del monitoraggio tramite video, a tale scopo la scelta di una adeguata spaziatura dei transetti di misura pregiudicava sia la risoluzione spaziale minima delle morfologie di spiaggia, sia le procedure di interpolazione dei dati acquisiti. Per il primo motivo è stata definita una maglia di campionamento regolarmente spaziata lungo costa, con transetti perpendicolari alla direzione media del paraggio in esame e distanziati ogni 25m. Lo step di acquisizione dei punti lungo i transetti è stata di circa 2.5 m. Sono stati eseguiti 14 rilievi topografici da Marzo 2009 ad Aprile 2010 lungo una porzione di circa 1000 m per coprire una distanza media di 700m dalla stazione di video monitoraggio. Secondariamente, una maglia di campionamento fittamente e regolarmente distribuita nello spazio ha fornito una ottimizzazione degli errori di interpolazione, e quindi è stato possibile utilizzare un'interpolazione di tipo lineare che assicurasse la minore deviazione tra dato registrato e dato interpolato. L'analisi dell'evoluzione batimetrica è stata eseguita tramite 5 rilievi eseguiti fino alla profondità di 5 m. Differentemente dai rilievi topografici non è stato possibile acquisire i dati batimetrici né con una cadenza temporale regolare, né con una maglia di campionamento ben definita. In generale è stata assicurata una griglia di campionamento con transetti perpendicolari a costa spaziati ogni

50 m per un intervallo di litorale che comprendesse almeno 500 m del tratto ripasciuto.

Contestualmente sono stati eseguiti una serie di rilievi mirati alla misura di particolari punti di controllo (Ground Control Point, GCP) utili sia per la procedura di rettifica delle foto, sia per analizzare le accuratezze e gli errori intrinseci nell'elaborazione delle immagini video.

### Rappresentatività morfologica delle video-morfologie

L'analisi geomorfologica quantitativa è stata eseguita sulle foto rettificate secondo le metodiche classiche della fotogrammetria digitale terrestre. Successivamente le foto sono state campionate in funzione del valore di luminosità in prossimità della linea di riva e delle barre sommerse.

La rappresentatività morfologica delle informa-

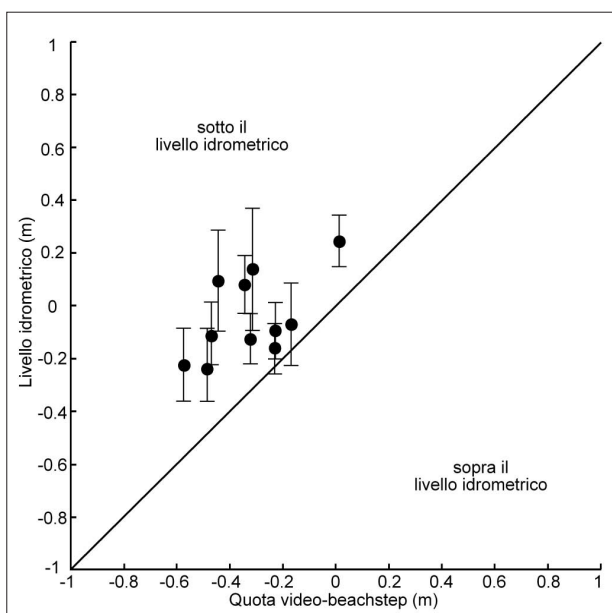


Figura 1 - Quota IGM della video-morfologia beach step e relative incertezze.

zioni estratte dalle immagini è stata valutata tramite il confronto con i dati topo/batimetrici acquisiti nel corso del 2009-2010, dei livelli idrometrici misurati dal mareografo di Gaeta e delle caratteristiche d'onda disponibili.

### **Frangimento a riva - Beach step**

La linea di riva intesa come frangimento a riva (beach step) è stata estratta in maniera automatica campionando i picchi di intensità luminosa lungo costa. La significatività morfologica di questo proxy è stata analizzata in funzione della sua quota sul livello medio mare. Per ogni rilievo utile è stata interpolata la quota della video-morfologia ed è stata mediata lungo costa. Il valore ottenuto è stato paragonato alle quote idrometriche misurate al momento del rilievo topografico, e le deviazioni standard dovute al processo di media spaziale sono state inserite come barre di errore (Fig. 1). La relazione tra livello idrometrico e quota IGM dello beach step indica una chiara, e prevedibile, dipendenza del secondo dal primo. In particolare, il beach step si posiziona a quote IGM sempre inferiori del livello idrometrico.

Una relazione lineare ben definita, anche per il minimo numero di dati disponibili, non è tuttavia estrapolabile visto che il coefficiente di correlazione è di 0.3.

### **Frangenza sulle barre sommerse**

In generale, la posizione della cresta di barra ( $x_c$ ) fornisce la rappresentazione più compatta del comportamento di una barra (Plant et al., 2001). Quindi, molte ricerche si sono concentrate sull'analisi della posizione della cresta di barra (ad esempio Lippmann et al., 1993) e sulla sua variazione nel tempo (ad esempio Gallagher et al., 1998). Ulteriormente, altri parametri morfometrici del corpo di barra sono spesso staticamente relazionati alla posizione della cresta di barra (Ruessink e Kroon, 1994; Pruszek et al., 1997). Il sistema di video-monitoraggio utilizzato è in grado di visualizzare la morfologia sommersa tramite il posizionamento della zona di frangimento sulle barre sommerse mediato in dieci minuti (immagine timex). La posizione dal massimo valore di intensità ( $x_i$ ) fornisce, pertanto, una buona indicazione della posizione planimetrica della cresta di barra ( $x_c$ ).

Tipicamente,  $x_i$  devia da  $x_c$  di una distanza  $\Delta x$ ,

$$\Delta x = x_i - x_c \quad (1)$$

$\Delta x$  è dell'ordine della decina di metri e varia nel tempo e lungo costa in funzione dell'altezza d'onda  $H_s$ , del livello idrometrico  $\eta$  e della batimetria stessa (van Enckevort e Ruessink, 2001)

$$\Delta x = f(H_s, \eta, \text{batimetrie}) \quad (2)$$

Questa dipendenza è facilmente intuibile, visto che il posizionamento della frangenza sulle barre è funzione della batimetria, della profondità e dell'altezza d'onda.

E' stata condotta un'analisi simile sul data-set a disposizione, limitando però la valutazione di  $\Delta x$  in funzione della sola altezza d'onda  $H_s$

$$\Delta x = f(H_s) \quad (3)$$

Tale semplificazione è stata vincolata sia dalla natura e tipologia di dati a disposizione, sia da alcune considerazioni di tipo oceanografico. Il valore di  $\eta$  assume un'informazione differente in funzione della localizzazione della misura. Se tale parametro deve essere utilizzato per stimare la sua influenza sul processo di frangimento sulle barre deve, di fatto, essere comprensivo del livello del mare reale che, oltre alle quote delle creste d'onda, è funzione di surge, di wave set-up e di wind set-up. Il valore di  $\eta$  utilizzato nel presente lavoro deriva da una lettura mareografica all'interno di una struttura portuale (porto di Gaeta), di fatto non rappresentativa totalmente delle componenti sopra elencate. A discapito di tale limitazione strumentale, però, va ricordato il contesto oceanografico del Tirreno centro-meridionale, dove i livelli idrometrici eccezionalmente variano su ranges maggiori di 0.5 m. L'entità di tali variazioni, paragonata alla variazione di  $H_s$  durante le mareggiate ha una influenza molto modesta sul posizionamento delle zone di frangimento, che è sicuramente non confrontabile ai contesti costieri in cui i ranges mareali sono dell'ordine del metro. In ultimo, le  $H_s$  utilizzate rappresentano delle simulazioni numeriche, sebbene molto attendibili (Valentini et al., 2007), e non dei valori misurati.

L'influenza di  $H_s$  sul posizionamento planimetrico delle video-barre è stato computato in funzione degli assunti proposti da van Enckevort e Ruessink (2001), ovvero che gli elevati valori dell'intensità luminosa

nei pressi della zona di frangimento ( $x_i$ ) corrispondano alla porzione di acqua turbolenta nei pressi del fronte d'onda, o roller.  $x_i$  approssimerebbe, pertanto, il posizionamento del picco dell'energia del roller,  $x_{Er}$ . La distribuzione cross-shore di  $Er$  è stata modellizzata utilizzando le equazioni per il bilancio energetico al frangimento (Stive e De Vriend, 1994)

$$\frac{d}{dx} \cdot (2Er \cdot c \cdot \cos\vartheta) = \frac{2g \cdot Er \cdot \sin\beta}{c} + Dbr \quad (4)$$

dove  $c$  rappresenta la velocità di fase dell'onda,  $\vartheta$  la direzione dei fronti d'onda,  $\beta$  la pendenza del fronte d'onda e  $Dbr$  la dissipazione dell'energia al frangimento per la rottura dell'onda.

In questo modo è stata riscritta l'equazione 1 come

$$\Delta x = x_{Er} - xc \quad (5)$$

La dipendenza di  $\Delta x$  su  $H_s$  è stata investigata calcolando l'evoluzione della dissipazione energetica su alcuni profili misurati, e utilizzando i valori ondosi di input (Fig. 2).

All'aumentare di  $H_s$  la posizione cross-shore del picco di  $Er$  ( $x_{Er}$ ) va a spostarsi verso mare rispetto il posizionamento della cresta di barra ( $xc$ ). In particolare, per valori di  $H_s$  maggiori di  $\sim 1$  m  $x_{Er}$  rimane costante poiché influenzato dall'aumento di profondità nel trogolo a tergo della barra. La relazione tra  $\Delta x$  e  $H_s$  sulla barra esterna è stata analizzata limitando la scelta delle  $H_s$  alle giornate in cui fosse realmente visibile dalle immagini il frangimento sulla barra esterna (Fig. 2).

Il picco della  $Er$  ( $x_{Er}$ ) si posiziona sulla barra interna per valori di  $H_s$  minori di  $\sim 1.2$  m, per valori maggiori la massima dissipazione del contenuto energetico a rottura (picco di  $Er$ ) si concentra sulla barra esterna e

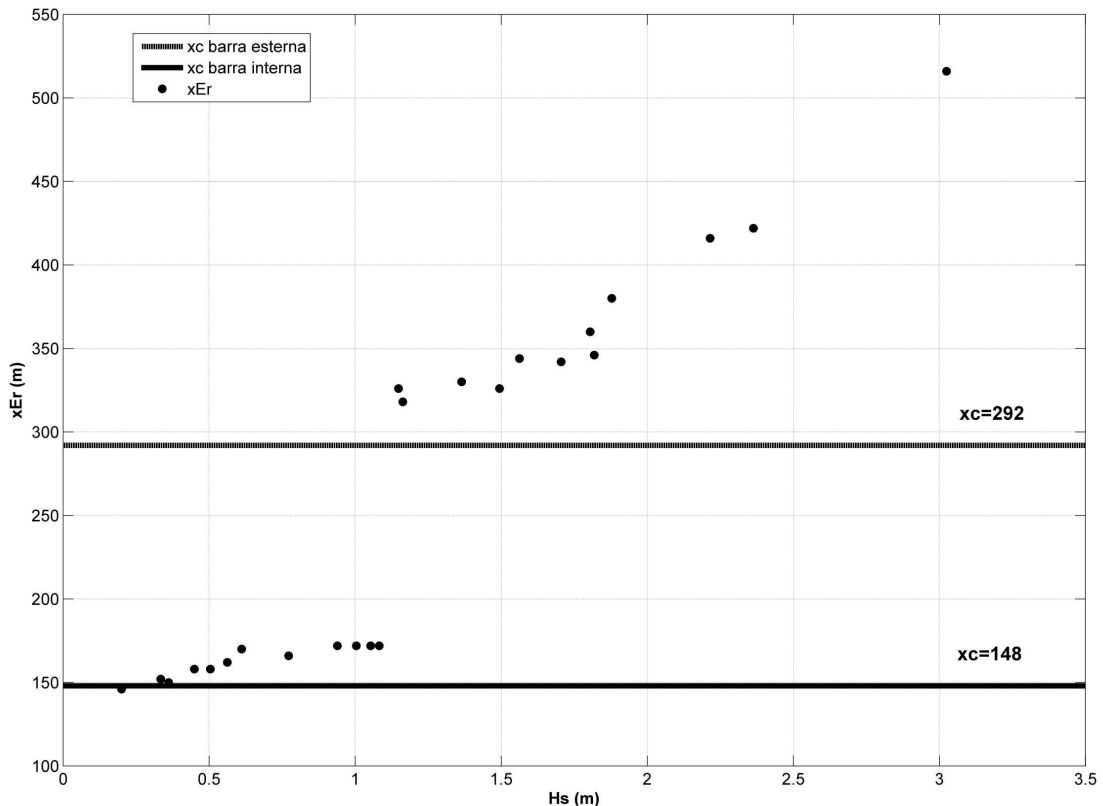


Figura 2 - Andamento di  $\Delta x$  sulla barra esterna in funzione di  $H_s$ .  $Xc$  rappresenta il posizionamento mediato lungo costa della barra interna (148m dalla baseline) e di quella esterna (292 m dalla baseline).

tende ad allontanarsi rispetto la posizione di  $x_c$ . Per valori di  $H_s$  compresi tra  $\sim 1.2$  m e 2 m i massimi valori di  $\Delta x$  sono dell'ordine di 50 m (si veda eq. 2). Valori di  $H_s$  maggiori di 2m inducono dei  $\Delta x$  difficilmente paragonabili ai massimi valori di  $x_i$  osservati dalle foto ( $x_i$  max 320 m).

### Conclusioni

La rappresentatività morfologica delle video morfologie estratte dalle foto è stata analizzata e comparata al dato topografico, batimetrico, ondametrico e mareale.

Il posizionamento dello beach step, indicando la zona di frangimento a riva, individua una porzione di spiaggia con quote sempre minori del corrispettivo livello mareale, posizionandosi verso mare rispetto lo zero IGM. Una valutazione dell'errore di posizionamento planimetrico dello beach step rispetto una riferimento altimetrico non è stato analizzato, anche se le osservazioni 2009-2010 indicano la persistenza di tali video-morfologie in determinate fasce altimetriche. Tale indicazione è comunque sempre vincolata alla variabilità nel tempo delle pendenze e delle granulometrie alla battigia.

Il posizionamento planimetrico delle video-barre è stato analizzato in funzione dell'altezza d'onda, ovvero è stata approssimato il posizionamento di  $x_i$  al posizionamento della massima dissipazione energetica per il frangimento. La dipendenza da  $H_s$  è ben evidente. Per altezze d'onda fino a  $\sim 1.1$ m la differenza tra posizione della cresta di barra e la video-barra interna varia da 0 a 20m. All'aumentare di  $H_s$  tale off-set rimane costante. L'influenza di  $H_s$  sulla differenza di posizione tra cresta di barra esterna e video-barra esterna varia da 0 a 50m, per valori di  $H_s$  fino a 2m.

L'analisi dell'evoluzione morfologica delle barre, e quindi gli spostamenti cross-shore della cresta di barra, deve essere vincolata a tali soglie di indeterminatezze (nel nostro caso 20m per la barra interna e 50m per la barra esterna) e movimenti minori di tali soglie devono essere considerati fittizi in quanto prodotti da uno spostamento dei frangenti sul corpo di barra, più che da uno spostamento dell'intero corpo di barra.

### Bibliografia

- Archetti R., Schiaffino C. F., Ferrari M., Brignone M., Rihouey D. (2008) - *Video systems for the coastal monitoring*. In Beach Erosion Monitoring. Edited by Enzo Pranzini e Lilian Wetzel, Nuova Grafica Fiorentina. pp. 101-109.
- Archetti R. e Zanuttigh B. (2010) - *Integrated monitoring of the hydro-morphodynamics of a beach protected by low crested detached breakwaters*. Coastal Engineering, 57: 879-891.
- Gallagher E., Elgar L. S., e Guza R. T. (1998) - *Observations of sand bar evolution on a natural beach*. Journal of Geophysical Research, 103: 3203-3215.
- Holland K. T., Holman R., Lippmann T., Stanley J. e Plant N. (1997) - *Practical use of video imagery in nearshore oceanographic field studies*. Journal of Oceanic Engineering, 22: 81-92.
- Lippmann T. C., Holman R. A. e Hathaway K. K. (1993) - *Episodic, nonstationary behavior of a two sand bar system at Duck*. Journal of Coastal Research, 15: 49-75.
- Plant N. G., Freilich M. H. e Holman R. A. (2001) - *Role of morphologic feedback in surf zone sandbar response*. Journal of Geophysical Research, 106: 973-989.
- Pruszk Z., Rozynski G. e Zeidler R. B. (1997) - *Statistical properties of multiple bars*. Coastal Engineering, 31: 263-280.
- Ruessink B. G. e Kroon A. (1994) - *The behaviour of a multiple bar system in the nearshore zone of Terschelling: 1965-1993*. Marine Geology, 121: 187-197.
- Stive M. J. F e De Vriend H. J. (1994) - *Shear stresses and mean flow in shoaling and breaking waves*. In: Proceedings Coastal Engineering'94, 594-608.
- Valentini A., Delli Passeri L., Paccagnella T., Patruno P., Marsigli C., Deserti M., Chiggiato J. e Tibaldi, S. (2007) - *The Sea State forecast system of ARPA-SIM*. Boll. Geof. Teor. Appl., 48 (3): 333-349.
- van Enckevort, I. M. J. e B. G. Ruessink (2001) - *Effects of hydrodynamics and bathymetry on video estimates of nearshore sandbar position*. Journal of Geophysical Research, 106: 16969-16979.