

## Un contributo allo studio della variazione della linea di costa del litorale ferrarese settentrionale

Andrea Chiorboli e Marco Gatti

Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Ferrara  
via Saragat,1 - 44100 Ferrara. Tel. 0532-974837, Fax 0532-974870  
E-mail: andrea.chiorboli@unife.it - marco.gatti@unife.it

### Riassunto

Nel presente lavoro, dopo una breve ricostruzione storica della variazione della linea di costa di tutto il litorale ferrarese, è presentato uno studio sulla variazione planimetrica di un tratto di litorale affacciato sul mare Adriatico, posto in corrispondenza del Lido di Volano di una lunghezza complessiva di circa 4.5 km, delimitato a sud da scogliere aderenti e pennelli ed a nord dalla foce del Po di Volano.

Dai risultati ottenuti durante le campagne di rilievo GPS effettuate nel periodo 1999-2007, si evince che, negli ultimi anni, la tendenza erosiva presente nella zona attrezzata della spiaggia antistante il Lido di Volano si è attenuata, mentre risulta elevato il ritmo di accrescimento della porzione più a nord, priva peraltro di insediamenti balneari.

**Parole chiave:** erosione, GPS, litorale sabbioso, monitoraggio.

### Abstract

*In the present article, after a brief historical reconstruction of the waterfront variation of the whole seacoast of the province of Ferrara (Italy), we describe the last years trend of a portion of the waterfront close to the Lido di Volano (Ferrara). The Northern edge is the Po di Volano outfall, whereas the Southern one is made by sea defence works.*

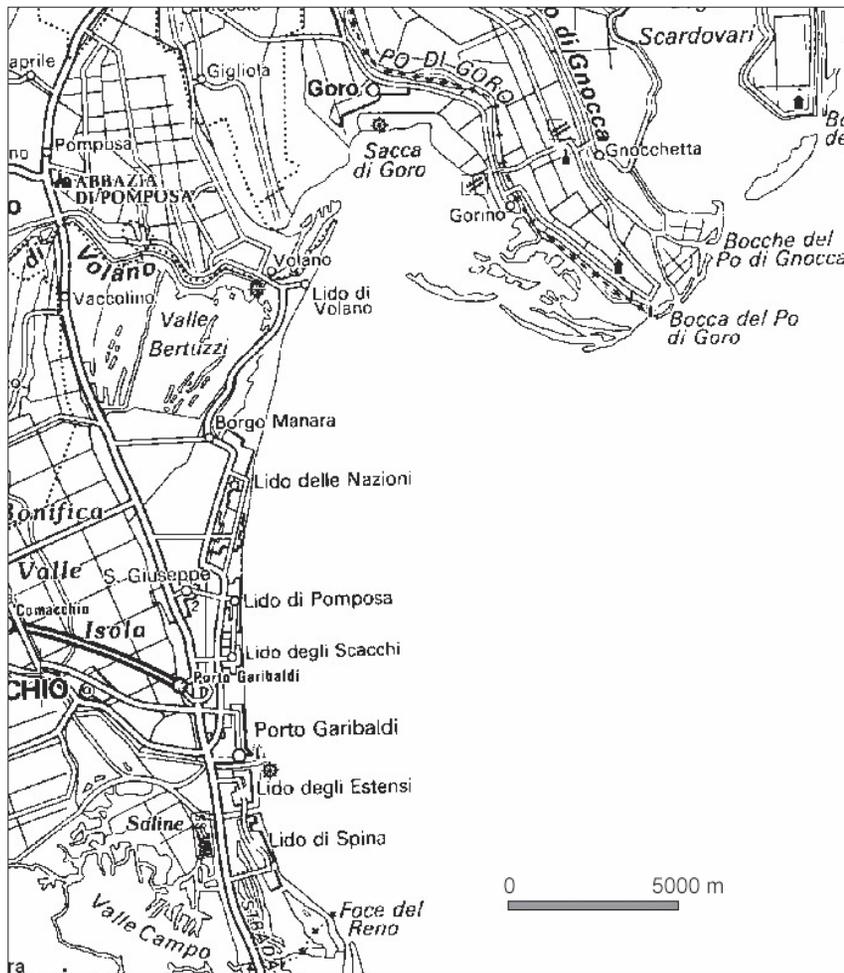
*The GPS surveyings have been carried out during the period 1999-2007. During the earlier period, the natural tendency of the beach erosion along the main tourist part of Lido di Volano has been softened. The Northern beach tract, on the contrary, has seen a fast advancement.*

**Keywords:** erosion, GPS, sandy beach, monitoring.

### Introduzione

La costa della provincia di Ferrara, che si affaccia sul mare Adriatico a nord dalla foce del Po (Fig. 1), è costituita da litorali sabbiosi a bassa pendenza, in cui si alternano tratti dotati di insediamenti balneari a tratti di spiaggia pressoché naturale. Per le sue caratteristiche essa subisce sensibili variazioni geometriche nel corso degli anni. Fra le cause che contribuiscono a tali variazioni vanno ricordate le variazioni dell'apporto dalle estrazioni in alveo, l'effetto combinato dei trasporti delle correnti da moto ondoso e delle opere artificiali solido fluviale indotte costruite in corrispondenza della linea di costa, i fenomeni di subsidenza naturale ed antropici, l'innalzamento del livello del mare, lo smantellamento delle difese naturali (dune) in corrispondenza delle spiagge e l'azione dei venti dominanti (Dal Cin, 1983).

Va anche ricordato che nella zona sono stati effettuati negli ultimi anni interventi di ripascimento artificiale, con il conseguente trasferimento di elevate quantità di materiale sabbioso, generalmente prelevato nelle zone di maggiore accrescimento delle spiagge.



Questi interventi sono effettuati generalmente durante il periodo primaverile.

Figura 1 - La costa ferrarese, sul mare Adriatico, delimitata a sud dalla Foce del Reno ed a nord dalla Bocca del Po di Goro (CTR estratta dal portale cartografico SIG della Provincia di Ferrara).

In particolare, nel tratto considerato, durante periodo 1999-2007, sono stati effettuati 9 interventi di ripascimento, per un trasporto totale di sabbia di circa 220 mila  $m^3$  (Tab. 1). Le fonti di prelievo utilizzate sono state:

- fonti esterne, quali il riciclo delle sabbie prelevate durante le pulizie delle spiagge ed i prelievi effettuati nella zona a ridosso del canale Logonovo del Lido degli Estensi (Fig. 1);
- il canale marino del porto di Goro, posto a poche centinaia di metri al largo delle spiagge del lido di Volano, oggetto di periodici dragaggi;
- la spiaggia posta a nord dell'abitato di Lido di Volano, caratterizzata dalla formazione costante di depositi sabbiosi e pertanto in continuo avanzamento.

Il monitoraggio di questa linea di costa è avvenuto attraverso diverse tecniche: fotogrammetria, GPS e, più recentemente, anche attraverso laser scanner aereo (Regione Emilia Romagna, 2004).

La tecnica GPS è ad oggi la più competitiva, in quanto permette, al contrario delle altre citate, una corretta valutazione della linea di costa, depurata dagli effetti dalle maree e valutata secondo il livello medio del mare, nonché la valutazione dei volumi attraverso la ricostruzione dei profili longitudinali. Inoltre consente, su brevi tratti di costa, la ripetibilità ravvicinata nel tempo, con investimenti modesti.

Nell'articolo, dopo un sintetico richiamo all'evoluzione morfologica del litorale ferrarese, vengono descritte le variazioni della linea di costa subite nel periodo 1999-2007, con particolare riferimento ad un tratto di litorale prospiciente il Lido di Volano. Le misure oggetto dei confronti sono state ottenute prevalentemente da rilevamenti GPS, in modalità differenziale o ad una via, a cui sono stati apportate le corrispondenti correzioni altimetriche di marea.

Tabella 1 - Interventi di ripascimento effettuati nel periodo 1999-2007 (dati forniti dal Servizio Tecnico Bacino Po di Volano della Regione Emilia-Romagna).

Progr.	Anno	Provenienza della sabbia	Area di ripascimento	Collocazione sabbia	Tratto [Km]	Volume [m <sup>3</sup> ]	Volume unitario
1	2002	Esterna	Lido di Volano Sud	Dune di retrospiaggia	1	13700	14
2	2002	Esterna	Lido di Volano Sud	Dune di retrospiaggia	0.2	3300	17
3	2003	Esterna	Lido di Volano Sud	Spiaggia emersa	1.2	37000	31
4	2003	Canale marino porto di Goro	Lido di Volano Sud	Spiaggia sommersa	1.2	51000	43
5	2004	Esterna	Lido di Volano	Spiaggia emersa e sommersa	0.2	4700	24
6	2005	Canale marino porto di Goro	Lido di Volano Sud e Nord	Spiaggia emersa e sommersa	0.9	68000	76
7	2006	Parzialmente dalla spiaggia a nord del Lido di Volano e parz. dall'esterno	Lido di Volano	Spiaggia emersa	0.7	15000	21
8	2007	Parzialmente dalla spiaggia a nord del Lido di Volano e parz. dall'esterno	Lido di Volano	Spiaggia emersa	0.2	16000	80
9	2007	Spiaggia a nord del Lido di Volano	Lido di Volano	Spiaggia emersa	0.8	9800	12

### Evoluzione generale dell'intero litorale ferrarese fino al 1999

A partire dallo studio di mappe catastali e foto aeree sono state calcolate le variazioni geometriche medie del litorale ferrarese dal 1811 fino al 1999 (Bergamini e Gatti, 2005). Secondo queste analisi, dal 1811 al 1977, vi è una sostanziale compensazione fra le aree complessive di avanzamento e quelle di arretramento. In particolare, dal 1950 al 1978, la fascia compresa fra il confine ed il molo di Porto Garibaldi è risultata in avanzamento, con un valore medio di circa 10 m/anno, mentre il restante tratto, posto a nord di Porto Garibaldi fino alla foce del Po di Volano, ha visto un arretramento medio di circa 2 m/anno. I risultati vengono giustificati dal bilancio annuale del trasporto dei sedimenti, con risultante in direzione nord (Dal Cin, 1983), che vede un deposito in corrispondenza dell'imbocco del porto-canale di Porto Garibaldi causato dalla presenza di opere di difesa.

Dal periodo delle campagne aerofotogrammetriche per la realizzazione delle CTR (1973-78) al 1999, si è notato un lieve arretramento della costa in corrispondenza della foce del Reno, mentre più a nord, fino al molo di Porto Garibaldi, l'avanzamento si è mostrato continuo, con media di circa 3 m/anno. Grazie anche all'introduzione di opere di difesa, il "trend" di arretramento del tratto posto immediatamente a nord del molo del Porto Garibaldi si è invertito, segnando un lieve avanzamento valutabile in circa 1 m/anno. Segue poi un tratto in lieve arretramento, oggetto in seguito di interventi di difesa, per poi avere di nuovo un "trend" di avanzamento nel tratto costiero a nord del Lido di Volano, esaminato di seguito nel dettaglio.

### Studio della variazione della linea di costa

Per l'esame dettagliato del tratto di costa, ci si è avvalsi delle seguenti fonti:

- mappe ottenute con rilevamenti topografici classici (1949);
- foto interpretazione di immagini aeree (1986);
- rilevamenti GPS diretti, ripetuti a cadenza annuale dal 1999 al 2007.

Le linee di costa ottenute da rilevamenti topografici classici, da foto interpretazione e da immagini satellitari sono polilinee istantanee, dedotte all'atto della misura o della presa. L'incertezza sulla posizione planimetrica della linea di costa dovuta alla tecnica di misura va sommata all'escursione prodotta dal livello del mare in quel particolare istante. Poiché queste metodologie di rilievo non consentono di ottenere i profili trasversali in corrispondenza della linea di battigia, non è possibile apportare alcuna correzione al fine di ricostruire l'andamento della linea di costa in corrispondenza dello zero idrometrico del livello del mare.

I rilevamenti GPS (periodo 1999-2007) sono stati effettuati in due diverse modalità:

- a) rilevamenti con metodo STOP and GO in post-processo; questa modalità prevede l'utilizzo di un ricevitore "master", statico, posto su un caposaldo di coordinate note e di uno o più ricevitori "rover", con i quali si rileva la linea di battigia (Gatti et al., 2000). Le coordinate tridimensionale dei punti battuti sono caratterizzate da errori quadratici medi non superiori ai dieci centimetri (Gatti et al., 1995);
- b) rilevamenti eseguiti in modalità RTK ad una via eseguiti con ricevitore GPS Navcom, con l'utilizzo dei segnali di correzione del sistema Starfire (Chiorboli e Gatti, 2004). Il sistema Starfire è caratterizzato da una precisione, nella determinazione di dislivelli e nel posizionamento planimetrico relativo a breve distanza, di circa  $\pm 20$  cm sia sulla componente orizzontale che verticale.

La procedura illustrata nel presente lavoro permette invece il confronto di una serie di posizioni della linea di costa, valutata in intervalli temporali distanziati di uno o più anni. Si tratta necessariamente di una serie temporale di diverse linee di costa ottenute nei giorni specifici dei rilevamenti, passibili di variazioni improvvise per eventi meteorologici, che tuttavia permettono di ottenere analisi globali specialmente nel medio e lungo periodo.

Altri studi (Ciavola e Corbau, 2002) si sono concentrati sulla valutazione ad intervalli temporali mensili dell'andamento della linea di costa e delle sezioni trasversali, dimostrando la correlazione fra mareggiate di energia variabile ed il conseguente trasporto di materiale dalla battigia al largo e viceversa.

### Correzioni di marea

Dalle linee di costa istantanee rilevate con la tecnica GPS è possibile isolare l'effetto della marea, individuando così una linea di costa prodotta da un livello del mare corrispondente allo zero idrometrico.

In effetti, le linee ottenute dal "post processing" dei dati GPS, rappresentano la posizione istantanea della linea di costa nel momento dell'esecuzione del rilevamento in quel particolare tratto. Ora, poiché il rilevamento stesso richiede alcune ore per essere completato, ne consegue che in quello stesso arco temporale la quota del mare subisce la variazione dovuta alle maree, pertanto anche la linea di costa istantanea subisce delle variazioni rispetto alla linea di costa corrispondente alla quota teorica dello zero idrometrico del mare. Allo scopo di isolare tale effetto, si è proceduto con il metodo delle correzioni delle maree (Borghesi et al., 2000).

Il metodo prevede:

- a) il rilevamento della linea di costa istantanea; essa può essere definita come "la linea di contatto tra mare e terraferma, ovvero l'intersezione tra la superficie che rappresenta il livello medio del mare e la superficie del terreno" (Fig. 2);
- b) il rilevamento di sezioni trasversali ortogonali alla linea di costa, distanziate di circa 150-200 m, con punti sia esterni che interni al mare, fino alla profondità di circa 1 m. Per ciascuna sezione è necessario rilevare la posizione, in modalità statica, del punto corrispondente alla linea di costa istantanea, associando ad esso l'indicazione dell'ora di misura. Dalla conoscenza di questo dato e dell'andamento della marea giornaliera rilevata dal più vicino mareografo del Servizio Mareografico Nazionale APAT (mareografo Porto Corsini, a circa 45 km dal Lido di Volano, [www.idromare.com](http://www.idromare.com)), è possibile ricavare la correzione da apportare alla quota istantanea del mare per riportarsi allo zero idrometrico, nonché le quote di alta e di bassa marea corrispondenti a quella sezione. In questo modo, la linea di costa prodotta da livello fittizio del mare corrispondente allo zero idrometrico è immediatamente confrontabile con altre linee di costa ottenute in rilevamenti precedenti. Infatti, poiché la spiaggia è sabbiosa, a bassa pendenza, la fascia intertidale si aggira attorno ai 10 m, ma in alcuni tratti può raggiungere alcune decine di metri.

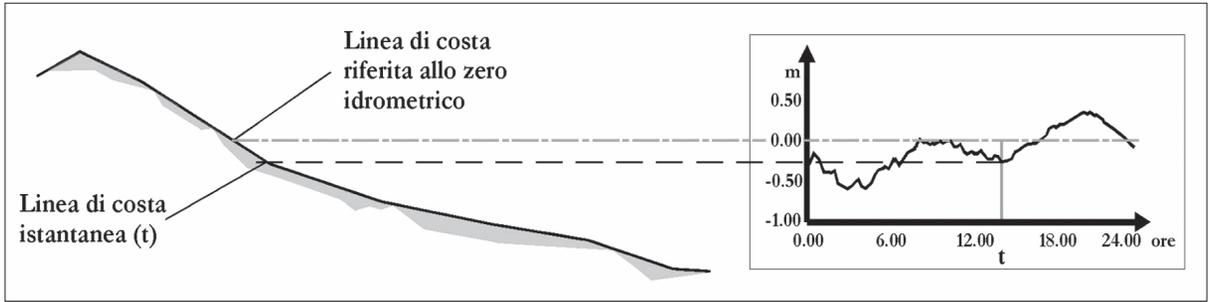


Figura 2 - Costruzione della linea di costa associata al livello medio del mare, con l'utilizzo dei grafici del livello (a destra) ottenuti dalla più vicina stazione di misura della Rete Mareografica Nazionale.

### Evoluzione della linea di costa

Vengono di seguito illustrati gli andamenti della linea di costa del tratto di spiaggia posto nei pressi del centro turistico di Lido di Volano, in un tratto della lunghezza complessiva di circa 4.5 km, delimitato a sud da opere di difesa costiera ed a nord dalla Foce del Po di Volano. Le analisi presentate riguardano:

- il confronto fra linea di costa del 1949 e quella relativa al 2007;
- il confronto fra linea di costa 1986 e quella relativa al 2007;
- l'andamento tendenziale degli ultimi anni, dal 1999 al 2007 compresi.

Per convenzione, i valori di seguito riportati sono indicati con segno positivo se associati ad un avanzamento, mentre con segno negativo sono indicati gli arretramenti.

### Confronto fra linea di costa 1949 e 2007

Durante il periodo 1949-2007 (Fig. 3, a sinistra) il tratto di litorale è risultato complessivamente, tranne un breve tratto, in avanzamento. Le velocità medie si attestano su valori compresi fra 1 e 4 m/anno nel tratto centrale, sede degli stabilimenti balneari, mentre a nord dello scanno, in corrispondenza della foce del Po di Volano, si sono riscontrate velocità decisamente superiori (circa 6 m/anno), con una vera e propria traslazione del fronte verso il largo di oltre 300 m.

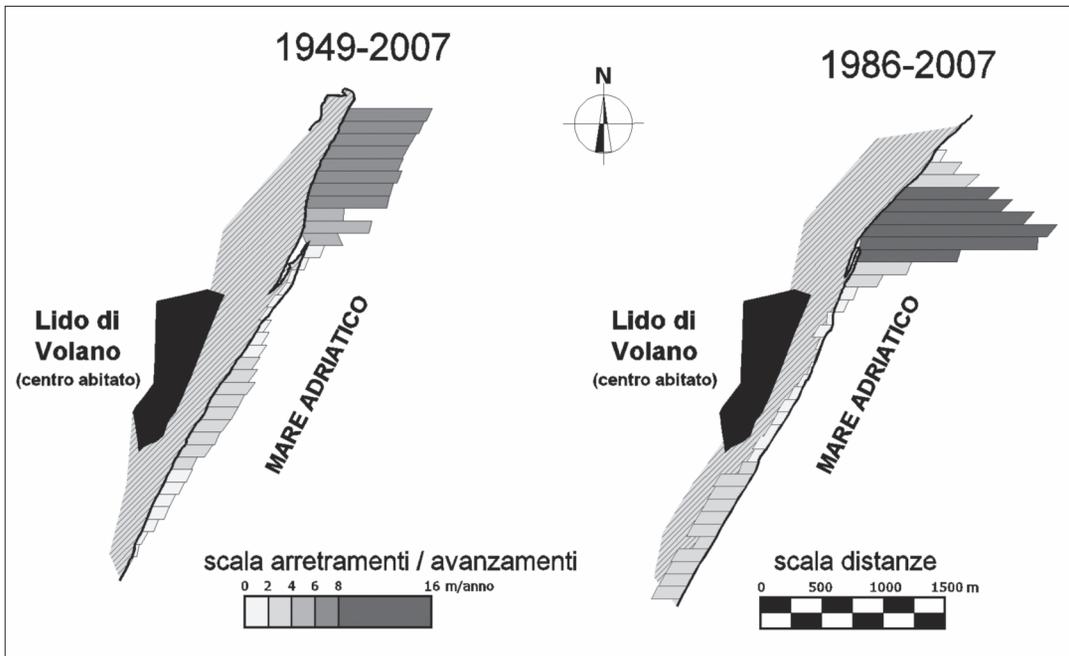


Figura 3 - Tratti in avanzamento e in arretramento valutati nei periodi 1949-2007 (a sinistra) e 1986-2007 (a destra).

### Confronto fra linea di costa 1986 e 2007

Fra il 1986 ed il 2007 (Fig. 3, a destra), nel tratto meridionale vi è stata erosione, con arretramenti che oscillano fra 50 m e 10 m nella zona degli stabilimenti balneari. Elevate invece le velocità di avanzamento nel tratto settentrionale, con avanzamenti complessivi compresi fra i 50 e i 350 m.

### Andamento ricavato dai rilevamenti GPS dal 1999 al 2007

Nel periodo 1999-2007, con le modalità di rilevamento GPS precedentemente descritte, sono state eseguiti rilevamenti a cadenza periodica annuale o biennale. Tipicamente, il rilevamento è stato eseguito alla fine del mese di maggio degli anni interessati, appena prima dell'apertura delle stagioni turistica e dell'inizio delle attività delle strutture ricettive, tranne per la campagna di misure 2007 eseguita nel mese di febbraio.

Nel periodo 1999-2002 (Fig. 4) il tratto settentrionale, composta da spiaggia naturale, è risultato in notevole avanzamento. Le caratteristiche di questa zona, con spiaggia a bassa pendenza, permettono una variazione notevole della linea di costa anche a fronte di apporti di materiale modesti. Il tratto centrale, sede delle infrastrutture turistiche, è risultato in lieve arretramento, così come il tratto più meridionale. Nel periodo 2002-2004, la zona considerata è risultata in prevalente arretramento, nonostante gli interventi di ripascimento (Tab. 1) e la costruzione dei pennelli nella zona a sud, avvenuta nell'inverno 2002-2003. Nel periodo 2004-2006, la zona centrale e la zona meridionale si sono dimostrate sostanzialmente invariate, grazie anche agli interventi citati, a fronte di una continua tendenza di avanzamento del tratto settentrionale.

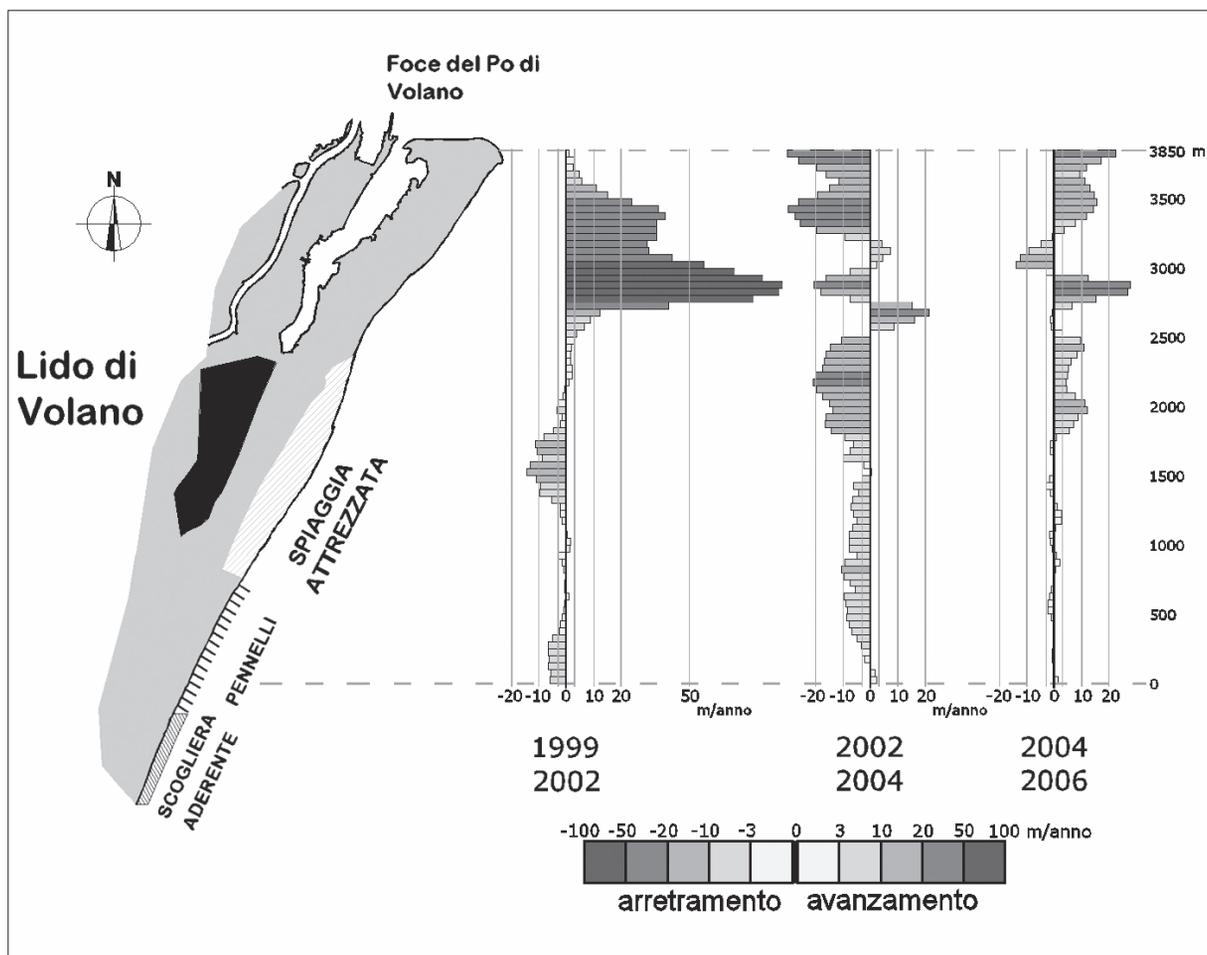


Figura 4 - Andamento della linea di costa nei periodi 1999-2002, 2002-2004 e 2004-2006.

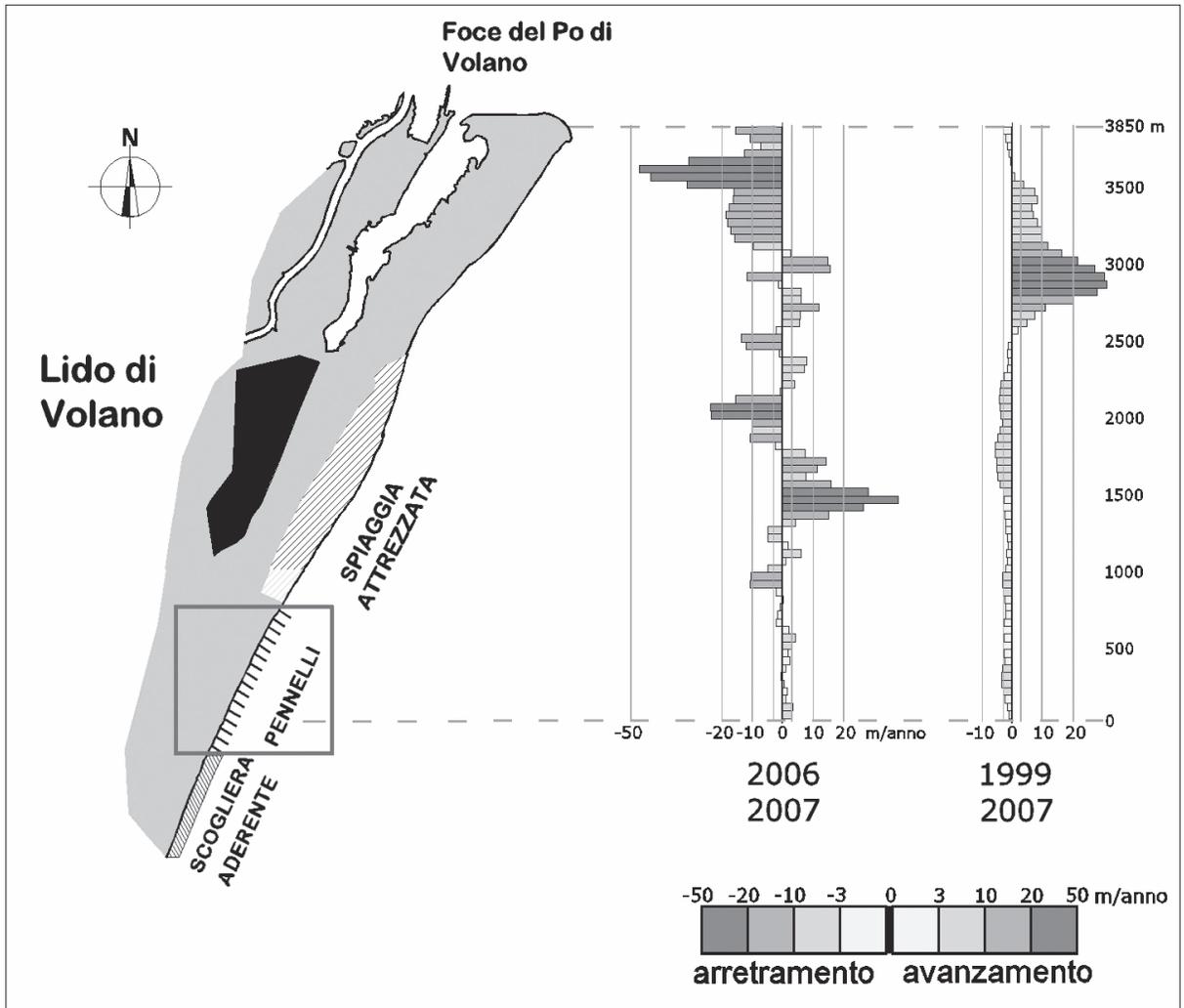


Figura 5 - Andamento della linea di costa nel periodi 2006-2007 ed andamento globale nel periodo 1999-2007. La zona contrassegnata dal riquadro è esaminata in dettaglio nella Figura 6.

Il periodo 2006-2007 (Fig. 5) vede un notevole arretramento della zona settentrionale, per la quale valgono tuttavia le considerazioni al riguardo, relative alla bassa pendenza della linea di costa e all'escursione elevata che si ha anche con modeste variazioni della quota della fascia costiera.

Ai fenomeni naturali, occorre poi aggiungere l'effetto dei ripascimenti attuati nella zona centrale, per i quali la zona di spiaggia posta fra il termine settentrionale della spiaggia attrezzata e la foce del Po di Volano è stata usata come punto di prelievo del materiale (Tab. 1).

L'andamento medio valutato nel periodo 1999-2007 offre una visione maggiormente indipendente da fenomeni locali e transitori. L'estremità settentrionale è risultata in lieve arretramento, ma la zona immediatamente vicina ha subito un avanzamento con velocità medie superiori a 5 m/anno fino a 30 m/anno. Diversa invece la situazione nella zona centrale, in lieve arretramento, pur se il "trend" si è nell'ultimo periodo invertito mostrando zone di recupero, con avanzamento del litorale.

La zona meridionale vede una velocità media di arretramento, valutata nei periodi 1986-1999 e 1999-2007, di circa 2 m/anno (Fig. 6). Tuttavia negli anni più recenti, in questo tratto, grazie agli interventi di ripascimento ed alla presenza di strutture di difesa a pennelli, la tendenza erosiva è stata rallentata, come risulta dall'andamento mostrato nei periodi 2006-2007, con segni di avanzamento, seppure di modesta entità (Fig. 5).

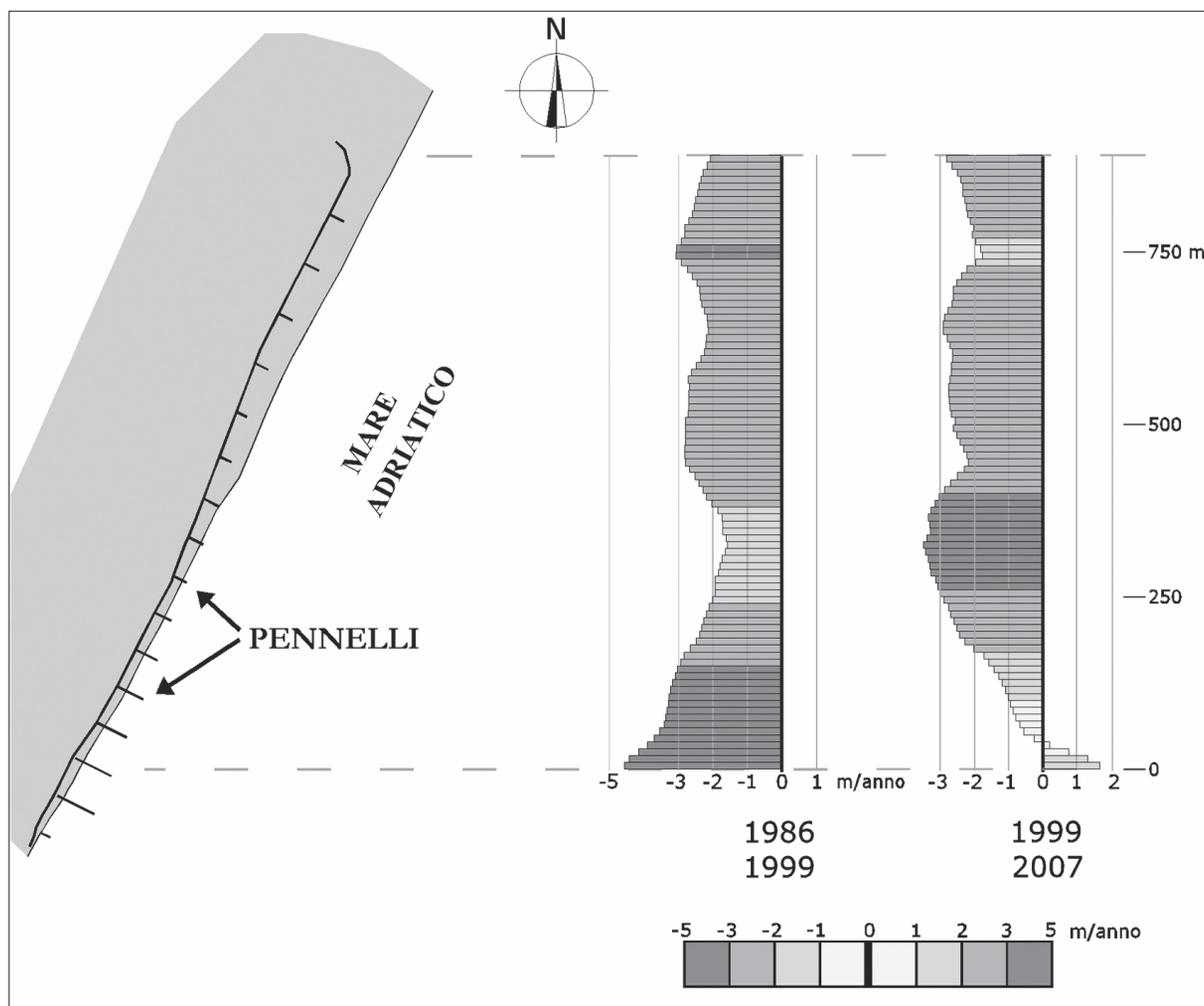


Figura 6 - Velocità di erosione/accrescimento nella zona dei pennelli (costruiti nell'inverno 2002-2003) nei periodi 1986-1999 e 1999-2007.

Il bilancio complessivo delle superfici di avanzamento e di arretramento (Tab. 2) per ciascun periodo vede un alternarsi dei periodi a bilancio positivo (1999-2002 e 2004-2006) con periodi a bilancio negativo e quindi di erosione prevalente (2002-2004 e 2006-2007).

Nell'intero periodo considerato, dal 1999 al 2007, il valore complessivo della superfici di avanzamento risulta essere pari a 10.97 Ha, mentre l'arretramento ha comportato una perdita di 5.87 Ha di spiaggia per un bilancio complessivo di 5.10 Ha di spiaggia in più rispetto al 1999.

Tabella 2 - Bilanci delle superfici di avanzamento e di arretramento della linea di costa.

Periodo	1999-2002	2002-2004	2004-2006	2006-2007	1999-2007
Avanzamento [Ha]	12.42	0.86	3.72	1.00	10.97
Arretramento [Ha]	-2.74	-7.81	-0.67	-1.68	-5.87
Bilancio [Ha]	9.68	-6.95	3.05	-0.68	5.10

## Conclusioni

Nel tratto di costa considerato, la tendenza erosiva mostrata nella zona degli stabilimenti balneari sembra essersi arrestata, a fronte comunque di consistenti interventi di difesa. Il tratto settentrionale di spiaggia naturale ha ancora oggi un'evoluzione molto rapida, con variazioni della linea di costa che nel medio periodo sono tendenzialmente in accrescimento.

## Ringraziamenti

Si ringraziano l'ing. Andrea Peretti e il dott. Maurizio Farina del Servizio Tecnico Bacino Po di Volano, per avere cortesemente fornito i dati relativi ai ripascimenti effettuati negli ultimi anni nel tratto di litorale oggetto di studio.

## Bibliografia

- Bergamini B., Gatti M. (2005) - *La variazione della linea di costa lungo le spiagge emiliano-romagnole. Analisi evolutiva dall'inizio del secolo XIX alla fine del secolo scorso*. L'Universo, anno LXXXV, 4: 509-521.
- Borghesi A., Gatti M., Russo P. (2000) - *Studio della variazione della linea di costa a nord dei lidi ferraresi*. INARCOS Ingegneri Architetti Costruttori n. 615, dicembre 2000, Bologna.
- Ciavola P., Corbau C. (2002) - *Modeling the response of an intertidal bar to "medium energy" events*. Solutions to Coastal Disasters 02, Proceedings of the Conference, 24-27 February 2002, American Society of Civil Engineers.
- Chiorboli A., Gatti M. (2004) - *Il posizionamento GPS ad una via basata sul sistema StarFire. Test sperimentale in modalità statica e cinematica*. Bollettino SIFET Società Italiana di Topografia e Fotogrammetria, 2: 95-107.
- Dal Cin R. (1983) - *I litorali del Delta del Po e alle foci dell'Adige e del Brenta: caratteri tessiturali e dispersione dei sedimenti, cause dell'arretramento e previsioni sull'evoluzione futura*. Bollettino Società Geologica Italiana, 102: 9-56.
- Gatti M., Pellegrinelli A. e Russo P. (1995) - *Un contributo allo studio sperimentale del sistema GPS "Real Time Kinematic Survey" - On The Fly*. Bollettino SIFET Società Italiana di Topografia e Fotogrammetria, 3: 107-116.
- Gatti M., Ciavola P., Tessari U., Zamariolo A., Del Grande C. (2000) - *Caratterizzazione della morfologia di spiaggia lungo lo Scanno di Goro tramite tecniche GPS e rilievi batimetrici*. Studi Costieri, 2: 175-188.
- Regione Emilia Romagna, Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli (2004) - *Il rilievo Lidar della costa e del fiume Savio: costruzione di un modello digitale del terreno e di superficie ad altissima risoluzione*. Pubblicato in [www.regione.emilia-romagna.it/wcm/geologia/canali/costa.htm](http://www.regione.emilia-romagna.it/wcm/geologia/canali/costa.htm)

## Siti internet consultati

[www.idromare.com](http://www.idromare.com) Portale del Servizio Mareografico - APAT

[www.provincia.ferrara.it](http://www.provincia.ferrara.it) Sezione Portale tematico della Carta Geografica Unica della Provincia di Ferrara

Ricevuto il 28/05/2007, accettato il 10/03/2008.