

## Stabilizzazione di arenili in erosione tramite sistemi di drenaggio della battigia: casi studio in Italia

Elisa Fontana <sup>1</sup>, Paolo Ciavola <sup>1</sup>, Diego Vicinanza <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Ferrara, Ferrara, Italy,  
Email: fntlse@unife.it, cvp@unife.it

<sup>2</sup>Dipartimento di Ingegneria Civile, CIRIAM, Seconda Università di Napoli, Aversa, Italy  
Email: diegovic@unina.it

### Sommario

La presente memoria descrive il comportamento di alcune spiagge italiane (Alassio, Ostia, Procida, Bibione, Metaponto, Lido Adriano) sottoposte ad interventi di drenaggio mediante BDS (Beach Drainage System).

L'analisi è stata svolta studiando l'evoluzione della linea di riva e le variazioni volumetriche della spiaggia mediante dati che, ove possibile, sono stati ricavati dallo studio e dall'elaborazione, dei rilievi topografici e batimetrici messi a disposizione dagli installatori del sistema, ad eccezione di un sito sperimentale (Lido Adriano, Ravenna) dove è disponibile un record di 4 anni di monitoraggio morfologico intrapreso dagli Autori.

In generale l'effetto positivo del dreno sul bilancio di spiaggia non sembra ben delineabile. Su tutti i siti, tranne che su Alassio e Lido Adriano, il monitoraggio è stato svolto per un periodo non sufficientemente lungo tale da consentire una corretta valutazione dell'efficacia del dreno sulle variazioni morfodinamiche della spiaggia. I siti di Alassio e Lido Adriano identificano un ruolo stabilizzante da parte del sistema, su una fascia di battigia molto ristretta. Nel caso di Lido Adriano, le dinamiche naturali (apporto di sedimenti, mareggiate) sembrano comunque controllare il bilancio di spiaggia al di là della presenza del dreno.

Si conclude che l'utilizzo di questo tipo di protezione dei litorali rimane limitato a causa di inefficienti linee guida nella progettazione e di scarsa evidenza scientifica sulla sua efficacia.

**Parole chiave:** drenaggio della spiaggia, Beach Management System, piezometrica, protezione dei litorali, Lido Adriano, variazioni volumetriche.

### Abstract

*The current paper describes the morphological behaviour of six Italian beaches (Alassio, Ostia, Procida, Bibione, Metaponto, Lido Adriano) where Beach Drainage Systems (BDS) have been installed. The study considered the evolution of the shoreline and volumetric changes using topographic and bathymetric surveys performed by the contractors that installed the system and, in one occasion (Lido Adriano), surveys carried by the authors for a period of 4 years.*

*In general, the role of drainage in enhancing beach sedimentation is not well defined. At all sites, except at Alassio and Lido Adriano, duration of the monitoring programme was too short for providing a significant assessment of how drainage controlled beach morphodynamics. At such sites, the effect of the drain could be restricted to a small part of the beachface. At the site of Lido Adriano, natural beach dynamics (sediment input and role of storms) seem to control the beach sediment budget much more clearly than does the drainage.*

*We conclude that the use of this solution for coastal protection still lacks clear design guidelines and that there is little scientific evidence of the efficiency of drainage systems in controlling beach processes.*

**Keywords:** *beach dewatering, Beach Management System, piezometric, coastal protection, Lido Adriano, volumetric changes.*

### Introduzione ai sistemi di drenaggio

I sistemi di drenaggio di spiaggia potrebbero rappresentare un metodo complementare alle tecniche tradizionali di protezione costiera. È noto che in fase di *run-up* il sedimento trasportato per sospensione e trascinamento tende a depositarsi sulla battigia mentre in fase di *run-down* il sedimento tende a depositarsi sulla parte bassa della spiaggia generando così dei fenomeni di erosione/accrezione.

La perdita di energia potenziale per effetto della percolazione all'interno della spiaggia emersa contribuisce alla diminuzione di energia del *back-wash* (Grant, 1948) producendo una serie di meccanismi che favoriscono la stabilizzazione della linea di riva. Infatti, quando la superficie piezometrica è alta per effetto della marea o della frequenza delle onde, il flusso di ritorno in battigia è tale da provocare un aumento dell'erosione potenziale (Duncan, 1964). La rapida successione di onde e quindi di *run-up* determina una continua ricarica idraulica degli strati superficiali di sedimento, con il conseguente innalzamento della posizione media della linea di saturazione o anche la completa saturazione della zona di *swash*. In questo caso la spiaggia è completamente satura ed il grado di stabilità dei sedimenti diminuisce.

I primi studiosi a proporre l'applicazione pratica di tale teoria furono Machemehl et al. (1975). Successivamente ricercatori australiani (Chappel et al., 1979) riuscirono a condurre il primo vero esperimento di drenaggio della spiaggia, ottenendo risultati positivi e nel 1983 il Danish Geotechnical Institute realizzò il primo prototipo a Hirtshals, sulla costa nord-est della Danimarca (Ovesen e Shuldt, 1992).

La prima correlazione tra la quota della piezometrica ed i processi di erosione/accrezione della spiaggia fu proposta da Grant (1946, 1948), che condusse per alcuni anni delle osservazioni su di un tratto di costa nel sud della California, ed osservò che ad una quota alta della piezometrica coincideva un'accelerazione del processo di erosione, mentre per quote della piezometrica via via minori, la spiaggia si mostrava in avanzamento.

I primi ricercatori che studiarono in laboratorio, su modelli bidimensionali, la possibilità di una modifica artificiale della quota della piezometrica furono Machemehl et al. (1975). Successivamente vari studiosi (Kawata e Tsuchiya, 1986; Sato, 1990; Ogden e Weisman, 1991; Oh e Dean, 1992; Oh e Dean, 1994; Sato et al., 1994) hanno simulato in laboratorio gli effetti del drenaggio di spiaggia.

Il confronto tra la parte del modello sottoposta a drenaggio e quella non drenata, dimostrò che gli effetti dell'abbassamento della piezometrica sono positivi, con una generale stabilizzazione ed avanzamento della linea di riva. Più recentemente, numerose sperimentazioni in laboratorio (Damiani e Ranieri, 1988) hanno confermato che l'abbassamento della superficie freatica in terreni granulari ne aumenta la stabilità e ne elimina la tendenza a muoversi.

Il *Beach Management System* (BMS) o *Beach Dewatering System* (BDS) è stato brevettato nel 1985 dal *Danish Geotechnical Institute* (Vesterby, 1991; Vesterby, 1994) e basa il suo funzionamento proprio sui concetti enunciati sopra. La struttura è molto semplice ed è costituita da uno o più dreni posti parallelamente alla linea di riva al di sotto della linea di falda (Fig. 1).

La distanza dalla linea di riva e la profondità alla quale viene posto il dreno sono tra i fattori principali che decretano una maggiore o minore efficacia del sistema, e sui quali si stanno effettuando ancora numerosi studi.

Il dreno, generalmente ricoperto con una coltre di sabbia quarzifera stabilizzante, attraverso un tubo di raccordo, convoglia l'acqua raccolta ad un pozzetto. Il processo di drenaggio fino al pozzetto avviene per gravità, ed il pozzetto è posto sul margine interno della spiaggia, la quale viene pompata l'acqua drenata nuovamente in mare attraverso condotte appositamente realizzate.

Le spiagge limitrofe alla zona protetta non subiscono una marcata influenza della presenza del dreno, in quanto, a differenza delle strutture rigide, questo intercetta solo una piccola percentuale del materiale trasportato dalle

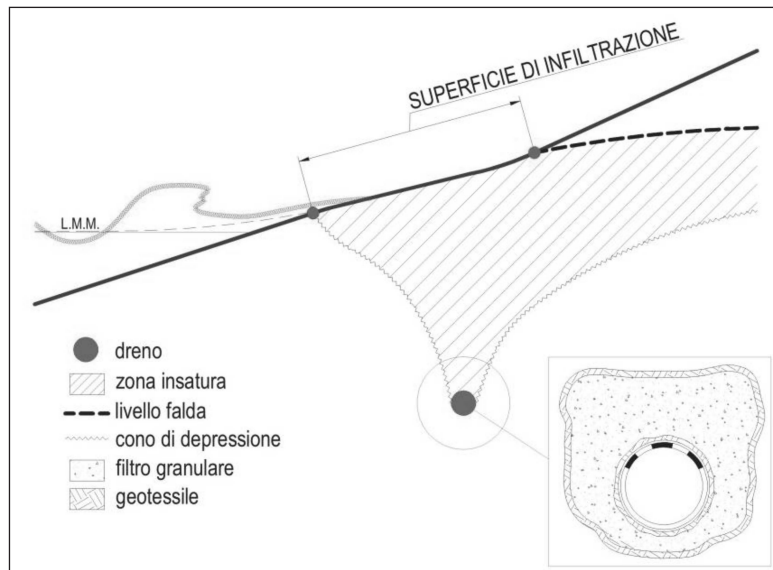


Figura 1 - Azione del BMS sulla piezometria e particolare della sezione del drenaggio.

correnti lungocosta, le quali continueranno a garantire il bilancio di sabbia preesistente all'intervento.

In Italia il BMS ha riscosso un grande interesse grazie ai notevoli vantaggi che presenta rispetto ai metodi di protezione costiera tradizionali. Infatti, oltre alla facilità di installazione ed alla semplicità di funzionamento, l'impatto sull'ambiente nel senso più ampio del termine, e sugli utilizzatori della spiaggia, è nullo. Rimane però il problema di riuscire a definire le reali possibilità di questa soluzione stabilizzatrice, soprattutto in un'ottica di valutazione costi/benefici rispetto a soluzioni più tradizionali come le opere rigide ed i ripascimenti.

### I sistemi di drenaggio in Italia

I sistemi di drenaggio che sono stati installati sulle spiagge italiane dal 2001 ad ora sono sette, anche se alcuni sono stati disattivati. Il BMS è stato impiegato sia in *pocket beaches*, sia su spiagge rettilinee, sia su spiagge in prossimità della foce di un fiume. Le granulometrie medie dei sedimenti di spiaggia oscillano tra 0.18 e 0.36 mm e la morfodinamica della spiaggia varia tra intermedia a riflettente. Dai dati disponibili in letteratura i risultati di una *performance* positiva del sistema sono abbastanza limitati. Gli unici dati pubblicati finora si riferiscono ai siti di Alassio in Liguria (Bowman et al., 2006; Bowman et al., 2007), Isola di Procida vicino a Napoli (Vicinanza et al., in stampa) e Lido di Ostia nei pressi di Roma (Damiani et al., 2003). Tranne in alcuni dei casi citati sopra, l'attività di monitoraggio non è stata sufficientemente accurata sia da un punto di vista spazio-temporale (pochi transekti, non sufficientemente estesi e frequenza dei rilevamenti nel tempo bassa/insufficiente) che tecnologico (mancanza di misura delle forzanti fisiche).

Il presente lavoro riprende un precedente articolo di revisione sull'argomento (Ciavola et al., 2009) ampliando l'analisi dei dati disponibili.

### Il litorale di Alassio (SV)

#### *Descrizione del sito e caratteristiche del sistema di drenaggio*

Nel febbraio 2004 veniva terminata la messa in opera di un impianto BMS (operativo dal 1 marzo 2004) in un tratto di arenile lungo circa 200 m e era una spiaggia lunga circa 3 km costituita da sabbia fine ( $d_{50}=0.17-0.25$  mm) con alcune zone in cui sono presenti depositi di ciottoli. I dati di clima di moto ondoso archiviati dalla Rete Ondametrica Nazionale (RON), misurati dalla boa al largo di La Spezia ( $40^{\circ}52'00''N$ ,  $12^{\circ}56'60''E$ , Mar Ligure) indicano che il litorale Alassio è esposto ad onde provenienti tra  $210^{\circ}N$  e  $225^{\circ}N$ .

L'impianto installato aveva due tubazioni di lunghezza 100 m poste ad un interasse di 1 m; il diametro delle condotte era di 160 mm.

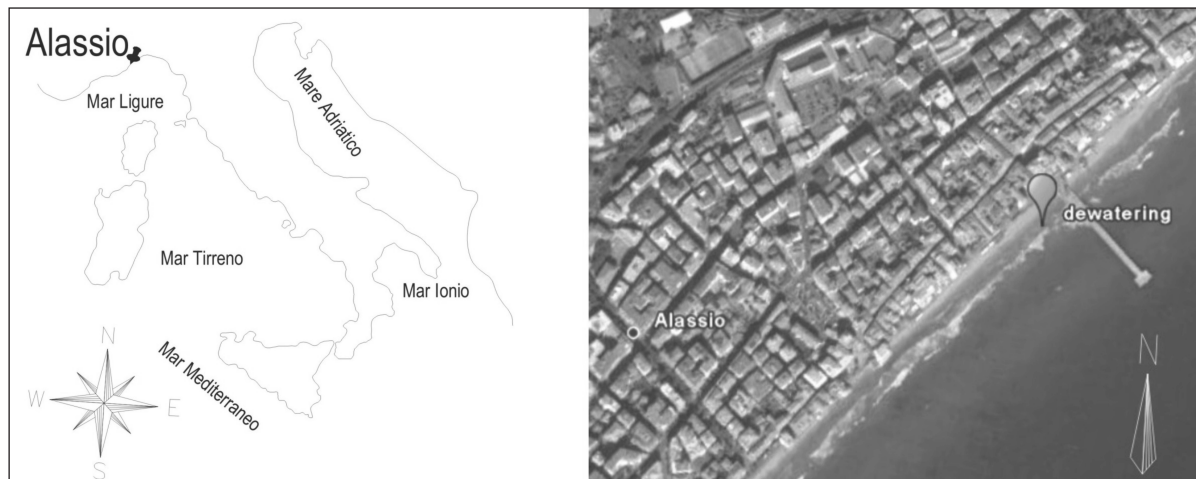


Figura 2 - Inquadramento della zona in esame ad Alassio (Google Earth™).

**Evoluzione morfologica**

Le indagini qui analizzate (febbraio 2004-marzo 2005) sono state effettuate dagli installatori (Impresub S.r.l.) lungo 5 profili drenati e lungo 5 profili su una sezione di controllo situata 220 m a sud del sistema di drenaggio (Fig. 3A).

I dati a disposizione riguardano la variazione volumetrica, misurata in metri cubi (m<sup>3</sup>) assoluti fino alla -0.50 m, e la variazione della linea di riva, misurata in metri lineari (ml).

Dal momento che i rilievi a disposizione non erano stati effettuati con cadenza regolare, per poter interpretare correttamente i dati questi sono stati riportati su base mensile.

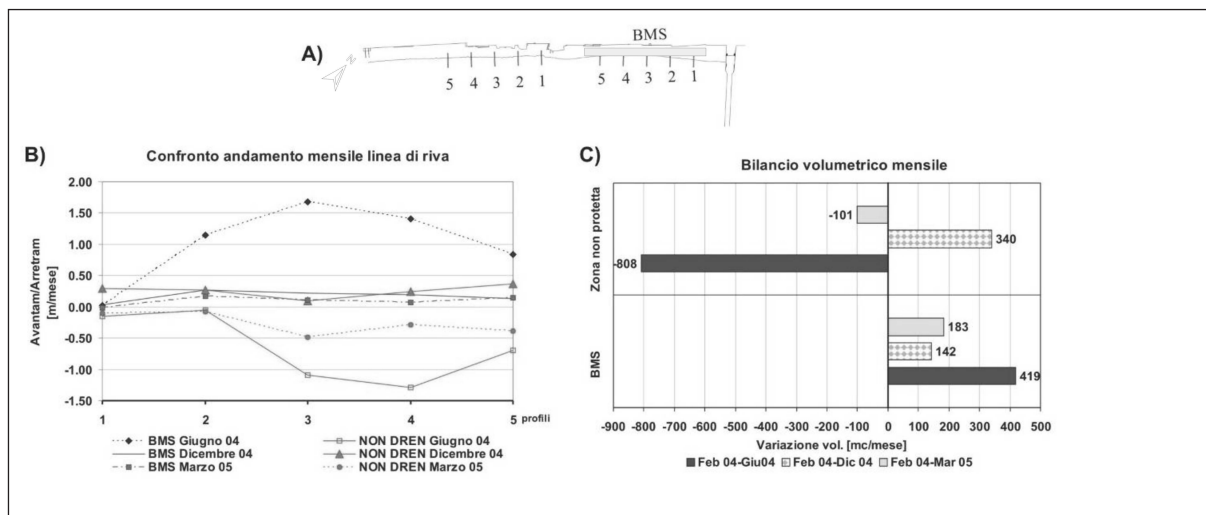


Figura 3 - A) Profili tratto drenato (BMS) e non drenato; B)Variazioni mensili della linea di riva; C) Istogramma bilancio volumetrico mensile (fino a alla quota di -0.50 m).

Come è possibile osservare dal grafico di figura 3B, le variazioni della linea di riva nel tratto non protetto mostravano un continuo arretramento anche dopo l’installazione (febbraio 2004), con l’eccezione di alcune zone in accrezione nel dicembre 2004. Il tratto drenato mostrava un improvviso aumento di volume (Fig. 3C) corre-

lato ad un cospicuo avanzamento della linea di riva (Fig. 3B) dopo la costruzione del sistema (febbraio-giugno 2004), tuttavia tale morfologia non si presentava più nel rilievo di dicembre dove a seguito di diverse mareggiate invernali si aveva una notevole perdita di volume della spiaggia.

Dopo un anno dall'installazione si osservava un debole aumento nel volume di sedimento depositatosi nel tratto drenato e la linea di riva si trovava praticamente nella posizione pre-accensione. Queste osservazioni sono in accordo con quelle pubblicate da Bowman et al. (2007), basate su rilievi indipendenti effettuati da quegli Autori.

Inoltre come è stato possibile notare dalle sezioni trasversali lungo i profili, i volumi positivi registrati nel tratto drenato potrebbero essere imputabili ad una redistribuzione del sedimento lungo il profilo di spiaggia e non ad un incremento deposizionale.

La risposta della variazione della linea di riva fu studiata anche da Tessari et al. (2008) dove, contrariamente a quanto detto dagli Autori, nello stesso periodo di osservazione fu riscontrato un avanzamento massimo della linea di riva compreso tra i 4 m ed i 9 m.

### La spiaggia di Ostia (Roma)

#### *Descrizione del sito e caratteristiche del sistema di drenaggio*

L'area in esame è collocata in corrispondenza della costa laziale compresa tra la foce del Canale dei Pescatori e l'area della Tenuta di Castel Porziano in località Ostia Lido (Mar Tirreno) (Fig. 4). La piana costiera su cui sorge l'abitato di Ostia, delimitata a nord-ovest dal Fiume Tevere ed a nord-est dalle propaggini dei colli albani, si è sviluppata grazie alla progressiva progradazione degli apparati deltizi del Fiume Tevere.

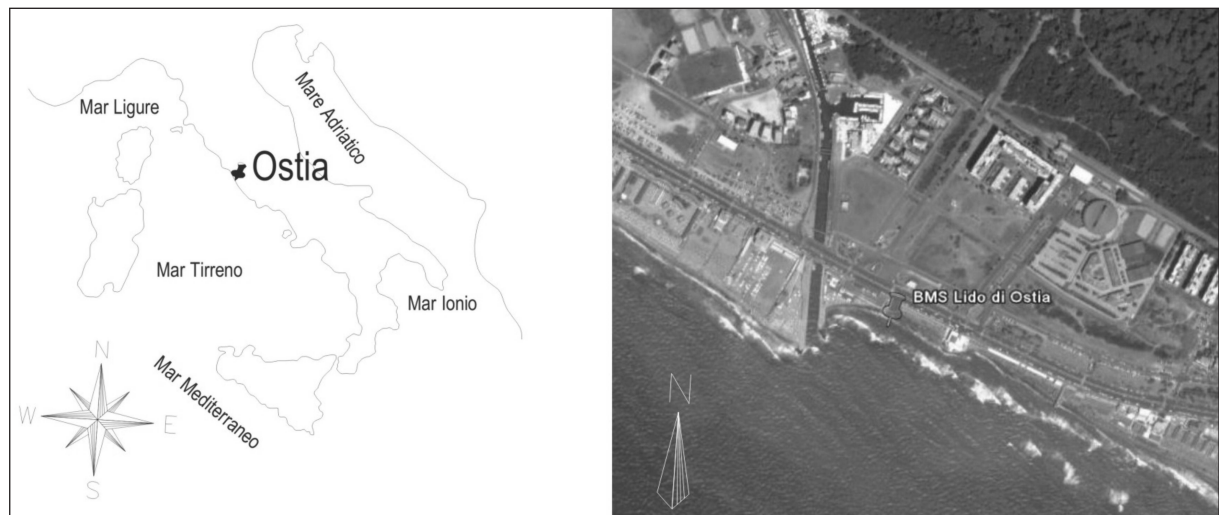


Figura 4 - Inquadramento della zona in esame ad Ostia (Google Earth™).

Secondo Damiani et al. (2003) la spiaggia prima dell'installazione era larga circa 43 m con sabbie a granulometria fine ( $d_{50}=0.15-0.20$  mm) ben assortite. Il BMS di Ostia rappresenta il primo impianto di drenaggio a livello italiano (febbraio 2001) ed era composto da tre condotte drenanti indipendenti di diametro 160 mm, ognuna con una propria stazione di pompaggio (Damiani et al., 2003). Il sito aveva subito un intervento di ripascimento nel 1999 ed il prototipo di impianto di drenaggio iniziava le attività nel febbraio 2001, ma era operativo per poco più di un anno, quando si decideva di effettuare un altro ripascimento (R. Rossetti, pers. Comm.). Purtroppo non sono disponibili dati a lungo termine per quanto riguarda le prestazioni dell'impianto. I primi risultati all'accensione sembravano indicare una progradazione della linea di riva con incrementi di 10 m in pochi mesi, ma tali prestazioni non furono mantenute a lungo termine, mostrando da subito alcuni problemi legati al danneggiamento del dreno (Damiani et al., 2003).

Diversamente, dai risultati pubblicati da Tessari et al. (2008) si evince che tra i siti italiani Ostia sembrerebbe l'impianto che ha mostrato la risposta migliore con avanzamenti massimi della linea di riva compresi tra i 4 m ed i 10 m.

### Isola di Procida, il litorale della Chiaiolella (NA)

#### *Descrizione del sito e caratteristiche del sistema di drenaggio*

L'isola di Procida (40°45'N, 14°00'E) con la sua forma allungata e ricca di insenature semicircolari, residui di crateri vulcanici, ha una superficie di circa 4 km<sup>2</sup> ed è caratterizzata da coste rocciose a picco sul mare o con una fascia più o meno ampia di spiaggia alla base delle falesie. Le spiagge sabbiose sono in genere poco estese, eccezion fatta per le spiagge di Ciraccio (NNE) e Ciracciello (SSO) (Fig. 5) di discreta estensione lungo la costa occidentale, tutte interessate da spiccati fenomeni erosivi. L'erosione delle pareti rocciose fornisce ciottoli e sabbie; sulle spiagge di Ciraccio e Ciracciello si osservano fasi erosive in seguito alle forti mareggiate e dall'azione dei venti di ponente e maestrale che spirano sul litorale. L'azione del mare attualmente ha unificato le due spiagge, prima separate da due promontori, trasformati in faraglioni.

La spiaggia è classificabile come *pocket beach* con pendenza media del fondale (fino alla profondità di 10 m) di circa 2% con batimetrie pressoché parallele alla linea di costa; il *backshore* è limitato da una scogliera alta 10 m formata da rocce piroclastiche. La spiaggia si estende per 1.5 km, è quasi rettilinea ed è orientata NNE - SSW. L'analisi del clima di moto ondoso effettuata utilizzando i dati forniti dalla boa della RON, al largo dell'isola di Ponza (40°52'00"N, 12°56'60"E, Mar Tirreno), evidenzia che il litorale della Chiaiolella è esposto a onde provenienti dal settore di traversia compreso tra 280° N e 5° N (Vicinanza et al., in stampa) (Fig. 5).

La parte emersa della spiaggia della Chiaiolella è formata da sabbie a granulometria media ben assortite ( $d_{50}=0.35$  mm), diversamente nella parte sommersa sono presenti diversi ciottoli (fino al 33%).

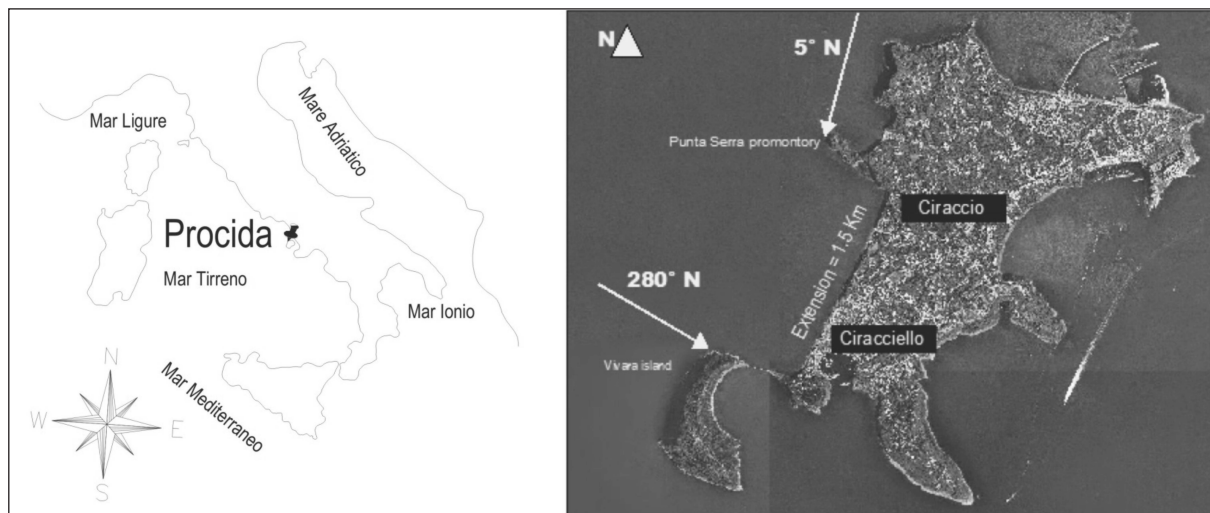


Figura 5 - Inquadramento della zona in esame con indicazione del BMS.

L'impianto veniva installato nell'aprile 2002 ed era composto da tre moduli aventi diametro pari a 140 mm e lunghezze di 325 m, 390 m e 100 m. Le tubazioni erano poste alla profondità di 0.5 m l.m.m. e la capacità drenante variava tra 15 e 20 l/s (Vicinanza et al., in stampa).

Le ragioni principali che hanno giustificato l'installazione del sistema sono state, oltre a fornire una più ampia spiaggia per gli utenti, la possibile limitazione dell'erosione della scogliera durante eventi di tempesta.

Il sistema non è più operativo dal dicembre 2004, dato che le autorità locali hanno deciso di intraprendere un ripascimento e misure di stabilizzazione della scogliera.

**Evoluzione morfologica**

Prima di eseguire l'installazione del sistema di drenaggio nel mese di ottobre 2001 veniva effettuato un rilievo mediante DGPS (RTK) dalla ditta GAIT S.r.l. Il rilievo era stato ripetuto nei mesi di agosto e ottobre 2002. Venivano rilevati settantatre profili con un interasse di 20 m; i profili venivano misurati da una quota di 3 m ad una profondità di 2 m (Fig. 6A). L'area di studio veniva divisa in due segmenti corrispondenti alla spiaggia di Ciraccio e di Ciracciello, le sezioni di controllo situate erano localizzate rispettivamente a nord ed sud di ciascun segmento drenato (Figg. 6B, C).

Analizzando l'evoluzione della linea di riva tra ottobre 2001 ed agosto 2002 non si nota una chiara discriminazione tra i tratti in arretramento e quelli in avanzamento. In particolare nei tratti drenati, non si registravano degli avanzamenti apprezzabili: a Ciraccio la spiaggia drenata avanzava di soli 4 m, mentre la spiaggia di controllo avanzava 8 m, a Ciracciello la spiaggia drenata avanzava in media di 2 m mentre la spiaggia di controllo era avanzata in media 6 m.

Osservando la linea di riva nel rilievo di agosto 2002 si notava una leggera stabilizzazione con tendenza all'avanzamento, ma il fenomeno è irregolare e non è correlabile alla presenza o meno del dreno.

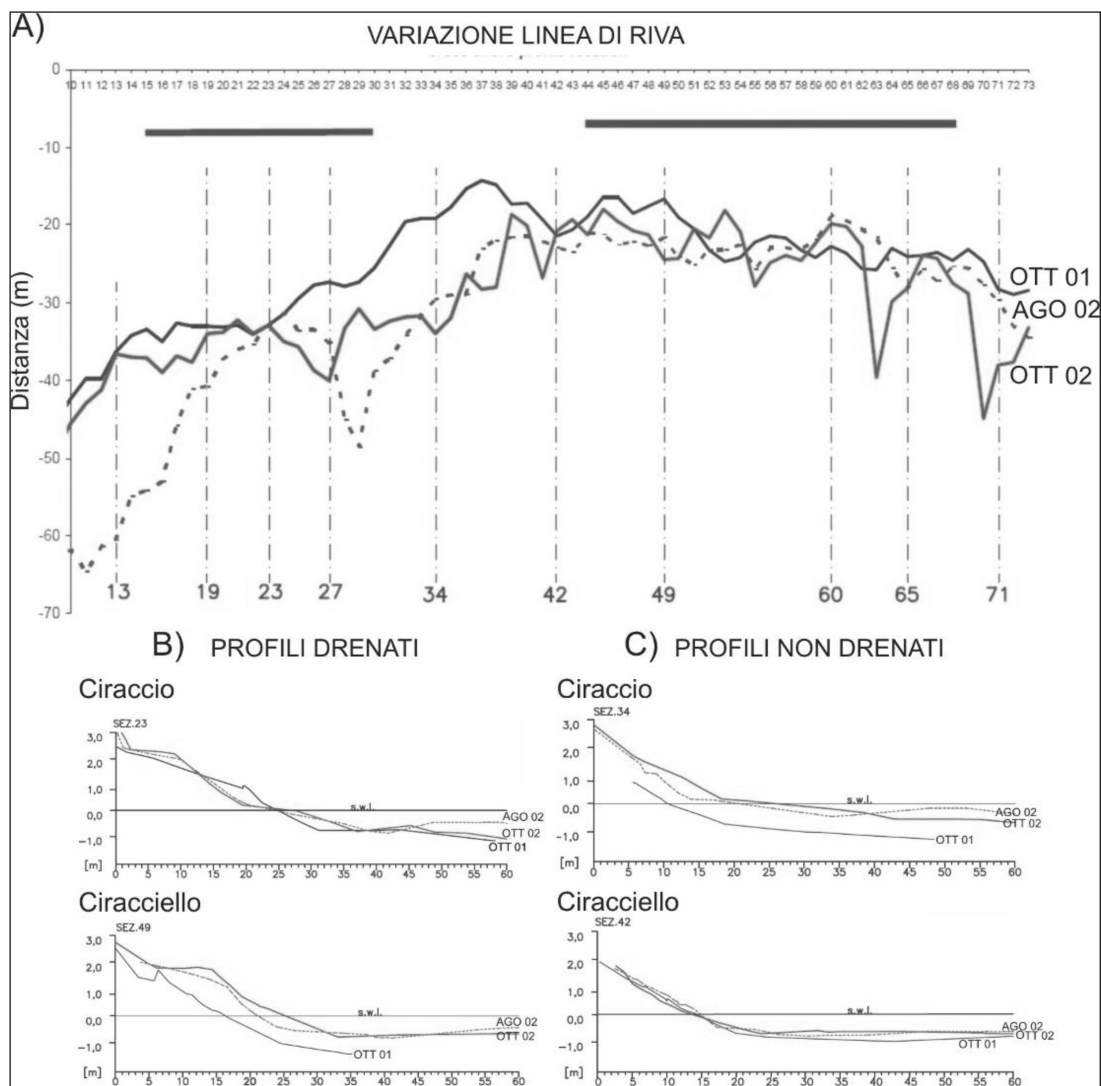


Figura 6 - A) Evoluzione della linea di riva; B) profili situati sul tratto drenato; C) profili situati sul tratto non drenato.

Dal momento che la zona drenata era più estesa della non drenata, i volumi (Figg. 7A, B) sono stati ricalcolati con media pesata. Analogamente agli altri siti, i rilievi non erano stati effettuati a cadenze regolari pertanto si è deciso di calcolare le variazioni su base mensile; essendo i volumi calcolati lungo i profili, i dati vengono espressi come  $\text{m}^3/\text{ml}$ .

Dall'analisi è emerso che tra ottobre 2001 ed agosto 2002 le variazioni volumetriche nella spiaggia di Ciraccio (NNE) erano positive con valori leggermente più alti nella zona non drenata, diversamente da quanto accaduto nella spiaggia di Ciracciello.

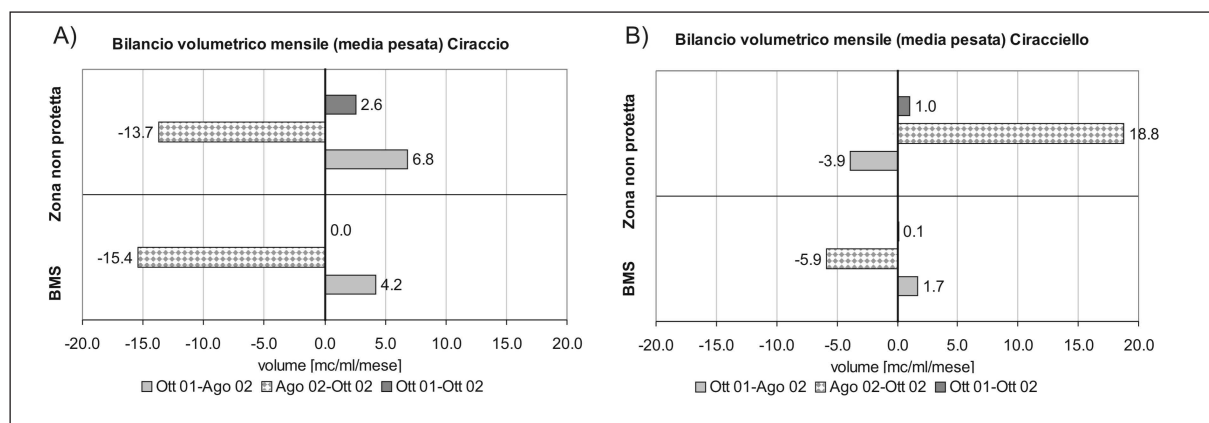


Figura 7 - Bilancio volumetrico arenili di A) Ciraccio; B) Ciracciello.

Tra agosto 2002 ed ottobre 2002 le zone drenate e le zone non drenate di Ciraccio si presentavano in erosione, mentre quelle non drenate di Ciracciello si trovavano in accrezione. Complessivamente tra ottobre 2001 ed ottobre 2002 le zone drenate rimanevano stabili mentre quelle non drenate presentavano una sensibile accrezione che si testava essere attorno ad  $1.8 \text{ m}^3/\text{ml}/\text{mese}$ .

Dai risultati proposti dagli Autori ma diversamente da quanto detto da Tessari et al. (2008), sembrerebbe quindi che i processi di accrezione non siano legati alla presenza del dreno. La risposta della spiaggia proposta da Tessari et al. (2008) fu, su quattro mesi di osservazione, un avanzamento massimo della linea di riva variabile tra i 4 m ed i 6 m.

## Il litorale di Bibione (VE)

### Descrizione del sito e caratteristiche del sistema di drenaggio

Bibione ( $45^{\circ}37'N$ ,  $13^{\circ}02'E$ , Mar Adriatico) si presenta come una penisola confinante ad est con la foce del fiume Tagliamento, a sud con il Mare Adriatico, ad ovest con la bocca di comunicazione del sistema vallivo interno denominato Porto Baseleghe, a nord-ovest con il canale denominato Litoranea Veneta e, infine, collegata all'entroterra dall'argine del fiume Tagliamento (Fig. 8).

L'area di studio presenta un assetto morfologico caratterizzato da cordoni dunari sabbiosi e con un profilo topografico ondulato con quote massime di 3 metri, fittamente vegetati. (Ge.Co., 2005b).

Il profilo di spiaggia emersa si presenta con una debolissima pendenza del retro spiaggia verso mare, solo localmente interrotta da gradini erosivi di modesta altezza, principalmente sviluppati in corrispondenza degli affioramenti di origine lacustre palustre (Ge.Co., 2005b). La spiaggia è di tipo dissipativo e sono presenti pennelli e frangiflutti in prossimità della foce del Tagliamento a protezione del sistema dunare e del faro.

Dai dati messi a disposizione da Ge.Co. S.r.l. risulta che la spiaggia emersa è formata prevalentemente da sedimenti sabbiosi ( $d_{50}=0.16-0.24 \text{ mm}$ ), mentre verso l'entroterra sono presenti sedimenti limoso-sabbiosi ed argillosi di origine lacustre-palustre; i sedimenti più profondi sono costituiti esclusivamente da sabbie limose.



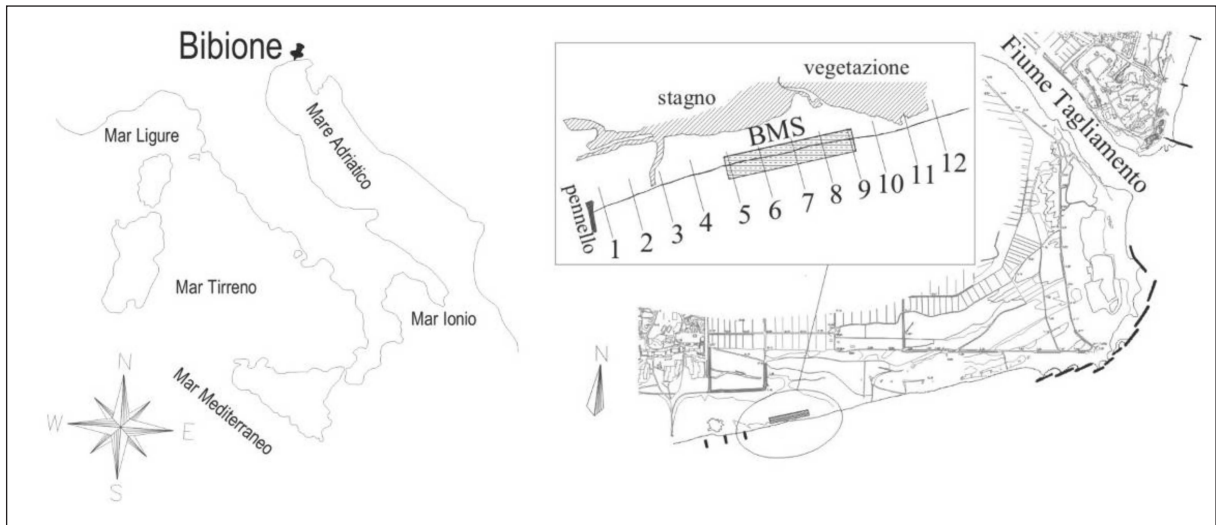


Figura 8 - Inquadramento della zona in esame con indicazione del BMS.

Nel giugno 2006 è terminata la messa in opera di un sistema di drenaggio BMS in un tratto di arenile di circa 200 m, in corrispondenza del settore costiero situato poco ad ovest della foce del Fiume Tagliamento (Fig. 8). Le due condotte poste ad interasse pari a 2.5 m hanno un diametro di 200 mm. L'acqua filtrata va in una piccola area umida retrostante. La boa appartenente alla RON più vicina, è quella di Punta della Maestra ( $44^{\circ}58'18.1''N$ ,  $12^{\circ}49'59.99''E$ , Mar Adriatico). L'operatività è limitata in quanto ha funzionato solamente dal 1 gennaio al 24 novembre 2004. In tale periodo si evidenzia che il litorale di Bibione è esposto a mari regnanti tra i  $120^{\circ}$  ed i  $135^{\circ}N$  mentre i mari dominanti sono distribuiti tra il I ed il II quadrante con direzioni comprese tra i  $45^{\circ}$  ed i  $120^{\circ}N$ , l'altezza d'onda significativa modale è compresa tra 0.25 ed 1 m, con altezze estreme che raramente superano i 3 metri di altezza (Fig. 9).

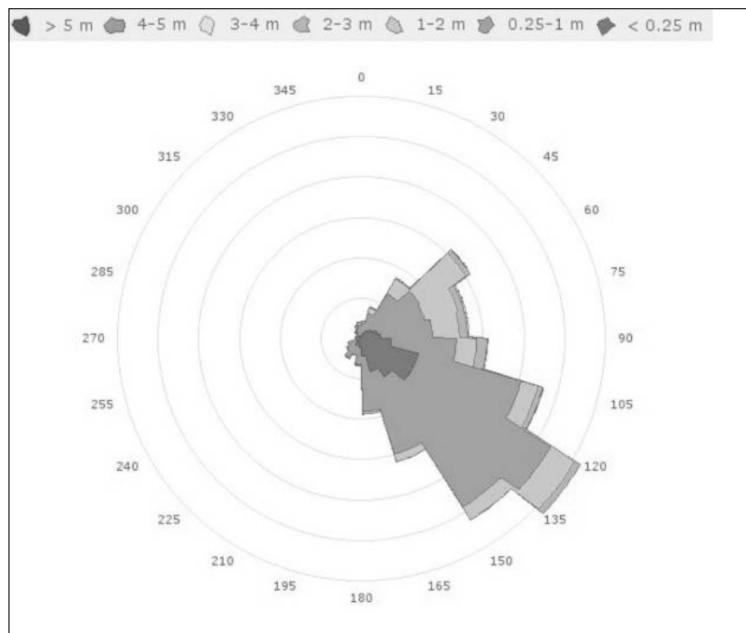


Figura 9 - Clima di moto ondoso con altezza d'onda significativa e direzione, boa di Punta della Maestra.

### *Evoluzione morfologica*

L'evoluzione della linea di riva è stata monitorata da Ge.Co. S.r.l. confrontando i dati dei tre rilievi effettuati in Ottobre 2005 (comportamento naturale), Giugno 2006, Luglio 2006. Come rappresentato in figura 8 sono state realizzate 12 sezioni di cui 5 sul tratto sperimentale e 7 sui tratti laterali non interessati dal BMS.

Anche in questo sito le indagini non sono state svolte ad intervalli regolari, pertanto sia i valori di variazione di linea di riva (Fig. 10A) che di variazione volumetrica (Fig. 10B), sono stati calcolati su base mensile. In seguito vengono riportati i risultati derivanti dall'analisi sulla variazione mensile della linea di riva (Fig. 10A) e sul bilancio volumetrico (Fig. 10B).

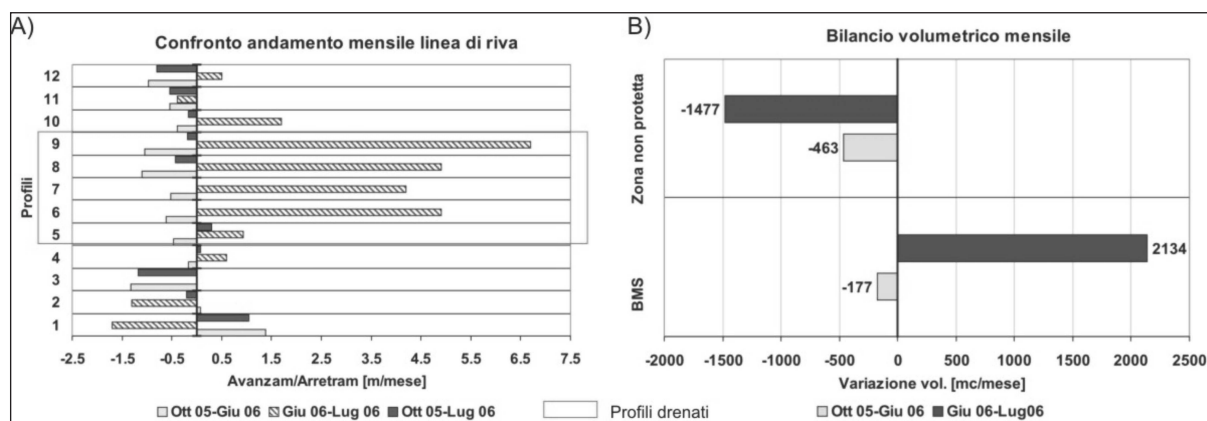


Figura 10 - A)Variazioni mensili della linea di riva; B) Istogramma bilancio volumetrico mensile.

La spiaggia prima dell'installazione del dreno si trovava in condizioni erosive come mostrano anche i valori in Figura 10. I dati a disposizione sulla variazione della linea di riva mostrano che prima dell'installazione l'arretramento della linea di riva si aggirava attorno al m/mese e l'unico incremento era stato osservato in aree vicino al pennello (sezioni 1 e 2). Dopo l'installazione del sistema la linea di riva nella zona drenata si trovava in avanzamento con incrementi dell'ordine di 4 m/mese.

A Bibione Tessari et al. (2008) riscontrarono su un periodo di osservazione di undici mesi, un avanzamento massimo della linea di riva dai 4 m ai 7 m.

Per quanto riguarda la variazione volumetrica della spiaggia, nella zona drenata si osserva un incremento di oltre 2000 m<sup>3</sup>/mese, quando sulle sezioni di controllo veniva registrata una perdita di 1400 m<sup>3</sup>/mese. Purtroppo non sono presenti ulteriori indagini a disposizione degli autori per valutare l'evoluzione morfologica su una scala temporale più lunga.

### **Il litorale di Metaponto (MT)**

#### *Descrizione del sito e caratterizzazione del sistema di drenaggio*

La spiaggia di Metaponto (40°21'N,16°50'E, Mar Ionio) (Fig. 11) si trova tra il Fiume Basento e il Fiume Bradano e si estende per circa 8 km, è quasi rettilinea e orientata NO-SE.

Le spiagge sono essenzialmente sabbiose, originariamente ampie sino ad un centinaio di metri, sono limitate verso l'entroterra da più cordoni alti circa una ventina di metri orientati NE-SO, in alcuni casi raggiunti dal mare e in parte demoliti, che isolano aree acquitrinose oggi in massima parte bonificate.

Dove presente, la spiaggia emersa presenta pendenze variabili tra 2° e 4° (Ge.Co., 2005a). La spiaggia emersa è formata da sabbia a granulometria media ( $d_{50} = 0.34$  mm), mentre la spiaggia sommersa è caratterizzata da sabbie fini e medie. Nel mese di Aprile 2006 è terminata la messa in opera di due condotte drenanti di lunghezza 200 m poste ad interasse pari a 0.5 m. Il diametro delle condotte è pari a 200 mm (Fig. 11).

Non essendo disponibili misure di onde all'interno del Golfo di Taranto si può solo ipotizzare in base ai *fetch* una possibile rilevanza della componente S-SE.

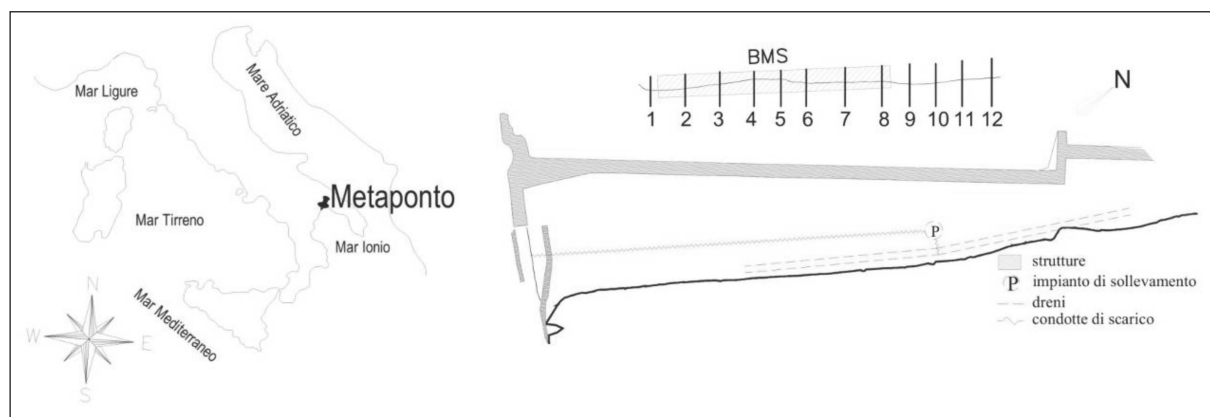


Figura 11 - Inquadramento della zona in esame.

### Evoluzione morfologica

La ditta Ge.Co. S.r.l. ha messo a disposizione dati sulla variazione volumetrica e tavole su cui venivano riportate le linee di riva nei rilievi effettuati in aprile 2006 (accensione dell'impianto) ed agosto 2006, su questi rilievi sono stati tracciati dagli autori 12 transetti di cui 7 sul tratto drenato (profili 2-8 in Fig. 11).

Per quanto riguarda i volumi si hanno a disposizione anche i dati precedenti l'installazione; i valori sono espressi in  $m^3$  assoluti e per poter confrontare le stesse serie temporali questi sono stati calcolati su base mensile. In seguito vengono riportati i risultati derivanti dall'analisi sulla variazione mensile della linea di riva (Fig. 12A) e sul bilancio volumetrico mensile (Fig. 12B).

La linea di riva avanzava in maniera marcata soprattutto nel tratto centrale (Fig. 12A). Lateralmente la linea di riva avanzava ma con valori molto minori registrando anche arretramenti in corrispondenza dei profili 2 ed 8.

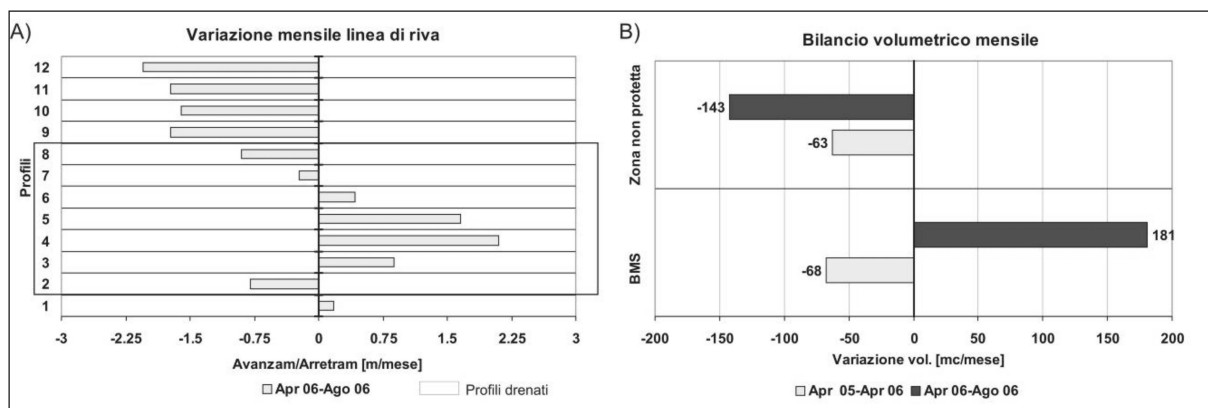


Figura 12 - A) Variazione mensile linea di riva; B) istogramma bilancio volumetrico mensile.

Il tratto non drenato continuava ad essere in erosione con arretramenti che raggiungevano i 2 m/mese. Diversamente, Tessari et al. (2008) su un periodo di osservazione di sette mesi, riscontrarono degli avanzamenti cospicui che si testavano essere dai 3 m agli 8 m.

Per quanto riguarda la variazione volumetrica dell'arenile, nel tratto drenato (200 m) si osservava un'accrezione media di  $180 m^3/mese$  per un totale di  $722 m^3$  dall'accensione dell'impianto fino ad Aprile 2006. Nella zona del litorale non protetta permaneva una situazione di erosione con valori che superavano i  $140 m^3/mese$ .

## Il Lido Adriano (RA)

### Descrizione del sito e caratteristiche del sistema di drenaggio

Il litorale si trova in un tratto di costa condizionato da due elementi morfologici naturali particolari, quali la Foce dei Fiumi Uniti a sud ed uno specchio lacustre-palustre nel retro spiaggia.

Il corso d'acqua sfocia in mare tra il Lido Adriano ed il Lido di Dante e risulta dall'unione dei fiumi Montone e Ronco provenienti dal territorio della provincia di Forlì-Cesena (Fig. 13).

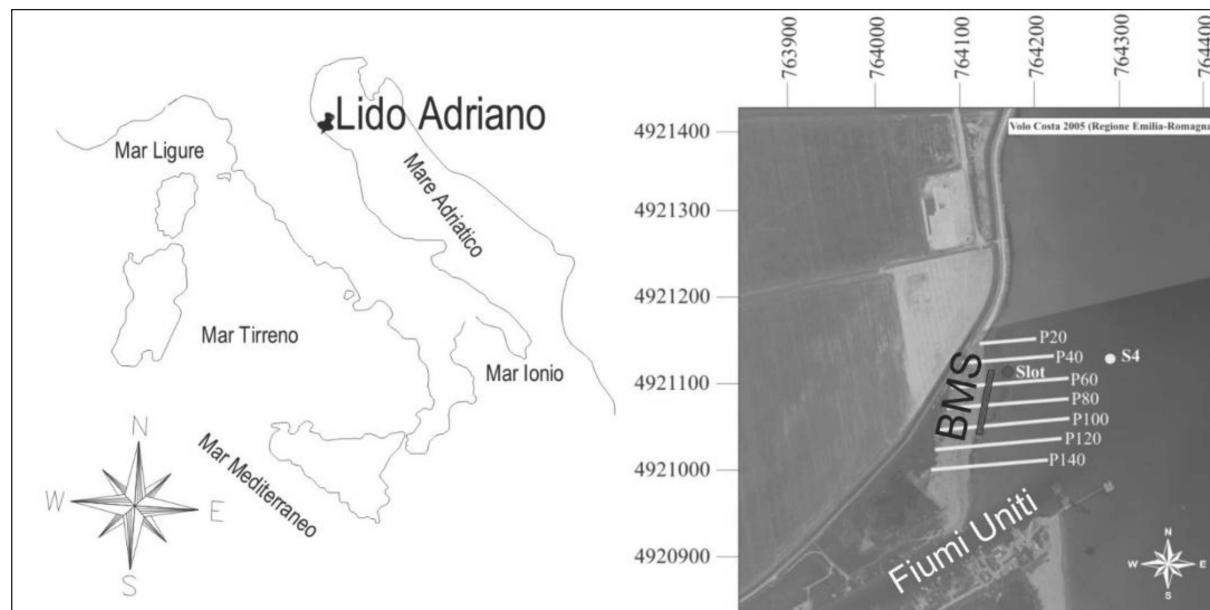


Figura 13 - Inquadramento della zona in esame con indicazione del BMS e dei profili trasversali.

Billi et al. (2007) studiarono l'evoluzione della foce analizzando i voli aerei disponibili presso la banca dati della Regione Emilia-Romagna (Fig. 14) ed hanno identificato un processo di rotazione della linea di riva sulla sponda nord, dal dopoguerra ad oggi.

Prima degli anni '70 sulla sponda destra del fiume si trovava un'ampia zona occupata da cordoni dunari e zone umide di retro-barriera. La sponda sinistra presentava un sistema di barre e bassifondi associati ad una piccola freccia litorale che sembrava indicare un trasporto nord-sud verso la bocca del fiume; la spiaggia era complessivamente ampia, con larghezze superiori a 100 m e la costa era orientata NE-SW (Fig. 14).

Successivamente tra gli anni '70 ed '80 si notava un consistente impatto antropico lungo le sponde del fiume, occupate da strutture per la pesca, la sponda settentrionale della foce continuava ad essere in parte occupata da vegetazione di tipo palustre legata agli apporti di acqua dolce da parte del fiume, ma la spiaggia rimaneva comunque larga; il delta sommerso era ben delineato con evidenti barre di foce in corrispondenza della spiaggia emersa.

A cavallo degli anni '90 si verificava la totale scomparsa della spiaggia a nord della foce, con conseguente costruzione di una massicciata a protezione dei terreni agricoli e dello stabilimento Eni localizzato nella fascia costiera adiacente alla foce. Infatti la spiaggia era ampia poche decine di metri e si notava la formazione di una piccola freccia litorale a parziale occlusione della foce fluviale (Fig. 14). La variazione nell'orientazione della costa, ad oggi orientata NNW-SSE, insieme a queste ultime osservazioni, fanno presupporre che l'apporto solido non fosse più sufficiente a garantire una condizione di equilibrio e che il delta sommerso fosse entrato in una fase erosiva (Billi et al., 2007).

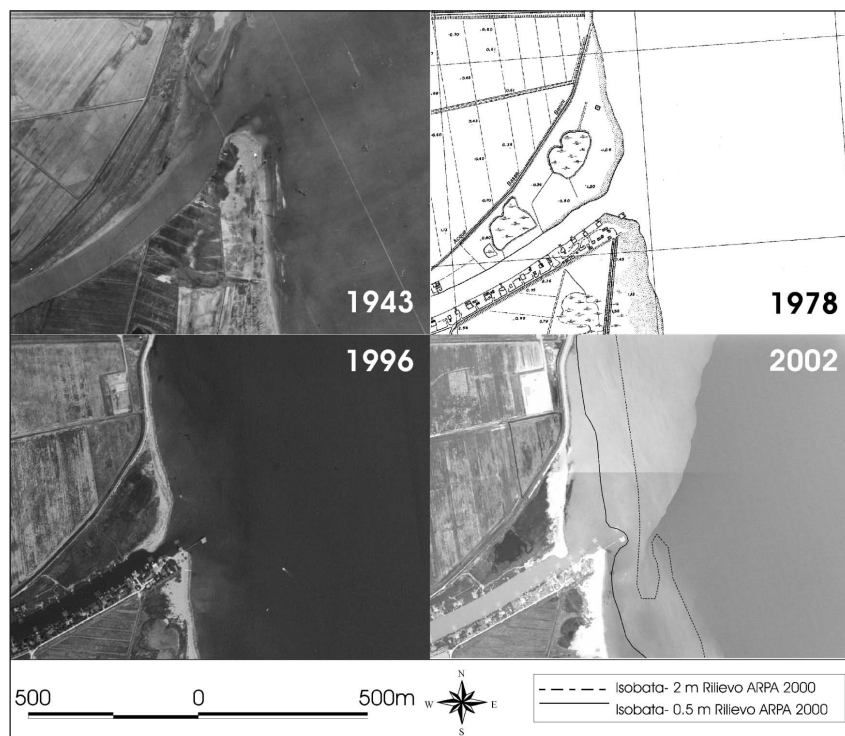


Figura 14 - Evoluzione storica della zona di foce tra il 1943 ed il 2002 (da Billi et al., 2007).

Ad oggi la morfologia di spiaggia è caratterizzata da una superficie topografica pianeggiante, le cui quote non superano i 2 m sul l.m.m, la conformazione della berma è abbastanza distinguibile e la sua cresta si trova vicino alla quota 1.3 m.

Per quanto riguarda la spiaggia sommersa si osservano barre vicino a riva, ed una linea di barre sommerse quasi parallele alla riva, le cui creste si trovano rispettivamente alla quota di -1 e -2 m. Come discusso da Billi et al. (2007), tali forme sono riconducibili alla barra di foce dei Fiumi Uniti. Secondo questi ultimi autori, durante le piene del fiume i sedimenti sabbiosi si depositano in parte sulla barra di foce ( $d_{50} = 0.47$  mm) e in parte sulle spiagge limitrofe ( $d_{50} = 0.32$  mm).

Dai dati messi a disposizione dalla Ditta Impresub che ha svolto le indagini preliminari e l'installazione del sistema di drenaggio, si sono potute reperire informazioni sulla stratigrafia della fascia litorale. Infatti è emerso che nella zona intertidale affiorano depositi limosi con frazione variabile di sabbia e/o argilla con pessime caratteristiche di permeabilità. Sulla spiaggia emersa affiorano sabbie limose, ed in prossimità della berma la natura granulare del terreno è da considerarsi tale solo ed esclusivamente per i primi decimetri di terreno. In prossimità dell'argine gli strati superiori mostrano pessime caratteristiche geotecniche in termini di permeabilità che tuttavia migliorano con la profondità (Impresub, 2003).

Per quanto riguarda la permeabilità, i dati ottenuti dalle prove idrauliche svolte in fase di fattibilità del progetto, risultano essere compatibili con le caratteristiche granulometriche dei sedimenti testati in sito e la permeabilità si aggirava attorno ai  $10^{-5}$  cm/s (Impresub, 2003).

La compagnia petrolifera Eni ha finanziato l'installazione sperimentale del BMS per ottenere acqua ( $400$  m<sup>3</sup>/giorno) per l'iniezione in falda profonda (Vicinanza et al., 2009a; Vicinanza et al., 2009b). Nel mese di Aprile 2004 è stato messo in funzione un sistema drenante costituito da due condotte di drenaggio funzionanti in parallelo aventi interasse pari a 1.15 m. I tubi drenanti realizzati in PEAD corrugato hanno una lunghezza di 100 m ed un diametro di 160 mm; la profondità rispetto al livello medio mare è di 1 m e 1.2 m e distano circa 15 m dalla linea di riva; la distanza minima fra il tubo drenante ed il livello medio mare in condizioni di bassa marea è

di 60 cm al fine di creare un cono di depressione sufficientemente ampio anche nelle condizioni più sfavorevoli; la condotta si sviluppa con pendenza approssimativamente attorno ad 1% (Impresub, 2003).

I tubi di convogliamento delle acque drenate verso la stazione di pompaggio, sono costituiti anch'essi in PEAD con diametro di 160 mm, lunghezza pari a 30 m ed interrati con pendenza circa dell'1% (Impresub, 2003). La stazione di pompaggio per il deflusso dell'acqua drenata è ubicata approssimativamente al centro dell'impianto di drenaggio ad una distanza di circa 10 m dal piede dell'argine. Nel pozzetto sono alloggiate due pompe sommerse con una portata di 12 l/s e garantiscono una prevalenza manometrica di 35 m (Impresub, 2003).

Dal pozzetto di sollevamento si diparte una tubazione in acciaio lunga 30 m, con diametro di 160 mm; questa supera il rilevato ed arriva nella zona paludosa retrostante la spiaggia, superando un dislivello di 1.8 m. La condotta di trasporto termina in un pozzetto di ispezione, all'interno del quale si diparte la tubazione che convoglia le acque drenate all'interno dell'area dell'impianto Eni (Impresub, 2003).

A seguito di una forte mareggiata manifestatasi il 14 novembre 2004, il BMS cessò di funzionare a causa del danneggiamento dei tombini dove era alloggiato il sistema elettrico di controllo. L'impianto fu ripristinato e venne riacceso il 5 marzo 2005. L'impianto ha poi funzionato in modo continuo sino all'autunno 2008, quando in seguito all'azione del moto durante un evento di acqua alta sostenuto (1 dicembre 2008) i tombini erano nuovamente a rischio.

Al fine di evitare un danneggiamento dell'impianto di sollevamento il sistema è stato spento il 15 dicembre 2008 e riacceso il 21 gennaio 2009 dopo un nuovo intervento di sistemazione della spiaggia.

#### *Clima meteomarinico durante il funzionamento continuo dell'impianto*

Nell'area del Nord Adriatico, ed in particolare nel litorale ravennate, il regime dei venti è caratterizzato da correnti che interessano anche quadranti da terra. Tra i venti da terra prevalgono quelli del IV quadrante (venti di Libeccio), accompagnati spesso da perturbazioni di origine atlantica; tali venti tendono ad attenuare il moto ondoso e non hanno effetti sul regime delle spiagge. Diversamente il vento che genera forti mareggiate è quello proveniente da NNE (vento di Bora), che si manifesta in particolare nella stagione autunnale ed invernale.

Da Scirocco provengono le brezze che spirano in maniera sensibile a mantenere la direzione del moto ondoso prevalente nel II quadrante; durante l'inverno si verificano quindi le mareggiate più intense provenienti principalmente da NW-N-NE (Idroser, 2006).

Per quanto detto è possibile affermare che il senso della deriva litoranea è da Nord verso Sud durante l'azione dei venti nel I quadrante e da Sud verso Nord per i venti del II quadrante.

La boa appartenente alla RON più vicina, che ha raccolto dati sino alla primavera del 2006, era quella posizionata al largo di Ancona, ancorata ad una profondità di 75 m (43° 49.8'N, 13° 42.8'E). Dal momento che il sito è a circa 200 km di distanza, i dati d'onda sono stati trasposti a Ravenna utilizzando il rapporto tra i fetch efficaci.

I dati d'onda mancanti sono stati recuperati utilizzando i dati archiviati mediante il modello di previsione SWAN (<http://www.arpa.emr.it/sim/>). Il modello elabora i dati su un punto di coordinate pari a 44.333°N e 12.400°E situato a profondità ideale di 10 m appena a sud di Ravenna. Dal 30 maggio 2007 sono disponibili i dati registrati da una nuova boa, installata a cura di ARPA, in prossimità di Cesenatico (44° 12,9'N, 12° 28,5'E) ancorata ad una profondità di 10 m, 23 km a sud del sito in esame.

La Figura 15 riassume i dati di altezza d'onda significativa per gli anni tra il 2005 e il 2008.

Una volta raccolti ed analizzati tutti i dati disponibili è stata fatta una classificazione della mareggiate: sono state identificate come eventi di moto ondoso con altezza minima di 1.5 m e con una durata minima di 6 ore, considerando un tempo massimo di 12 ore per unire in un unico evento fenomeni ravvicinati (Mendoza e Jimenez, 2004). Si è considerata inoltre una variazione di direzione massima di 45° tra un dato di onda e l'altro (su un intervallo temporale di 30 minuti). Per caratterizzare l'intensità della mareggiata è stato esaminato il contenuto di energia(1), che si può parametrizzare come segue:

$$E = \int_{t_1}^{t_2} H^2 dt \quad [\text{m}^2\text{ora}] \quad (1)$$

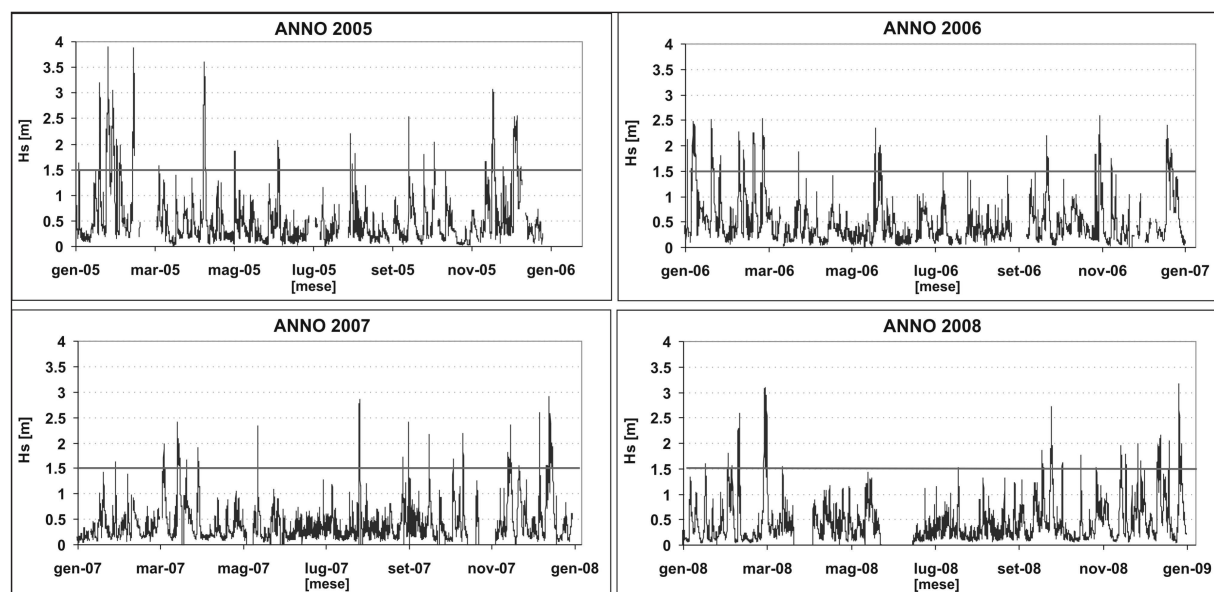


Figura 15 - Altezze d'onda significative divise per anni di studio, viene evidenziata la soglia di 1.5 m.

Dove  $t_1$  e  $t_2$  definiscono l'intervallo temporale in ore entro il quale  $H(t) > 1.5$  m. Una volta identificate le differenti mareggiate e calcolato il loro contenuto energetico, si è proceduto effettuando una divisione per classi di intensità (Tab. 1):

Tabella 1 - Classificazione di mareggiata basata sul contenuto di energia (Mendoza e Jiménez, 2004).

Classe	Contenuto di energia
I debole	$E \leq 58.4$
II moderata	$58.4 \leq E \leq 127.9$
III significativa	$127.9 \leq E \leq 389.7$
IV intensa	$389.7 \leq E \leq 706.9$
V estrema	$E > 706.9$

Durante il 2005 si sono susseguite diverse mareggiate, soprattutto prevalentemente classificabili come di classe I e II, tuttavia si manifestavano anche alcuni eventi appartenenti alla classe III ed alla classe IV (unico anno dove sono state registrate mareggiate di tale energia). Il 2006, analogamente al 2007, si presentava come un anno ad energia medio-bassa con mareggiate ravvicinate e concentrate soprattutto nel periodo invernale (11 eventi in totale di cui 8 da settembre e dicembre). I fenomeni, associati a livelli di marea eccezionalmente alti, hanno interessato gran parte della costa Emiliano Romagnola e Veneta dove sono stati segnalati diversi danni alle spiagge ed alle strutture turistiche. Per quanto riguarda le direzioni e le frequenze di apparizione i dati sono riassunti nei seguenti grafici polari (Fig. 16).

#### Comportamento della falda freatica sotto l'azione del BMS

Al fine di verificare l'efficienza del sistema, in occasione della prima installazione, il 19 aprile 2004 venivano installati tre piezometri lungo il profilo P60 (Fig. 13). Questi venivano mantenuti in sito sino al 22 aprile 2004. Ciascun tubo piezometrico era dotato di un sensore di pressione autoregistrante, che campionava i livelli ogni minuto. In figura 17 vengono presentate le serie temporali raccolte, interpolate con passo di 5 minuti. Il primo piezometro era localizzato a circa 9 m verso mare dal tubo drenante più esterno, mentre il secondo ed il terzo erano rispettivamente localizzati a circa 3 e 12 m verso terra dal tubo drenante più interno. Si discuteranno soltanto i dati relativi ai piezometri in corrispondenza del dreno, essendo questi i migliori indicatori della performance del sistema di

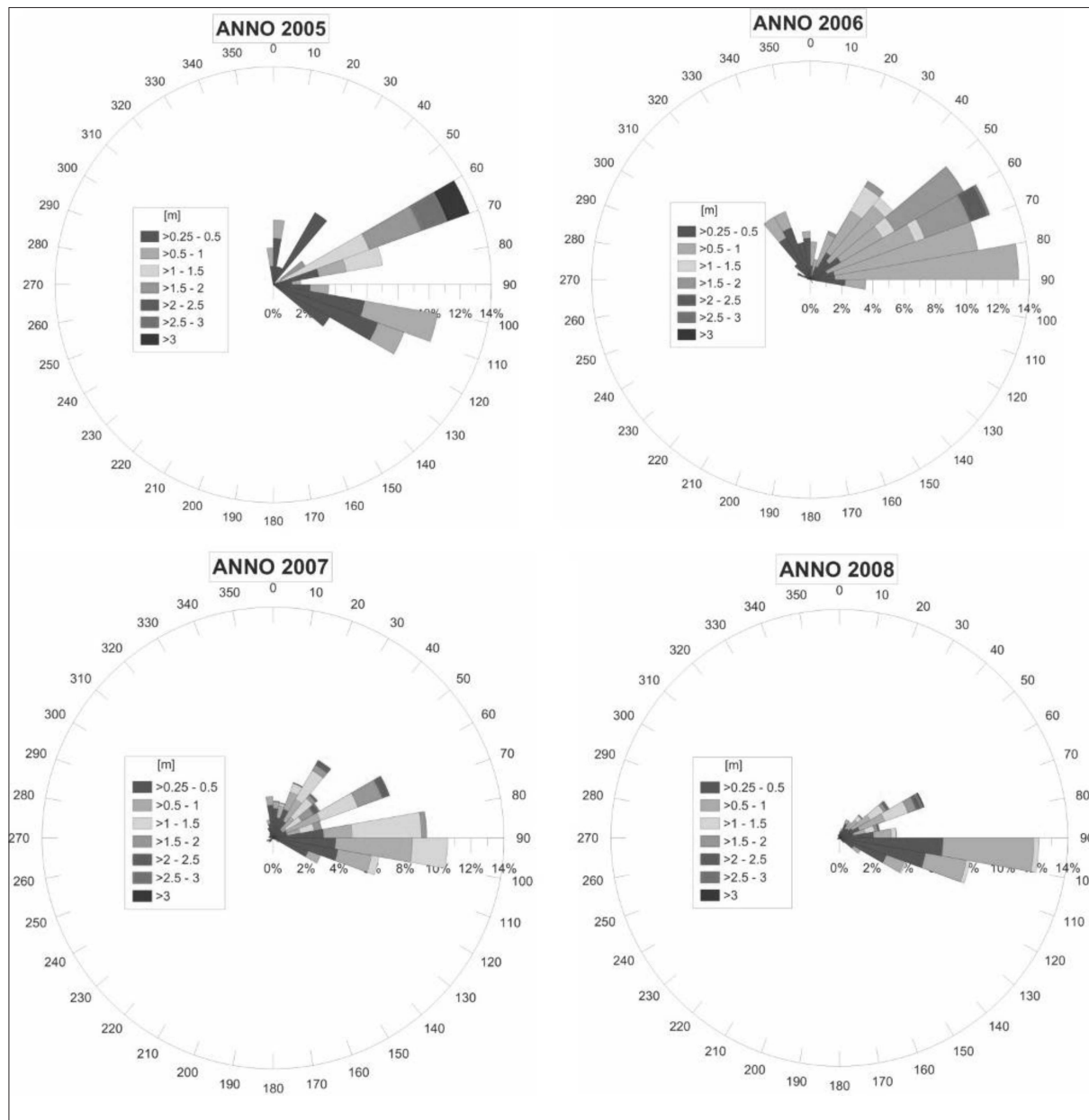


Figura 16 - Moto ondoso nel tratto di mare antistante la zona di studio nei quattro anni considerati.

drenaggio, come visibile in Figura 17. Da una prima analisi risulta evidente la dipendenza del livello del piezometro 1 dall'andamento della marea, abbastanza prevedibile vista la sua vicinanza al livello medio mare. L'impossibilità di confrontare questo comportamento ed i valori osservati con dati raccolti in un intervallo di tempo (giorni) antecedente all'accensione del BMS non ha permesso di rilevare se c'è stata un'attenuazione nell'ampiezza del segnale in seguito all'accensione delle pompe. Per quanto riguarda gli altri due piezometri (2 e 3), è interessante notare che, inizialmente, l'altezza della falda misurata dal piezometro 3, più lontano dai tubi drenanti, è la stessa di quella nel piezometro 2. Successivamente, una volta che il sistema lavora a regime, il livello della falda nel piezometro 2 ha una brusca caduta, che inizia 5 ore dopo l'accensione dell'impianto, e scende al di sotto del livello del piezometro 3, rimanendovi fino alla fine del periodo di campionamento.

L'andamento del livello della falda potrebbe essere dovuto alla complessa stratigrafia della spiaggia di cui però non



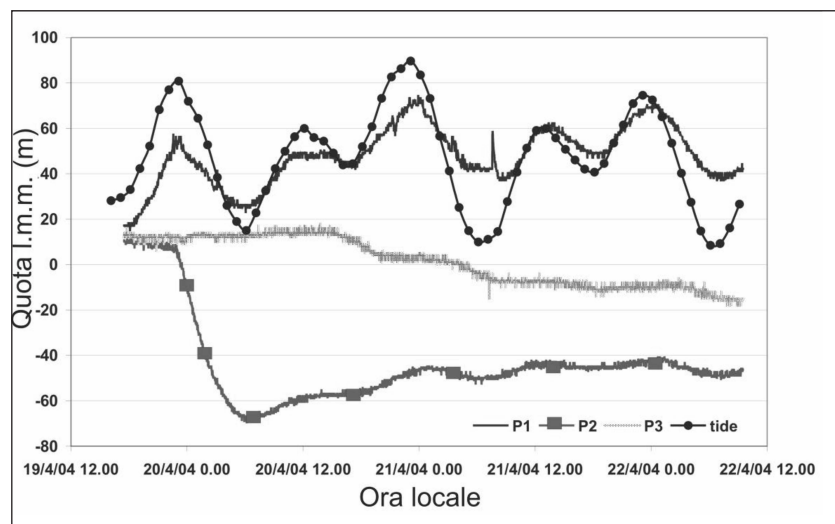


Figura 17 - Serie temporale (media mobile con passo 5 minuti) del livello di falda e marea.

è disponibile una sezione trasversale (Est-Ovest) che permetta di descrivere la stratigrafia in cui sono stati posti i tre piezometri. Si può ipotizzare che inizialmente, a pompe del BMS spente, la stratigrafia confinasse la falda nella zona del piezometro 2 allo stesso livello del piezometro 3. In seguito all'entrata a regime del BMS il parametro che influenzava maggiormente il livello della falda diveniva la distanza dai dreni dei due piezometri.

Infine si può notare che anche il piezometro 2 risente, seppur in maniera più attenuata rispetto al piezometro 1, dell'andamento della marea. Il ritardo tra la curva del pelo libero in mare e quello della freatica, anche nel caso del piezometro 1 è comunque limitato.

### *Evoluzione morfologica*

La spiaggia emersa è stata monitorata mediante rilievi effettuati ad intervalli mensili regolari con DGPS in modalità RTK fino alla profondità di 0.5 m l.m.m. (in alcuni rilievi i profili sono stati estesi fino a -1.5 m l.m.m.); per poter comprendere meglio la morfologia e l'evoluzione dei fondali sono stati effettuati diversi rilievi batimetrici fino alla profondità di 4 m (vedi ad esempio Billi et al., 2007).

Per quanto riguarda le variazioni volumetriche della spiaggia (Fig. 18A), visto che i dreni sono posizionati in corrispondenza della quota del livello medio mare i limiti del calcolo sono tra la quota +1 m ed il l.m. utilizzando lo stesso volume di calcolo compreso tra i profili; per il confronto della linea di riva è stata presa la quota +0.3 m sul l.m.m. (Fig. 18B), corrispondente alla quota media di alta marea sizigie-quadratura. Subito dopo l'accensione del sistema si verificava un aumento della pendenza della battigia ed una crescente deposizione di sedimento sulla cresta della berma. Pertanto il *trend* evolutivo osservato era del tipo deposizionale. Da metà aprile fino ai primi di maggio 2005 gli eventi meteo-marini susseguiti generavano significative variazioni morfologiche anche nella parte alta della spiaggia, quindi oltre la zona drenata dove s'ebbe molto set-up e la spiaggia fu inondata completamente.

Per tutto il 2006 si è avuta un'alternanza di condizioni erosive e deposizionali con una forte perdita di sedimenti nell'autunno 2006.

Nel 2007 invece, il trend era stato deposizionale, con forti accumuli che superavano anche quasi del doppio quelli registrati nell'anno successivo all'accensione. I dati misurati sino a settembre 2008 identificavano un anno positivo dal punto di vista deposizionale: venivano infatti registrati gli accumuli più consistenti avvenuti dalla riaccensione del sistema; il fenomeno può essere imputabile anche al fatto che fino a tale data il periodo era stato relativamente calmo dal punto di vista dell'energia del moto ondoso. Durante l'inverno 2008 si susseguivano diverse mareggiate che erodevano soprattutto la zona settentrionale della spiaggia, mentre la zona centrale e meridionale risultavano nel complesso stabili.

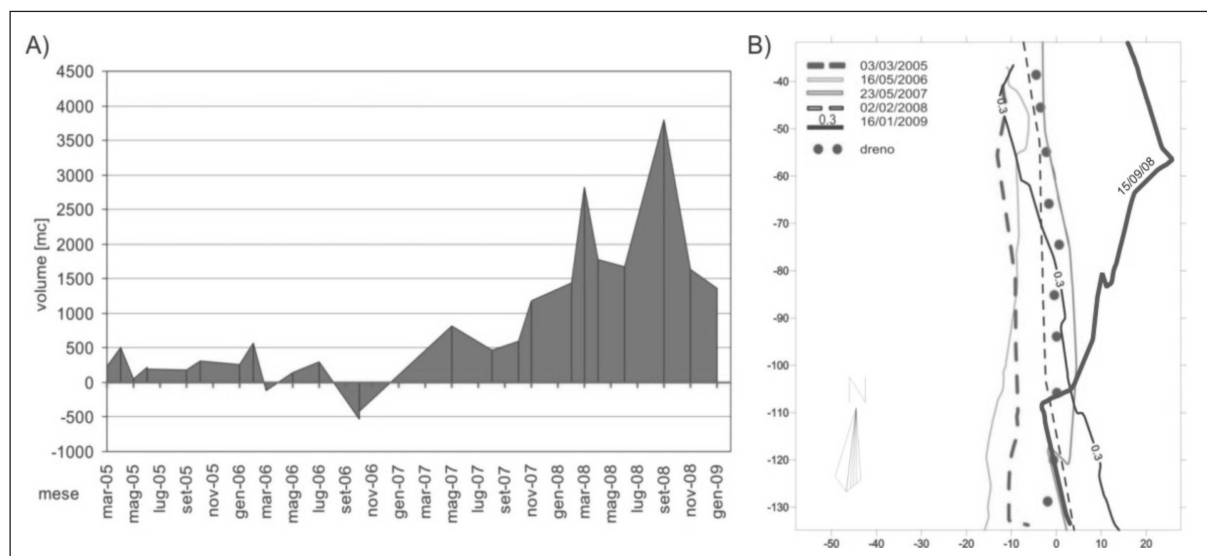


Figura 18 - A) Volume della spiaggia tra la quota +1 ed il l.m.m. da marzo 2005 a gennaio 2009; B) Confronto tra le linee di riva (+0.3 m l.m.m.) da marzo 2005 a gennaio 2009.

Prendendo in considerazione l'evoluzione della linea di riva (Fig. 18B) si osserva che questa avanzava sensibilmente negli anni seguenti la riaccensione, arrivando a superare la linea dei dreni.

Tuttavia a gennaio 2009 questa si trovava notevolmente arretrata nella parte nord rispetto alla posizione di settembre 2008, arretrando oltre la linea dei dreni e raggiungendo la posizione rilevata nel marzo 2005. Questo potrebbe essere imputabile alle numerose mareggiate avvenute durante la stagione invernale 2008 ed al fatto che l'impianto era stato spento per manutenzione. Tuttavia, come è possibile vedere dalle mappe di erosione/deposizione rispetto a marzo 2005 rappresentate nella figura seguente (Fig. 19), si nota come a settembre 2008 la spiaggia era completamente in accrezione rispetto a marzo 2005; dopo gli eventi invernali la spiaggia risulta erosa nella zona nord perdendo quasi tutto il volume accumulatosi durante l'anno 2008 ma la zona in corrispondenza dei dreni sembra avere mantenuto un buona stabilità, molto probabilmente grazie alla consistente stabilizzazione che la battaglia ha subito durante gli anni di funzionamento del sistema di drenaggio.

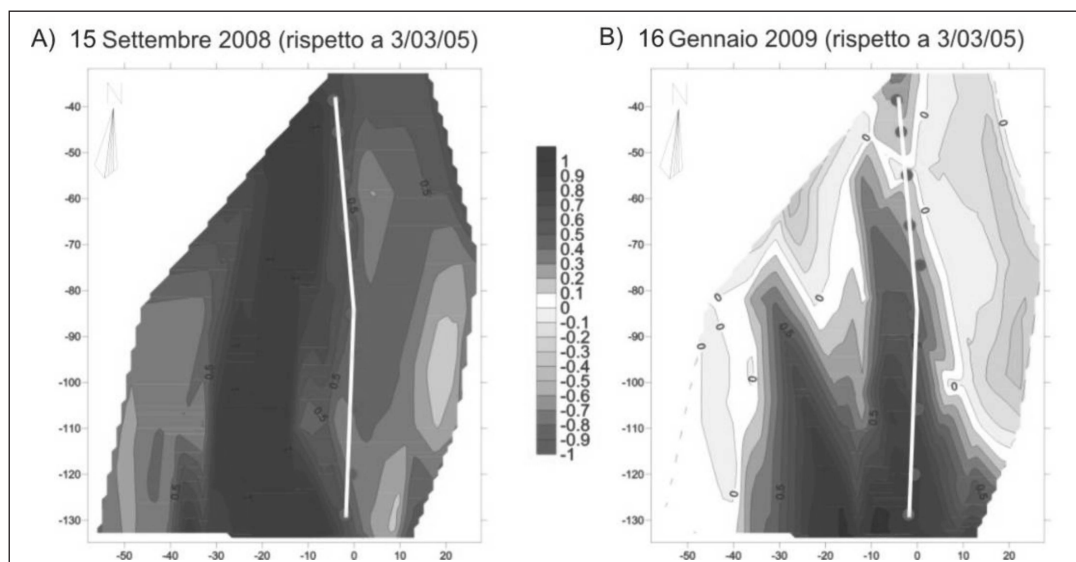


Figura 19 - A) Mappa di erosione/deposizione a settembre 2008; B) Mappa di erosione deposizione a gennaio 2009. I pallini e la linea bianca rappresentano la posizione dei dreni.

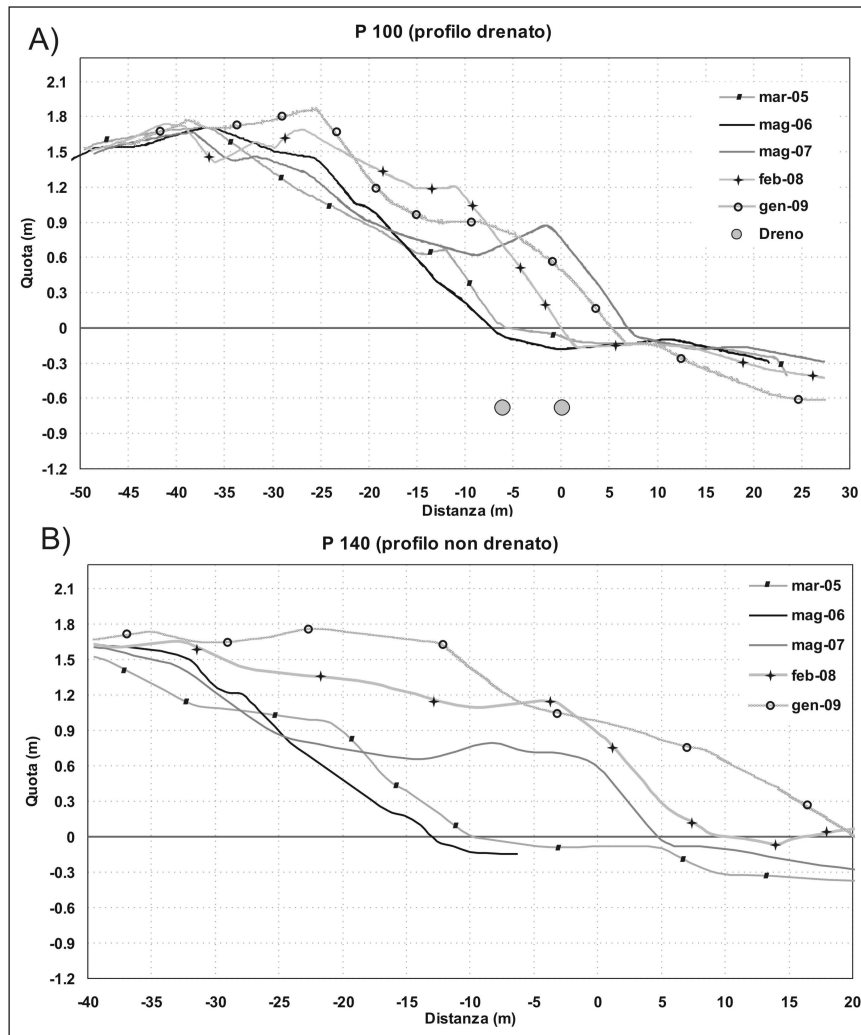


Figura 20 - Profili A) sul tratto drenato B) sul tratto non drenato.

Per comprendere meglio i fenomeni precedentemente descritti, si riportano due profili significativi effettuati dagli autori: uno sul tratto drenato ed uno sul tratto non drenato (Fig. 20).

Analizzando i due profili si vede che molto spesso le variazioni volumetriche sono associabili ad una redistribuzione dei sedimenti lungo il profilo. Inoltre si nota che vi è alternanza di condizioni erosive/deposizionali, e talvolta la zona non drenata presenta degli accumuli maggiori rispetto alla zona dove è presente il BMS, probabilmente in seguito all'input di sedimento da parte del fiume.

Come si nota dalla Figura 20 la pendenza della spiaggia non drenata diminuisce negli anni e la spiaggia tende ad assumere una conformazione

sempre più piatta passando da valori attorno al 3.5% a valori attorno al 2%. Diversamente, la zona drenata mantiene pendenze pressoché costanti, la berma è ben visibile anche se rispetto alla posizione del marzo 2005 questa si trova arretrata di circa 13 m.

La morfologia di spiaggia è variata notevolmente negli anni, e la posizione dei dreni rispetto alla spiaggia, non è più la medesima. Questo può influire sul funzionamento del sistema in termini di portata d'acqua drenata. Rimane da verificare, nelle condizioni attuali, il diametro del cono di depressione della freatica attorno al dreno.

### Considerazioni finali

Ad Alassio, secondo Bowman et al. (2007) il ruolo principale del sistema è stato quello di stabilizzare la spiaggia nelle normali condizioni di media energia mentre sotto condizioni di alta energia le tendenze positive di accrezione del litorale sono state cancellate. Il sistema non è più operativo e nel 2006 è stato effettuato un ripascimento (E. Pranzini, Comm. pers.).

Ad Ostia non sono disponibili dati a lungo termine per poter effettuare considerazioni sull'efficacia o meno dell'impianto. Il sistema di drenaggio fu spento in seguito al danneggiamento delle condotte drenanti.

La spiaggia di Procida non ha beneficiato della presenza del drenaggio, probabilmente a causa della complessa dinamica naturale del sito (Vicinanza et al., in stampa). Il sistema è stato abbandonato ed è stato costruito un muro verticale a protezione della parete rocciosa.

Bibione ha mostrato segni positivi, ma la serie temporale è troppo breve per esprimere un parere definitivo. Il sistema è ancora operativo, ma non vi è alcuna informazione in merito alla sua prestazione.

A Metaponto il primo risultato è stato positivo, ma il monitoraggio non è stato protratto per un periodo sufficiente. Dopo una mareggiata il BMS è stato danneggiato e non è stato più ripristinato.

Infine la spiaggia di Lido Adriano sembra dare risultati positivi, nonostante le avverse condizioni stratigrafiche del sito ed i diversi eventi di mareggiata che si sono verificati nel corso del monitoraggio. Tuttavia, a causa di una alta variabilità del bilancio sedimentario della spiaggia, nemmeno quattro anni di dati forniscono una risposta definitiva.

A riassumere quanto detto ed i risultati ottenuti dai vari sistemi di drenaggio studiati, si riporta una tabella riassuntiva (Tab. 2).

Tabella 2 - Riassunto dei risultati ottenuti.

Sito e caratteristiche impianto	d <sub>50</sub> (mm) sabbia	Periodo monitorato	Numero e date rilievi	SUCCESSO INTERVENTO
Alassio (SV) Mar. 2004 2 condotte l: 100 m int.: 1 m d: 160 mm	0.17-0.25	Feb. 2004 Mar. 2005	4 Feb. 2004 Giu. 2004 Dic. 2004 Mar. 2005	Basso. In condizioni di alta energia del moto ondoso scarso rendimento del sistema. Nel 2006 è stato effettuato un ripascimento in seguito allo spegnimento dell'impianto.
Ostia (Roma) Feb. 2001 3 condotte d: 160 mm	0.15-0.20	n.d.	n.d.	Basso. Il sistema fu spento in seguito agli scarsi risultati ed a causa del frequente danneggiamento delle condotte drenanti.
Procida Apr. 2002 3 condotte l: 325, 390, 100 m d: 140 mm	0.35	Ott. 2001 Ott. 2002	3 Ott. 2001 Ago. 2002 Ott. 2002	Basso. La spiaggia non ha beneficiato della presenza dei dreni. Il sistema è stato spento e venne realizzata una difesa radente a protezione del sito.
Bibione (VE) Giu. 2006 2 condotte l: 200 m int: 2.5 m d: 200 mm	0.16-0.24	Ott. 2005 Lug. 2006	3 Ott. 2005 Giu. 2006 Lug. 2006	Medio. Il sistema, sulla base della serie temporale a disposizione, ha dato dei risultati positivi. Rimane da verificare l'efficacia ad oggi.
Metaponto (MT) Apr. 2006 2 condotte l: 200 m int: 0.5 m d: 200 mm	0.34	Apr. 2005 Ago. 2006	3 Apr. 2005 Apr. 2006 Ago. 2006	Medio-Basso. I primi risultati furono positivi, ma il rendimento fu scarso in condizioni di alta energia. Fu danneggiato in seguito ad una mareggiata e non più ripristinato.
Lido Adriano (RA) Apr. 2004 (install.) Marzo 2005 (ripristino sistema) 2 condotte l: 100 m int: 1.15 m d: 160 mm	0.32	Mar. 2005 Gen. 2009	Mensili Mar. 2005 Gen. 2009	Medio. Nonostante le avverse condizioni stratigrafiche ed i diversi eventi di mareggiata la spiaggia mostra segni di stabilizzazione. Difficile valutare il rendimento del sistema senza considerare il ruolo dell'alimentazione della spiaggia da parte del fiume adiacente.

In virtù di quanto detto e dei risultati proposti dagli altri Autori che hanno studiato l'efficacia dei sistemi di drenaggio, è evidente che il giudizio sulla risposta delle spiagge a tale intervento è ancora molto variabile.

Si è concluso che per poter valutare il successo di un impianto è necessario un attento programma di monitoraggio, in condizioni controllate (ottimale permeabilità, monitoraggio continuo della falda freatica, ecc). Fino a che non si avrà a disposizione una maggiore quantità di dati come rilievi topografici frequenti (per esempio mensili), monitoraggio diretto della piezometrica per valutare l'effetto del dreno, misure ondametriche e mareografiche rappresentative del clima meteomarinico del sito, apporto sedimentario dei fiumi in prossimità delle aree di studio, questo metodo di stabilizzazione dei litorali resta ancora un interessante argomento di ricerca scientifica ma sicuramente non un sistema di difesa dei litorali.

### Ringraziamenti

Si ringraziano il Dott. Rossetti e l'Ing. Civitaresè per aver fornito i dati sui siti BMS non monitorati dagli autori. Lo studio a Lido Adriano è stato svolto nell'ambito di una collaborazione con ENI, sotto il coordinamento scientifico del Dott. Fabio Casolini. Si ringrazia ARPA-SIMC per avere fornito le previsioni di SWAN ed in particolare l'Ing. Andrea Valentini.

### Bibliografia

- Billi P., Ciavola P., Boettger C., Salemi E. e Preciso E. (2007) - *Trasporto solido dei Fiumi Uniti e dinamica di foce*. In: Terzo Forum Internazionale "Pianificazione e tutela del territorio costiero, questioni, metodi, esperienze a confronto", Vol. 127: 333-361. Maggioli Editore. ISBN: 978-88-387-3482-8.
- Bowman D., Ferri S. e Pranzini E. (2007) - *Efficacy of beach dewatering-Alassio, Italy*. Coastal Engineering, 16: 197-208.
- Chappel J., Eliot I.G. Bradshaw M.P. e Lonsdale E. (1979) - *Experimental Control of beach face dynamics by watertable pumping*. Engineering Geology, 14: 29-41.
- Ciavola P., Vicinanza D. e Fontana E. (2008) - *Beach Drainage as a form of shoreline stabilization: case studies in Italy*. Proc. of the 31<sup>th</sup> International Conference on Coastal Engineering, Hamburg, pp. 2646-2658.
- Damiani L. e Ranieri G. (1988) - *Contributo allo studio delle oscillazioni della linea di riva*. Atti e Relazioni Accademia Pugliese delle Scienze, XLV, 2. pp. 86-197.
- Damiani L., Ranieri G. e Rossetti R. (2003) - *Coastal protection with BMS: the first experience in Italy*. Proc. of the 6<sup>th</sup> Conference on Coastal Engineering, pp. 568-576.
- Duncan Jr. J.R.. (1964) - *The effects of watertable and tide cycle on swash-backwash sediment distribution and beach profile development*. Marine Geology, 2 (3): 186-197.
- Ge.Co. (2005a) - *Indagini propedeutiche alla progettazione di impianti Ge.Co-BMS da realizzarsi in Metaponto (Matera)*. Relazione non pubblicata.
- Ge.Co. (2005b) - *Indagini propedeutiche alla progettazione di impianti Ge.Co-BMS da realizzarsi in Bibione (Venezia)*. Relazione non pubblicata.
- Grant U.S. (1946) - *Effect of ground-water table on beach erosion*. Abstract, The Bulletin of the Geological Society of America, 57: 1252.
- Grant U.S. (1948) - *Influence of the water table on beach aggradation and degradation*. Journal of marine Research, 7: 655-660.
- Impresub (2003) - *Rapporto tecnico relativo alla sperimentazione del sistema BMS a Lido Adriano*. Relazione non pubblicata.
- Idroser (2006) - *Project plan for sea defence and renaturalisation of the littoral of Regione Emilia Romagna*. Regione Emilia Romagna Idroser, Bologna. pp. 100-122.
- Kawata Y. e Tsuchiya Y. (1986) - *Applicability of sub-sand filter system to beach erosion control*. Proc. of the 20<sup>th</sup> International Conference on Coastal Engineering, pp. 189-190.
- Machemehl J.L., French T.J. e Huang N.E. (1975) - *New method for beach erosion control*. Proc. of Engineering

- in the Oceans, American Society of Civil Engineers Speciality Conference. pp. 142-160.
- Mendoza E.T. e Jiménez J.A. (2004) - *Factors controlling vulnerability to storm impacts along the catalonian coast*. Proc. of the International Conference of Coastal Engineering, Lisbon. pp. 3087-3099.
- Ogden M.R. e Weisman R.N. (1991) - *Beach stabilization using drains-an experimental model study*. Coastal Sediments. 2: 1955-1969.
- Oh T.M. e Dean R.G. (1992) - *Beach Face Dynamics as Effected by Ground Water Table Elevations*. Research report of Coastal and Oceanographical Engineering Department, University of Florida. 35.
- Oh T.M. e Dean R.G. (1994) - *Effects of controlled water table on beach profile dynamics*. 24<sup>th</sup> International Conference on Coastal Engineering, Abstract. pp. 234-235.
- Ovesen N.K. e Shuldt J.C. (1992) - *Beach management System-Documentation. Summary Report*. Danish Geotechnical Institute. 20.
- Sato M. (1990) - *Underground watertable and beach face erosion*. Proc. of 22<sup>nd</sup> International Conference of Coastal Engineering. pp. 2645-2657.
- Sato M., Hata S. e Fukushima M. (1994) - *An experimental study on beach transformation due to waves under the operation of coastal drain system*. 24<sup>th</sup> International Conference on Coastal Engineering, Abstract. pp. 236-237.
- Tessari U., Simeoni U. e Civitarese. F. (2008) - *Sistemi di drenaggio per la stabilizzazione della linea di riva: l'esperienza italiana*. Coste: Prevenire, programmare, pianificare., Autorità di Bacino della Basilicata Potenza., Maratea. pp. 293-300.
- Vesterby H. (1991) - *Coastal drain system: a new approach to coastal restoration*. Proc. of GEO-Coast '91. pp. 651-654.
- Vesterby H. (1994) - *Beach face dewatering-the European experience. Alternative Tecnologies in Beach Preservations*. In: Proc. of the 1994 National Conference on Beach Preservation Tecnology. pp. 53-68.
- Vicinanza D., Guida A., Ferrante, V. e Ciavola, P. *Performance of a Beach Drainage System at Chiaiolella Beach (Procida Island, Italy)*. Journal of Coastal Research, ISSN 0749-0208 (in stampa).
- Vicinanza D. Ciavola P. e Biagi S. (2009a) - *Progetto sperimentale di iniezione d'acqua in unità geologiche profonde per il controllo della subsidenza costiera: il caso di studio di Lido Adriano (Ravenna)*. Studi Costieri, 15: 121-138.
- Vicinanza D., Ciavola P. e Biagi S. (2009b) - *Field experiment to control coastline subsidence: a unique case study at Lido Adriano (Italy)*. Special Issue of Journal of Coastal Research, 56: 1105-1109.

Ricevuto il 24/06/2009, accettato 25/10/2009.