

Analisi sperimentale di una spiaggia in presenza di un sistema di drenaggio

Alessandra Saponieri¹ e Sara Corvaro²

¹ Dipartimento di Difesa del Suolo "V. Marone", Università della Calabria,
Via P. Bucci Edificio 41B, Arcavacata di Rende (CS)

² Dipartimento ISAC Università Politecnica delle Marche, via Brecce Bianche 12, Ancona.

Riassunto

Il sistema di drenaggio delle spiagge (Beach Drainage System, BDS) è un'opera a basso impatto ambientale di ausilio alle tradizionali tecniche di difesa costiera. Esso favorisce l'assorbimento dei flussi di infiltrazione attraverso l'abbassamento artificiale del livello di saturazione all'interno spiaggia. Il dreno, installato al di sotto della linea di saturazione, interagisce con l'idrodinamica della zona di swash e modifica i processi morfodinamici promuovendo la stabilizzazione dei sedimenti che, in condizioni naturali, verrebbero trasportati verso largo nella fase di back-wash dell'onda. Un programma di prove sperimentali in larga scala è stato condotto presso il laboratorio Grosser WellenKanal (GWK) di Hannover, Germania, su un modello bidimensionale del sistema di drenaggio. L'obiettivo di tale ricerca è stato quello di comprendere l'influenza del drenaggio sui processi idrodinamici e morfodinamici nella zona di riva.

Nel presente lavoro l'attenzione è focalizzata sugli aspetti idrodinamici. In particolare sono analizzate le variazioni della linea di saturazione in condizioni naturali (non drenate) e drenate, gli effetti del drenaggio sul set-up e sui flussi di ritorno.

Parole chiave: drenaggio spiagge, BDS, idrodinamica della zona di riva, filtrazione, set-up, flussi di ritorno.

Abstract

The Beach Drainage System (BDS) is an innovative soft-engineering solution of coastal defense that by means of a lowering of the beach groundwater level and a rise of the unsaturated emerged beach zone, provides to increase the filtration capability of the beach (permeability). The swash hydrodynamics is modified by such a system, by encouraging a stabilization of the suspended sediments, that in natural condition are transported offshore during the back-wash phase. An extensive full scale laboratory investigation on a 2D physical model of a Beach Drainage System was performed at the Grosser WellenKanal of Hannover, Germany. The experiments aimed to improve knowledge of the nearshore hydrodynamic and morphodynamic behavior of a beach equipped with a drainage system. In the present work focus is on the hydrodynamic aspects. In particular the analyses address in water table oscillations, drained flows and nearshore undertow currents.

Keywords: Beach Drainage System (BDS), hydrodynamics of swash zone, in/ex-filtration, wave set-up, undertow currents, scale effects.

Premessa

La spiaggia è un sistema ambientale dotato di un equilibrio dinamico molto complesso. Una delle principali cause dei cicli stagionali di erosione ed accrescimento a cui la spiaggia emersa è soggetta è il trasporto dei sedimenti in direzione trasversale rispetto la linea di riva. In prossimità della linea di riva il trasporto solido

trasversale è strettamente connesso all'idrodinamica dei flussi di risalita e di ritorno del moto ondoso (Elfrink e Baldock, 2002; Larson et al., 2004). Quando la spiaggia è soggetta all'azione di onde caratterizzate da un basso contenuto energetico e lungo periodo, tipiche dei periodi estivi, una parte del flusso di risalita filtra all'interno del mezzo poroso migliorando la stabilità dei sedimenti. Il processo di infiltrazione dell'acqua nella zona di spiaggia parzialmente satura favorisce, difatti, il deposito dei sedimenti in sospensione. Inoltre, il processo di filtrazione verticale dall'alto verso il basso aumenta le tensioni efficaci all'interno dello scheletro solido, stabilizzando i sedimenti. Una situazione opposta si crea durante le mareggiate invernali, caratterizzate da una maggiore energia e periodo più breve. In tal caso il flusso di ritorno prevale su quello di risalita poiché la filtrazione dell'acqua è ostacolata dall'elevato grado di saturazione della spiaggia. Il risultato netto del processo di run-up/down si traduce in un trasporto verso il largo dei sedimenti, provocando, di conseguenza, l'erosione della spiaggia. L'interazione tra il moto ondoso ed il litorale è quindi fortemente influenzata dalle caratteristiche della spiaggia. Se il mezzo è parzialmente saturo il comportamento della spiaggia è riconducibile alla dinamica litoranea tipica dei periodi estivi con un visibile avanzamento della linea di riva. Al contrario, se il grado di saturazione è prossimo all'unità, la spiaggia assume un comportamento tipico dei periodi invernali, con significativo trasporto al largo dei sedimenti erosi dalla zona prossima alla linea di riva. Recentemente, la ricerca scientifica ha indirizzato l'attenzione allo studio dei sistemi di drenaggio delle spiagge (Beach Drainage System, BDS). Essi permettono di incrementare artificialmente la capacità di infiltrazione della spiaggia, abbassando la linea di saturazione ed aumentando lo spessore della fascia insatura, in modo tale da indurre un comportamento del litorale riconducibile alla dinamica litoranea tipica dei periodi estivi. L'efficacia del drenaggio nell'accrescimento della zona di riva fu scoperta casualmente in Danimarca (Vesterby, 1991). Tale tipo di sistema, nato inizialmente come opera innovativa nella difesa delle coste, attualmente può essere considerato di ausilio alla gestione di interventi morbidi, come, ad esempio, un ripascimento artificiale. L'installazione di uno o più dreni permette, infatti, di ridurre i processi erosivi responsabili dell'alterazione della nuova condizione di equilibrio della spiaggia, ottenuta mediante l'apporto artificiale dei sedimenti. Diverse installazioni del BDS sono state eseguite in tutto il mondo. In Italia alcuni esempi si ritrovano ad Ostia (Damiani et al., 2003), Allassio (Bowman et al., 2006; Bowman et al., 2007) e Procida (Vicinanza et al., 2010). Le interruzioni nel funzionamento degli impianti hanno reso difficoltoso il monitoraggio continuo ed a lungo termine del sistema, con conseguente difficoltà nell'interpretazione dei risultati. Il monitoraggio su campo risulta essere di estrema utilità per definire l'efficacia del sistema (Vesterby, 1994), ma gli esperimenti condotti in laboratorio sono necessari per comprendere il funzionamento del sistema in diverse condizioni di moto ondoso. I primi esperimenti di laboratorio su un modello fisico bidimensionale del BDS (in scala di Froude 1:10) sono stati condotti presso il Laboratorio di Ingegneria delle Coste (LIC) del Politecnico di Bari (Damiani et al., 2009). Tali prove hanno consentito di avere buone indicazioni qualitative sull'influenza del sistema sui processi idrodinamici e morfodinamici della zona di riva. Tuttavia gli effetti scala che, come è ben noto, alterano i risultati ottenuti dagli studi sui modelli a fondo mobile, causano qualche incertezza sull'analisi da un punto di vista quantitativo. Una recente indagine sperimentale in scala 1:1 è stata condotta presso il laboratorio Grosser WellenKanal (GWK) di Hannover, al fine di analizzare il sistema in condizioni reali.

Nel presente lavoro sono riportati i risultati derivanti dall'analisi idrodinamica della zona di swash del suddetto prototipo di spiaggia drenata. Dopo una breve descrizione dell'apparato sperimentale, delineato più approfonditamente in lavori precedenti (Damiani et al., 2010), l'attenzione è focalizzata sullo studio delle variazioni della linea di saturazione all'interno della spiaggia per effetto dell'attivazione del sistema di drenaggio ed all'influenza sul livello massimo di set-up. In linea con quanto esposto nella premessa, nel presente lavoro si riportano alcuni profili di velocità ricostruiti durante i test, con lo scopo di analizzare l'influenza del sistema sui flussi di ritorno.

Installazione di laboratorio

Il canale sperimentale di Hannover ha una lunghezza di circa 300 m, una larghezza di 5 m ed una profondità utile di 7m. Le prove sperimentali hanno previsto due fasi: la prima ad acqua ferma (condizioni statiche) e la seconda con diversi attacchi ondosi (condizioni dinamiche). La prima fase della sperimentazione è mirata allo studio dell'efficacia del dreno, al fine di individuare la posizione plano-altimetrica ottimale del dreno, di stabilire i tempi per il raggiungimento della condizione di regime e ricavare l'andamento spaziale della

linea di saturazione nelle possibili configurazioni. La seconda fase ha previsto una serie di prove con e senza dreno, allo scopo di analizzare l'efficacia del drenaggio in differenti condizioni energetiche del moto ondoso. La sabbia adottata per realizzare il profilo di spiaggia è pressoché uniforme con un D_{50} pari a 0.33 mm. La permeabilità e la velocità di caduta, misurate in laboratorio, sono pari rispettivamente a $3.2 \cdot 10^{-2}$ cm/s e 4.8 cm/s. Il sistema di drenaggio è costituito da quattro condotte drenanti in PVC corrugato aventi lunghezza $L = 5$ m e diametro $D = 0.20$ m, dotate di fori sulla superficie laterale e ricoperte da un doppio rivestimento in nylon. Tale rivestimento del dreno evita l'intasamento dei fori da parte della sabbia trasportata durante la fase di captazione dell'acqua di falda della spiaggia. Il sistema è posizionato parallelamente alla linea di riva ad una profondità di circa 0.5 m dal l.m.m. e a distanza variabile dalla linea di riva (dai 4 m ai 13 m) per verificare quale sia la posizione planimetrica tale da produrre la massima efficacia del dreno. Ciascun dreno presenta una lieve pendenza longitudinale ed è collegato ad un tubo cieco di diametro $D = 0.20$ m, utilizzato per l'allontanamento ed il convogliamento delle acque drenate in un pozzetto di raccolta prefabbricato. All'estremità di tali tubazioni sono installate quattro saracinesche che permettono di attivare ciascun dreno singolarmente o più dreni contemporaneamente. Il pozzetto di raccolta a gravità è dotato di una pompa a bassa prevalenza che permette di allontanare le acque drenate attraverso l'ausilio di una condotta posta esternamente al canale che restituisce l'intera portata al largo della zona dei frangenti. Durante i test sono state effettuate numerose misure orientate all'analisi dell'idrodinamica all'interno della spiaggia (piezometri e trasduttori) e lungo il canale (sonde resistive, correntometri, propeller e sensori ultrasonici), ed all'analisi della morfodinamica (profilatore di spiaggia e sensori ultrasonici) in condizioni drenate e non drenate. Nel seguito saranno illustrate le misure relative ad alcuni aspetti dell'idrodinamica della zona di swash. La Figura 1 riporta uno schema del sistema di drenaggio e la strumentazione sottocosta, ubicata nella zona di riva ed all'interno della spiaggia emersa, discussa nel presente lavoro.

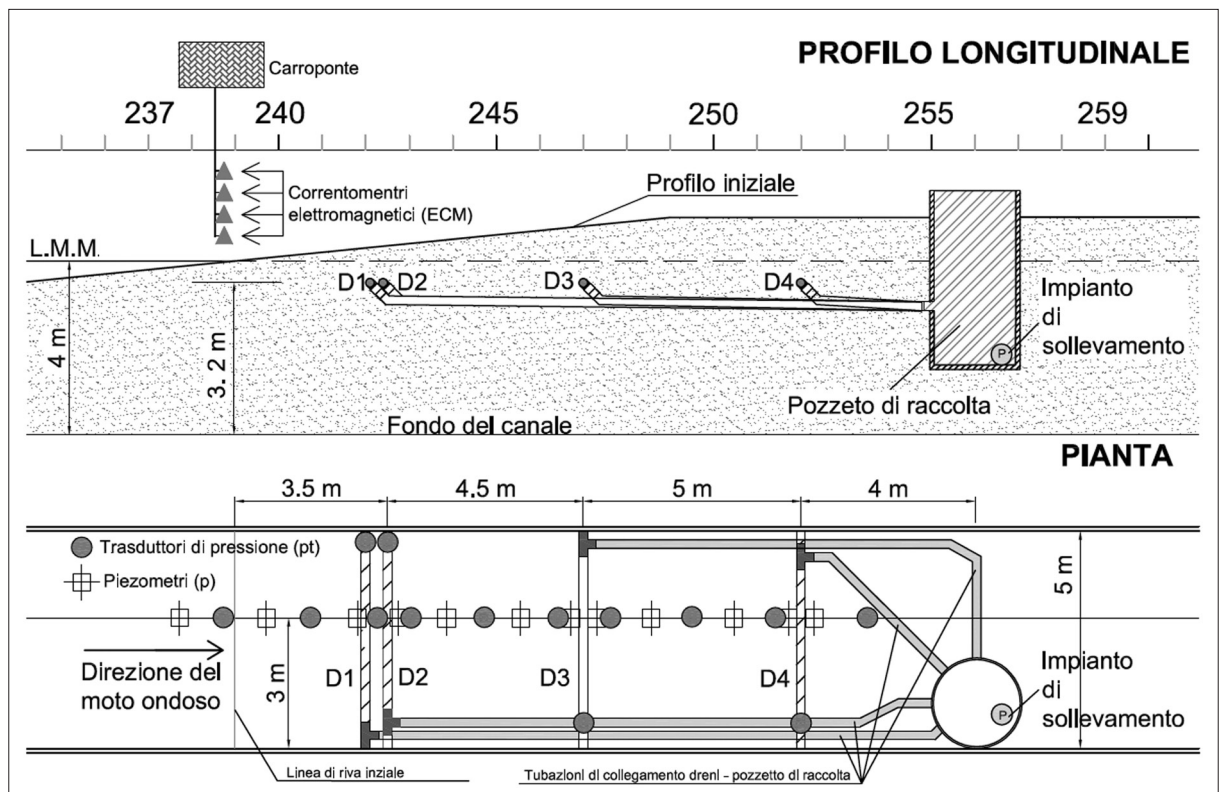


Figura 1 - Profilo longitudinale e pianta del sistema di drenaggio con il posizionamento dei piezometri e dei trasduttori.

L'andamento della linea di saturazione all'interno della spiaggia è stato misurato con una batteria di dodici piezometri (p) a lettura manuale collegati, attraverso tubi ad alta pressione in materiale plastico di diametro

pari a 0.01 m, a dodici celle piezometriche installate nella sabbia a circa 0.10 m al di sotto dei dreni. Le variazioni della linea di saturazione sono state misurate, inoltre, mediante dieci trasduttori di pressione (pt) collocati circa allo stesso livello delle celle piezometriche ma con differente distribuzione spaziale. Ulteriori quattro trasduttori sono stati posizionati sulla generatrice inferiore dei dreni per la determinazione del regime di pressione all'interno degli stessi. La determinazione delle portate drenate è stata effettuata misurando i tempi di svuotamento/riempimento del pozzetto. A tal fine è stato utilizzato un trasduttore di pressione, dello stesso tipo dei precedenti, posto all'interno del pozzetto di raccolta ad una quota dal fondo vasca pari a 0.08 m. La misura delle portate drenate è stata inoltre eseguita con l'ausilio di un flussimetro posto sulla condotta esterna di allontanamento delle acque. La ricostruzione dei profili di velocità durante i test è stata effettuata utilizzando quattro correntometri elettromagnetici (ECM) installati su di un'asta in acciaio fissata al carroponete del laboratorio. La distanza reciproca degli ECM è di 0.07 m.

Le prove sperimentali sono state condotte in regime statico (ad acqua ferma) con due diversi livelli di mare calmo pari a 4.00 m e 4.20 m ed in regime dinamico (con moto ondoso) con tirante idrico nel canale pari a 4.00 m. La Tabella 1 riporta il numero di prove effettuate a dreni accesi e spenti, il corrispondente valore di altezza d'onda significativa H_s e periodo di picco T_p per i tre test dinamici. Le tre tipologie di prove dinamiche sono state caratterizzate da attacchi ondosi irregolari per la cui descrizione è stato adottato lo spettro di tipo JONSWAP.

Tabella 1 - Caratteristiche generali delle prove dinamiche HE, ME e LE.

Test	N° prove dreni accesi	N° prove dreni spenti	H_s (m)	T_p (s)
HE	11	8	0.80	6.40
ME	12	8	0.59	7.88
LE	11	11	0.39	7.88

Analisi dei risultati e discussione

L'andamento della linea di saturazione (Water Table, W.T.) è stato ricostruito utilizzando sia i dati registrati dai piezometri (p), sia le misure ottenute dai trasduttori di pressione (pt). A titolo di esempio, nella Figura 2 sono rappresentati gli andamenti spaziali della W.T. per il test statico S2 in condizioni drenate (dreno D2) dedotti da entrambi gli strumenti, mostrando un perfetto accordo.

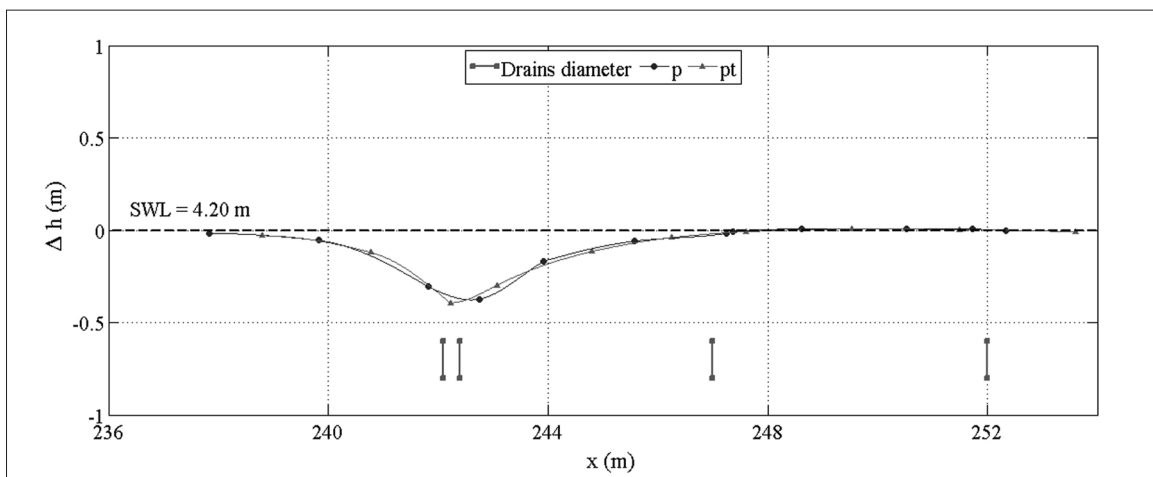


Figura 2 - Confronto delle misure acquisite dai piezometri (p) e dai trasduttori di pressione (pt) (test S2, dreno singolo D2 attivato).

Per tale motivo in seguito si riportano le analisi sui dati ottenuti dalle sole misure dei piezometri. Le progressive del sistema di riferimento adottato sull'asse delle ascisse (x) sono riferite alla posizione del generatore di moto ondoso.

L'efficacia del sistema di drenaggio sull'abbattimento del livello di saturazione è mostrato nella Figura 3, in cui si riportano gli andamenti della W.T. indotti dalla apertura dei singoli dreni D1, D2, D3 e D4 per il livello di mare calmo (SWL) pari a 4.00 m. Dalla Figura 4 si può osservare come il massimo abbassamento (Δh) rispetto allo SWL si verifica in corrispondenza dei dreni attivi, per poi raccordarsi con la WT indisturbata. In prossimità della linea di riva si può osservare un abbassamento del livello di mare calmo. Tale fenomeno può essere spiegato considerando il lasso di tempo che intercorreva tra il drenaggio dell'acqua e la riemissione in canale. L'effetto del dreno si riduce all'aumentare della distanza del dreno dalla zona di riva per annullarsi completamente quando il dreno D4 è in funzione. Il confronto delle configurazioni di dreni singoli attivati mostra come la massima efficacia nell'abbattimento della linea di saturazione con conseguente aumento della zona insatura all'interno della spiaggia si verifichi per il dreno D3.

In Figura 4 è riportato il confronto fra i livelli della linea di saturazione in seguito all'attivazione del dreno

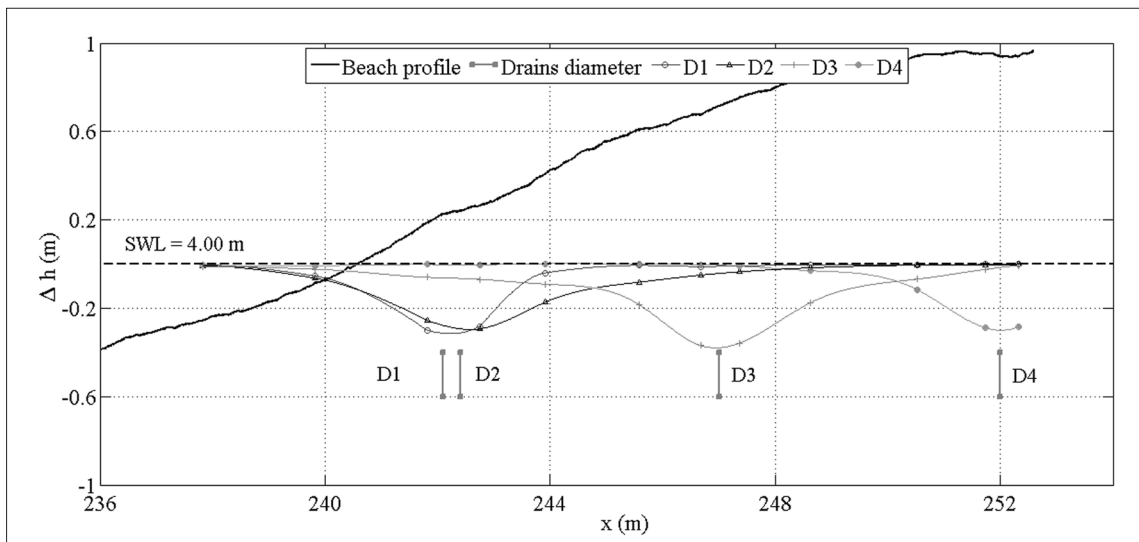


Figura 3 - Andamento spaziale della linea di saturazione (test S1, dreni singoli D1, D2, D3, e D4 attivati).

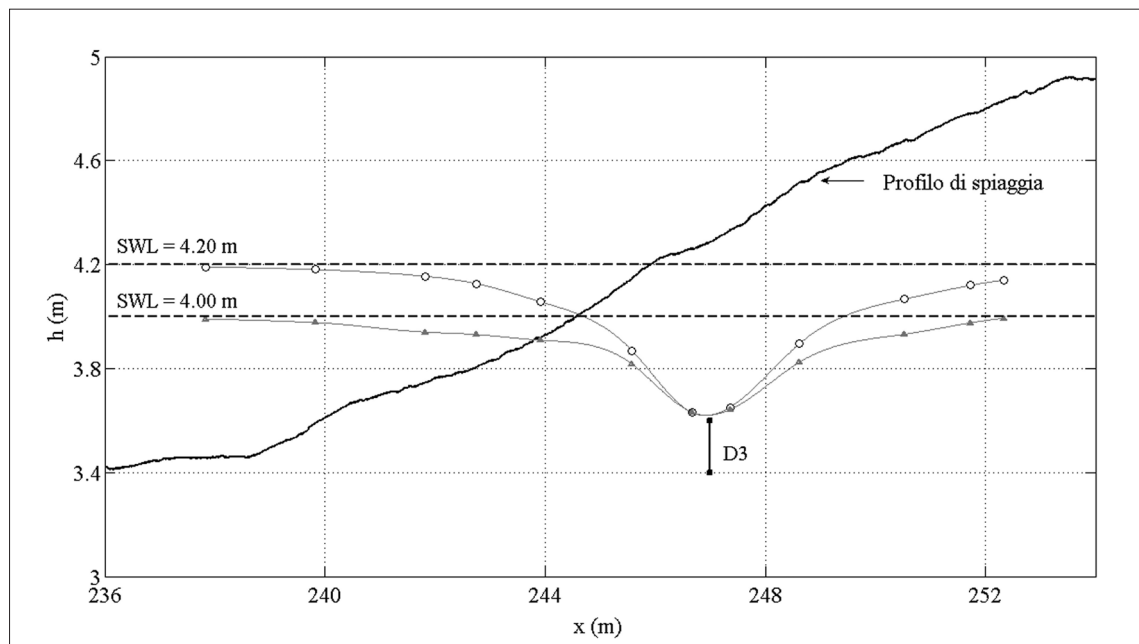


Figura 4 - Confronto degli abbassamenti della linea di saturazione tra i livelli statici S1 e S2 (dreno singolo D3 attivato).

D3 rispettivamente per i livelli statici S1 (SWL = 4.00 m) ed S2 (SWL = 4.20 m). L'asse delle ordinate h indica i livelli idrici ed ha come piano di riferimento il fondo del canale. Si può osservare come l'innalzamento del livello di mare calmo (SWL = 4.20 m) non comporta una riduzione dello strato di spiaggia insatura al di sopra del dreno; la quota minima del livello di saturazione in seguito all'attivazione del dreno, difatti, rimane costante. Ciò dimostra che l'aumento di carico permette di superare le resistenze che l'acqua incontra nel passaggio attraverso il mezzo poroso e che l'abbattimento del carico all'interno della spiaggia è regolato dalla quota del dreno rispetto al livello di mare calmo; infatti, essendo il dislivello maggiore nel test S2, ne consegue un abbattimento di carico più rilevante.

Si può ipotizzare che l'aumento dell'abbattimento della linea di saturazione si sarebbe potuto ottenere abbassando la quota altimetrica del dreno rispetto al livello di mare calmo, lasciando inalterato il carico idrico sul dreno. Ai fini progettuali, è importante evidenziare che l'efficacia del BDS nell'aumentare artificialmente la permeabilità della spiaggia dipende, oltre che dalle caratteristiche del mezzo poroso, dalle caratteristiche della condotta drenante (ad esempio il diametro della tubazione, la scabrezza ed il numero dei fori sulla superficie laterale del dreno).

L'importanza del comportamento idraulico del dreno è confermata dall'analisi dei trasduttori di pressione installati all'interno dei dreni stessi. In Figura 5 è riportato l'andamento del livello idrico dedotto, a titolo di esempio, dal trasduttore di pressione installato nel D2.

In generale, l'andamento temporale della pressione misurata dai trasduttori all'interno dei dreni presenta una

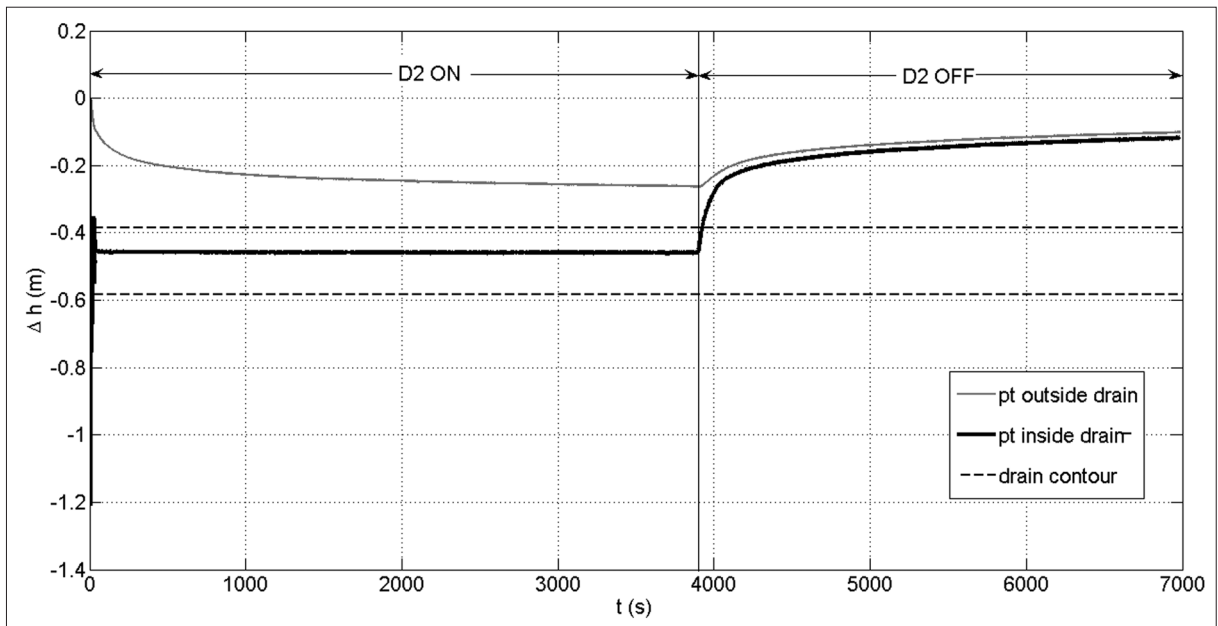


Figura 5 - Variazione temporale del livello di acqua all'interno del dreno D2.

brusca depressione iniziale, indotta dalla repentina apertura della saracinesca; difatti, poiché il dreno funziona sotto battente, si registra assenza d'aria in condotta durante la fase di avviamento. In regime stazionario, invece, l'aria risale dal pozzetto fino al dreno consentendo lo sviluppo di una corrente a gravità. A causa di tale processo, la posizione del pozzetto risulta essere importante: se installato ad un'eccessiva distanza dal sistema drenante, le tubazioni rischiano la rottura.

I livelli idrici misurati all'interno dei dreni durante le prove sono dell'ordine di qualche centimetro. Nonostante i dreni utilizzati nel presente studio abbiano un diametro confrontabile con quello delle condotte drenanti impiegate nelle installazioni di campo, la portata drenata risulta essere nettamente inferiore, ossia dell'ordine di $0.3 \div 1.0$ l/s. Tale risultato può essere legato al regime idraulico che si instaura all'interno dei dreni già discusso in precedenza.

In Figura 6 sono rappresentate le WT per la prova dinamica con moto ondoso di media energia in condizio-

ni drenate e non drenate. La linea continua rappresenta il livello medio della linea di saturazione misurato a dreni spenti (condizioni naturali); la curva tratteggiata rappresenta la variazione della linea di saturazione indotta dal dreno D1 (condizioni drenate).

Come atteso, il moto ondoso incidente sulla spiaggia produce un innalzamento della WT rispetto al livello di

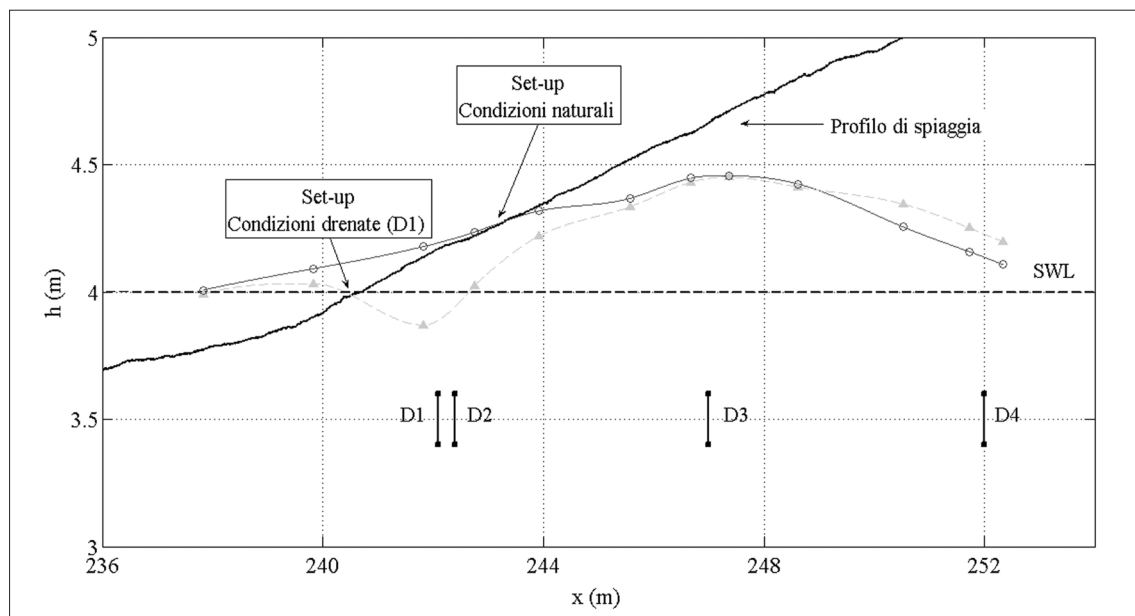


Figura 6 - Andamento spaziale della water table (W.T.) in condizioni naturali e drenate (test ME, dreno D1 attivo).

mare calmo. In particolare, le misure eseguite mediante i piezometri hanno reso possibile la determinazione sperimentale del massimo valore di set-up dell'onda mediante l'intersezione del livello medio di saturazione ed il profilo di spiaggia. L'accensione del dreno D1, così come per le altre configurazioni, comporta l'abbassamento della linea di saturazione nella zona prossima al dreno. Esso induce, quindi, un aumento della zona insatura della spiaggia, favorendo l'infiltrazione dell'acqua durante la fase di risalita dell'onda. Si può inoltre osservare un'evidente riduzione del massimo valore di set-up dell'onda sulla spiaggia. Tale abbattimento del carico idraulico ha come conseguenza la riduzione delle correnti di ritorno e, quindi, la riduzione del trasporto dei sedimenti in sospensione verso il largo. In particolare l'influenza del sistema di drenaggio sul livello di saturazione comporta una riduzione del carico idraulico sulla spiaggia sia in condizioni naturali che in condizioni drenate. Tale riduzione è più accentuata quanto maggiore è l'energia del moto ondoso.

L'influenza dell'accensione dei dreni sulle correnti di ritorno (U) è stata analizzata mediante i correntometri elettromagnetici (ECM) attraverso le cui misure sono stati ricostruiti, in diverse sezioni del canale, i profili di velocità in presenza o assenza di dreno. Le Figure 7 e 8 mostrano il confronto tra il profilo di velocità misurato in condizioni non drenate e durante l'attivazione di uno o più dreni nel caso di attacco ondoso a bassa e media energia. Sull'asse delle ordinate la quota dello strumento (y') è resa adimensionale rispetto alla quota del terreno (y''). Entrambe le distanze sono riferite al livello di mare calmo. L'adimensionalizzazione rispetto alla quota del profilo di spiaggia è stata necessaria per le notevoli variazioni che esso ha subito durante i test dinamici e per poter quindi confrontare i profili di velocità misurati durante i diversi test.

Le Figure 7 e 8 mostrano che l'attivazione di un dreno ha come effetto una riduzione, anche se limitata, delle componenti medie di velocità. Tuttavia quando più dreni sono in funzione simultaneamente non si è osservata una maggiore attenuazione dell'intensità della corrente di ritorno.

Nel caso di attacco ondoso LE, caratterizzato da un basso contenuto energetico, la riduzione dell'intensità della corrente di ritorno è stata osservata per tutti i test in cui era possibile confrontare il campo di velocità. Per i test a media energia ME, l'effetto benefico dei dreni è stato osservato solo in alcuni casi, mentre in altri la riduzione dell'intensità delle velocità medie non è stata apprezzabile. Infine nel caso di attacco ondoso ad

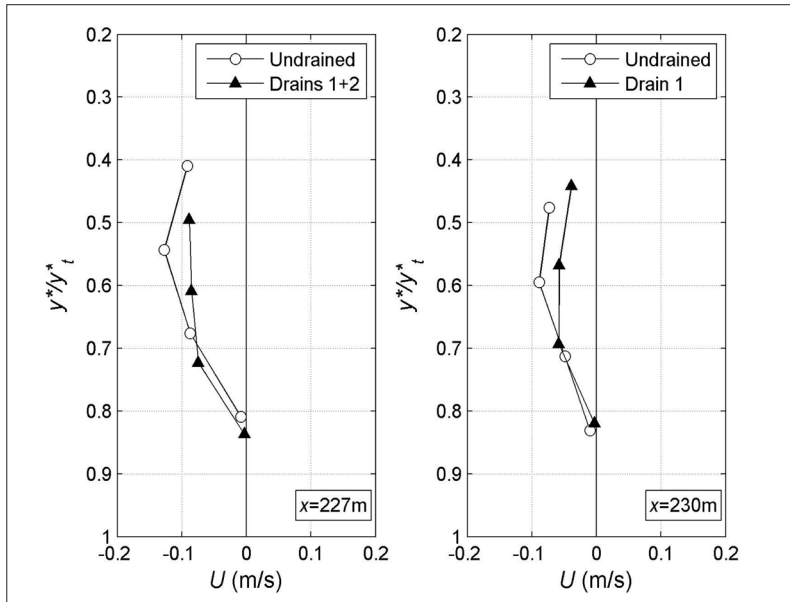


Figura 7 - Confronto dei profili di velocità in condizioni naturali e drenate. Attacco ondoso LE, sezioni di misura $x=227\text{m}$ (sinistra) e $x=230\text{m}$ (destra).

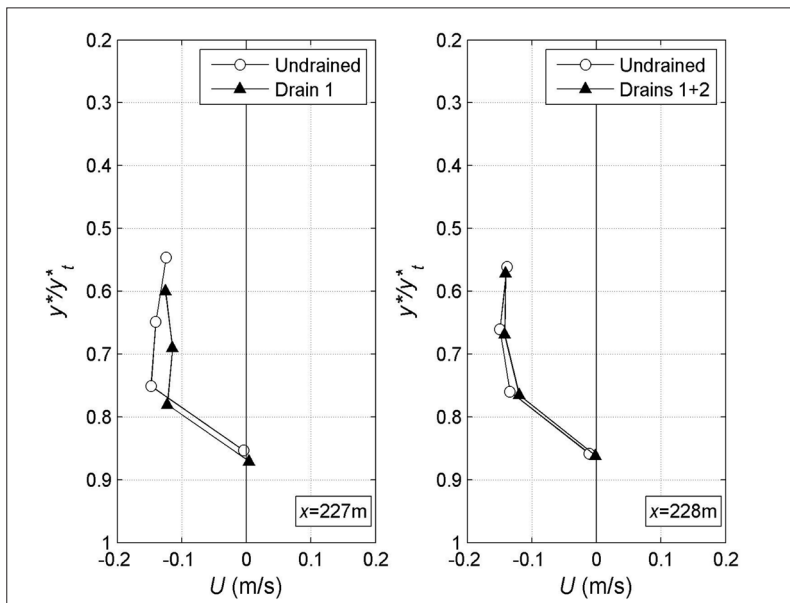


Figura 8 - Confronto dei profili di velocità in condizioni naturali e drenate. Attacco ondoso ME, sezioni di misura $x=227\text{m}$ (sinistra) e $x=228\text{m}$ (destra).

linea di saturazione, con conseguente aumento della zona insatura all'interno della spiaggia. Per le prove statiche, il carico maggiore sui dreni ha comportato una maggiore efficienza idraulica del sistema poiché ha permesso di superare più facilmente le resistenze che l'acqua incontra nel processo di filtrazione all'interno del mezzo poroso. Durante le prove dinamiche è stato osservato che il moto ondoso incidente sulla spiaggia produce un innalzamento della linea di saturazione rispetto al livello di mare calmo. L'attivazione dei dreni ha comportato un aumento della zona insatura della spiaggia, superiore a quello dedotto dai test statici, ed una riduzione del massimo valore di set-up. La riduzione di carico sulla spiaggia ha pertanto generato una riduzione delle correnti di ritorno durante la fase di back-wash. Tuttavia, si ritiene che la limitata riduzione

alta energia HE l'effetto dell'attivazione dei dreni sulla cinematica è risultato trascurabile.

L'influenza del sistema di drenaggio della spiaggia sulla cinematica varia in funzione della posizione della sezione di misura delle velocità dalla linea di riva e del contenuto energetico dell'attacco ondoso analizzato. In particolare si è osservato che l'effetto dell'attivazione dei dreni sulla cinematica si riduce all'aumentare della distanza dalla linea di riva esaurendosi ad una distanza di circa 7m per i test ad alta energia. Tale distanza aumenta con il diminuire dell'energia fino ad arrivare a circa 15m per i test a bassa energia.

In conclusione si ritiene che la lieve riduzione dell'intensità delle componenti medie di velocità osservata sia dovuta alla scarsa capacità drenante che l'intero sistema BDS ha mostrato durante le prove; infatti, come discusso in precedenza, anche l'entità delle portate drenate è minima

Conclusioni

Nel presente lavoro sono state riportate alcune delle analisi relative agli aspetti idrodinamici della zona di swash di una spiaggia in presenza di un sistema drenante (BDS). I dati utilizzati sono stati acquisiti nel corso di un'attività sperimentale condotta su di un modello bidimensionale in scala prototipo presso il canale GWK di Hannover. I risultati hanno mostrato che i dreni sono in grado di modificare l'idrodinamica della swash zone, attraverso l'abbassamento della

della corrente di ritorno sia da attribuire alla limitata efficacia del BDS nelle sezioni di controllo delle velocità, relativamente lontane dal sistema di drenaggio. Si fa ancora presente che le portate drenate dal sistema sono di scarsa entità e che il regime di moto instaurato all'interno dei dreni è a pelo libero. A tal proposito ci si ripropone di analizzare con maggior dettaglio la capacità drenante delle tubazioni per comprendere quali possano essere le grandezze che influenzano l'abbassamento della linea di saturazione e, quindi, l'incremento artificiale della permeabilità della spiaggia. L'obiettivo è dunque quello di ottenere utili indicazioni progettuali sull'installazione del sistema di drenaggio come opera di ausilio nella difesa costiera.

Ringraziamenti

Il presente lavoro è stato supportato dalla European Community's Sixth Framework Programme attraverso il progetto HYDRALAB III, Contratto n. 022441. Gli autori ringraziano Leonardo Damiani e Marino L'Abbruzzi, del Politecnico di Bari, Diego Vicinanza, Pasquale Contestabile e Vincenzo Ferrante, della Seconda Università di Napoli, Paolo Ciavola, Elisa Fontana e Mouncef Sedrati, dell'Università di Ferrara e Paolo Veltri, Biancamaria Verbeni e Francesco Aristodemo dell'Università della Calabria per la collaborazione durante l'attività sperimentale e l'analisi dei dati.

Bibliografia

- Bowman D., Ferri S. e Pranzini E. (2007). *Efficacy of beach dewatering - Alassio, Italy*. Coastal Engineering, 54: 791-800.
- Bowman D., Bresci D., Danese C., Ferri S., Pranzini E. (2006) – *Risposta di una spiaggia all'applicazione di un drenaggio artificiale: il BMS di Alassio*. Studi costieri, vol. 11: 133-144.
- Damiani L. Ranieri G. e Rossetti R. (2003). *Coastal Protection with BMS: a first experience in Italy*. Proc. of 6th Int. Conf. on Coastal Engineering, Cadice, Spagna.
- Damiani L., Petrillo A. e Saponieri A. (2009). *Beach Dewatering Systems: modelling coastal ground-water flow*. Proc. of 33th IAHR Congress, Vancouver, Canada.
- Damiani L., Aristodemo F., Saponieri A., Verbeni B., Veltri P., Vicinanza D., *Full scale experiments on a BDS: hydrodynamic effects inside the beach*. Journal of Hydraulic Research, 2011, Vol. 49 S1 Hydralab III, pp. 44-54; ISSN:0022-1686.
- Damiani L., Vicinanza D., Aristodemo F., Saponieri A., Corvaro S., *Experimental investigation on wave set-up and nearshore velocity field in presence of a BDS*. Journal of Coastal Research, 2011, Vol. SI 64, pp. 55-59; ISSN: 0749-0208 .
- Elfrink B. e Baldock T. (2002). *Hydrodynamics and sediment transport in the swash zone: a review and perspectives*. Coastal Engineering, 45: 149-167.
- Larson M., Kubota S., Erikson L. (2004). *Swash zone sediment transport and foreshore evolution: field experiments and mathematical modelling*. Marine Geology. 212: 61-79.
- Vesterby H. (1991). Coastal drain system: a new approach to coastal restoration. In Proceedings of Geo-Coast, pages 651–654, Yokohama, Japan, September 1991.
- Vesterby H. (1994). *Beach face dewatering - the European experience. Alternative technologies in beach preservation*. Proc. of the National Conference on Beach Preservation Technology, San Pietroburgo, Russia.
- Vicinanza D., Guida A., Ferrante V. e Ciavola P. (2010). *Performance of a Beach Dewatering System - Chiaiolella Beach, Procida Island, Italy*. Journal of Coastal Research, 26(4): 753-761.

Ricevuto il 15/12/2011, accettato il 03/09/2012.