

STUDIO Sperimentale DEGLI EFFETTI DEL DRENAGGIO DELLA WATER TABLE SUL PROCESSO EROSIVO DEL PROFILO DI SPIAGGIA

Gennaro Ranieri

Sommario:

Il Beach Drainage System (BDS) è un metodo per la protezione delle coste a basso impatto ambientale basato sul drenaggio della "water table" in corrispondenza della spiaggia emersa subito a monte della linea di riva. L'effetto drenante tende a incrementare il processo di deposito del materiale trasportato dal moto ondoso di run-up e, quindi, a favorire il ripascimento della spiaggia, ovvero a contrastarne l'erosione. Il sistema è ancora oggetto di ricerca. Non è ancora chiaro come la geometria dei dreni e la loro posizione, nonché il moto ondoso incidente influiscano sugli effetti del drenaggio. Anche l'evoluzione morfologica ha una sua notevole influenza. Le considerazioni riportate in questo lavoro sono relative ad alcuni aspetti di una vasta ricerca sperimentale in corso presso il Laboratorio di Ricerca e Sperimentazione per la Difesa delle Coste (LIC) del Politecnico di Bari. E' stato osservato che l'influenza del moto ondoso incidente deriva soprattutto dall'entità del set-up sottocosta. La oscillazioni della water table sottoposta all'azione del moto ondoso sono legate alle componenti alle basse frequenze del moto ondoso; infatti si riscontrano periodi di oscillazione propri del surf-beat. La quota più alta della W.T. si ottiene in corrispondenza del punto di massima elongazione del run-up e, quando il dreno è in funzione, la quota della W.T. risulta maggiormente depressa per gli attacchi ondosi meno energetici. Al crescere dell'energia d'onda incidente aumentano di valore sia la quota della W.T. che la portata emunta. L'incremento di altezza della W.T. non sembra aumentare con una progressione lineare, piuttosto tende verso una situazione di saturazione.

Palabras clave: erosione, run-up, Water Table, dreno, moto ondoso, depressione.

INTRODUZIONE

La influenza della permeabilità sulla evoluzione morfologica della spiaggia è un argomento affrontato in letteratura sin dal 1940 (Bagnold R.A., 1940). Diversi autori, infatti, hanno segnalato che la perdita di energia potenziale per effetto della percolazione all'interno della spiaggia emersa fa diminuire l'energia del back-wash (Grant U.S., 1948). Maggiore è la permeabilità della spiaggia, maggiori possibilità ha il sedimento trasportato dal run-up di depositarsi, a fronte della diminuzione della capacità erosiva del back-wash. Su queste basi è impostato il funzionamento del BMS (Beach Management System). Questo consiste in un tubo forato che drena l'acqua della Water Table della spiaggia emersa con l'obiettivo di aumentarne la capacità filtrante (Vesterby H., 1991). In tal modo si ha un sistema di protezione delle coste sabbiose a basso impatto ambientale.

Alcuni autori hanno provato a utilizzare il sistema drenando l'acqua della Water Table mediante pompaggio (Damiani L. e Ranieri, G., 1996) (Sato M. et al., 1994). Tuttavia il metodo più accreditato, soprattutto per gli aspetti gestionali, è quello a gravità.

In letteratura sono presenti numerosi lavori sperimentali. Le sperimentazioni in scala prototipo, hanno fornito indicazioni incomplete ai fini della definizione del funzionamento del drenaggio delle spiagge. Anche le recenti indagini di campo (Montori C., 2002) (Rieb G., 1999) o gli impianti ancora in funzione (Damiani L. et al., 2003), a causa delle singolarità dei siti e delle difficoltà dei rilievi di campo non hanno fornito dati sufficienti a ricavare le relazioni che legano i parametri da cui il fenomeno dipende. D'altra parte i pochi modelli in scala ridotta finora realizzati,

Professore Associato di Idraulica. Dipartimento di Ingegneria Ambientale e di Chimica. Politecnico di Bari, Via Orabona, 4, 70125 BARI Italy.
E-mail: g.ranieri@poliba.it, tel +39.080.4605211

Artículo recibido el 24 de noviembre de 2004, recibido en forma revisada el 20 de abril de 2005 y aceptado para su publicación el 3 de junio de 2005. Pueden ser remitidas discusiones sobre el artículo hasta seis meses después de la publicación del mismo siguiendo lo indicado en las "Instrucciones para autores". En el caso de ser aceptadas, éstas serán publicadas conjuntamente con la respuesta de los autores.

non avendo un chiaro quadro scientifico di partenza, non hanno fornito dati particolarmente utili allo scopo. Alcuni modelli sono stati realizzati con moto ondoso monocromatico (Holman R.A. e Sallenger A.H., 1985) (Sato M., 1990) (Sato M. et al., 1994), altri con il moto ondoso random. Per questi ultimi è stato realizzato il drenaggio mediante aspirazione con pompaggio diretto (Damiani L. e Ranieri G., 1996) (Sato M. et al., 1994) (Weisman R.N. et al., 1995) o variando le configurazioni geometriche. I migliori risultati non sono stati ottenuti con il dreno sistemato longitudinalmente (Kanazawa H. et al., 1996). Altri autori (Kawata Y. et al., 1986) (Montori C., 2002) (Ogden, M.R. e Weisman R.N., 1991) (Sato M. et al., 1994) (Sato M. et al., 1996) fanno riferimento al dreno posto parallelamente alla linea di riva sufficientemente approfondito sotto il l.m.m. (livello medio mare) e non troppo distante dalla linea di riva. Dai suggerimenti sulla geometria del sistema forniti da questi autori è stato realizzato il presente modello.

L'obiettivo della ricerca è quello di indagare sull'efficacia del sistema di drenaggio nei confronti della evoluzione della spiaggia anche esaminando i movimenti della W.T. sotto l'effetto di attacchi ondosi di tipo erosivo e ripascitivo.

Il presente lavoro riporta i risultati di un modello fisico di un sistema di drenaggio a gravità. Le esperienze sono state effettuate con e senza l'uso del dreno e variando le caratteristiche del moto ondoso. I risultati mostrano che il sistema funziona soprattutto in condizioni di moto ondoso poco erosivo. Emerge altresì, la necessità di proseguire nella ricerca sperimentale, soprattutto per acquisire dati con dreni posti in diverse posizioni rispetto alla linea di riva ed alla Water Table.

IL MODELLO FISICO

Descrizione del modello realizzato al LIC

Presso il Laboratorio per la Ricerca e Sperimentazione per la Difesa delle Coste (LIC) del Politecnico di Bari è stato realizzato un modello di larghezza 14m e lunghezza 45m, finalizzato ad esaminare il comportamento della W.T. sotto l'azione di moti ondosi aventi carattere ripascitivo, intermedio ed erosivo (Darlymple R.A., 1992), con e senza l'azione drenante del BMS. Le dimensioni planimetriche del modello (fig.1) sono state scelte con lo scopo di ottenere un effetto quasi 3D del comportamento drenante. Il modello

è stato progettato in analogia di Froude con scala delle lunghezze indistorte pari a 1:10 avendo come riferimento le indagini in situ dell'impianto di Ostia (Roma) (Damiani L. et al., 2003) che al momento era in corso di monitoraggio. La sabbia impiegata ha le caratteristiche di tabella I:

Tabella I: i valori di D_i (mm) della sabbia del modello

D_{50}	D_{85}	D_{15}	D_5	D_{25}	D_{75}	D_{95}	γ	w (cm/s)	Kurtosis
185	260	145	110	157	230	335	1.59	2.55	1.20

ove $\gamma' = (\gamma_s - \gamma_w) / \gamma_w$ è il peso specifico relativo e il Kurtosis (Folk R.L. e Ward W.C., 1957), dato da

$$\frac{\phi_{95} - \phi_{95}}{2.44(\phi_{75} - \phi_{25})} \text{ con } (\phi_i = \log_2 D_i) \quad (1)$$

è un parametro rappresentativo dell'assortimento granulometrico della sabbia; valori bassi ($K < 1$) indicano una sabbia tendenzialmente monogranulare, ovvero senza eccessive percentuali di materiale fino o grossolano, mentre valori del kurtosis maggiori di 1.7÷2.0 sono indicativi di una sabbia con una curva granulometrica irregolare, talvolta plurimodale. Conseguenze che la sabbia utilizzata per il modello è bene assortita intorno al suo valore medio. La velocità di caduta w è quella media sperimentalmente misurata seguendo una metodologia standard (Ranieri G., 2002) recentemente messa a punto.

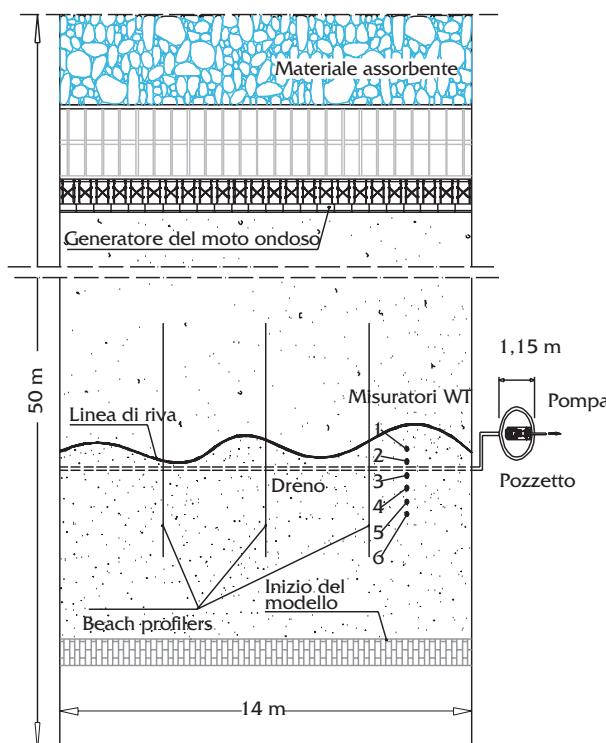


Figura 1. Pianta del modello

STUDIO Sperimentale DEGLI EFFETTI DEL DRENAGGIO DELLA WATER TABLE SUL PROCESSO EROSIVO DEL PROFILO DI SPIAGGIA

Il profilo iniziale di spiaggia ha una pendenza di: 1:10 nella parte onshore e di 1:20 in quella offshore (fig.2). Il dreno è un tubo forato in PVC avente diametro interno di 75 mm. Come osservato da alcuni autori (Montori C., 2002) in ricerche precedenti (Damiani L. e Ranieri G. 1996), per contenere l'otturazione del dreno, ovvero per garantire l'effetto filtrante, intorno al dreno è stato sistemato un filtro costituito da un ricoprimento dello spessore di pochi cm di ciottoli di circa 2mm di diametro medio. L'asse del dreno è stato sistemato a partire da 2 m dai bordi della vasca; il tratto terminale è costituito da un tubo non forato che convoglia l'acqua drenata al pozetto di raccolta posto esternamente alla vasca (fig. 1). La profondità dell'asse del tubo è stata di 14 cm sotto il livello medio mare (fig.2). La distanza del dreno dalla linea di riva del profilo iniziale è stata individuata osservando il comportamento morfologico di alcune prove preliminari. E' stato necessario, infatti, evitare che, durante l'evoluzione morfologica del modello, il tubo si fosse trovato in corrispondenza della linea di riva perdendo la sua funzionalità.

La portata drenata è stata ricavata svuotando il pozetto esterno che per gravità, raccoglie l'acqua drenata e misurandone il tempo di risalita. La portata misurata è stata variabile (min: 1.6 l/s - max: 3.11/s).

Tabella 2. moto ondoso (E=erosivo, I=intermedio, R=ripascitivo)

	Hs (m)	Tp (s)	H/wT	H/L	0.0007(H/wT) ³	H/L - [0.0007(H/wT) ³]	
1	0.25	1.897	5.168	0.0445	0.0966	-0.0522	E
2	0.15	1.6	3.676	0.0375	0.0348	0.0027	I
3	0.05	1.51	1.299	0.0140	0.0015	0.0125	R
4	0.05	1.897	1.034	0.0089	0.0008	0.0081	R
5	0.07	1.897	1.447	0.0125	0.0021	0.0103	R
6	0.09	1.897	1.861	0.0160	0.0045	0.0115	R
7	0.12	1.897	2.481	0.0213	0.0107	0.0107	R
8	0.15	1.897	3.101	0.0267	0.0209	0.0058	I
9	0.20	1.897	4.134	0.0356	0.0495	-0.0139	E

I diversi tipi di moto ondoso, random con spettro di tipo JONSWAP (tipo Sea con $\gamma=3.3$, $\sigma=0.07$ o 0.09 rispettivamente se $f \leq fp$ o $f > fp$), sono stati individuati sulla base del diverso comportamento morfologico nei confronti della spiaggia (erosivo, intermedio, ripascitivo) (Darlymple R.A., 1992) come esposto in Tabella II in cui Hs è l'altezza d'onda significativa e Tp=1/fp è il suo periodo di picco.

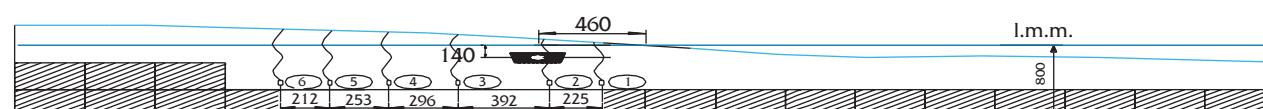


Figura 2: La spiaggia onshore del modello – la posizione del dreno e dei trasduttori di pressione (in mm)

Le misure

I rilievi del profilo di spiaggia sono stati effettuati mediante un profilatore automatico (Damiani L. et al., 2003) lungo tre allineamenti normali alla linea di riva rilevandone, al termine di ogni attacco, anche la posizione di quest'ultimo. Le caratteristiche del moto ondoso sono state misurate mediante 6 sonde resistive di cui 5 al largo (profondità 80 cm) ed una sottocosta alla minima profondità che consentisse una misura affidabile (17 cm). Delle 5 al largo, le 3 centrali, opportunamente distanziate, sono servite per ricavare la riflessione, mentre le rimanenti due sono servite ad osservare la variazione dei parametri lateralmente al fronte d'onda.

Per la misura della W.T. sono stati sistemati sei trasduttori di pressione alla profondità di circa 40 cm sotto il l.m.m., in direzione perpendicolare alla linea di riva, in corrispondenza di un transetto laterale della vasca, distanziati come riportato in figura 1, con il primo trasduttore (n.1) posto in vicinanza della linea di riva.

I trasduttori misurano il livello della water table in continuo, rilevandone la posizione iniziale in assenza di onde, ed il suo innalzamento a seguito dell'azione del moto ondoso.

Le misurazioni sono state effettuate con il dreno in funzione e ripetute con lo stesso spento.

Sono stati effettuati 14 cicli di prove, alcuni con il dreno in esercizio ed altri senza dreno, utilizzando per ciascun ciclo, con la successione di Tabella III, gli attacchi ondosi indicati in Tab. II.

La durata complessiva di ogni ciclo è stata di 8 ore, divisa in attacchi ondosi di 2 ore ciascuno. Le misurazioni sono state effettuate in vari momenti durante ciascun attacco. Al termine di ogni run veniva fermato il moto ondoso e rilevata la linea di riva ed i profili longitudinali solo in corrispondenza della linea di riva. L'andamento piano-altimetrico dell'intero modello è stato completamente rilevato all'inizio di ogni ciclo.

Per i cicli con il dreno in funzione è stata anche misurata la portata drenata durante ogni

attacco e ad acqua ferma. La frequenza di campionamento è stata di 0.1 dato al secondo rilevando pacchetti di 8196 dati (durata: 13' 40").

Si osservi il carattere erosivo (E), intermedio (I) e ripascitivo (R) degli attacchi ondosi 1, 2, 3 utilizzati nei cicli da I a VI. Gli attacchi ondosi dei cicli dal VII al XIV sono stati ottenuti variando solo l'altezza significativa e mantenendo il periodo di picco costante. Anche per questi ultimi era stato previsto di alternare il ciclo con il dreno in funzione a quello senza drenaggio. Dal ciclo VIII (attacco 4 con il dreno in funzione) in poi è stato preferito eseguire prove senza il dreno in funzione allo scopo di semplificare le procedure delle ultime prove. Si osseva, infatti, che i successivi cicli (dal IX al XIV) sono stati effettuati senza l'uso del dreno.

Tabella 3. I cicli di attacchi ondosi con e senza l'uso del dreno

ciclo	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV
senza dreno	1			2	3		4		5	6	7	8	9	1
con dreno		1	2			3	4							

Il livello della Water Table

Nella figura 3 è riportato il segnale registrato dal trasduttore n.4 di Fig.2 durante il ciclo III (attacco ondoso n.2 con il dreno in funzione) e il ciclo IV (attacco ondoso n.2 senza l'effetto drenante). In particolare per il ciclo III la figura 3 mostra l'abbassamento della quota della W.T. nei primi momenti di acquisizione quando, a partire dalla situazione indisturbata ad acqua ferma (quota 0 cm), il dreno entra in funzione deprimente la quota della W.T. (quota media: circa -1.85cm). Con l'arrivo delle prime onde (a circa 2200 sec) dell'attacco ondoso n. 2, la W.T. si innalza per stabilizzarsi dopo 800-1000sec (quota media: circa 2.95 cm).

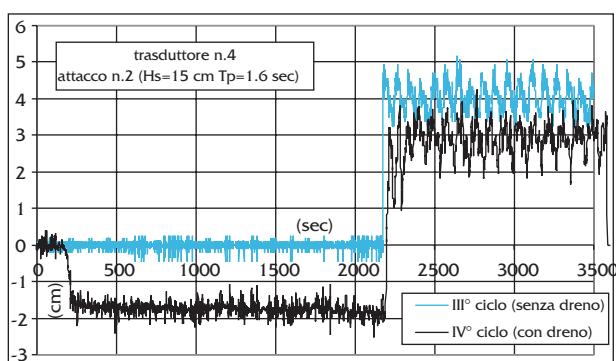


Figura 3. Il segnale dei trasduttori durante le prove con e senza il dreno in funzione

Senza il dreno in funzione la quota della W.T. si stabilizza al valore medio di circa 4.0 cm. In figura sono evidenti le oscillazioni della W.T. che non risente delle frequenze proprie dell'onda, ma piuttosto delle oscillazioni di lungo periodo secondo quanto sarà meglio specificato nel seguito. E' da evidenziare che è presente un rumore di fondo del segnale, testimoniato dai disturbi visibili durante l'acquisizione del livello della W.T. ad acqua ferma.

Il moto ondoso

Lungo ciascuna delle tre linee di misura, contemporaneamente all'altezza della W.T. misurata con i trasduttori di pressione ed al profilo di spiaggia rilevato a mezzo di un profilatore, sono anche state effettuate misure del moto ondoso con le due sonde resistive al largo (profondità=80cm) e a ridosso della linea di riva (profondità=17cm). L'intervallo di campionamento è stato uguale per tutte le misure (0.1s). E' stato così possibile confrontare lo spettro d'ampiezza dell'onda con quello delle oscillazioni della W.T..

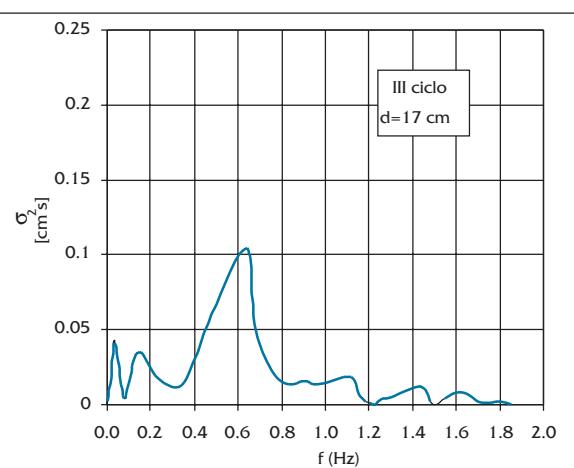
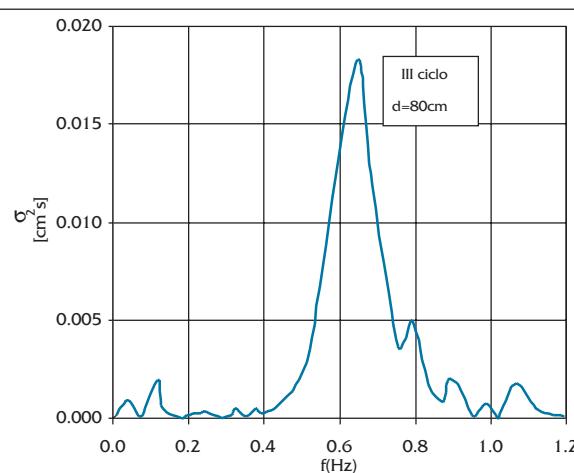


Figura 4. Spettro di ampiezza dell'altezza d'onda al largo (d=80cm) e sottocosta (d=17cm)

STUDIO Sperimentale DEGLI EFFETTI DEL DRENAGGIO DELLA WATER TABLE SUL PROCESSO EROSIVO DEL PROFILO DI SPIAGGIA

Le figure 4a e 4b riportano gli spettri di ampiezza al largo e sottocosta dell'attacco ondoso n.2 (intermedio) con l'uso del dreno (III ciclo). Sottocosta il contenuto energetico alla frequenza di picco è ancora significativo, sebbene inferiore a quello relativo alla situazione al largo, e si nota chiaramente uno spostamento dell'energia verso le basse frequenze con un significativo addensamento di energia alla frequenza del *surf-beat* (~ 0.03 Hz) (fig. 4a). In generale il comportamento appena descritto è stato riscontrato per tutti gli attacchi ondosi di tabella II; ciò conferma che l'evoluzione del moto ondoso non risulta influenzata dagli effetti del dreno.

Si osservi che la sonda sottocosta è comunque posta ad una distanza dalla linea di riva tale da non consentire il rilievo completo delle trasformazioni che l'onda subisce nelle zone immediatamente vicine alla riva dove si assiste ad un ulteriore spostamento dell'energia verso le basse frequenze con un incremento dell'energia relativa alle componenti spettrali prossime a quelle del *surf-beat*.

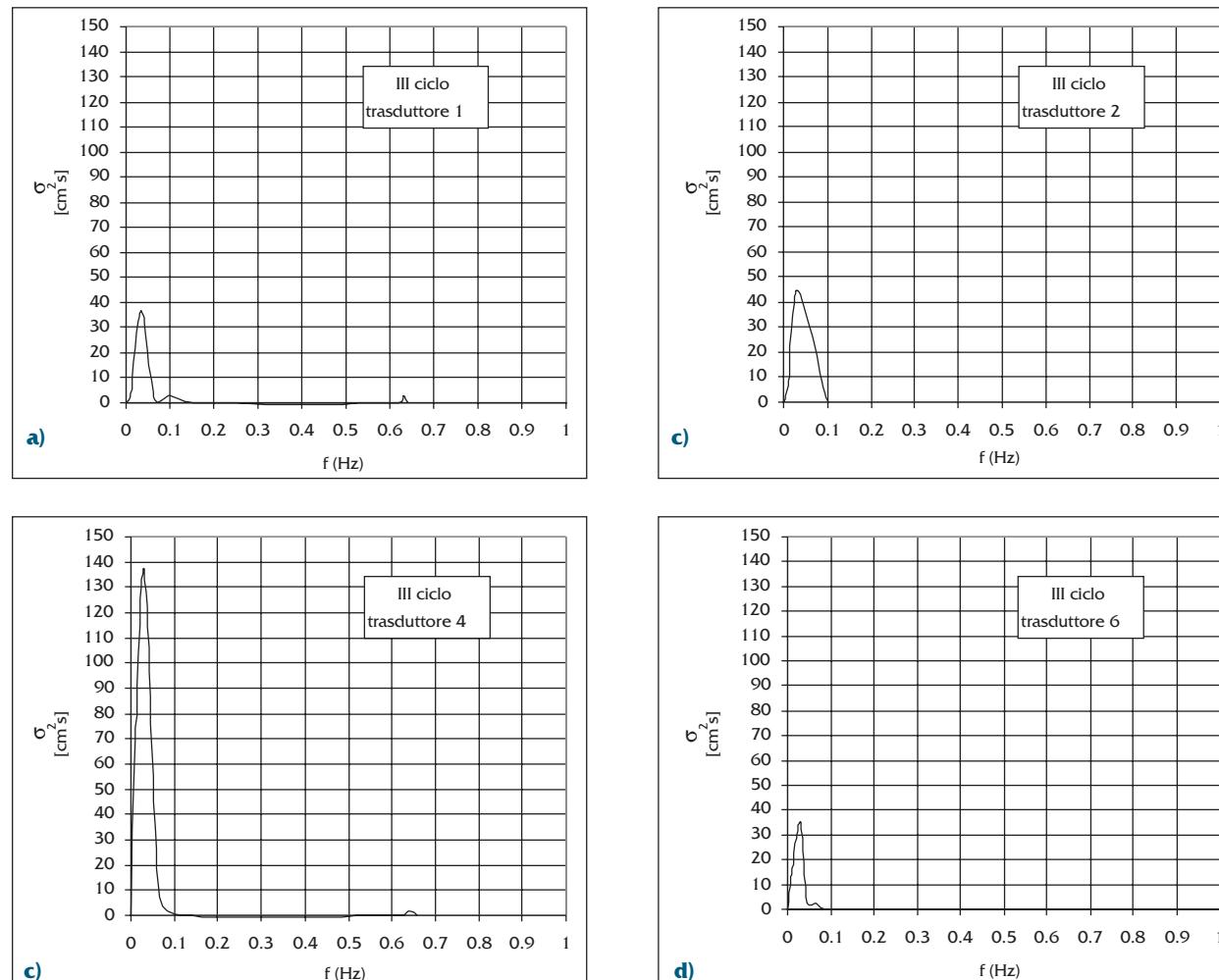
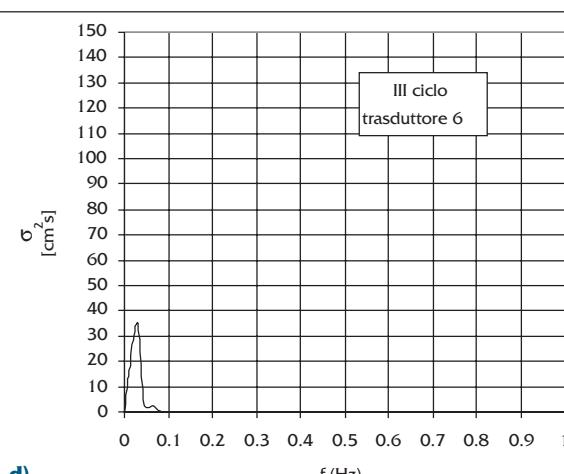
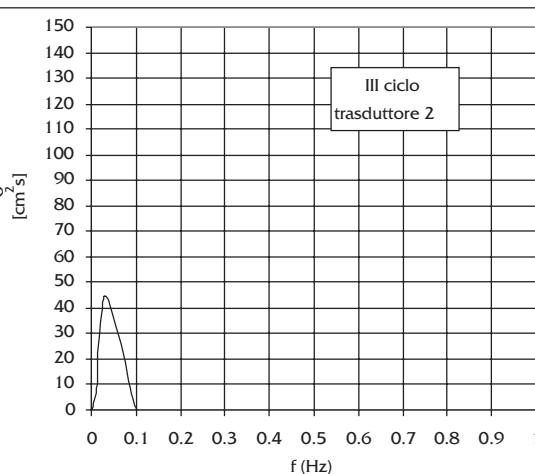


Figura 5. Gli spettri di ampiezza delle W.T. misurata in corrispondenza dei trasduttori 1 (vicino la linea di riva), 2 (vicino al dreno), 4 (prossimo alla massima quota del run-up) e 6 (più lontano dal dreno)

Le oscillazioni della Water Table

Le figure 5a, 5b, 5c e 5d riportano gli spettri di ampiezza delle variazioni della W.T. relative alle misure dei trasduttori 1, 2, 4 e 6. Il trasduttore n.1 è vicino alla linea di riva, il n.2 è vicino al dreno, il n.4 in prossimità della massima quota della W.T., il trasduttore n.6 è quello più lontano dal dreno.

E' subito evidente che le componenti spettrali sono prevalentemente addensate alle basse frequenze ($f < 0.1$ Hz) ove la densità di energia assume valori nettamente maggiori di quelli riscontrati alle stesse frequenze per il moto ondoso. Non sono presenti le componenti relative al moto ondoso al largo. Solo per gli attacchi ondosi più erosivi (nn.1-2), anche a causa dell'arretramento della linea di riva, è presente una modesta componente alla frequenza di picco del moto ondoso (att. n.2, $f_p = 0.625$ Hz). Questa è segnalata soprattutto dal trasduttore n.1 (fig. 5a) e, anche se non sempre in maniera evidente, dal trasduttore 4 (fig. 5c), essendo questo quello che risente maggiormente delle oscillazioni del run-up.



Subplot (b) of Figure 5: Power spectrum of water table variations (σ² [cm²/s]) versus frequency (f [Hz]) for transducer 4 (near the dune) during the third cycle (III ciclo).

Dalle figure 5, si deduce che periodo delle oscillazioni della W.T. sembra direttamente legato alle basse frequenze del moto ondoso incidente.

Le oscillazioni con maggiore ampiezza sono state registrate dal trasduttore n.4 (fig. 5c) e dall'adiacente trasduttore n.5 (per brevità non riportato nelle figure) in corrispondenza dei quali il run-up raggiunge la massima elongazione rispettivamente in relazione all'attacco n.2 (ciclo III) ed attacco n.1 (ciclo II). Tali evidenze sperimentali trovano un analogo riscontro nelle analisi numerico-sperimentali di Cartwright et al. (2002). Nella figura 5d è riportato lo spettro di ampiezza rilevato dal trasduttore n.6, posto più all'interno nella foreshore zone, fuori dalla fascia interessata dal run-up. Si osserva che le componenti di quest'ultime sono ancora più spostate verso le basse frequenze e le relative oscillazioni hanno una bassa ampiezza.

A conferma del fatto che il periodo delle oscillazioni della W.T. sono molto diversi da quelli dell'onda al largo, nella figura 6 è riportato l'andamento temporale delle fluttuazioni della W.T. ricavate mediante l'applicazione della anti-F.F.T. allo spettro di ampiezza della figura 5c (trasduttore 4). L'andamento evidenzia la presenza di componenti armoniche di ampiezza elevata con periodo di circa 100s. Tali armoniche sono intervallate da due componenti di periodo pari a circa un terzo del precedente.

Le analisi spettrali hanno, infine, mostrato che il periodo delle oscillazioni della W.T. non è influenzato dal funzionamento del dreno.

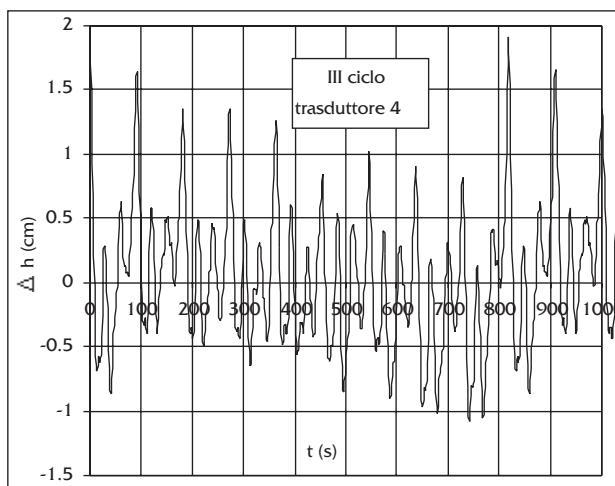


Figura 6. la anti f.f.t. dello spettro di ampiezza del segnale misurato dal trasduttore 4 – l'elevazione della W.T. durante i primi 1000 secondi di prova

La Water Table durante le prove con il dreno

La figura 7 riporta la posizione del dreno e quella dei trasduttori insieme all'andamento medio della W.T. durante gli attacchi ondosi dei cicli con il dreno in funzione. Le ascisse sono espresse in cm e sono convenzionalmente riferite all'origine del modello a monte della spiaggia.

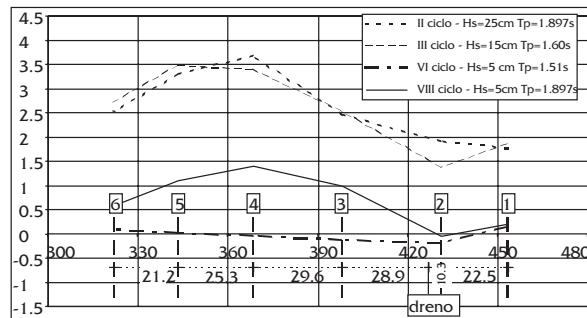


Figura 7. i cicli di prove con il dreno

Come innanzi detto, la W.T. ha un andamento medio crescente determinato dalla percolazione dell'acqua di run-up che raggiunge la sua massima altezza in corrispondenza del trasduttore 4.

I trasduttori n.2 e n.3, i più vicini al dreno, risentono maggiormente i suoi effetti evidenziati dall'abbassamento della W.T. senza tuttavia poter rappresentare l'esatto andamento della depressione. Il trasduttore n.6, più lontano, risente meno sia degli effetti del drenaggio che della ricarica della W.T. conseguente al run-up.

La quota della W.T. è influenzata dalla altezza d'onda significativa al largo e dal periodo di picco. Infatti dalla figura 7 si osservano delle differenze tra la W.T. relativa ad $H_s=5\text{cm}$ e quelle relative ad $H_s=15\text{cm}$ e 25cm . Inoltre sono evidenti le variazioni nell'andamento della W.T. a parità di H_s conseguenti al diverso periodo di picco.

Durante il susseguirsi degli attacchi ondosi di ciascun ciclo, la W.T. modifica il suo andamento. In particolare la figura 8 evidenzia la evoluzione media della W.T. durante il II ciclo ($H_s=25\text{ cm}$ – attacco n.1, erosivo, con il dreno in funzione) mostrando come essa sia sensibile alla posizione della linea di riva che, data la natura dell'attacco n.1, tende ad arretrarsi nel tempo.

Da osservare che il II ciclo è iniziato al termine del I ciclo durante il quale il dreno non era in funzione. L'erosione della linea di riva osservata

STUDIO Sperimentale DEGLI EFFETTI DEL DRENAGGIO DELLA WATER TABLE SUL PROCESSO EROSIVO DEL PROFILO DI SPIAGGIA

con il I ciclo è continuata anche durante il II ciclo non mostrando sensibili diminuzioni del trend erosivo per effetto del dreno.

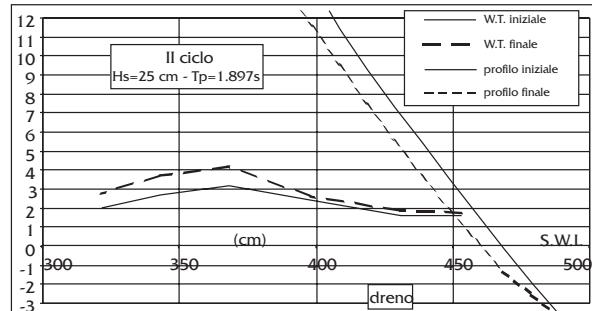


Figura 8. il profilo di spiaggia e la W.T. durante il II° ciclo (erosivo con il dreno)

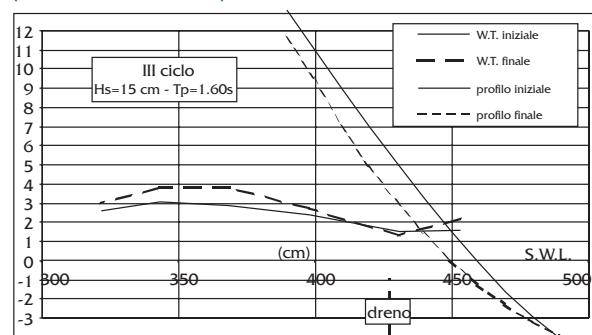


Figura 9. Il profilo di spiaggia e la W.T. durante il III° ciclo (intermedio con il dreno)

La figura 9 riporta la evoluzione della W.T. e del profilo di spiaggia durante il III ciclo ($H_s=15$ cm, attacco intermedio con il dreno in funzione). La conformazione della W.T. risente della minore energia d'onda incidente, ma è ancora influenzata dalla progressiva erosione della spiaggia emersa continuata anche durante l'azione dell'attacco n.2 avente carattere "intermedio" sia con il dreno in funzione che senza.

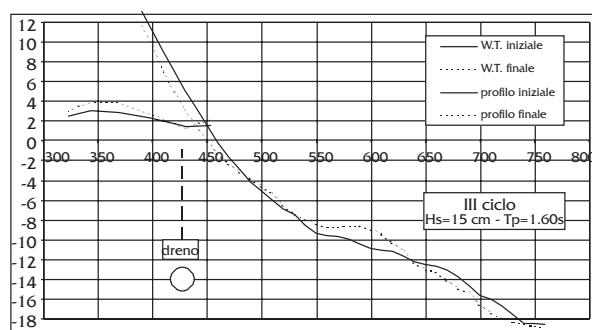


Figura 10. Un visione d'insieme del profilo di spiaggia e della W.T. durante il III° ciclo (vedasi figura 9)

Si noti, inoltre, che la minore energia d'onda dell'attacco 2 (figura 9) ha reso maggiormente evidente gli effetti drenanti sulla W.T. in corrispondenza del dreno.

La figura 10 mostra più chiaramente, assieme all'andamento della W.T. già rappresentato in figura 9, il comportamento del profilo di spiaggia nel passaggio dal moto ondoso erosivo (II ciclo) a quello intermedio (III ciclo).

La W.T. durante le prove senza il dreno

In figura 11 sono riportati i valori di altezza della W.T. ottenuti dalla media delle misure effettuate durante gli attacchi di moto ondoso dei 10 cicli senza l'uso del dreno, citati in tabella 3.

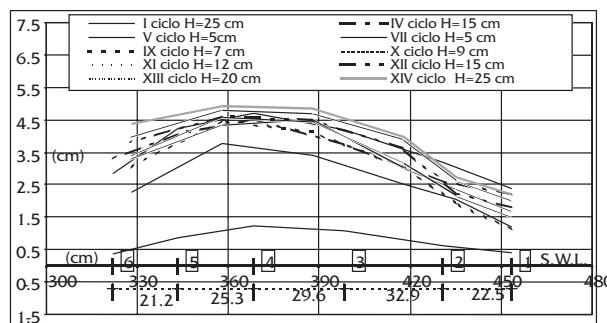


Figura 11. i cicli senza il dreno – valori medi misurati durante gli attacchi ondosi di ogni ciclo – a causa della evoluzione della spiaggia la W.T. misurata durante il primo ciclo è alquanto diversa da quella relativa all'ultimo (XIV ciclo) nonostante il moto ondoso sia lo stesso.

In generale, dal confronto con la figura 7, si osserva che la W.T. presenta una elevazione maggiore di quanto accade con il funzionamento del dreno.

Le differenze di quota della W.T. relativamente ad i cicli aventi lo stesso contenuto energetico, ovvero tra loro prossimo (ad es. $H_s=12$ cm e $H_s=15$ cm), derivano anche dal fatto che, come già segnalato, la conformazione della W.T. è anche legata alla particolare evoluzione del profilo di spiaggia.

Dalla figura 11 è comunque evidente che la W.T. è più elevata al crescere dell'energia d'onda incidente. Anche per queste prove, come per quelle con il dreno in funzione, accade che a parità di altezza d'onda significativa, all'aumentare del periodo di picco aumenta la quota della W.T. Tale differenza di quota è evidente per i cicli V e VII realizzati con gli attacchi ondosi ripascitivi caratterizzati entrambi da $H_s=5$ cm, ma aventi rispettivamente $T_p=1,51$ s e $T_p=1,897$. Differenze minori si notano per i cicli IV e XII caratterizzati da attacchi ondosi intermedi ($H_s=15$ cm; $T_p=1,6$ s e $T_p=1,897$).

Il punto di massima altezza della W.T. è ancora associato alla massima quota raggiunta dal run-up la cui posizione sembra non variare sostanzialmente se il dreno è o meno in funzione.

Confronto tra le prove con il dreno e quelle senza il dreno

La forma e la elevazione della W.T. dipendono dalla posizione dalla linea di riva e dalla conformazione della spiaggia emersa; la quota della W.T. aumenta all'aumentare dell'energia dell'onda incidente e del periodo di picco.

Dal confronto tra la situazione con e senza il dreno in funzione (figg. Da 7 a 11), emerge che, a parità di caratteristiche d'onda, la W.T. risulta deppressa se il dreno è in funzione; tale depressione è evidente soprattutto in vicinanza al dreno. La quota massima rimane per tutti i casi quella misurata dal trasduttore 4, posizionato in corrispondenza della massima risalita del run-up.

La presenza del dreno, tuttavia, non impedisce l'erosione della spiaggia ed il conseguente arretramento della linea di riva.

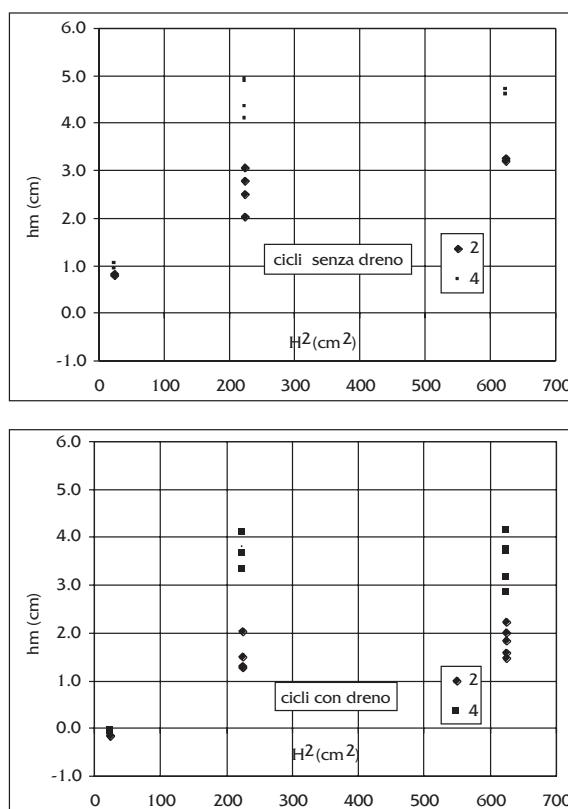


Figura 12. Andamento della quota massima della W.T. (trasduttore 4) e di quella in corrispondenza del dreno (trasduttore 2) in funzione di H^2

Le figure 12a e 12b mostrano l'aumento della quota media della W.T., in corrispondenza delle due sezioni di misura significative (trasduttori 2 e 4), in funzione della energia d'onda.

La variabilità dei dati in corrispondenza di ciascun ciclo, conferma, inoltre, che la quota della W.T. risente delle modifiche morfologiche della spiaggia.

Oltre alle caratteristiche sedimentologiche della sabbia e a quelle fisiche del tubo drenante, costanti per le prove in esame, quindi, i parametri fondamentali da cui il fenomeno dipende sono le variazioni della configurazione della spiaggia in prossimità del dreno, nonché le caratteristiche del moto ondoso incidente. In particolare, la W.T. è direttamente influenzata dal run-up del moto ondoso (la quota massima della W.T. non si discosta in modo significativo dalla posizione corrispondente alla massima quota raggiunta dal run-up), essendo questo il principale mezzo del trasporto solido a riva.

Per studiare le interazioni tra le caratteristiche del moto ondoso e la morfologia della spiaggia sotto costa (Holman R.A. e Sallenger A.H., 1985) e come queste siano in relazione con la formazione della W.T., Può essere opportuno introdurre il parametro di Iribarren

$$\xi = p / (H_b / L_o)^{0.5} \quad (2)$$

(con p =pendenza della spiaggia in corrispondenza della linea di riva, H_b =altezza d'onda al frangimento e L_o =lunghezza d'onda al largo), modificato rispetto alla formulazione originale avendo considerando la pendenza p della spiaggia in corrispondenza della linea di riva in luogo della pendenza media della surf-zone. Tale parametro espresso dalla (2), è funzionalmente legato all'altezza dell'intera soprelevazione h_s di set-up a riva (Nielsen, P. et al., 1988).

Nel calcolare i valori di ξ sono state considerate le variazioni, nel corso delle prove, di pendenza della spiaggia in corrispondenza della linea di riva che, come è noto, tendenzialmente segue una proporzionalità inversa con l'energia dell'onda incidente.

Nel prosieguo, ogni ciclo di tabella 3, è individuato con un solo valore di altezza media della W.T. (h_{WT}) ottenuto dalla media dei valori misurati da tutti i trasduttori durante gli attacchi ondosi che compongono ogni ciclo. I dati relativi al ciclo VIII,

attacco 4 con il dreno (tab. III), non sono stati considerati nelle successive elaborazioni a causa della citata rottura del dreno. Oltre alla posizione della W.T. (Fig.7) anche i dati relativi alla evoluzione morfologica ed alla portata drenata sono stati ritenuti inattendibili.

Seguendo la formulazione proposta dal Longuet-Higgins (Longuet Higgins M.S., Stewart R.W., 1963), si pone

$$hs = 0.19H_b \left(1 - 2.82 \sqrt{\frac{H_b}{gT^2}} \right) \quad (3)$$

(H_b =altezza d'onda al frangimento e $T=T_p$) calcolato per ogni ciclo di attacchi e si introduce il rapporto h_{WT}/hs tra la quota media della W.T. misurata durante ciascun ciclo ed il corrispondente valore del set-up. Il significato di tale parametro adimensionale si ricollega alle considerazioni precedenti sul legame tra la W.T. ed il run-up, entrambi fortemente influenzati dalle variazioni di altezza del set-up.

La figura 13 riporta i valori di h_{WT}/hs in funzione di ξ per tutti i cicli di tabella III. In essa sono rappresentati con il triangolo i punti relativi ai primi cicli eseguiti alternando il funzionamento con il dreno in funzione (triangolo grosso) a quelli senza (triangolo piccolo), con il quadrato sono rappresentati i punti rappresentativi degli ultimi cicli eseguiti senza il dreno in funzione.

Al crescere del valore di ξ il rapporto h_{WT}/hs tende a diminuire a causa dell'effetto drenante, mentre tende ad aumentare per le prove senza il dreno in funzione. Si osserva che l'effetto drenante comincia ad essere sensibile per i valori di ξ sufficientemente elevati, propri, degli attacchi ondosi a basso contenuto energetico, con carattere ripascitivo.

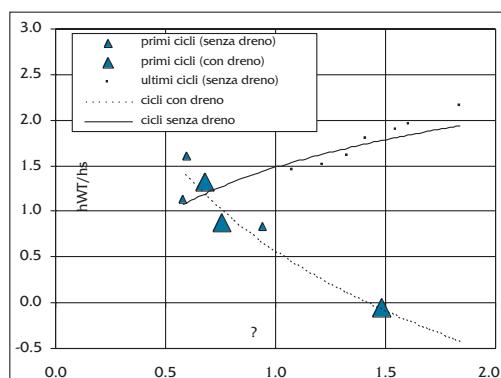


Figura 13: il rapporto h_{WT}/η (altezza della W.T. su altezza di set-up) vs il numero di Iribarren: l'influenza del dreno sulla elevazione della W.T.

Inoltre, a parità di ξ e per uguali valori di hs , h_{WT} diminuisce con il dreno in funzione e tale comportamento è più evidente al crescere di ξ , ovvero per attacchi tendenzialmente ripascitivi.

Le osservazioni innanzi riportate si interpretano considerando che gli effetti della percolazione dell'acqua di run-up sono rilevanti quando le mareggiate hanno una modesta intensità, ovvero quando il periodo e l'elongazione del run-up sono tali da consentire il riassorbimento dell'acqua dalla spiaggia emersa (Holman R.A., Sallenger A.H., 1985). Per le mareggiate più intense la spiaggia emersa interessata dal run-up è sostanzialmente pessimo satura e quindi la percolazione la interessa marginalmente. In tal caso la spiaggia emersa si comporta come quasi-impermeabile al run-up e l'azione erosiva del flusso di ritorno del run-up ha maggiore efficacia in termini di trasporto solido verso il largo. In questi termini può essere visto l'effetto del drenaggio. La depressione della W.T. è maggiormente significativa con gli attacchi meno energetici che non provocano la completa saturazione della spiaggia emersa e, quindi, favoriscono la percolazione, riducendo la capacità erosiva del *back-wash*. L'effetto drenante, quindi, agisce principalmente come un fattore che tende ad incentivare la percolazione durante le fasi ripascitive dell'attacco ondoso.

LA PORTATA DRENATA

La portata drenata è stata valutata misurando le altezze ed i rispettivi tempi di risalita del livello idrico nel pozzetto di raccolta (diametro interno=1.25m) (figura 1).

La portata drenata è stata $Q_o = 0.23 \text{ l/s}$ ad acqua ferma, cioè in assenza di moto ondoso. La portata drenata valutata come media complessiva di ciascun ciclo è stata $Q_{II} = 0.43 \text{ l/s}$ con l'attacco erosivo, $Q_{III} = 0.35 \text{ l/s}$ con l'attacco intermedio, $Q_{VI} = 0.31 \text{ l/s}$ con l'attacco ripascitivo.

In figura 14 è rappresentata la variazione, pressoché lineare del rapporto $\Delta Q_i/Q_i$ in funzione di H^2 , quest'ultimo proporzionale alla energia d'onda al largo; $\Delta Q_i = Q_i - Q_o$ ($i = II, III, VI$ in riferimento alla numerazione dei cicli con il dreno di Tab. III), Q_i rappresenta la media dei valori misurati nel corso di ciascun attacco dei cicli con il dreno in funzione.

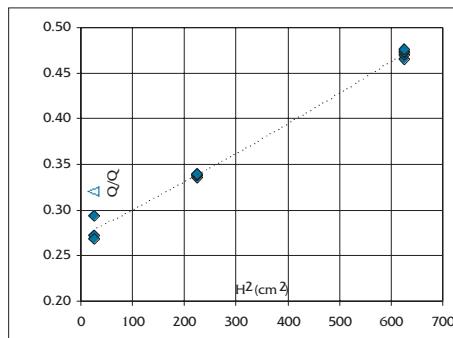
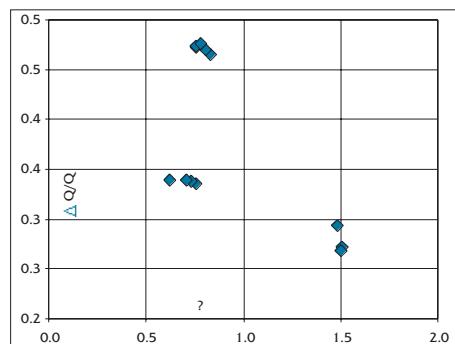
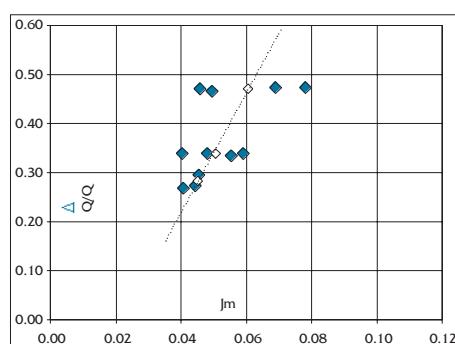


Figura 14. La portata drenata vs l'energia d'onda

Come già osservabile dalla figura 7 (posizione delle W.T. durante i vari cicli con l'uso dreno) e dalle figure 12a e 12b, l'incremento di altezza della W.T. non varia proporzionalmente all'aumento della energia d'onda.

Figura 15. La portata drenata vs ξ Figura 16. La portata drenata vs la pendenza J_m della W.T.

La variazione di altezza della W.T. passando dal ciclo con $H_s=5\text{cm}$ a $H_s=15\text{cm}$ è significativamente maggiore di quella misurata passando dall'attacco con $H_s=15\text{cm}$ a quello $H_s=25\text{cm}$. Cioè la quota della W.T. varia poco all'aumentare della energia d'onda, mentre (fig.14) la portata drenata varia proporzionalmente ad H^2 .

Ne consegue che la variazione della portata drenata non varia linearmente con la variazione di altezza della W.T..

Inoltre, si è detto che anche l'evoluzione morfologica della spiaggia influisce sulle variazioni della portata drenata.

Dalla figura 15, però, si constata la scarsa rappresentatività della variazione di portata drenata in funzione di ξ . D'altra parte, il valore contenuto in ξ della pendenza media della spiaggia in corrispondenza della linea di riva non può rappresentare adeguatamente le variazioni morfologiche della spiaggia che influiscono sulla variazione di quota della W.T.. Poiché la posizione del l.m.m. praticamente non varia per effetto del drenaggio, al variare della conformazione della W.T. corrisponde una variazione della pendenza piezometrica della porzione di W.T. compresa tra il dreno ed il l.m.m.. Ad un aumento della pendenza piezometrica della W.T. in corrispondenza del dreno deve corrispondere un analogo incremento della portata drenata.

Con riferimento al flusso di acqua drenata dal lato mare, che fornisce l'apporto più significativo rispetto a quello proveniente dal lato monte, la pendenza piezometrica media della W.T. è segnata dalla posizione del l.m.m. e dalla quota piezometrica sul dreno. La prima dipende, oltre che dalla pendenza della spiaggia (p), anche dai movimenti in orizzontale della linea di riva rispetto alla posizione del dreno e, verticalmente, dalla quota del set-up dovuto al moto ondoso (h_s).

Indicata con X_m la distanza del dreno dalla linea di riva ad acqua ferma misurata al termine di ogni attacco ondoso, la distanza del dreno dalla linea di riva è data da $(X_m - h_s/p)$. La pendenza piezometrica media della W.T. dal lato mare, J_m , vale $(h_s - h_{WT2})/(X_m - h_s/p)$, ove h_{WT2} è la quota della W.T. in corrispondenza del dreno (h_{WT} del trasduttore 2 - fig.12a).

In figura 16 si constata che, con riferimento ai valori medi di ogni ciclo (punti con sfondo bianco), al diminuire di J_m , la portata drenata diminuisce proporzionalmente.

La figura mette anche in evidenza la dipendenza funzionale tra la portata media drenata e la evoluzione morfologica della spiaggia espressa sostanzialmente da X_m , il cui valore è significativo degli effetti erosivi o ripascitivi degli attacchi ondosi. Durante gli attacchi ondosi di ciascuno dei tre cicli esaminati con l'uso del dreno, la J_m varia al variare di X_m . La portata, invece, come già innanzi detto, non subisce variazioni altrettanto significative durante ogni ciclo di attacchi ondosi.

STUDIO Sperimentale degli effetti del drenaggio della Water Table sul processo erosivo del profilo di spiaggia

Si conferma, quindi, che la portata drenata dipende soprattutto dal tipo di attacco ondoso per effetto delle variazioni della quota di set-up, ma è anche influenzata dagli spostamenti che la linea di riva subisce per effetto delle variazioni morfologiche della spiaggia.

CONCLUSIONI

La configurazione della W.T., a parità di sabbia e di geometria del dreno, dipende dalle caratteristiche del moto ondoso incidente e dalle modificazioni morfologiche della spiaggia indotte ad opera dello stesso. Le variazioni del livello sono legate alle componenti alle basse frequenze del moto ondoso; infatti si riscontrano periodi di oscillazione propri del surf-beat. La quota di riferimento verso la linea di riva è data dalla elevazione del set-up, mentre quella più alta si ottiene in corrispondenza del punto di massima elongazione del run-up.

L'effetto del dreno deprime la quota della W.T. Tale depressione è più significativa per gli attacchi ondosi meno energetici. L'azione stabilizzante del dreno, infatti, si mostra più efficace per quest'ultima tipologia di moto ondoso. Il parametro h_{WT}/hs , che rappresenta il rapporto tra la quota media della W.T. e l'elevazione massima di set-up, durante gli attacchi ondosi di tipo ripascitivo, risulta inferiore per i profili di spiaggia con l'uso del dreno, rispetto al funzionamento senza dreno.

Al crescere dell'energia d'onda incidente, aumentano sia la quota della W.T. che la portata emunta, quest'ultima proporzionalmente alla energia dell'onda; l'incremento di altezza della W.T., invece, sembra tendere verso una situazione di saturazione.

Le prove hanno mostrato che la portata drenata dipende, oltre che dalle caratteristiche del moto ondoso, anche dalla quantità di materiale movimentato sulla spiaggia e dalla posizione del dreno rispetto alla linea di riva.

RINGRAZIAMENTI

La ricerca è stata finanziata nell'ambito del progetto MURST "Piani di potenziamento della rete scientifica e Tecnologica Piano Ambiente Terrestre" – Cluster C11 – B Progetto n. 9 "Drenaggio delle Spiagge – BMS" (RIS 1) cofinanziato dal MIUR.

Particolare ringraziamento va al prof. ing. Antonio F. Petrillo, coordinatore della ricerca e al prof. ing. L. Damiani.

Si ringraziano, inoltre, i tecnici del "Laboratorio di Ricerca e Sperimentazione per la Difesa della Coste" (LIC) del Politecnico di Bari, l'ing. B. Nobile e il geom. L. Romanazzi, per il supporto durante le attività di realizzazione del modello fisico e di rilievo dei dati sperimentali.

SIMBOLI

H_s	altezza d'onda significativa
H_b	altezza d'onda al frangimento
T_p	periodo di picco
Lo	lunghezza d'onda al largo
w	velocità di caduta della sabbia
v	viscosità cinematica
ρ	densità dell'acqua
μ	viscosità dell'acqua
g	accelerazione di gravità
σ	densità di energia del moto ondoso
f_p	frequenza di picco del moto ondoso
hs	altezza massima di set-up sottocosta
γ_s	peso specifico della sabbia
γ_a	peso specifico dell'acqua
$\gamma' = (\gamma_s - \gamma_a) / \gamma_a$	peso specifico adimensionale della sabbia immersa
D_i	diametro della sabbia che consente il passaggio dell' $i\%$ di materiale
D_{50}	diametro medio
Q	portata drenata
K	Kurtosis della curva granulometrica della sabbia
ϕ_i	$\log_2 D_i$
ξ	numero di Iribarren
p	pendenza della spiaggia in corrispondenza della linea di riva

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Bagnold R.A. (1940). Beach formation by waves: some experiments in a wave tank. Jour. Institution of C.E. Nov. pp.507-528
- Cartwright N., Nielsen P., Jessen O. Z., 2002. Swash Zone and Near-Shore Watertable Dynamics. Proc. of the 28th Int. Conf. of Cost. Eng., Cardiff, Wales.
- Damiani L. Ranieri, G. (1996). La difesa delle spiagge mediante drenaggio. Scritti in onore di Mario Ippolito, Vol 1, pp.239-253, Napoli. Associazione Idrotecnica italiana, Gruppo Nazionale Difesa Catastrofi Idrogeologiche.
- Damiani L. Ranieri, G., Rossetti R. (2003). Coastal Protection with BMS: a first experience in Italy. VIth Int. Conf. on Coastal Engineering 2003; Cadiz-Spain.
- Damiani L., Petrillo A. F., Ranieri, G. (2002). Il laboratorio di ricerca e sperimentazione per la difesa delle coste: descrizione della struttura e tecniche di misura in 3D.

- XXIX Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche
– Potenza
- Darlymple R. A. (1992). Prediction on storm/Normal Beach Profiles. *Journal of Water., Port, Coast. and Ocean Eng.* Vol. 118, n.2, pp. 193-199
- Folk, R.L., Ward, W.C. (1957). Brazos River Bar: a study in the significance of grain size parameters. *ASCE Jour. of Sedimentary Petrology*, Vol. 27 n.1 pp. 3-26
- Grant U.S. (1948). Influence of the water table on beach aggradation and degradation. *Jour. Marine Research*, 7(3) pp.655-660.
- Holman R.A.; Sallenger, A.H. (1985). Set up and swash on a natural beach. *Jour. Of Geoph. Res.* Vol 90 C1 pp. 945-953
- Kanazawa H., Matsukawa F., Katoh K., Hasegawa I (1996). Experimental study on the effect of gravity drainage system on the beach stabilization. *Proc. 25th ICCE* pp. 2640-2653
- Kawata Y. ; Tsuchiya Y. (1986). Applicability of sub-sand filter system to beach erosion control. *Proc. Of 20th Int. conf. On Coast. Eng.*, pp. 189-190
- Longuet Higgins M.S., Stewart R.W. (1963). A note on wave set up. *Jour. Mar. Res.* (75) pp.4-10
- Montori C. (2002). Sistema de drenaje de Playas – Investigación y desarrollo Tesis Doctoral. Facultad de Geología, Universitat de Barcelona
- Nielsen P., et al (1988) Wave set up and the Water Table in Sandy Beaches. *Tech. Memorandum*, 88/1, NSW Pub. works Dept., Australia, 132p.
- Ogden, M.R.; Weisman, R.N. (1991). Beach Stabilization using drains. An experimental model study. *Costal Sed.* 1991. ASCE, New York 001955-1969
- Ranieri G. (2002). A standard method for measuring the average fall velocity of natural sands. *Proc. Hydraulic Measurements and Experimentation Conference*. Estes Park, Colorado, USA.
- Rieb, G. Promotion of soft engineering in France (1999). The Beach Drainage Concept. COPEDC V. Cape Town.
- Sato M. (1990). Underground water table and beach face erosion. *Coastal Engt.* 1990. pp. 2644-2657
- Sato M.; Hata S.; Fukushima M. (1994). An experimental study on the beach transformation due to waves under the operation of coastal drain system. *Proc. 24th ICCE*, pp. 2571-2582
- Sato M., Fukushima, T., Nishi R., Fukunaga M. (1996). On the change of velocity field in nearshore zone due to coastal drain and consequent beach transformation. *Proc. 25th ICCE* pp.2666-2676
- Vesterby H.; (1991). Coastal drain system: a new approach to coastal restoration. *GEO-COAST 1991*. Yokoama pp. 651-653
- Weisman R.N., Seidel G.S., Ogden M.R.; (1995). The effects of water table manipulation on beach profile. *Coast. And Ocean Eng.* (121-2) pp.134-142