COMUNE DI GENOVA

aster
AZIENDA SERVIZI TERRITORIALI COMUNE DI GENOVA

UFFICIO PROGETTAZIONE A.S.TER

TITOLO: **PROGETTAZIONE DEFINITIVA PER L'AMPLIAMENTO E LA REALIZZAZIONE DI NUOVE SPIAGGE TRA IL CONFINE OCCIDENTALE DI GENOVA E CAPO CREVARI**

LIVELLO DI PROGETTAZIONE: **PROGETTO DEFINITIVO**

REV.	DATA	DESCRIZIONE DELLA REVISIONE	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO
00	Ott. 2003	PRIMA EMISSIONE	Prof. P. Aminti	Ing. P. Bellingeri	Arch. A. Airenti

AMMINISTRAZIONE PROPONENTE:
COMUNE DI GENOVA

OGGETTO:
RELAZIONE MODELLO FISICO

REGIONE LIGURIA – Allegato alla nota n. 8564 del 24 FEB. 2004 – Il Dirigente dell'Ufficio – DATA

R 05

SCALA:
-

RESP. UNICO DI PROCEDIMENTO:
Ing. Stefano Pinasco

RESP. UFFICIO PROGETTAZIONE:
Arch. Annamaria Airenti

COORDINATORE PROGETTO:
Ing. Paolo Bellingeri

GRUPPO DI PROGETTO:
Ing. P. Bellingeri
Ing. G. Berriolo
Ing. P. Bocca
Ing. S. Giordano

COLLABORATORI:
Tec. Cad. Gigliola Genta
Ing. R. Pioli

CONSULENZA GEOLOGICA:
Dott. Geol. G. Andreola

REDAZIONE MODELLO MATEMATICO E FISICO
Prof. P. Aminti - Università Firenze

STUDI SEDIMENTOLOGICI E GRANULOMETRICI
Prof. Fierro-Dott. Ferrari -DIPTERIS

RILIEVO BATIMETRICO
Nuova Idrocart

COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:
Ing. R. Burlando

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI GENOVA – Ing. PAOLO BELLINGERI – n. 7262

NOME FILE:	NOME LAYOUT:	FILE STAMPA:
-	-	EC46. ctb

CODICE COMMESSA	DOC.N.	SCALA DI STAMPA	FORMATO	FOGLIO
00EC046	DCR05	-	-	- DI -

Università degli Studi di Firenze

Dipartimento di Ingegneria Civile

STUDIO SU MODELLO FISICO DELLA DINAMICA EVOLUTIVA DELLA SPIAGGIA DI VESIMA

RELAZIONE FINALE

Firenze, Marzo 2003

STUDIO SU MODELLO FISICO DELLA DINAMICA EVOLUTIVA DELLA SPIAGGIA DI VESIMA

1. Premessa

Le prove su modello fisico sono state effettuate, su incarico della A.S.Ter, Azienda Servizi Territoriali del Comune di Genova, con l'obiettivo di approfondire le conoscenze sulla dinamica del profilo trasversale della spiaggia emersa e sommersa del litorale di Genova Vesima,fra il limite occidentale del Comune e lo Scoglio Nave, verificandone il comportamento dopo la realizzazione del ripascimento previsto nel progetto preliminare commissionato dalla Regione Liguria all'ing. Giorgio Berriolo.
I rilievi batimetrici eseguiti da IDROCART e lo studio meteomarino per il tratto di litorale oggetto dello studio sono stati forniti direttamente dall'ing. Berriolo.
La valutazione dell'efficacia del ripascimento artificiale è stata realizzata sottoponendo il profilo S3 della spiaggia (Foto 1) a 4 attacchi ondosi diversi per altezza d'onda e periodo.

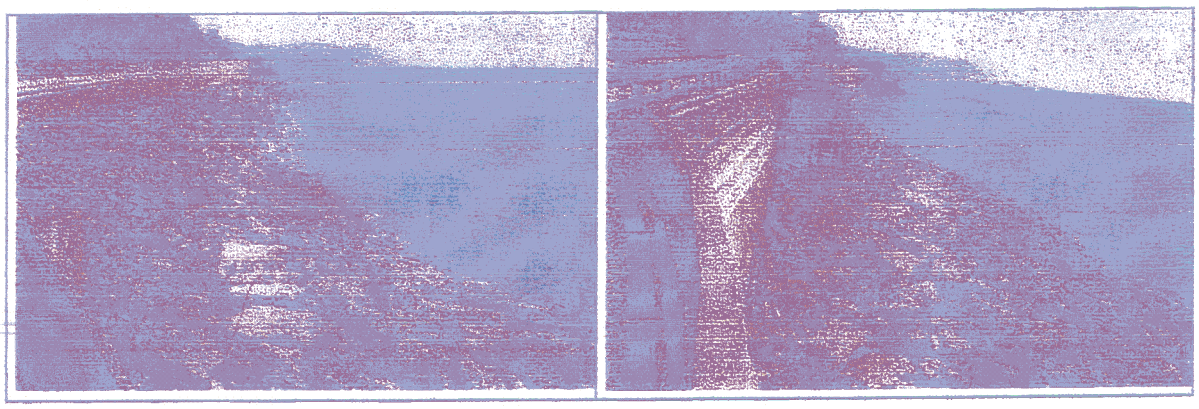


Foto 1 – Profilo S3, rilievo IDROCART 2003

2. Il modello fisico

2.1 L'apparato sperimentale

Le prove sono state effettuate presso il Laboratorio di Idraulica del Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università degli Studi di Firenze in un canale bidimensionale (Fig.1) avente le seguenti caratteristiche:

- lunghezza 50 m;
- larghezza 0.80 m;
- profondità 0.80 m.

Il sistema di generazione è composto da un elaboratore e da un canale munito di pala azionata da un sistema idraulico ad attuazione oleodinamica. La generazione digitale del segnale voluto avviene mediante un software appositamente sviluppato e dotato di interfaccia grafica *windows oriented*; tramite una conversione digitale-analogica, il segnale viene inviato al sistema di controllo della pala ed inoltre, attraverso il posizionamento di sonde resistive lungo il canale, viene eseguita l'acquisizione analogica in tempo reale del livello della superficie libera.

Il sistema permette la generazione sia di onde sinusoidali, con periodo e altezza assegnata, che di stati di mare con spettro di energia uguale ad uno teorico scelto tra: Jonswap, Pierson-Moskowitz, Scott, Neuman, Bretschneider, Ochi-Hubble.

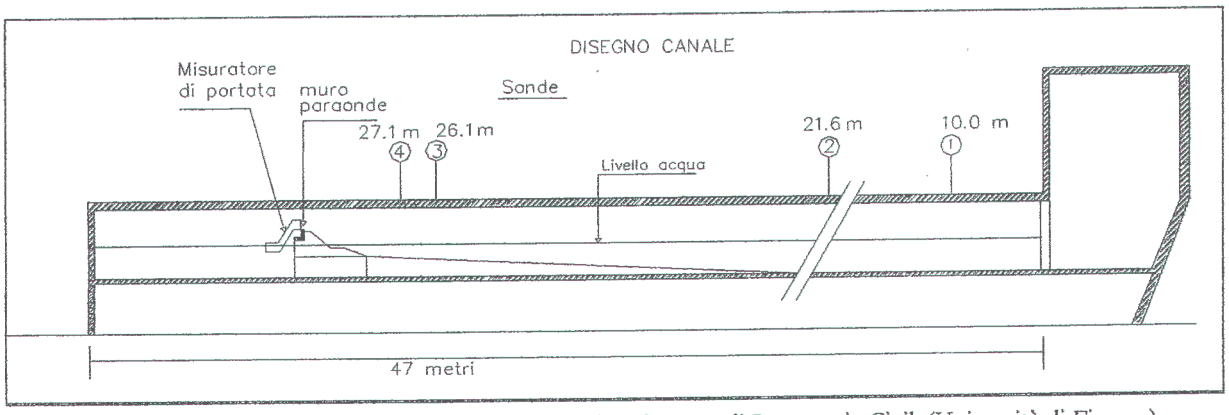


Figura 1 - Canale del Laboratorio di Idraulica del Dipartimento di Ingegneria Civile(Università di Firenze).

Il segnale random generato può essere memorizzato e riutilizzato per riprodurre più di una volta lo stesso stato di mare; una volta acquisito viene rielaborato in tempo reale con analisi sia nel dominio della frequenza (analisi spettrale) che nel dominio del tempo (analisi zero-crossing) e permette il calcolo dei seguenti parametri caratteristici d'onda: H_{m0}, $H_{1/3}$, $H_{1/10}$, H_{max}, H_{rms}, T_m, $T_{1/3}$, T_p.
Le sonde utilizzate sono sonde resistive che forniscono una misura in Volt da convertire in unità metriche, tramite una relazione lineare del tipo:

$$\eta = V_0 + kV$$

dove η è la misura dell'oscillazione della superficie libera [cm], V è la misura dell'oscillazione della superficie libera [Volt], V_0 è l'intercetta della relazione lineare di conversione [Volt] e k è il coefficiente angolare della relazione lineare di conversione.

La linearità delle sonde è verificabile tramite taratura delle stesse, operazione eseguita regolarmente durante tutta la durata delle prove in canale.

2.2 Criteri di similitudine per la costruzione del modello

Il fondale antistante la zona interessata dall'intervento di ripascimento è caratterizzato da una pendenza uniforme del 5% (1:20) fino ad una profondità di 10 m. Tale sezione è stata riprodotta in canale mediante la costruzione di un fondale sabbioso della stessa pendenza. Come livello di riferimento è stato assunto quello corrispondente al livello medio mare, mentre il sovralzo d'onda è generato automaticamente durante l'esecuzione delle prove.

Il modello bidimensionale ricostruito in canale è stato realizzato in similitudine di Froude, in scala 1:20. Per il modello è stata adottata una scala geometrica non distorta n_L ($n_L=\lambda_m/\lambda_p$, dove λ_m e λ_p sono rispettivamente le dimensioni lineari del modello e del prototipo) pari a:

$$n_L = \frac{\lambda_m}{\lambda_p} = \frac{1}{20}$$

Di conseguenza la scala dei tempi $n_T = \frac{T_m}{T_p}$ e delle velocità $n_V = \frac{V_m}{V_p}$ risultano pari a:

$$n_T = n_V = \sqrt{n_L} = \sqrt{\frac{1}{20}}$$

In base all'analisi dimensionale, assumendo valida la similitudine di Froude, si deducono le relazioni di scala valide per le altre grandezze che intervengono nel fenomeno studiato. Nella Tabella I vengono riportate le varie scale di riduzione adottate nel modello fisico.

Tabella 1 - Scale di riduzione utilizzate nel modello

Grandezza	**Dimensione**	**Scala di riduzione**	
Lunghezza	L	N_L	1:20
Altezza d'onda	L	$n_{H_0} = n_L$	1:20
Periodo	T	$n_T = n_L^{1/2}$	$\sqrt{\frac{1}{20}}$
Velocità	L/T	$n_V = n_L^{1/2}$	$\sqrt{\frac{1}{20}}$
Portata	L^3/T	$n_Q = n_L^{5/2}$	$\sqrt{\frac{1}{20^5}}$
Forza (peso)	F	$n_P = n_L^3$	$\sqrt{\frac{1}{20^3}}$

Per la riproduzione in modello del ripascimento sulla spiaggia di Vesima è stato utilizzato un modello non distorto a letto mobile. Per la riproduzione corretta della soglia di movimento si è dovuto scegliere la scala di riduzione più appropriata e le dimensioni di materiale da usare. Per riprodurre correttamente i fenomeni da osservare nel modello, relativi alle forze di inerzia e gravità, si è considerato di mantenere invariato il numero di Froude, dato che per lo studio dei moti ondosi risultano di maggior interesse le dissipazioni di energia nella zona dei frangenti rispetto a quelle interne dovute alla viscosità dell'acqua:

$$F_r = \sqrt{\frac{v_s^2}{gd}}$$

con: v_s = velocità di caduta dei sedimenti;
g = accelerazione di gravità;
d = diametro dei sedimenti.

Dato il diametro del materiale utilizzato, per calcolare la velocità di caduta delle particelle (ipotizzate sferiche) in acqua ferma è stata utilizzata la relazione seguente:

$$v_s = R_f \sqrt{R g d}$$

con: $R = \frac{\rho_s}{\rho} - 1$;

$$R_f = \exp\left\{-b_1 + b_2 \ln(Re_p) - b_3 \left[\ln(Re_p)\right]^2 - b_4 \left[\ln(Re_p)\right]^3 + b_5 \left[\ln(Re_p)\right]^4\right\}.$$

dove: ρ_s = densità dei sedimenti;
ρ = densità del fluido;
$b_1 = 2.891394$; $b_2 = 0.95296$; $b_3 = 0.056835$; $b_4 = 0.002892$; $b_5 = 0.000245$.

3. Modalità di esecuzione delle prove

3.1 Caratteristiche delle configurazioni

Le prove eseguite, in accordo con il Committente, sono state condotte su un totale di quattro configurazioni diverse per volume di materiale e/o per caratteristiche granulometriche.
Le diverse configurazioni sono riportate in sezione nelle Figure 2–5, mentre le caratteristiche di ciascuna sono sintetizzate nella Tabella 2, riportata di seguito.

Tabella 2 – Caratteristiche delle configurazioni riprodotte su modello

Config.	Geometria		Granulometria [mm]	Particolari costruttivi
	Quota [m]	Pendenza scarpata		
1	+1,00	1/3	60 mm	Volume di materiale pari a 138 m^3/m, a granulometria uniforme
2	+1,00	1/3	60 mm	Volume di materiale pari a 100 m^3/m
3	Circa +1,20	1/2	Da 30 a 60 mm	Volume di materiale pari a 138 m^3/m a granulometria inizialmente uniforme e successivamente mista.
4	+1,00	1/3	Da 30 a 60 mm	Volume di materiale pari a 138 m^3/m, a granulometria mista per tutta la durata della prova.

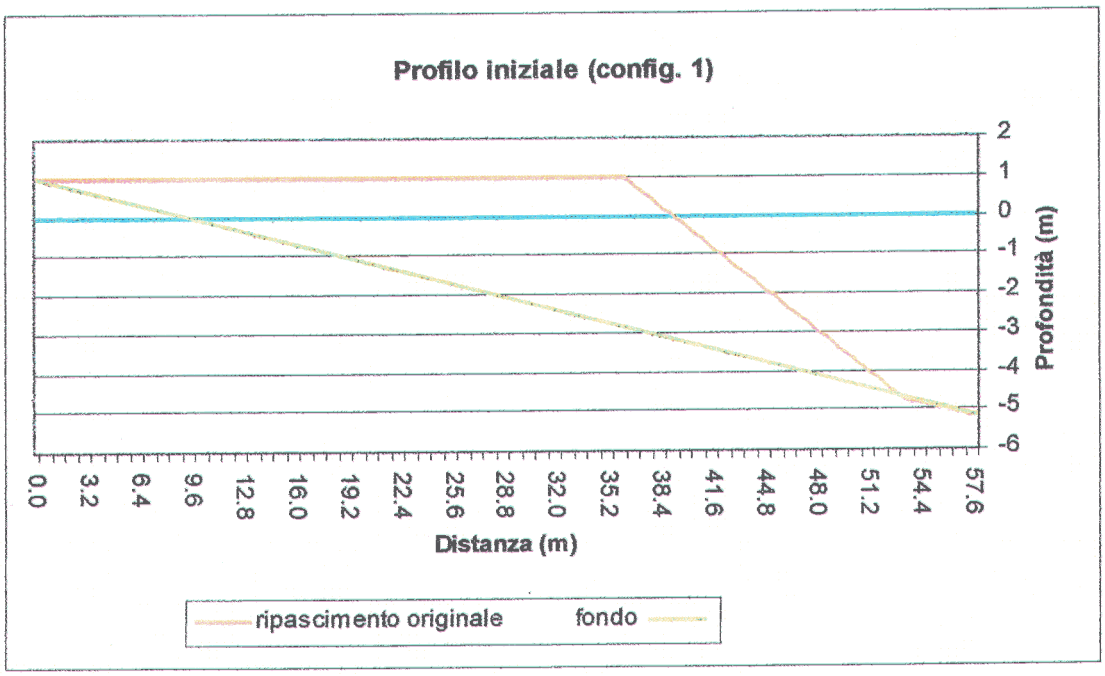


Figura 2 – Configurazione 1

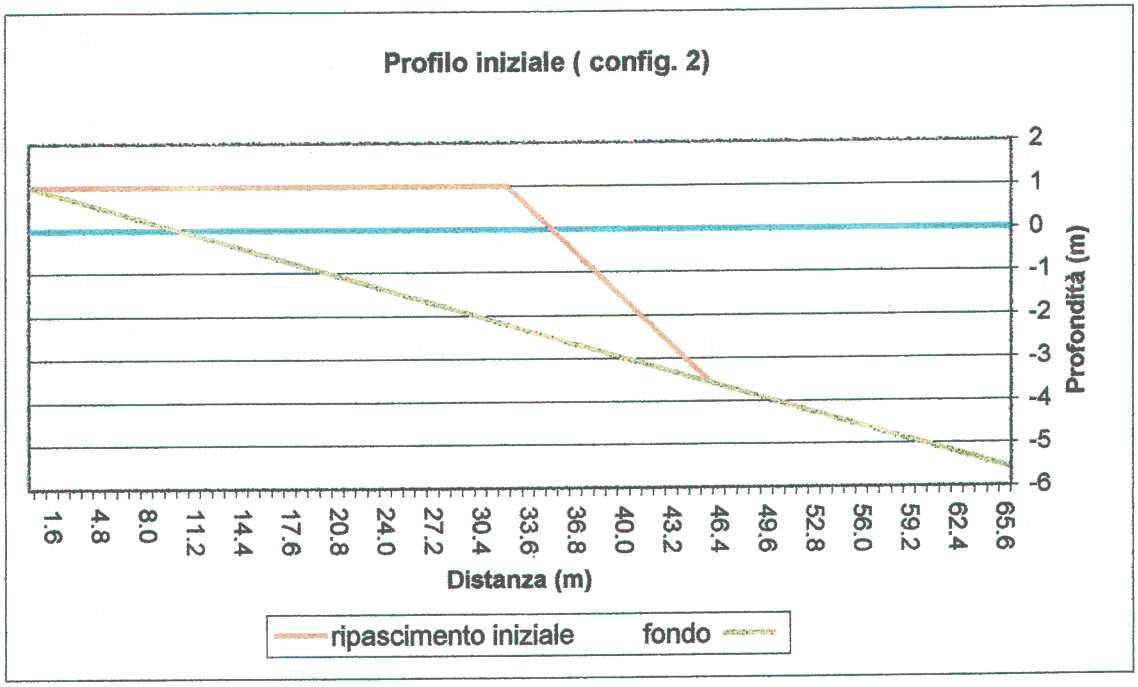


Figura 3 – Configurazione 2

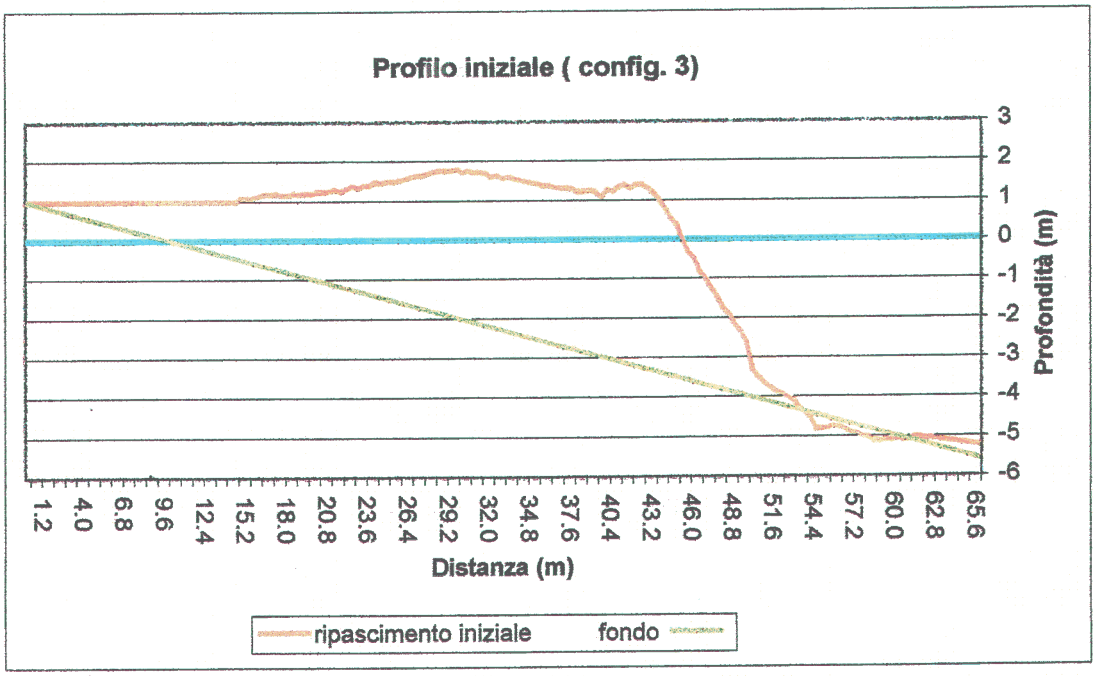


Figura 4 – Configurazione 3

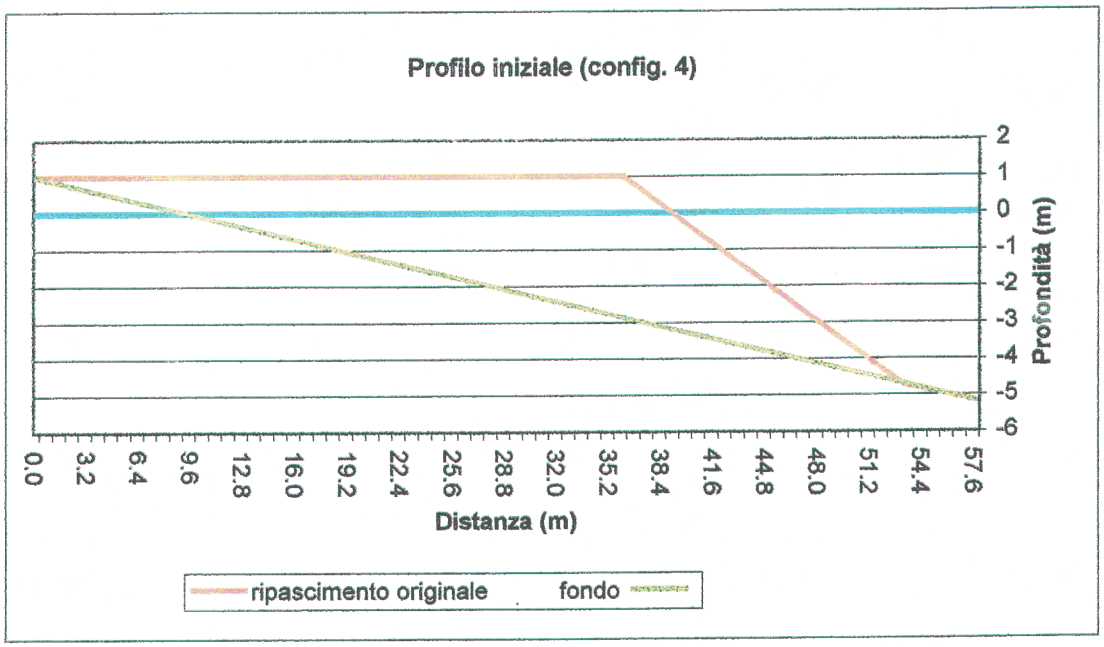


Figura 5 – Configurazione 4

3.2 Condizioni di attacco del moto ondoso e modalità di esecuzione delle prove

Le caratteristiche del moto ondoso riprodotto in laboratorio sono state indicate dal Committente; le caratteristiche degli eventi ondosi simulati sono riassunte in Tabella 3.

Tabella 3 - Caratteristiche del moto ondoso riprodotte in laboratorio

Attacco ondoso	**1**	**2**	**3**	**4**
$H_{1/3}$ [m]	2,0	2,5	3,0	3,0
T_p [s]	8,0	8,0	8,0	10,0

Prova su configurazione 1

La prova è stata condotta simulando un attacco ondoso di 2000 onde per ciascuna condizione riportata in Tabella 3 ed ogni volta è stato rilevato il profilo di spiaggia modificato; gli attacchi ondosi sono stati condotti in sequenza (1-4) senza ripristinare il profilo iniziale. La durata complessiva della prova è pari a circa 2 h 10'.

Prova su configurazione 2

Su questa configurazione ogni volta è stato rilevato il profilo di spiaggia modificato; fra una prova e la successiva è stato ripristinato sempre il profilo iniziale. La durata di ciascuna prova è

pari ad 1 h per i primi tre attacchi ondosi e pari ad 1h 15' per il quarto, per un tempo complessivo di 4h 15'.

Prova su configurazione 3

Partendo dalla configurazione di equilibrio relativa all'ultimo attacco ondoso simulato dove il materiale movimentato ha determinato la formazione di una cresta di tempesta, il profilo iniziale per questa serie di prove è stato realizzato procedendo con lo spianamento della cresta e con il versamento di 38 m^3/m di materiale più fine sulla scarpata anteriore (Fig.6).

Su questa configurazione ogni volta è stato rilevato il profilo di spiaggia modificato; fra una prova e la successiva è stato ripristinato sempre il profilo iniziale. La durata di ciascuna prova è pari ad 1 h per i primi tre attacchi ondosi e pari ad 1h 15' per il quarto, per un tempo complessivo di 4h 15'.

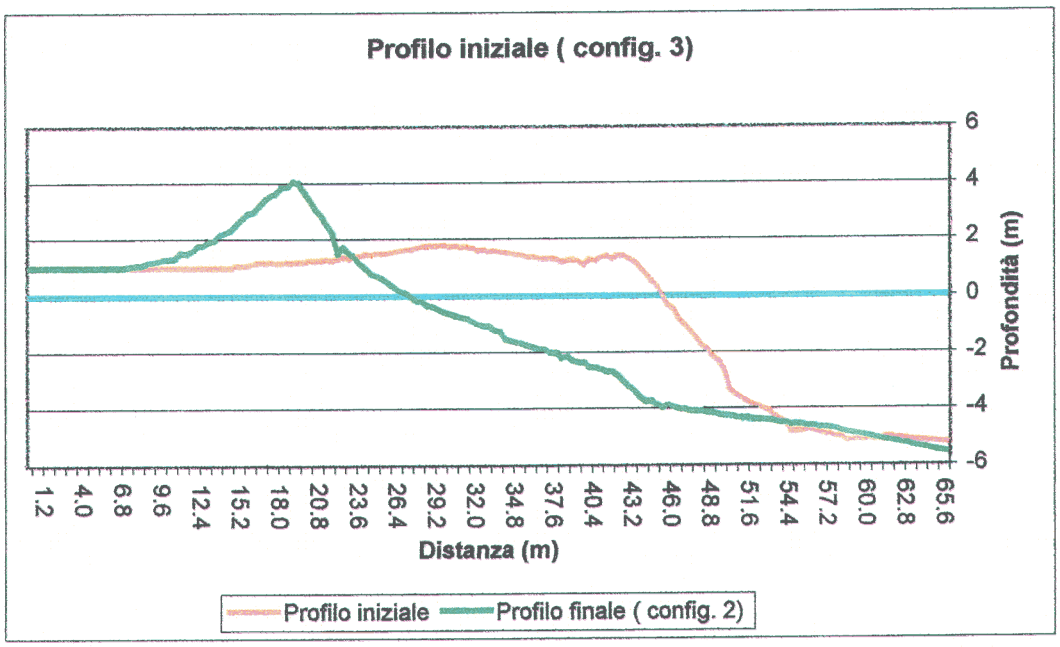


Figura 6 – Rappresentazione delle due configurazioni successive.

Prova su configurazione 4

La prova è stata condotta simulando l'attacco ondoso di 2000 onde per ciascuna condizione ed ogni volta è stato rilevato il profilo di spiaggia modificato; fra una prova e la successiva non è stato ripristinato il profilo iniziale. La durata di ciascuna prova è pari ad 1 h per i primi tre attacchi ondosi e pari ad 1h 15' per il quarto, per un tempo complessivo di 4h 15'.

4. Risultati delle prove

4.1 Configurazione di prova 1

I risultati della prova sono riportati in Tabella 4 ed in Figura 7.

Tabella 4 – Risultati Configurazione 1

	$H_{1/3}$ = 2,0 m T= 8 s	$H_{1/3}$ = 2,5 m T= 8 s	$H_{1/3}$ = 3,0 m T= 8 s	$H_{1/3}$ = 3,0m T= 10 s
Dist. cresta dal piede del ripascimento [m]	26,0	25,6	24,8	22,0
Altezza cresta [m]	2,94	3,45	3,74	4,3
Larghezza cresta alla base [m]	9,6	10,0	9,6	15,6
Lunghezza spiaggia utile [m]	32,0	31,0	31,0	29,0

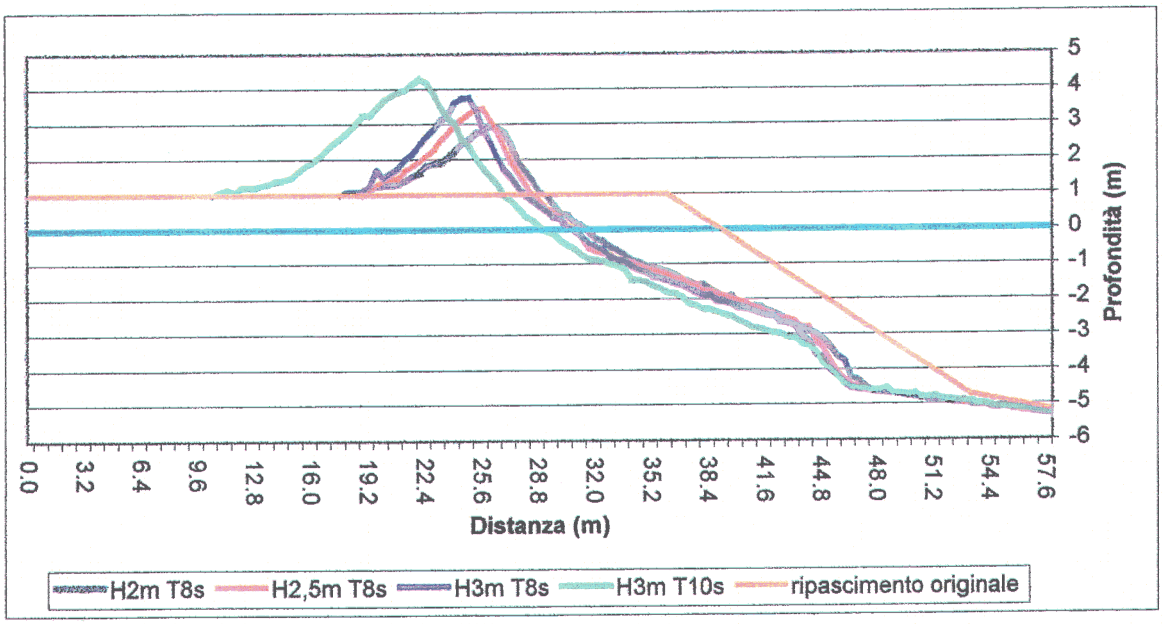


Figura 7 – Profili risultanti delle prove relative alla Configurazione 1.

Dall'esame dei valori riassunti in Tabella 4 e nel grafico di Figura 7 è evidente che aumentando l'altezza ed il periodo dell'onda incidente sulla spiaggia, la cresta di tempesta risulta di altezza sempre maggiore con un arretramento crescente del picco rispetto alla linea di battigia originaria.

4.2 Configurazione di prova 2

In Tabella 5 ed in Figura 8 sono riassunti i risultati della prova.

Tabella 5 – Risultati Configurazione 2

	$H_{1/3}$ = 2,0 m T= 8 s	$H_{1/3}$ = 2,5 m T= 8 s	$H_{1/3}$ = 3,0 m T= 8 s	$H_{1/3}$ = 3,0m T= 10 s
Dist. cresta dal piede del ripascimento [m]	27,2	24,8	22,0	18,8
Altezza cresta [m]	3,12	3,4	3,5	4,05
Larghezza cresta alla base [m]	6,0	12,8	13,2	16,8
Lunghezza spiaggia utile [m]	32,0	30,0	29,0	27,0

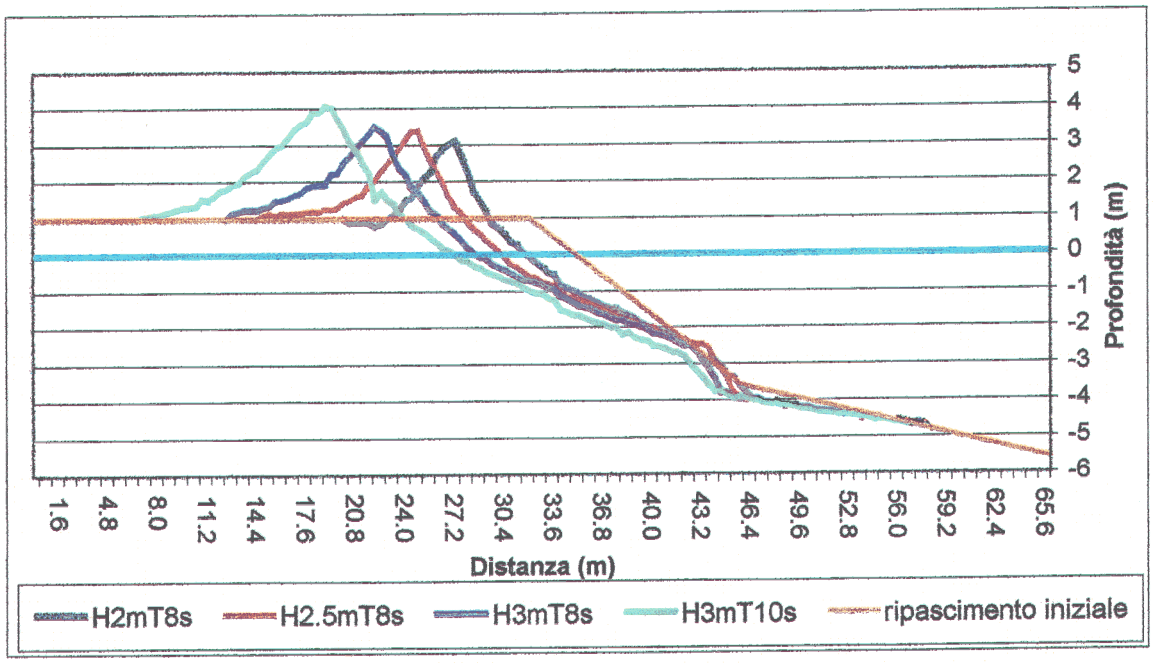


Figura 8 – Profili risultanti delle prove relative alla Configurazione 2.

Anche per questa configurazione di prova, dall'esame dei valori riassunti in Tabella 5 e nel grafico di Figura 8 risulta ancora che aumentando l'altezza ed il periodo dell'onda incidente sulla spiaggia, l'altezza della cresta è sempre maggiore e che l'arretramento del picco rispetto alla linea di battigia originaria cresce.

4.3 Configurazione di prova 3

I risultati della prova sono riportati in Tabella 6 ed in Figura 9.

Tabella 6 – Risultati Configurazione 3

	$H_{1/3}$ = 2,0 m T= 8 s	$H_{1/3}$ = 2,5 m T= 8 s	$H_{1/3}$ = 3,0 m T= 8 s	$H_{1/3}$ = 3,0m T= 10 s
Dist. cresta dal piede del ripascimento [m]	24,8	25,2	25,2	20,0
Altezza cresta [m]	2,5	2,6	2,45	2,84
Larghezza cresta alla base [m]	19,2	18,4	17,6	19,2
Lunghezza spiaggia utile [m]	34,0	32,0	32,0	31,0

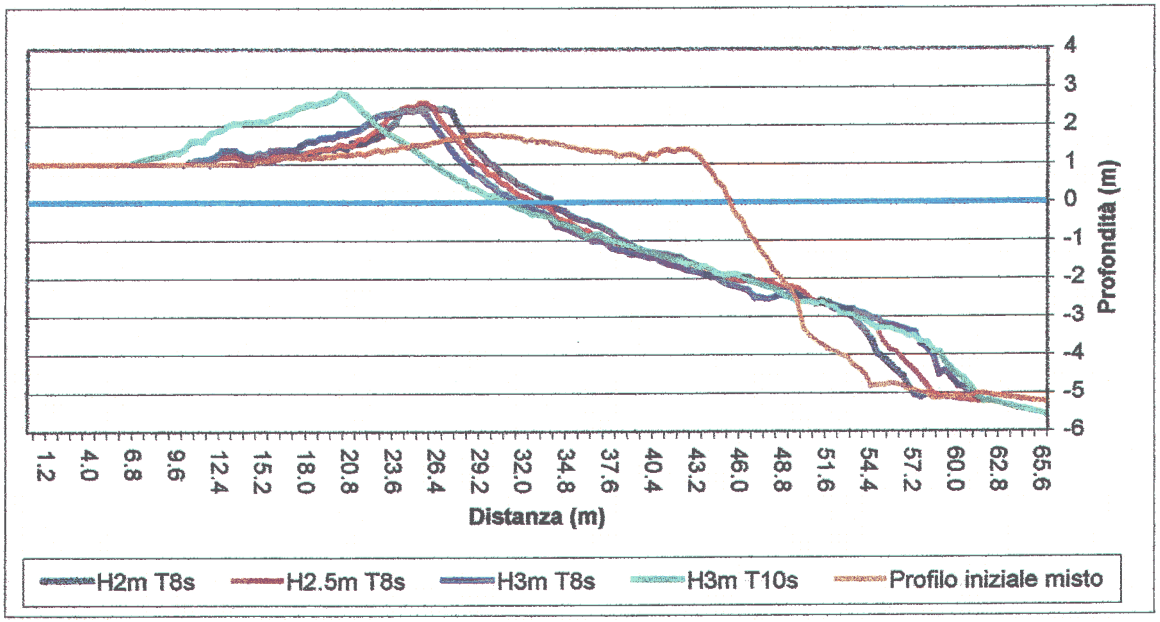


Figura 9 – Profili risultanti delle prove relative alla Configurazione 3.

Dall'esame dei valori riassunti in Tabella 6 e nel grafico di Figura 9 risulta ancora che all'aumentare dell'altezza e del periodo dell'onda incidente sulla spiaggia, la cresta di tempesta è sempre crescente, anche se meno ripida, con associato un arretramento del picco rispetto alla linea di battigia originaria; questa tendenza risulta tuttavia ridotta rispetto alle configurazioni realizzate con materiale monogranulare.

4.4 Configurazione di prova 4

I risultati della prova sono riportati in Tabella 7 ed in Figura 10.

Tabella 7 – Risultati Configurazione 4

	$H_{1/3}$ = 2,0 m T= 8 s	$H_{1/3}$ = 2,5 m T= 8 s	$H_{1/3}$ = 3,0 m T= 8 s	$H_{1/3}$ = 3,0m T= 10 s
Dist. cresta dal piede del ripascimento [m]	29,2	28,8	25,6	17,6
Altezza cresta [m]	1,8	2,05	1,95	2,15
Larghezza cresta alla base [m]	7,6	7,6	11,0	18,4
Lunghezza spiaggia utile [m]	36,0	35,0	34,0	32,0

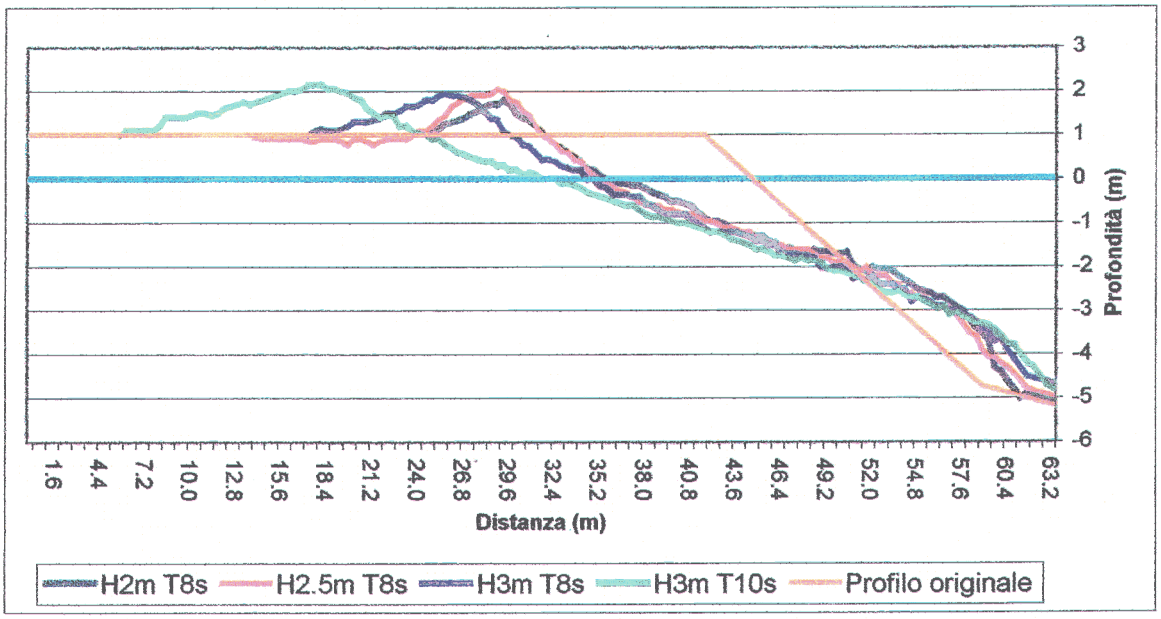


Figura 10 – Profili risultanti delle prove relative alla Configurazione 4.

In Tabella 7 e nel grafico di Figura 10 è di nuovo confermato che ad una maggiore eterogeneità del materiale utilizzato per il ripascimento corrisponde una minore tendenza all'innalzamento della cresta ed al suo arretramento rispetto alla linea di battigia originaria.

Va sottolineato che in questa prova e nella precedente con materiale misto si verifica una saturazione dell'ammasso da parte della sabbia del fondo portata in sospensione dal moto ondoso; la sabbia non è comunque visibile sullo stato superficiale in quanto quest'ultimo è continuamente movimentato dalle onde.

5. Conclusioni

Le prove su modello fisico hanno evidenziato alcuni aspetti importanti sull'evoluzione morfologica del ripascimento artificiale della spiaggia di Vesima che risultano di interesse ai fini progettuali, pur tenendo conto dei limiti dovuti allo studio del campo di moto bidimensionale. Per permettere un confronto fra i risultati ottenuti dopo le quattro prove eseguite sono stati riportati in Figura 11 i profili rilevati al termine di ogni ciclo comprendente i 4 attacchi ondosi.

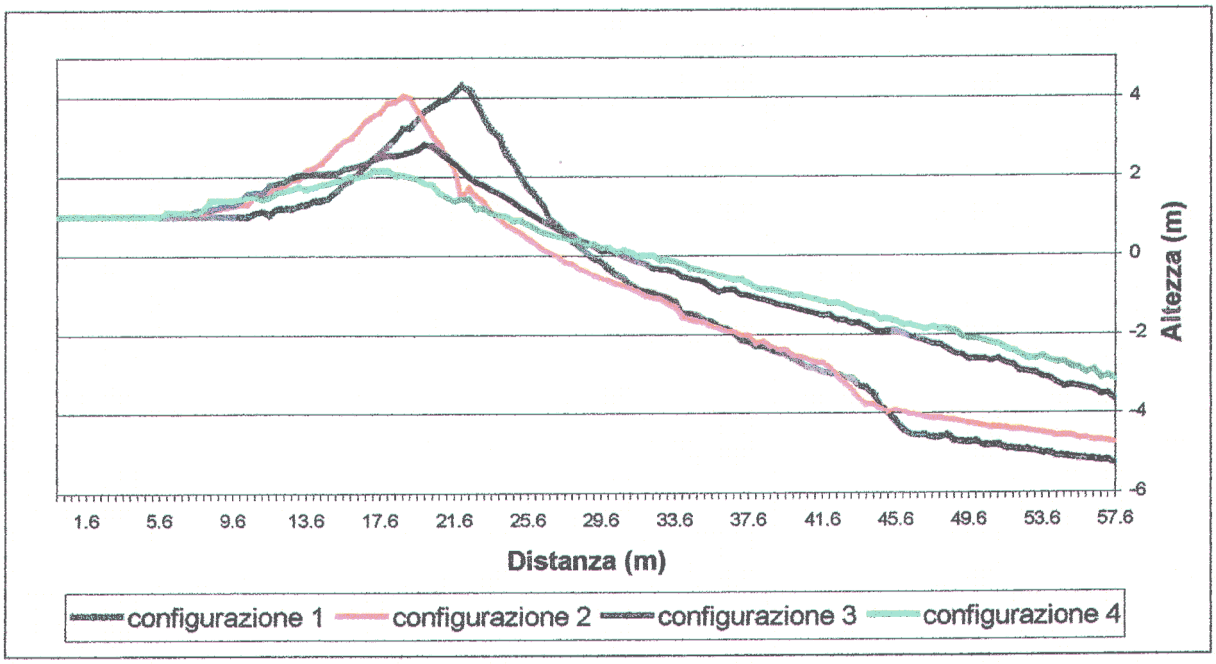


Figura 11 – Sovrapposizione dei profili rilevati al termine dei quattro cicli di prove.

Esaminando il grafico di Figura 11 si può quindi sottolineare che:

- la spiaggia costruita con solo materiale grossolano (circa 6 cm) sotto l'azione di mareggiate fino a 3 m di altezza d'onda significativa assume un profilo verso il largo molto ripido e la cresta della spiaggia emersa raggiunge un'altezza di circa 4 m;
- utilizzando il volume di 138 m3/m la spiaggia, nella sezione S3 riprodotta, al termine delle prove ha un'ampiezza di circa 29 m mentre con un volume di 100 mc/m ha un'ampiezza di 27 m;

- il ripascimento eseguito con materiale misto (100 mc/m di ciottoli di 6 cm e 38 mc/m di ghiaia di 3-4-cm) al termine delle prove assume un profilo meno ripido e la sommità della cresta di spiaggia raggiunge la quota di poco superiore a 2 m,
- il ripascimento può essere effettuato sia versando contemporaneamente i due materiali sia versando prima il materiale più grossolano e successivamente il materiale di dimensioni minori, senza significative differenze rilevabili sui profili finali. L'ampiezza della spiaggia ottenuta al termine delle prove risulta di 32 m ossia di pochi metri superiore a quella ottenuta con il solo materiale grossolano;
- la ripetizione di un secondo ciclo di attacchi ondosi sul profilo ottenuto al termine del primo ha evidenziato che si verifica un leggero arretramento della sommità della cresta ma che non viene modificata la posizione della linea di riva e che, conseguentemente, rimane invariata l'ampiezza della spiaggia.

I risultati delle prove su modello si possono ritenere molto affidabili per quanto riguarda il comportamento del materiale più grossolano in quanto i profili ottenuti sono in accordo con quanto noto in letteratura mentre l'interpretazione dei profili di materiale misto presenta qualche margine di incertezza sia per la mancanza di informazioni dalla letteratura sia per la carenza di risultati di indagini sperimentali eseguite su modelli a scala maggiore.

Il Responsabile Scientifico delle prove
Prof. Ing. P. L. Aminti

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE

Il Direttore del Dipartimento
Ing. L. Becchi

ALLEGATO FOTOGRAFICO

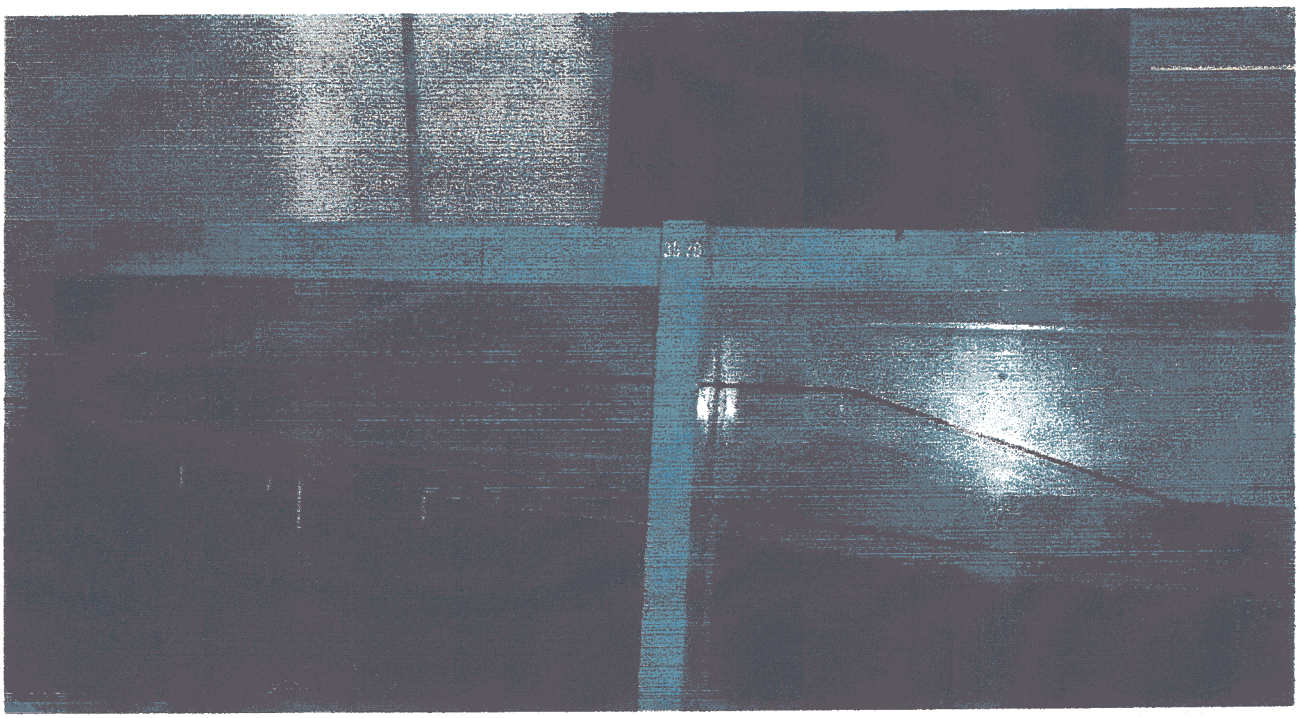


Foto 1 – Configurazione 1

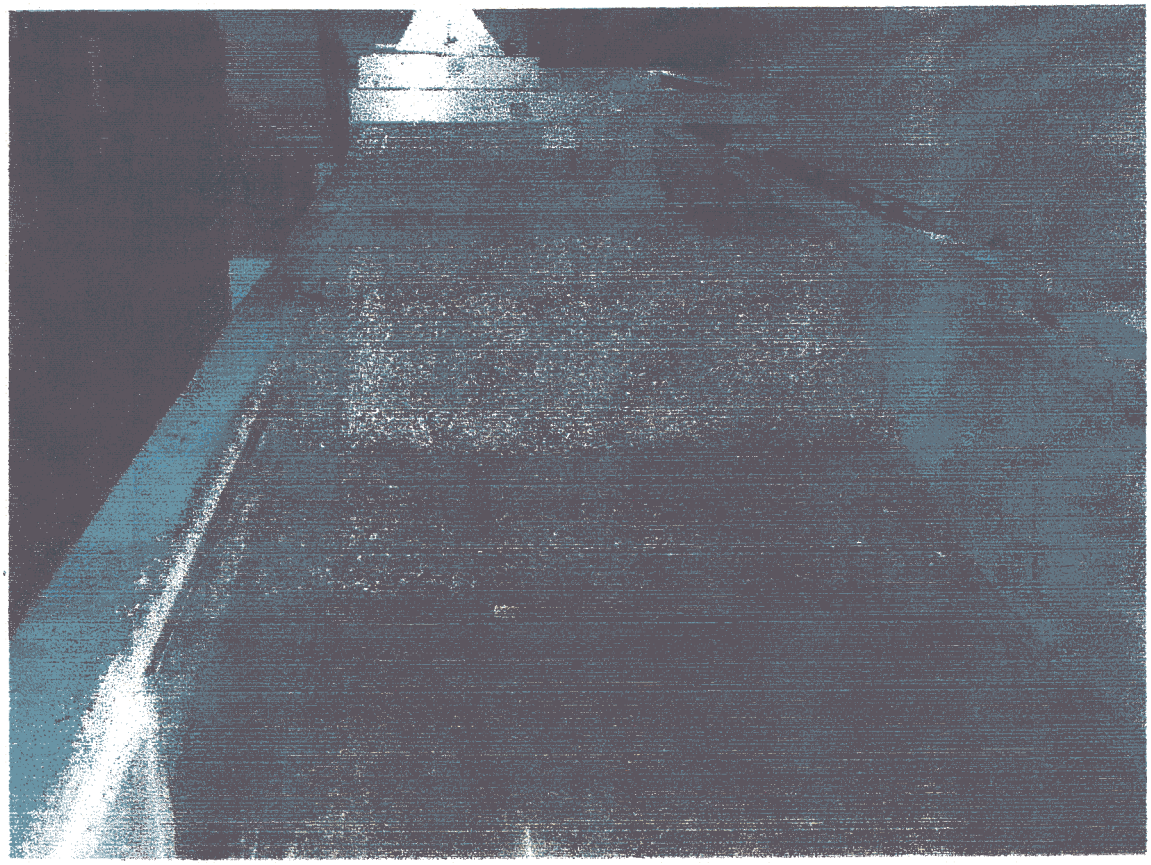


Foto 2 – Configurazione 1

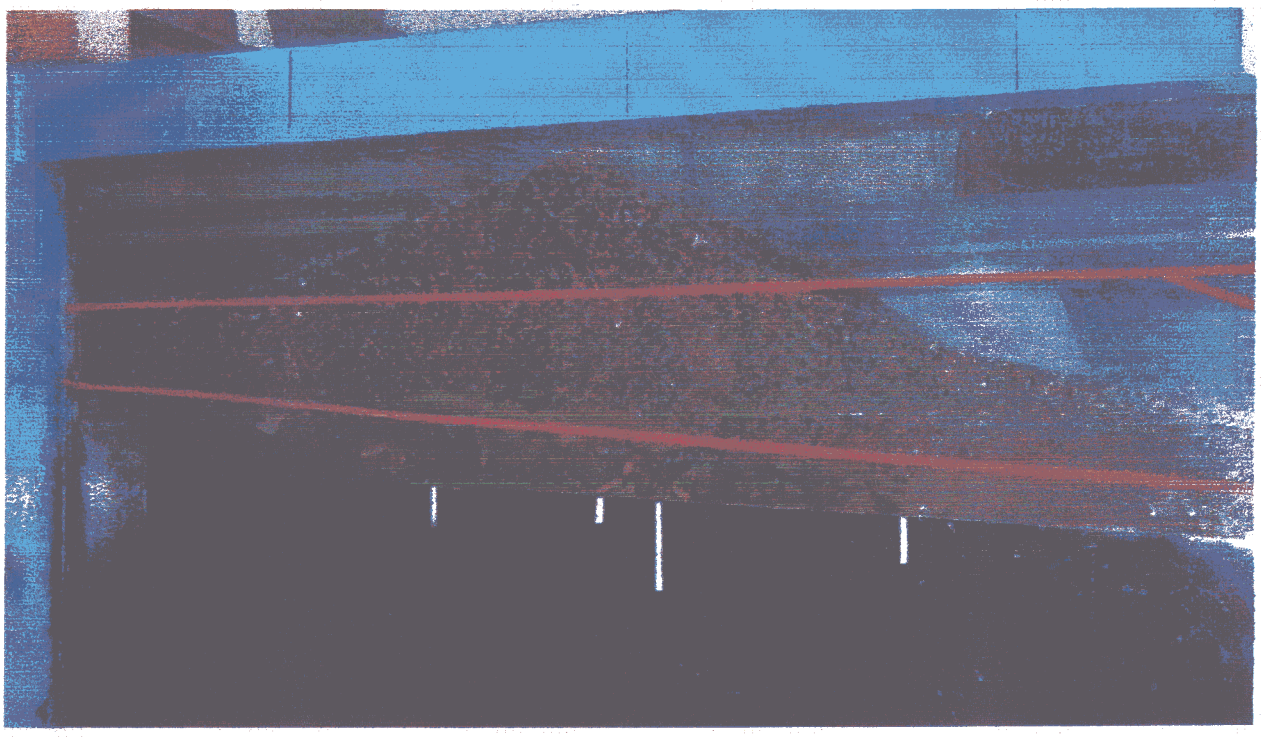


Foto 3 - Configurazione 2

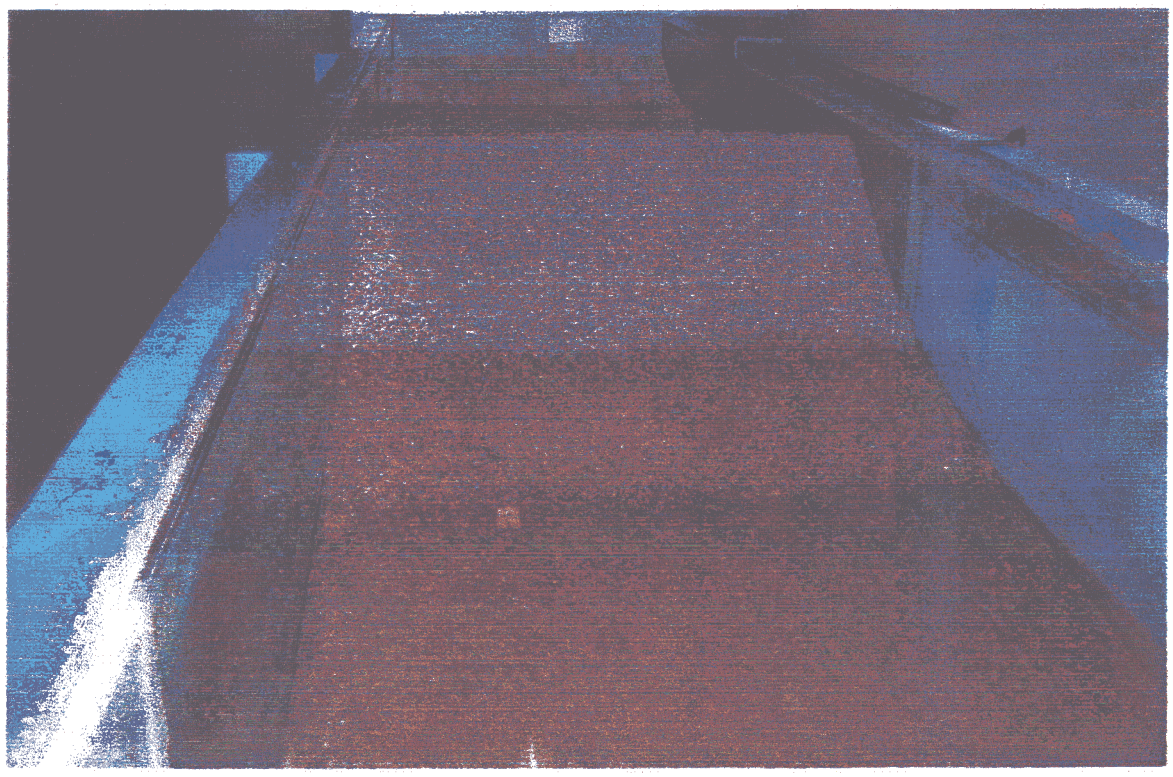


Foto 4 - Configurazione 2

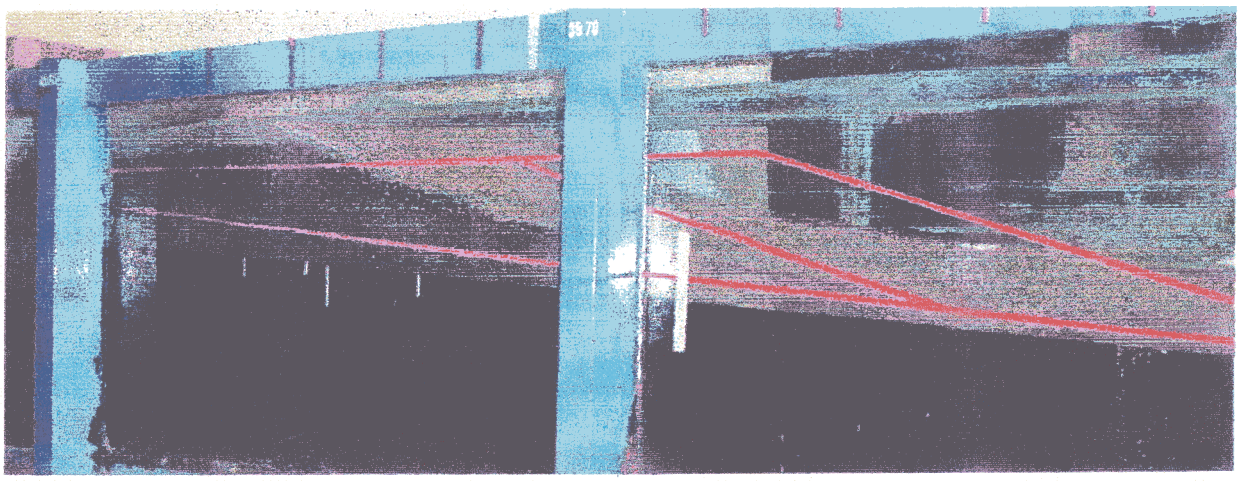


Foto 5 - Configurazione 3



Foto 6 - Configurazione 3