

**INTERVENTI DI MITIGAZIONE DEL FENOMENO
DI EROSIONE DELL'ARCO COSTIERO METAPONTINO
RELAZIONE GENERALE**

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DELLA BASILICATA
Dipartimento di Ingegneria e Fisica dell'Ambiente



REGIONE BASILICATA
Dipartimento Infrastrutture, OO.PP. e Mobilità



Elaborato N. 2

Interventi strutturali – Modellazione numerica

Prof. Ing. Michele Greco

Dott. Ing. Giovanni Martino

Indice

1	Individuazioni delle tipologie strutturali di intervento	3
2	Analisi monodimensionale	6
3	Modellazione monodimensionale SWANONE.....	10
3.1	Stato di fatto aprile 2010 ante ripascimento	12
3.2	Stato di fatto costa con canali	33
3.3	Stato di progetto barriera a 200 m dalla linea di costa con $B=5m$, $R_c=-1m$ e $h_c=-4m$	54
3.4	Stato di fatto al 1978 (profili Amatucci)	75
4	Modellazione bidimensionale.....	86
4.1	Stato di fatto aprile 2010 ante ripascimento	90
4.1	Stato di fatto costa con canali	95
4.2	Stato di progetto barriera a 200 m dalla linea di costa con $B=5m$, $R_c=-1m$ e $h_c=-4m$	100
5	Bibliografia.....	109

1 Individuazioni delle tipologie strutturali di intervento

Alla luce dei risultati e delle analisi e simulazioni condotte, riportati in dettaglio negli elaborati specifici, è possibile individuare le tipologie di interventi più idonei da attuare lungo il litorale lucano metapontino, finalizzati alla riduzione e contenimento dei fenomeni erosivi generati dagli stati di mare attivi nel paraggio.

Numerosi sono gli studi condotti negli ultimi anni in merito alla valutazione degli effetti diretti ed indiretti indotti dalla realizzazione di barriere sommerse a protezione dei litorali nonché di sperimentazioni fisiche e numeriche relative al dimensionamento ottimale delle opere (Benassai et al., 1979; CERC, 1984; Benassai et al., 1995; Tomasicchio, 2002; Calabrese et al., 2002; Pilarczyk, 2003; Pilarczyk, et al., 2003; Cheng et al., 2003; Calabrese et al., 2003; Van der Meer et al., 2005; Cappiotti et al., 2006; Ferrante et al., 2006; CERC, 2008; Pilarczyk, 2008; Verhagen et al., 2008).

La modellistica monodimensionale e bidimensionale applicata al caso del litorale lucano metapontino, ha consentito di pervenire a buoni risultati, ottemperando alle esigenze di mitigazione paesaggistica e di efficienza dissipativa, mediante l'impiego di barriere soffolte costituite da massi naturali ed artificiali. A tal proposito si sottolinea l'esistente e consolidata disputa "ideologica" tra l'impiego di materiali naturali ovvero di massi artificiali, che, in questa sede, non si ritiene dover alimentare riconoscendo negli uni o negli altri pari capacità dissipative se opportunamente dimensionati. Deve, altresì, darsi atto che i recenti sviluppi nel campo dei materiali da costruzione e, soprattutto, la maturata sensibilità e consapevolezza di come operare in sistemi ambientali complessi e articolati, quali quelli marini costieri, hanno condotto ad una maggiore accettabilità dei componenti artificiali che si sono dimostrati negli anni di pari efficacia mimetica ed ecosistemica dei componenti naturali. Del resto, a svantaggio di questi ultimi, resta, a volte, la difficoltà e l'onerosità del reperimento, dove per *onerosità* si intende sia la dimensione finanziaria della fornitura sia i costi ambientali per il prelievo, trasporto e messa in opera, soprattutto laddove necessitino categorie più elevate. Pur tuttavia, in una logica di contemperare alle esigenze di robustezza strutturale e di "naturalità" dell'opera, ancorché sommersa, è sempre possibile ricercare soluzioni intermedie, che affidino ai componenti artificiali la capacità di resistenza ed a quelli naturali la semplicità dell'ambiente e del paesaggio.

Il contenuto della presente sintesi, quindi, riporta la valutazione dell'efficacia idrodinamica e della capacità dissipativa dell'opera tipo con il relativo predimensionamento, minimale, affinché si possano generare stati di mare sottocosta decisamente meno aggressivi, tali da indurre un regime di sollecitazione del litorale sensibilmente ridotto e compatibile con l'attuale tessuto costiero sia sedimentologico sia morfologico.

Con riferimento alla Figura 1, che schematizza la sezione tipo dell'opera soffolta/emersa, si elencano in Tabella 1 le grandezze caratteristiche di riferimento adottate nella presente trattazione:

Simbolo	Descrizione
H_i	altezza d'onda incidente (H_{m0} al piede dell'opera o H_s significativa)
H_t	altezza d'onda trasmessa
T_p	periodo di picco
s_{op}	ripidità dell'onda
R_c	sovralzo della cresta (positivo se emersa)
h_c	altezza dell'opera
B	larghezza della cresta
D_{n50}	diametro nominale degli elementi componenti la struttura
K_t	coefficiente di trasmissione (H_t/H_i)
$\tan \alpha$	pendenza del paramento sopraflutto

Tabella 1 – Simbologia adottata e descrizione dei parametri

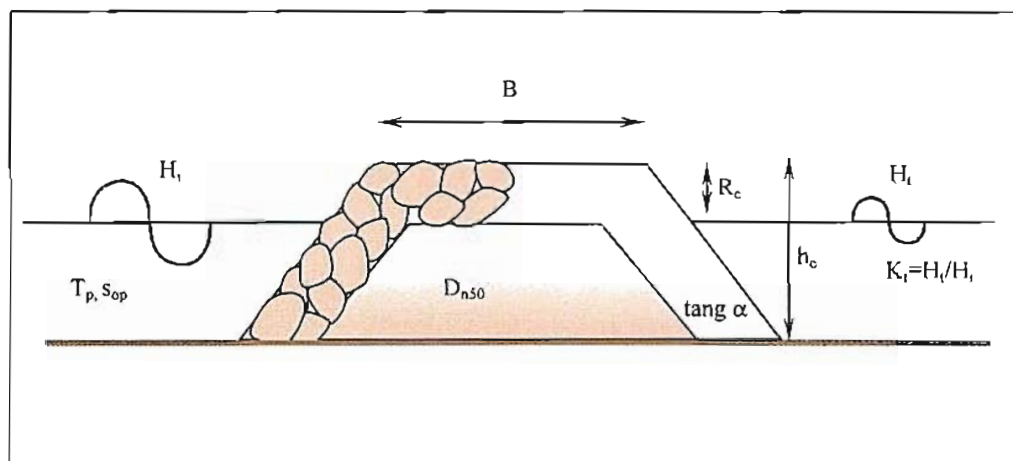


Figura 1 – Schematizzazione di calcolo di una barriera soffolta/emersa

2 Analisi monodimensionale

L'analisi monodimensionale della propagazione del moto ondoso da largo verso costa, tenendo opportunamente conto dei processi di interazione tra onda e fondale e senza valutazione del run-up, del resto modesto per il tipo di spiaggia che caratterizza la costa ionica lucana, è stata condotta con l'ausilio del software denominato SWANONE ver. 9.04, sviluppato e licenziato (licenza pubblica) dal Technology Institute dell'Università di Delfth.

Con riferimento alla Figura 2, a titolo di esempio, si riporta la tipologia delle informazioni in input impiegate nella simulazione monodimensionale (1-D) e le convenzioni adottate per l'orientamento delle forzanti e della linea di costa.

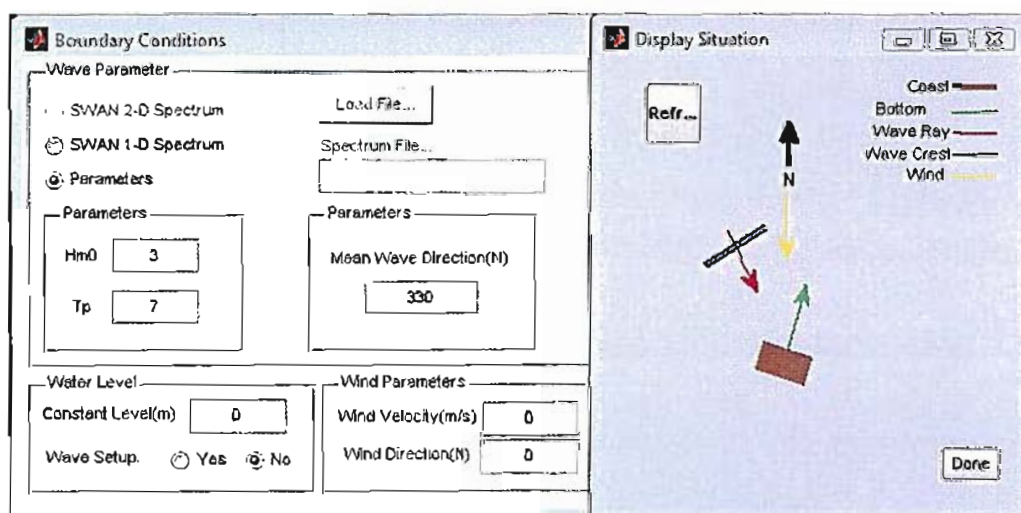


Figura 2 – Esempio dei dati di input e delle convenzioni adottate per le simulazioni 1-D

I dati riportati nella Tabella 2 si riferiscono alle simulazioni condotte in presenza di barriera soffolta delle dimensioni in cresta di 5 m, sovrizzo di -1 m ubicata alla profondità di 4.00 m, attaccata dal valore di onda morfologica valutata per ogni singola direzione a largo nel settore di traversia 90 N- 180 N, così come risultato dall'analisi meteo-marina di cui all'elaborato 1.

La stessa Tabella 2, e successivamente la Tabella 5, riporta i valori delle caratteristiche principali del moto ondoso incidente l'opera soffolta, ovvero il valore dell'onda trasmessa, la cui attenuazione è imputata al valore del coefficiente kt . Quest'ultimo è stato valutato dai risultati della simulazione monodimensionale (SWANONE) ovvero mediante le relazioni:

(D'Angremond 1996)

$$kt = -0,4 \frac{R_c}{H_{moi}} + 0,64 \left(\frac{B}{H_{moi}} \right)^{-0,31} (1 - e^{-\frac{\xi_{op}}{2}})$$

(Van der Meer 1990)

$$kt = -0,3 \frac{R_c}{H_{moi}} + 0,46$$

(Van der Meer 1994)

$$kt = \left[0,031 \left(\frac{H_{moi}}{D_{n50}} \right) - 0,24 \right] \frac{R_c}{D_{n50}} - 5,24 s_{op} + 0,0323 \left(\frac{H_{moi}}{D_{n50}} \right) - 0,0017 \left(\frac{B}{D_{n50}} \right)^{1,84} + 0,51$$

(Seabrook & Hall 1998)

$$kt = 1 - \left[e^{\left[0,65 \left(\frac{R_c}{H_{moi}} \right) - 1,09 \left(\frac{H_{mol}}{B} \right) \right]} + 0,047 \left| \frac{BR_c}{LD_{n50}} \right| - 0,067 \left| \frac{R_c H_{moi}}{BD_{n50}} \right| \right]$$

(Calabrese 2005)

$$kt = -0,35 \left| \frac{R_c}{H_{moi}} \right| + 0,51 \left(\frac{B}{H_{moi}} \right)^{0,65} (1 - e^{-0,41 \xi_{op}})$$

i cui valori sono riportati nella Tabella 4 – Stima dei valori del coefficiente di trasmissione secondo le varie formulazioni proposte in letteratura e dalle simulazioni del modello monodimensionale con le limitazioni riferite alla tabella Tabella 3.

	π	h_c (m)	R_c (m)	$\tan \alpha$	g (m/s ²)	B (m)	D_{n50} (m)			
	3,14	4,00	-1,00	0,33	9,81	5,00	0,67			
dd a largo	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
H_{ol}	0,68	0,98	1,02	1,21	1,29	1,33	1,08	0,84	0,71	0,56
T_o	2,17	3,75	3,99	5,14	5,66	5,91	4,34	2,97	2,31	1,64
H_{mol}	0,58	0,77	0,76	0,72	0,78	1,01	0,79	0,64	0,47	0,41
RT_{peak}	1,97	3,41	3,63	4,67	5,15	5,37	3,95	2,70	2,10	1,49
T_{mol}	1,46	2,66	2,92	3,83	4,20	4,27	3,17	2,10	1,74	1,15
$T_{m_{10}}$	1,69	2,95	3,24	4,24	4,76	4,84	3,60	2,40	1,99	1,30
Dir	328,39	330,67	335,91	341,54	349,20	354,71	0,19	6,19	12,37	18,48
α_{ol}	31,62	29,34	24,09	18,46	10,80	5,30	359,81	353,81	347,63	341,52
D_{spr}	27,17	23,72	24,59	25,54	27,45	28,69	30,65	32,13	32,70	32,47
Depth	3,87	3,87	3,87	3,87	3,87	3,87	3,87	3,87	3,87	3,87
H_{rms}	0,31	0,71	0,78	0,83	0,75	0,71	0,57	0,42	0,36	0,27
$H_{2\%}$	0,61	1,41	1,55	1,65	1,48	1,40	1,13	0,83	0,71	0,54
$H_{1/10}$	0,56	1,28	1,41	1,50	1,35	1,27	1,02	0,76	0,65	0,49
H_{mol}/L_{ol}	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03
h/L_{ol}	0,22	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,19	0,22	0,26	0,26
Airy	11,91	7,87	5,64	-6,95	-13,69	-17,16	-2,86	6,27	7,88	11,69
L_{ol}	18,37	24,74	24,74	24,74	24,74	24,74	21,42	18,37	15,57	15,57
s_{op}	0,08	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,05	0,06	0,10
L_{op}	22,04	29,69	29,69	29,69	29,69	29,69	25,70	22,04	18,69	18,69
ξ_{op}	1,19	1,78	1,91	2,52	2,67	2,45	2,03	1,55	1,40	1,07

Tabella 2 – Risultati delle simulazioni del modello SWANONE in presenza di barriera soffolta*

Limitazioni										
$H_{mol}/h \leq 0,54$	0,15	0,19	0,19	0,18	0,20	0,25	0,20	0,16	0,12	0,10
$B/H_{mol} < 10$	8,62	6,49	6,58	6,94	6,41	4,95	6,33	7,81	10,64	12,20
$1 < H_{mol}/D_{n50} \leq 6$	0,87	1,16	1,14	1,08	1,17	1,52	1,19	0,96	0,71	0,62
$0 < -R_c B/L_{op} D_{n50} < 7,08$	0,34	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,29	0,34	0,40	0,40
$0 < -R_c H_{mol}/B D_{n50} < 2,14$	0,17	0,23	0,23	0,22	0,23	0,30	0,24	0,19	0,14	0,12

$$s_{op} = \frac{2\pi H_{mol}}{g T_p^2}; \xi_{op} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{s_{op}}}; L_p = \frac{g T_p^2}{2\pi}$$

-0,4 ≤ R_d/B ≤ 0,3 -0,20 -0,20 -0,20 -0,20 -0,20 -0,20 -0,20 -0,20 -0,20 -0,20

Tabella 3 – Condizioni limitanti l'uso delle relazioni teoriche-sperimentali per la valutazione del coefficiente di trasmissione kt

Formulazioni										
SWANONE	kt	0,59	0,58	0,57	0,58	0,55	0,43	0,52	0,59	0,70
D'Angremond 1996	kt	0,84	0,73	0,75	0,81	0,78	0,67	0,74	0,81	1,00
Van der Meer 1990	kt	0,98	0,85	0,85	0,88	0,84	0,76	0,84	0,93	1,00
Van der Meer 1994	kt	0,36	0,59	0,62	0,69	0,70	0,68	0,64	0,54	0,48
Seabrook & Hall 1998	kt	0,71	0,64	0,64	0,66	0,64	0,59	0,63	0,68	0,76
Calabrese 2005	kt	0,19	0,44	0,48	0,67	0,69	0,57	0,51	0,36	0,29

Tabella 4 – Stima dei valori del coefficiente di trasmissione secondo le varie formulazioni proposte in letteratura e dalle simulazioni del modello monodimensionale

Altezza d'onda trasmessa										
SWANONE	H _{mot}	0,34	0,45	0,43	0,42	0,43	0,43	0,41	0,38	0,33
D'Angremond 1996	H _{mot}	0,49	0,56	0,57	0,58	0,61	0,68	0,58	0,52	0,47
Van der Meer 1990	H _{mot}	0,57	0,65	0,65	0,63	0,66	0,76	0,66	0,59	0,47
Van der Meer 1994	H _{mot}	0,21	0,46	0,47	0,50	0,55	0,69	0,50	0,34	0,23
Seabrook & Hall 1998	H _{mot}	0,41	0,49	0,49	0,47	0,50	0,59	0,50	0,44	0,36
Calabrese 2005	H _{mot}	0,11	0,34	0,37	0,48	0,54	0,57	0,41	0,23	0,14

Tabella 5 – Valori dell'altezza d'onda trasmessa a tergo della barriera secondo le varie formulazioni proposte in letteratura e dalle simulazioni del modello monodimensionale

I valori del coefficiente di trasmissione, kt, sono altresì diagrammati in Figura 3, dalla quale è immediato osservare come la relazione di Van der Meer (1990) risulti essere la più cautelativa nella valutazione dell'altezza d'onda trasmessa a tergo della barriera.

Le caselle risultanti dall'intersezione della colonna relativa all'altezza d'onda morfologica maggiore con quelle relative alla valutazione del coefficiente di trasmissione, ovvero dell'altezza d'onda trasmessa, relativi alla relazione di Van der Meer (1990) sono i corrispondenti valori da assumere in fase di progettazione.

Il verificarsi di condizioni corrispondenti a valori inferiori del coefficiente di trasmissione, non possono che generare condizioni di propagazione del moto ondoso che vanno in contro ancor di più alle esigenze di smorzare l'energia residua e, quindi,

generare condizioni di maggiore protezione della linea di costa interessata dall'opera foranea soffolta.

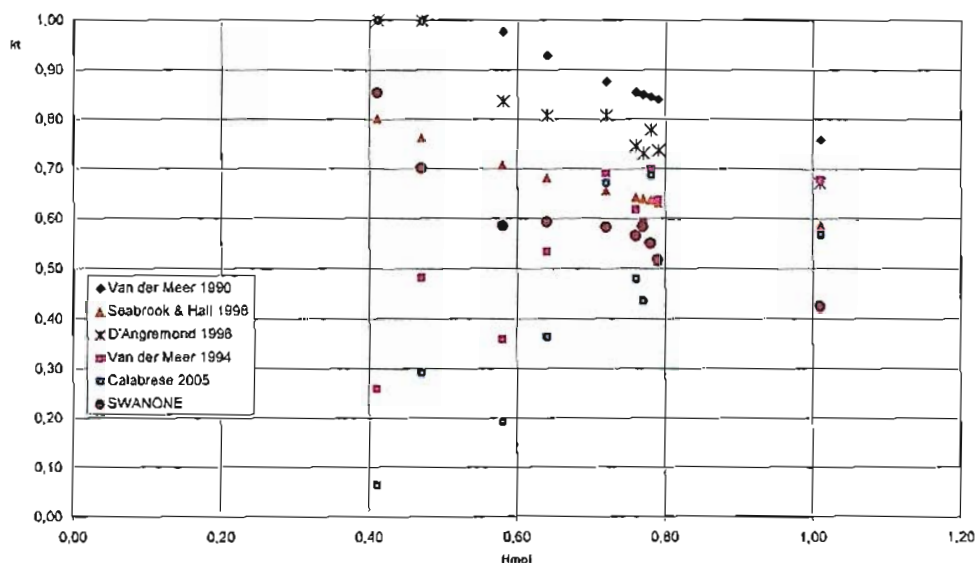


Figura 3 – Valore del coefficiente di trasmissione, K_t , valutato mediante le formulazioni classiche di letteratura

3 Modellazione monodimensionale SWANONE

Di seguito, sono riportati i risultati grafici relativi alle distinte alle varie grandezze, la cui legenda è riportata in Tabella 6, corrispondenti alle configurazioni analizzate e sinteticamente riconducibili a:

1. analisi delle condizioni antecedenti all'attività di ripascimento operata nel periodo maggio-giugno 2010: il profilo batimetrico impiegato corrisponde, per la porzione di spiaggia prossima alla costa per una fascia di circa 300 m, ai rilievi relativi alle campagne estate 2009 operate dalla Regione Basilicata integrati con le risultanze dei rilievi effettuati nell'aprile 2010, mentre la porzione offshore corrisponde alle restituzioni relative alla campagna oceanografica commissionata dalla Regione stessa nel 2007 (Stato di fatto aprile 2010 ante ripascimento);
2. analisi delle condizioni successive all'attività di ripascimento operata nel periodo maggio-giugno 2010: il profilo batimetrico impiegato è quello di cui al punto 1,

ragguagliato dalla presenza dei canali di accesso del pontone, scavati durante le fasi di attuazione del ripascimento per garantire avvicinamento dei mezzi sottocosta (stato di fatto costa con canali);

3. analisi dello stato di progetto relativo alle condizioni di cui al punto 2, che rappresentano nei fatti lo stato di fatto, con la proposizione della barriera soffolta tipo, di cui alle geometrie sopra menzionate (stato di progetto barriera a 200 m dalla linea di costa con $B=5m$, $R_c=-1m$ e $h_c=-4m$);
4. analisi dello stato di fatto al 1978: ovvero relativo a profili acquisiti e pubblicati da Amatucci et al. (1978), dove si rileva la presenza della barra a largo la cui collocazione è prossima alla localizzazione delle opere soffolte di protezione di cui al presente studio.

E' quanto mai immediato osservare che, per qualsiasi valore e direzione corrispondente dell'onda morfologica, le condizioni corrispondenti agli scenari 1 e 2 sono caratterizzati da una propagazione verso costa con frangimento prossimo alla linea di costa, anzi, nel caso 2, addirittura questo avviene proprio in corrispondenza della costa stessa, ciò dovuto, principalmente, alla particolare conformazione acquisita localmente dal fondo che presenta un tratto sub-orizzontale corrispondente al fondo del canale scavato per l'accessibilità del pontone.

XP	coordinata corrente valutata da largo verso costa
HSIGN	altezza d'onda significativa
RTP	periodo di picco dell'onda
TM01	periodo medio dell'onda
TMM10	periodo relativo al momento del primo ordine dello spettro dell'energia
DIR	direzione d'onda (dd)
DSPR	variabilità direzionale delle onda
DEPTH	profondità del fondale
Hrms	varianza dell'altezza d'onda
H2%	valore medio del 2% delle altezze d'onda massime
H1/10	valore medio del 10% delle altezze d'onda massime

Tabella 6 – Legenda dei simboli utilizzati nella modellazione monodimensionale

Del resto anche l'analisi degli spettri sostengono tale evidenza, mentre le configurazioni 3 e 4 propongono tratti di affinità. Infatti, la configurazione 3, che corrisponde

all'ipotesi progettuale di realizzare delle barriere soffolte idonee a smorzare il contenuto energetico del moto ondoso sia in fase di modellamento (onda morfologica) sia durante le mareggiate ordinarie ed estreme, localizza il frangimento del moto ondoso o in corrispondenza della barriera stessa (altezze d'onda maggiori) o immediatamente a valle di questa nel senso del moto ondoso, confinando i processi di trasporto solido proprio nella fascia delimitata dalla linea di costa e la barriera stessa collimando, evidentemente, con l'obiettivo di progetto. D'altro canto, se si analizza la configurazione 4, che corrisponde ad una situazione in cui i fenomeni di arretramento della costa metapontina iniziavano timidamente a comparire, per poi prendere il sopravvento al maturato disequilibrio tra la capacità di trasporto marino e l'apporto sedimentario, si riscontra che il frangimento delle onde di modellamento avviene proprio a ridosso della barra così detta "offshore", ossia corrispondente, circa, alla batimetrica -4 m, che rappresenta la profondità di fondazione della barriera proposta.

3.1 Stato di fatto aprile 2010 ante ripascimento

Punti di calcolo

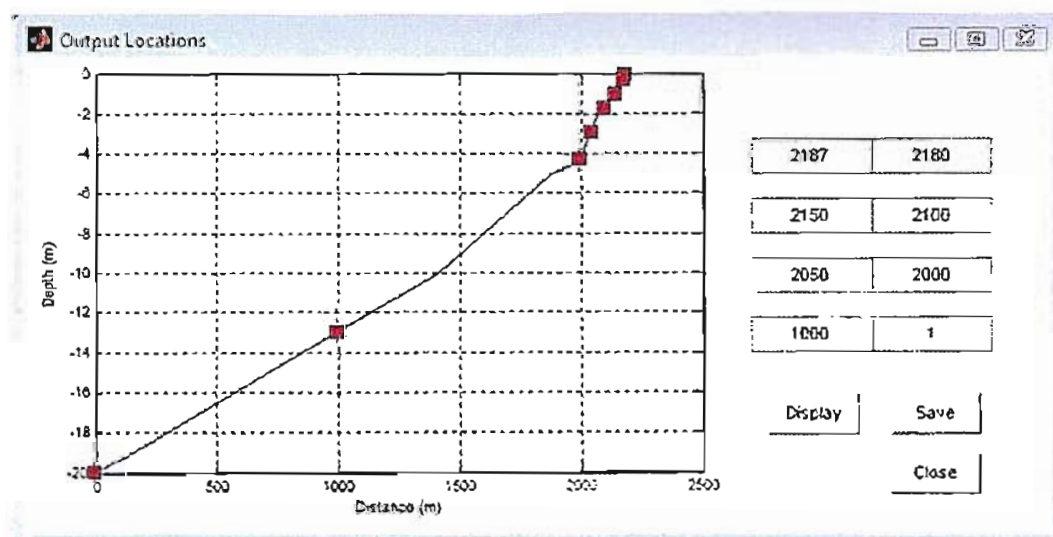


Figura 4 – Punti di calcolo delle grandezze diagrammate

$$dd = 90 \text{ } H_{m0} = 0.68\text{m } T_{m0} = 2.17 \text{ s}$$

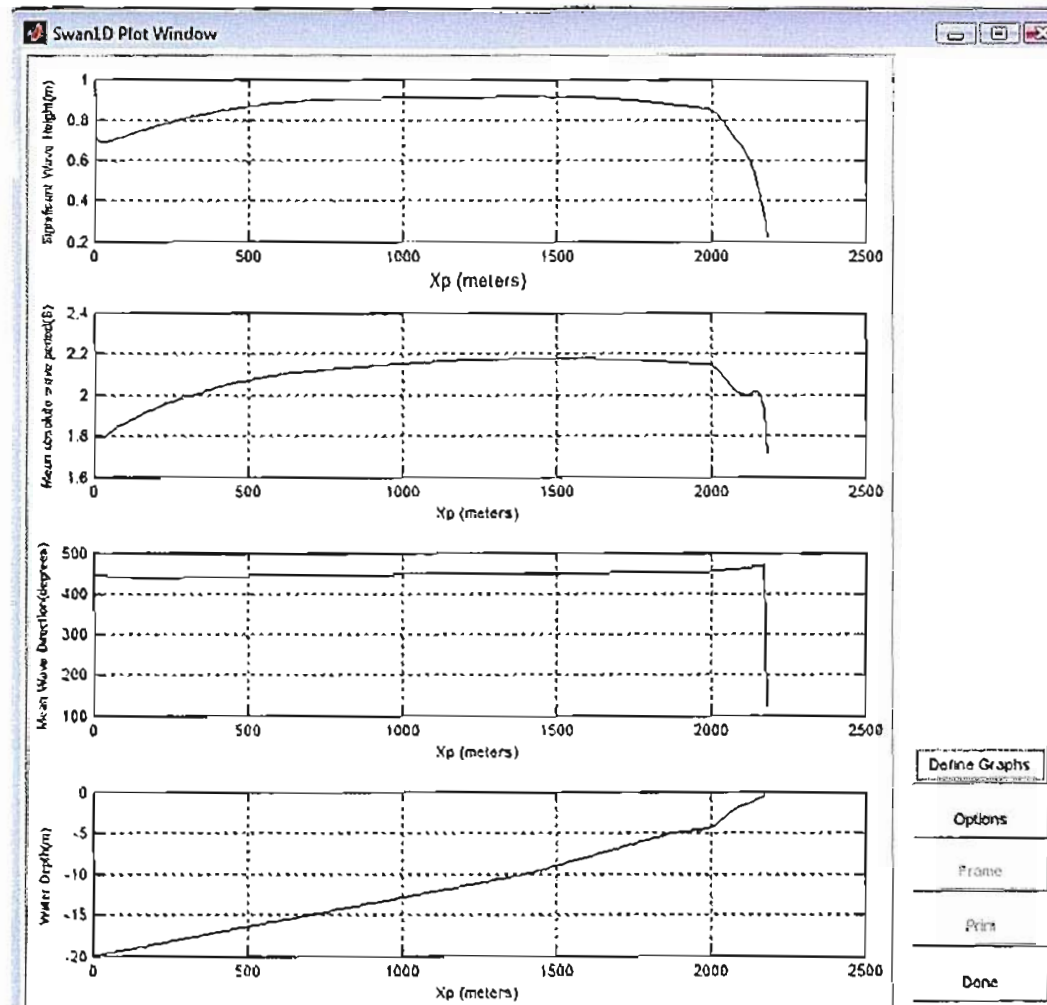


Figura 5 - Altezza d'onda significativa, periodo medio dell'onda, direzione d'onda (dd) e profondità del fondale

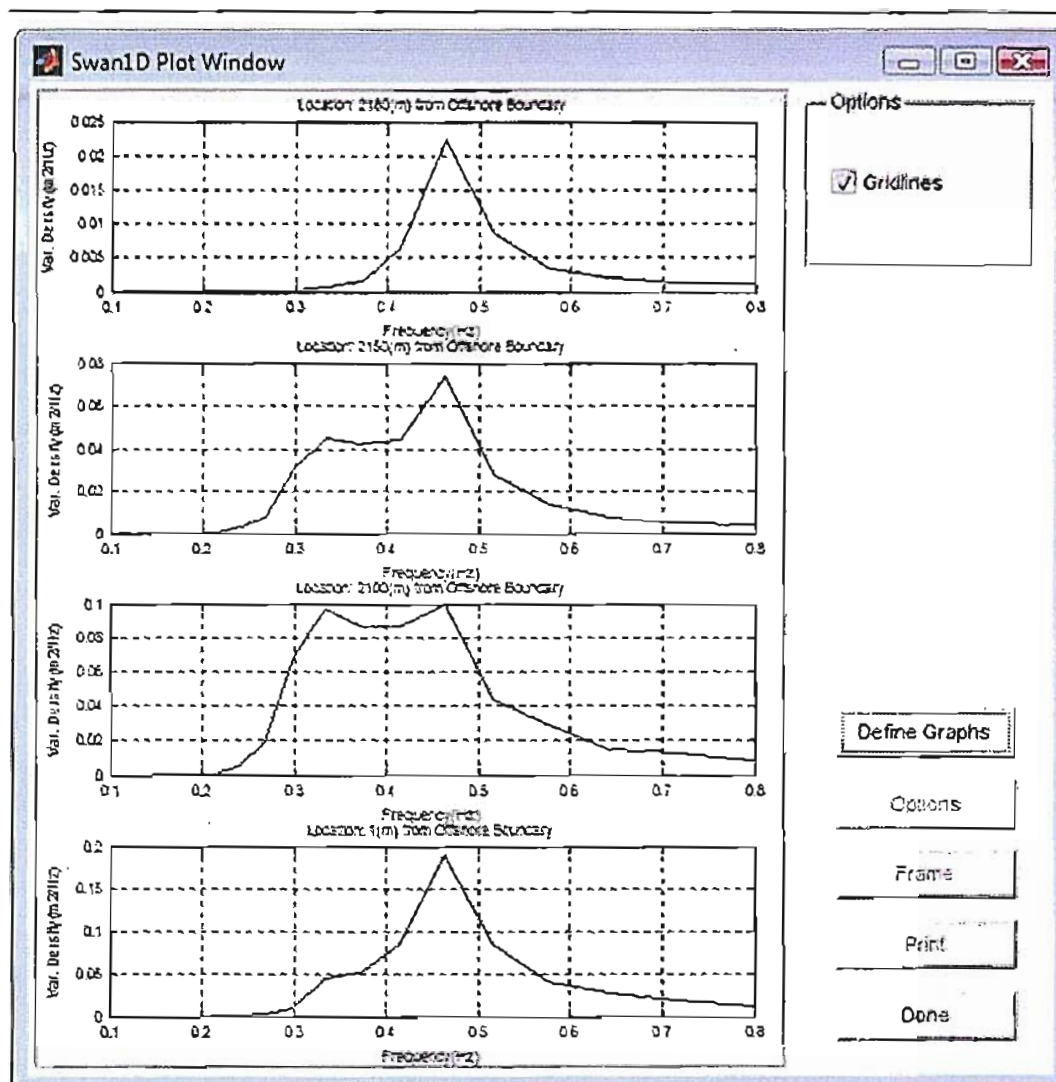


Figura 6 – Spettri di energia in alcune sezioni di calcolo

$dd = 100$ $H_{m0} = 0.98$ m $T_{m0} = 3.75$ s

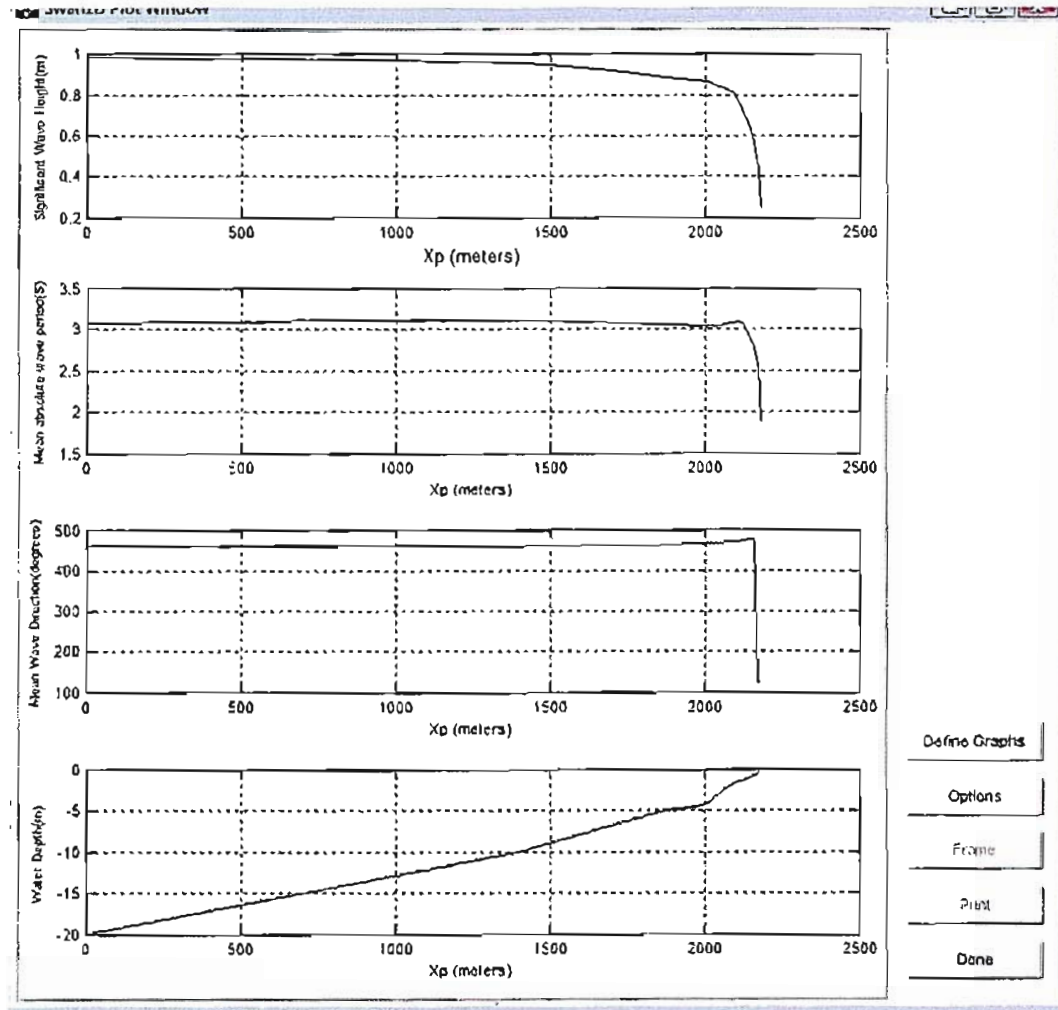


Figura 7 - Altezza d'onda significativa, periodo medio dell'onda, direzione d'onda (dd) e profondità del fondale

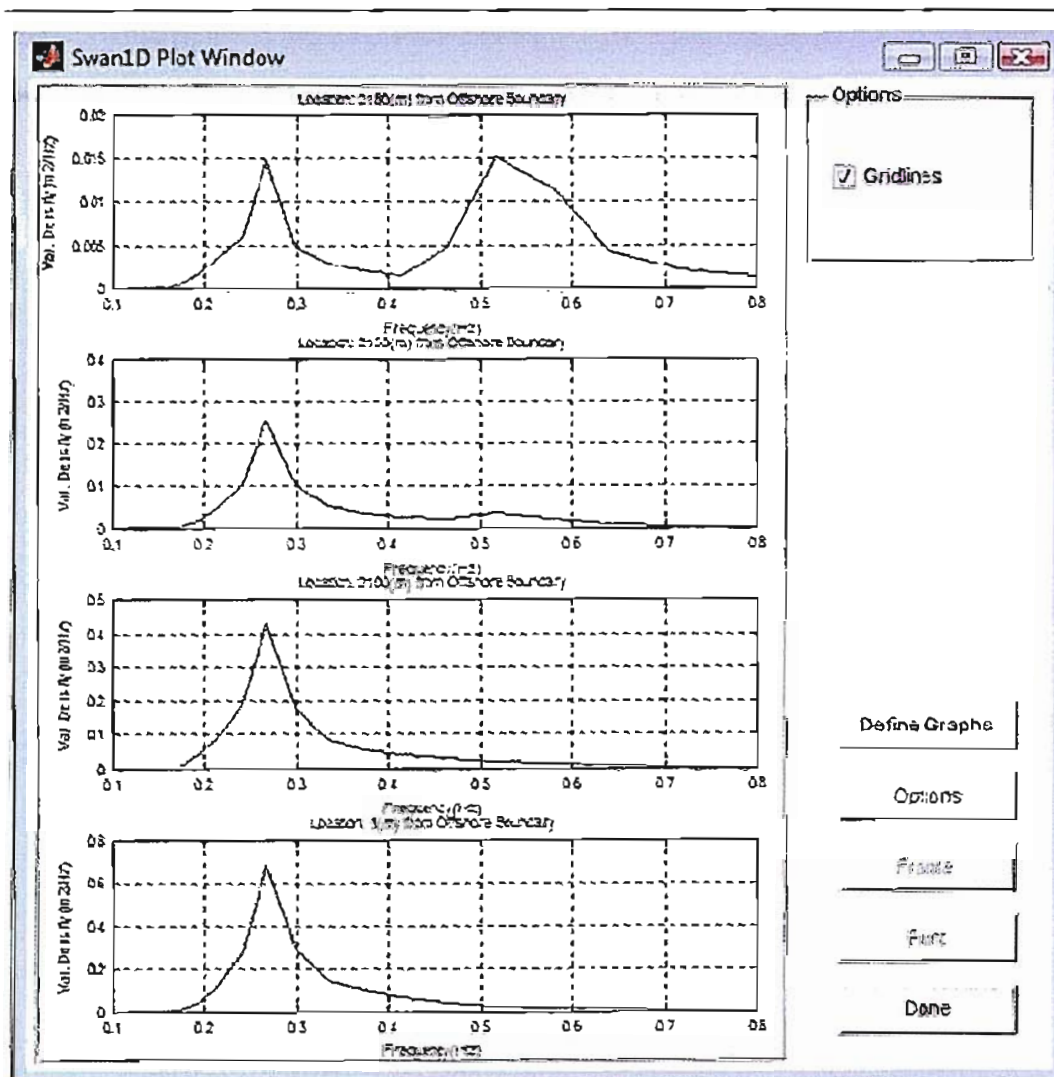


Figura 8 – Spettri di energia in alcune sezioni di calcolo

$$dd = 110 \text{ } H_{m0} = 1.02 \text{ m } T_{m0} = 3.99 \text{ s}$$

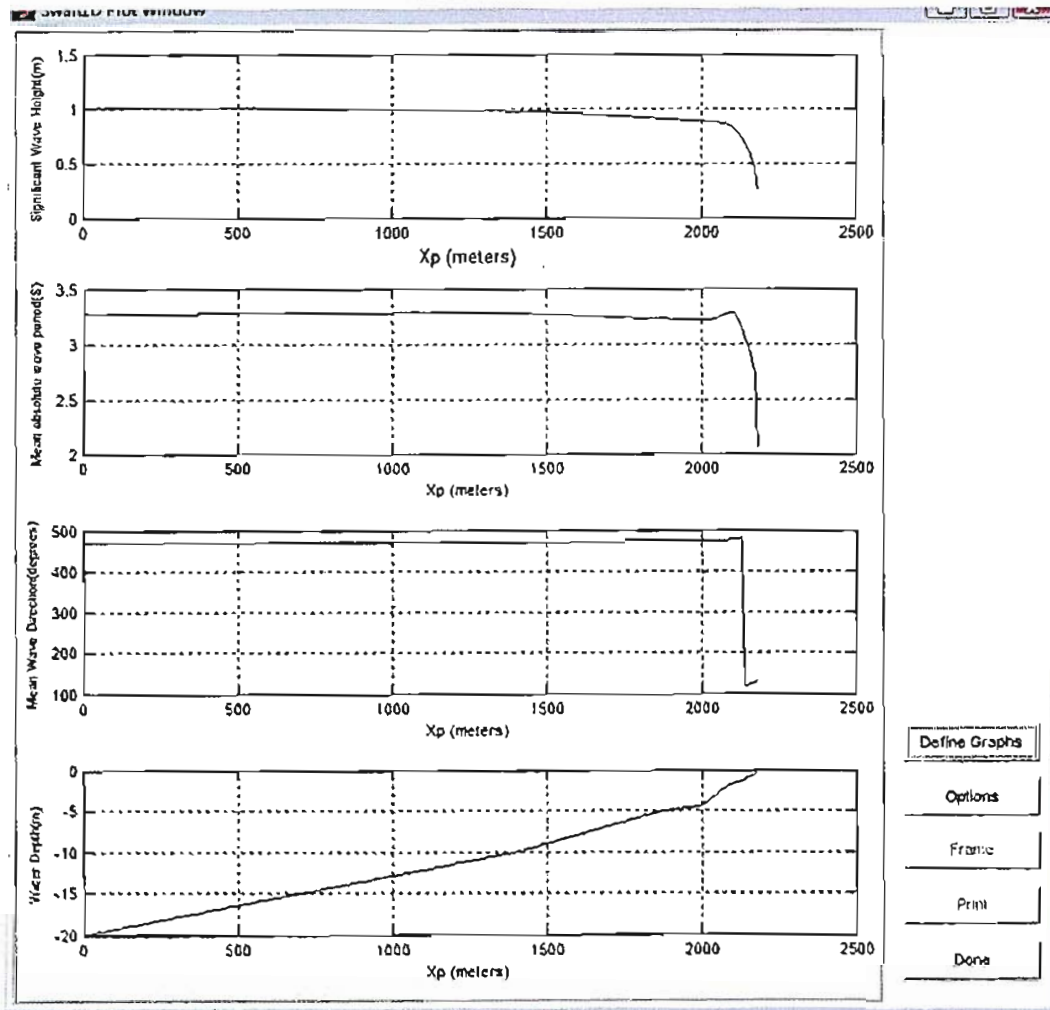


Figura 9 - Altezza d'onda significativa, periodo medio dell'onda, direzione d'onda (dd) e profondità del fondale

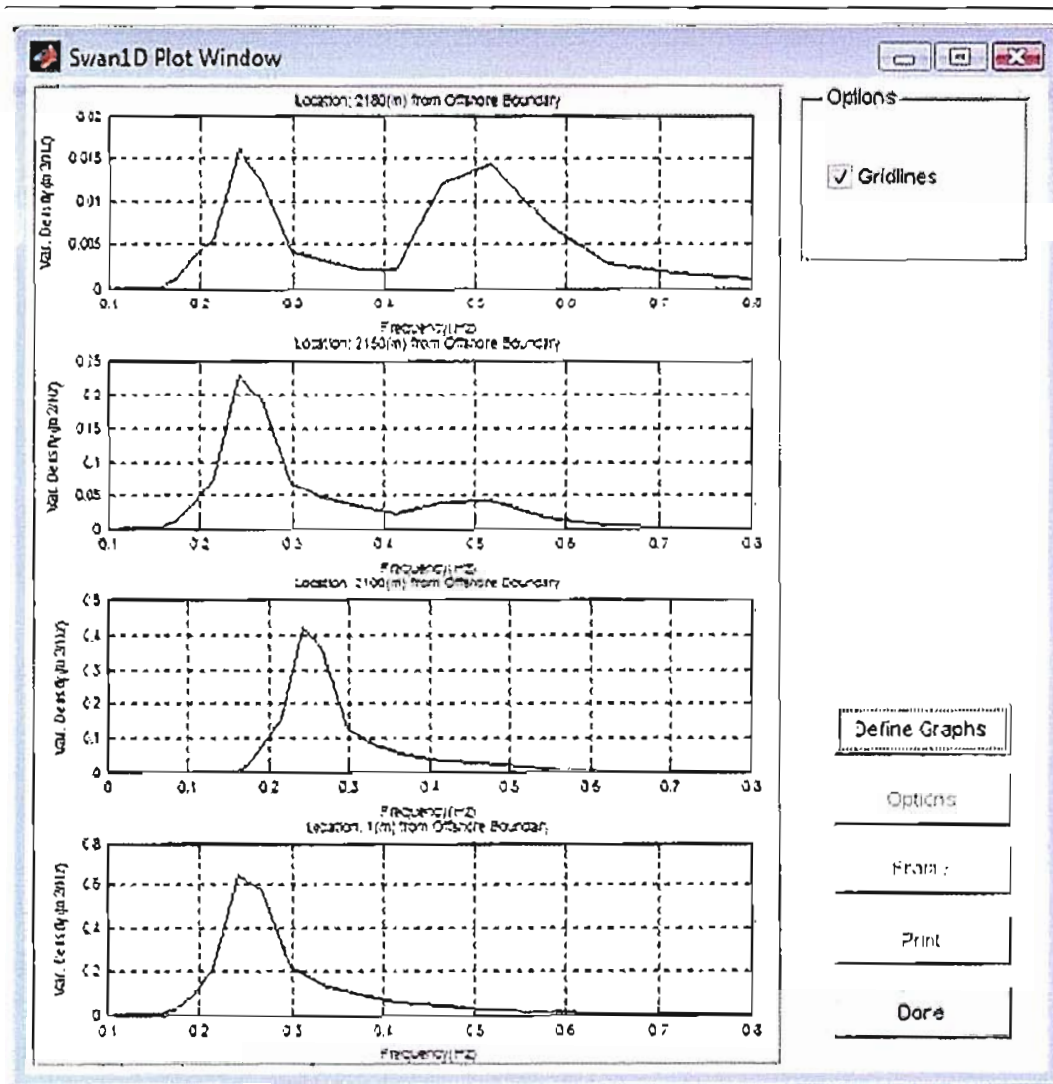


Figura 10 – Spettri di energia in alcune sezioni di calcolo

$dd = 120$ $H_{m0}=1.02$ m $T_{m0}= 5.14$ s

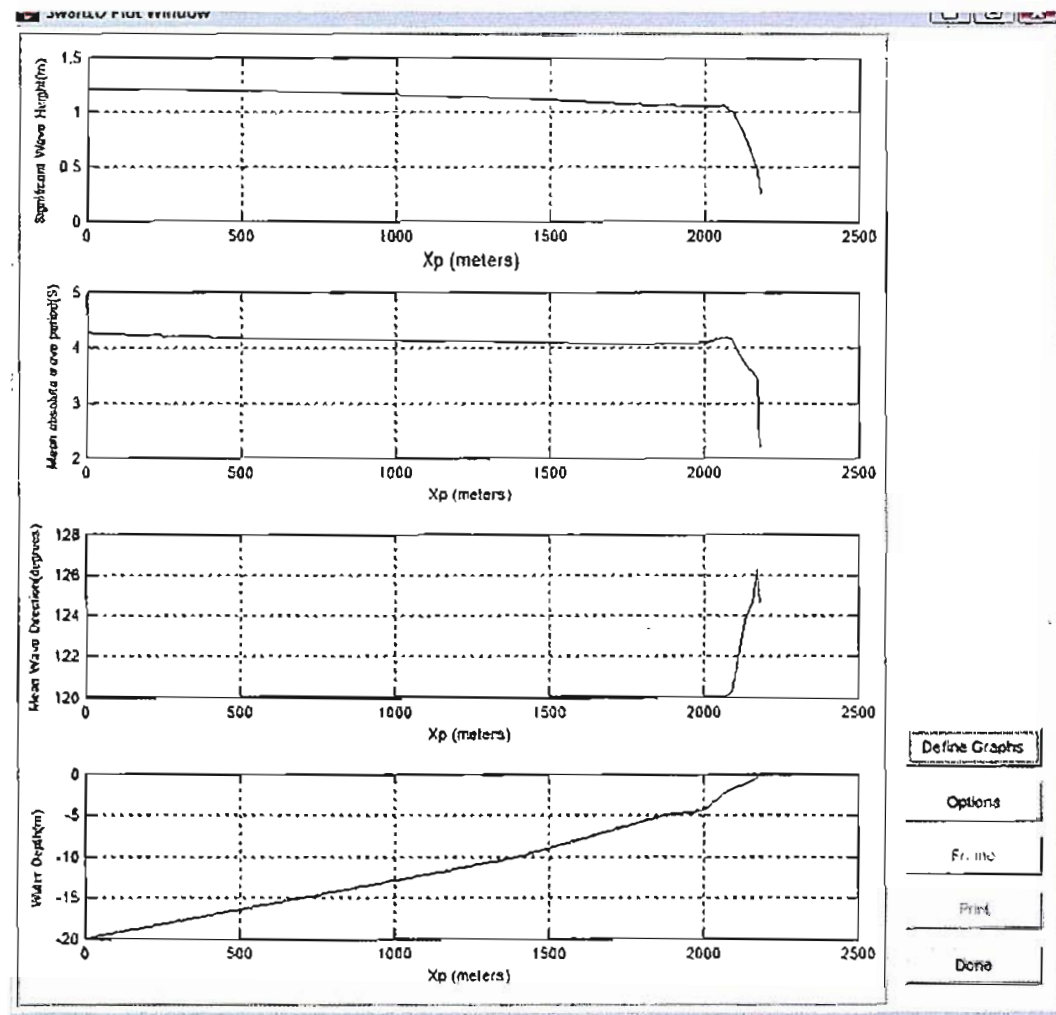


Figura 11 - Altezza d'onda significativa, periodo medio dell'onda, direzione d'onda (dd) e profondità del fondale

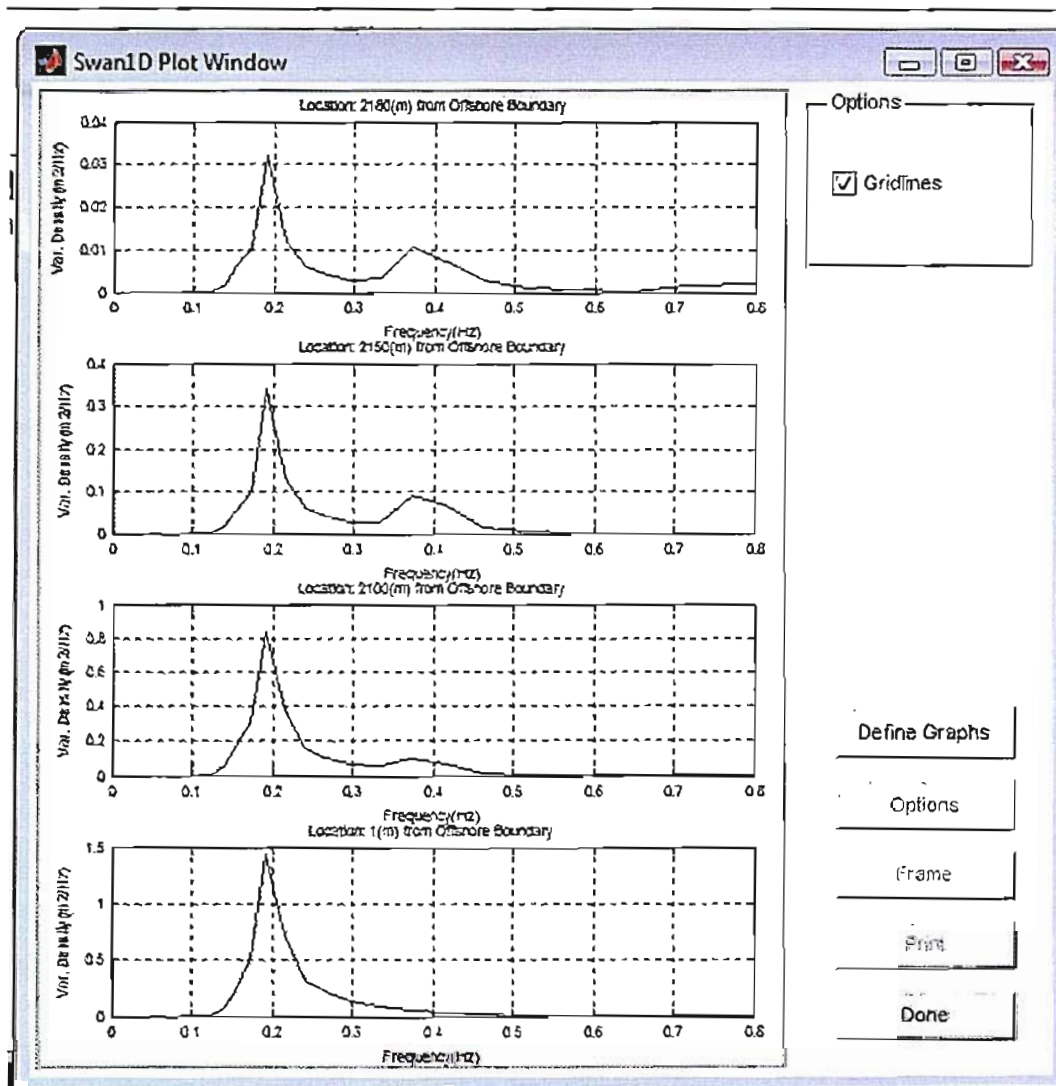


Figura 12 – Spettri di energia in alcune sezioni di calcolo

$dd = 130^\circ$ $H_{m0} = 1.29$ m $T_{m0} = 5.66$ s

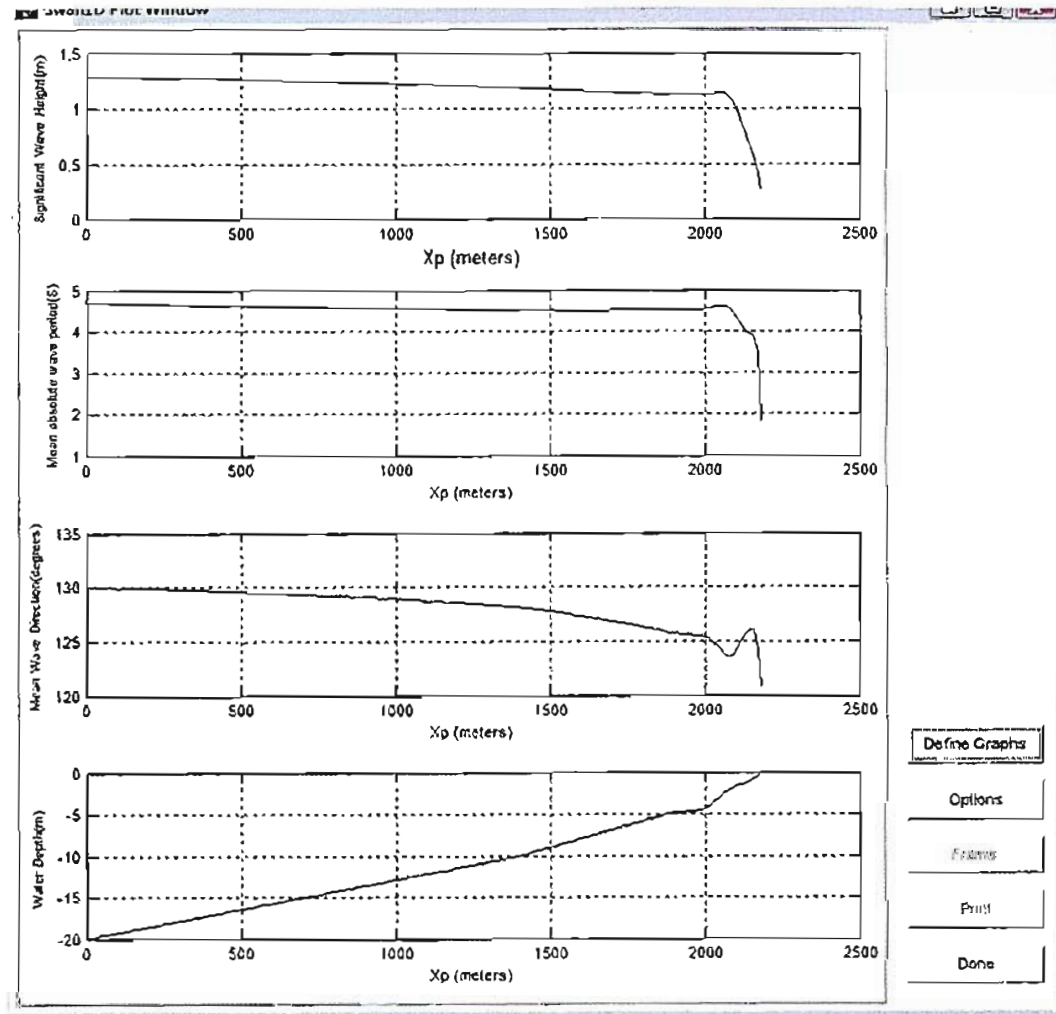


Figura 13 - Altezza d'onda significativa, periodo medio dell'onda, direzione d'onda (dd) e profondità del fondale

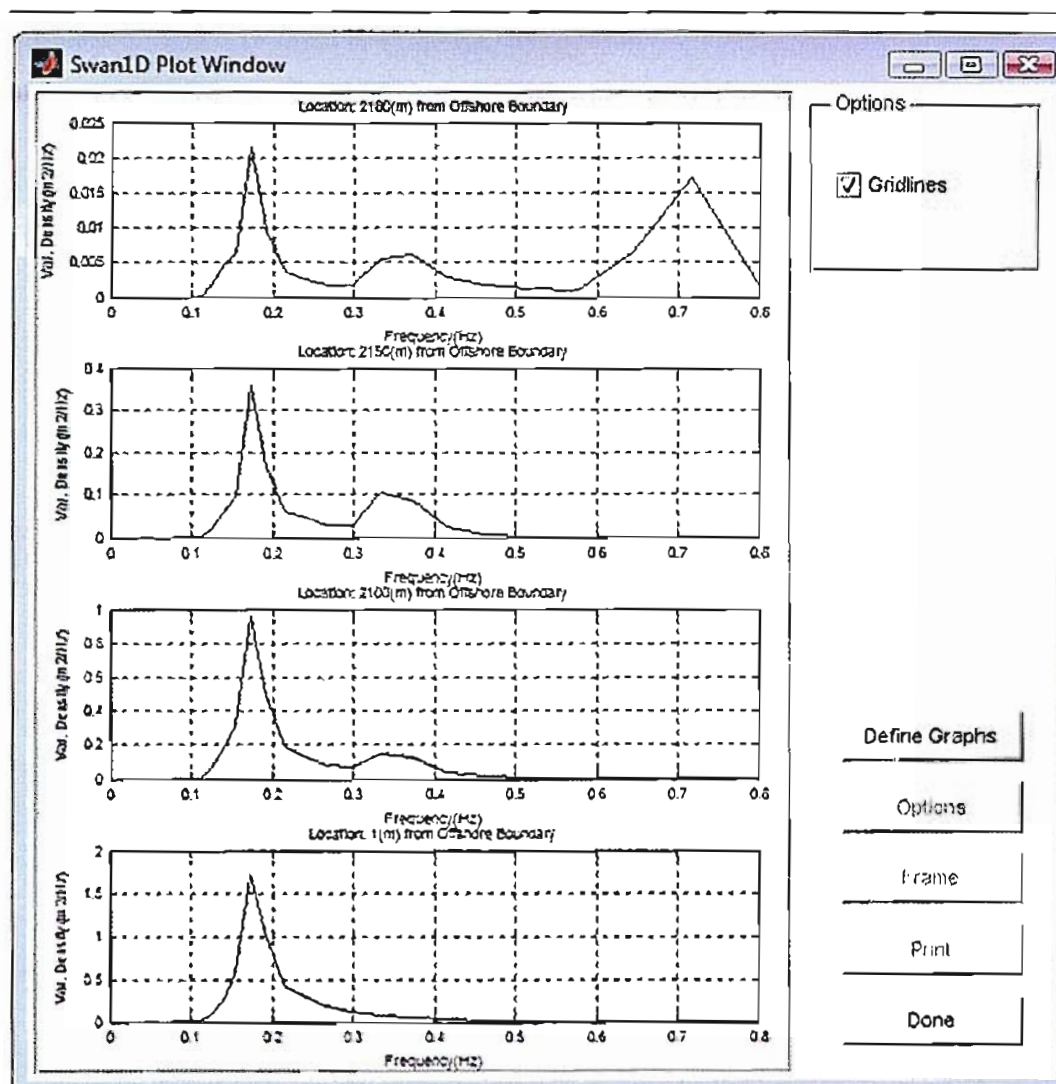


Figura 14 – Spettri di energia in alcune sezioni di calcolo

$dd = 140$ $H_{m0} = 1.33$ m $T_{m0} = 5.91$ s

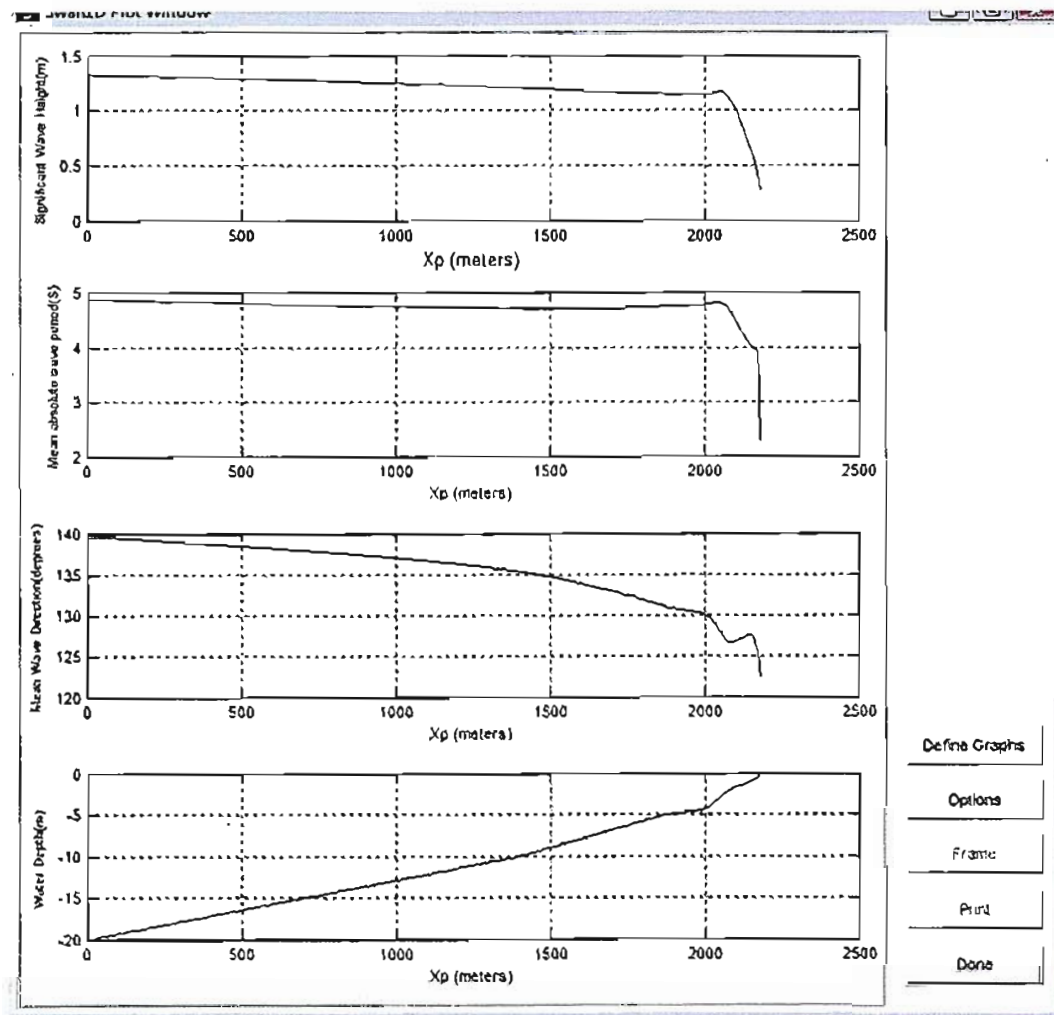


Figura 15 - Altezza d'onda significativa, periodo medio dell'onda, direzione d'onda (dd) e profondità del fondale

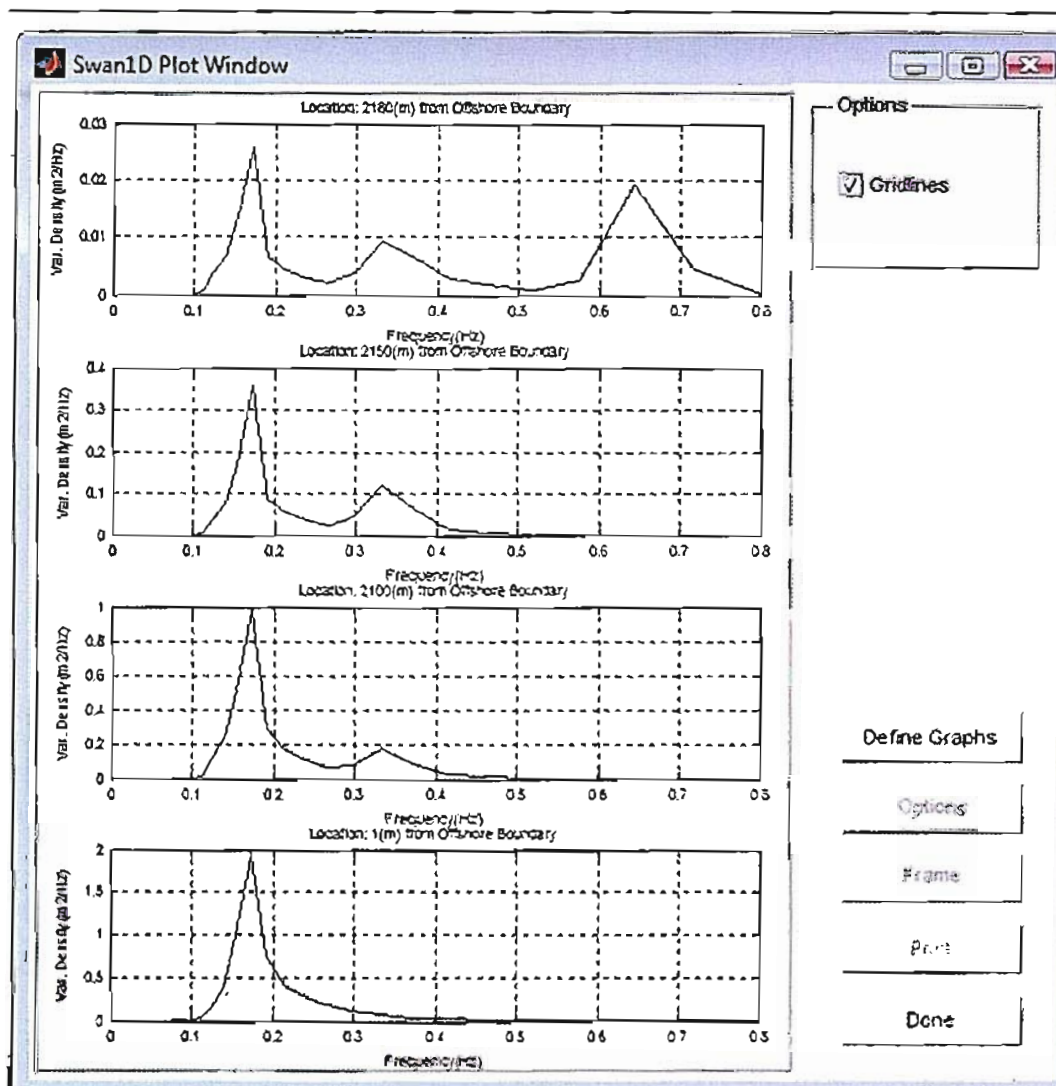


Figura 16 – Spettri di energia in alcune sezioni di calcolo

$dd = 150$ $H_{m0} = 1.08$ m $T_{m0} = 4.34$ s

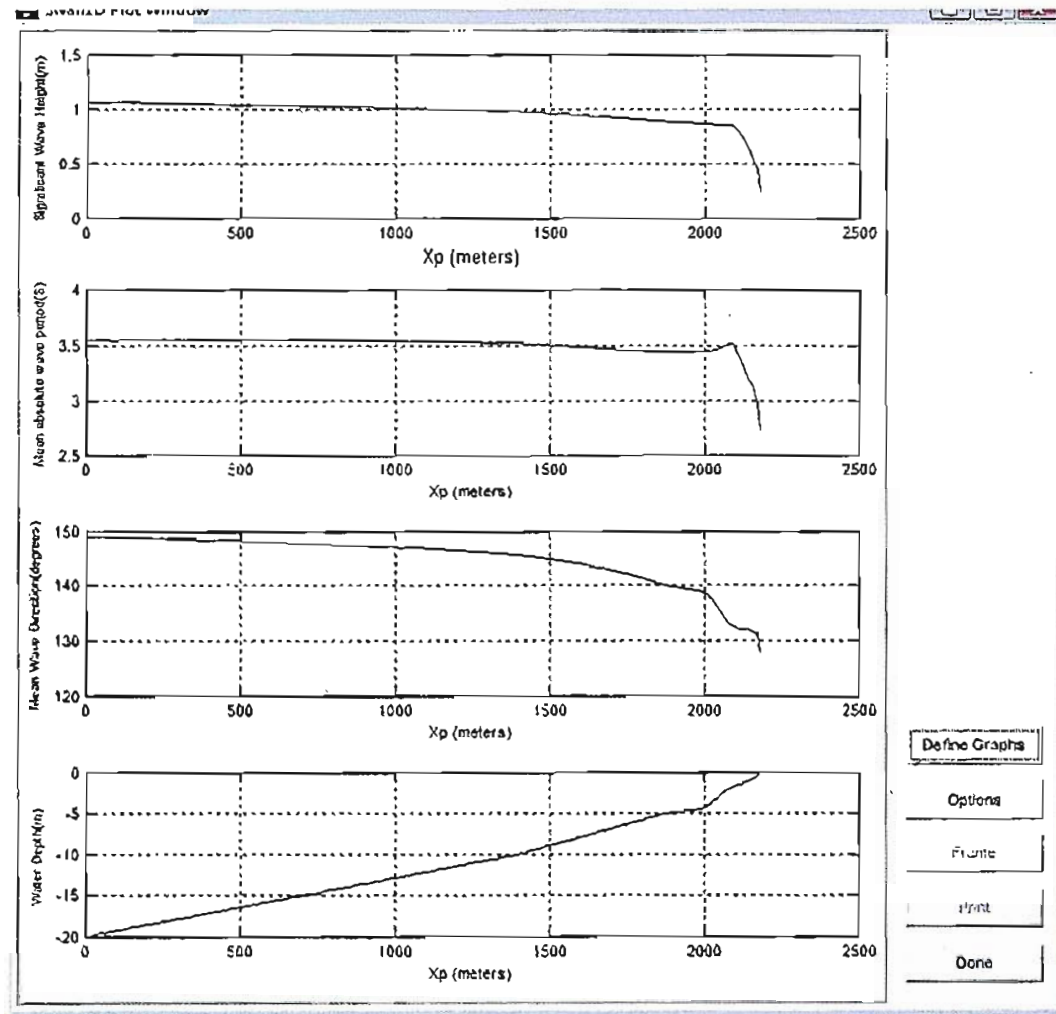


Figura 17 - Altezza d'onda significativa, periodo medio dell'onda, direzione d'onda (dd) e profondità del fondale

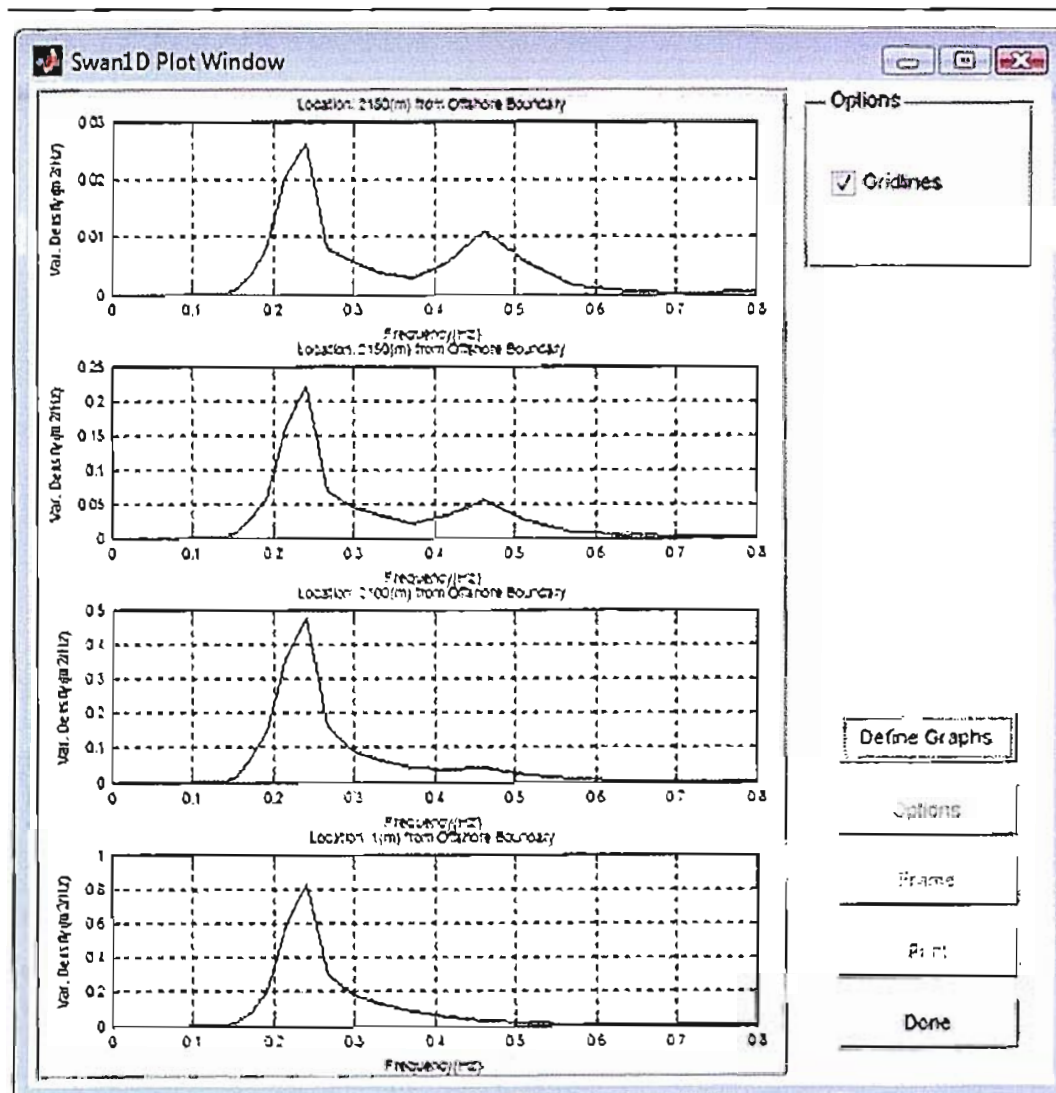


Figura 18 – Spettri di energia in alcune sezioni di calcolo

$dd=160$ $H_{m0}=0.84$ m $T_{m0}=2.97$ s

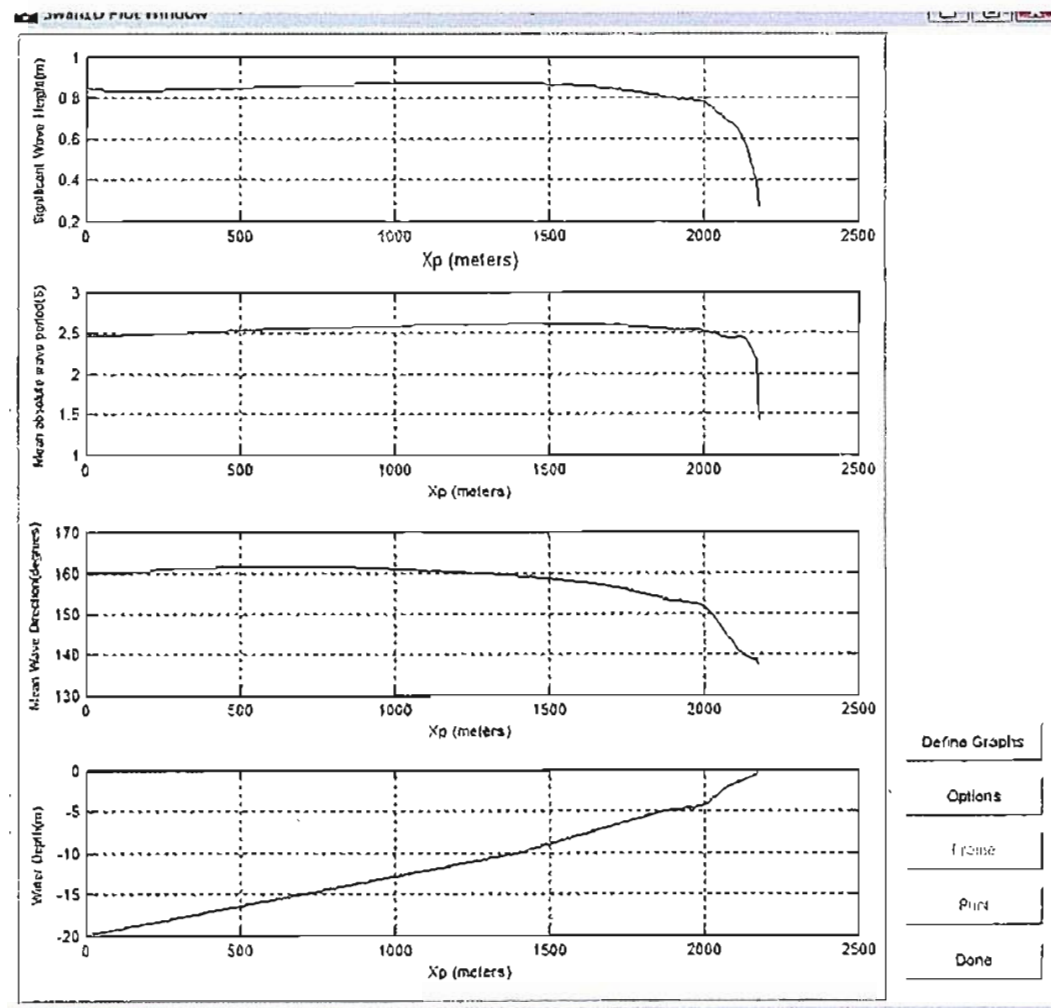


Figura 19 - Altezza d'onda significativa, periodo medio dell'onda, direzione d'onda (dd) e profondità del fondale

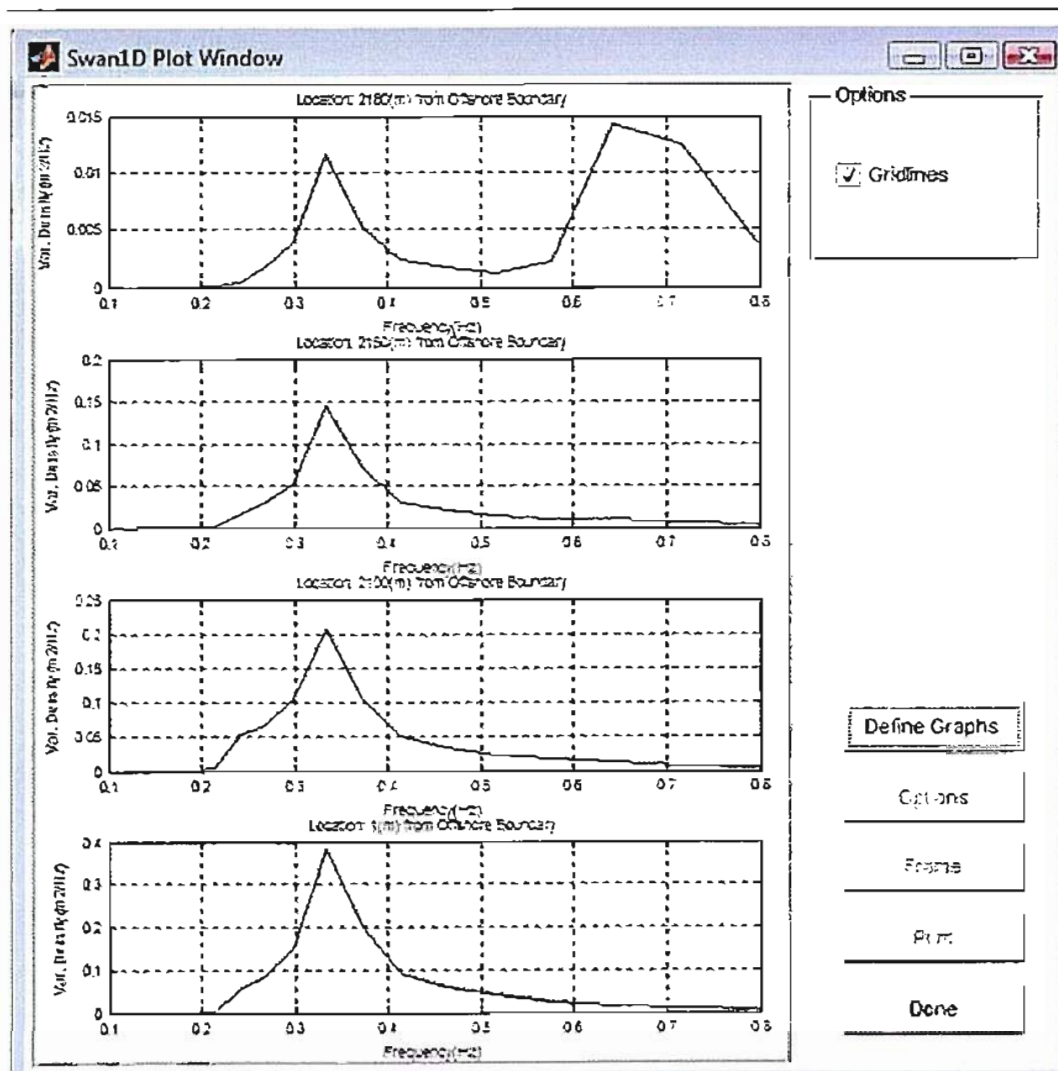


Figura 20 – Spettri di energia in alcune sezioni di calcolo

$$dd = 170^\circ \quad H_{m0} = 0.71 \text{ m} \quad T_{m0} = 2.31 \text{ s}$$

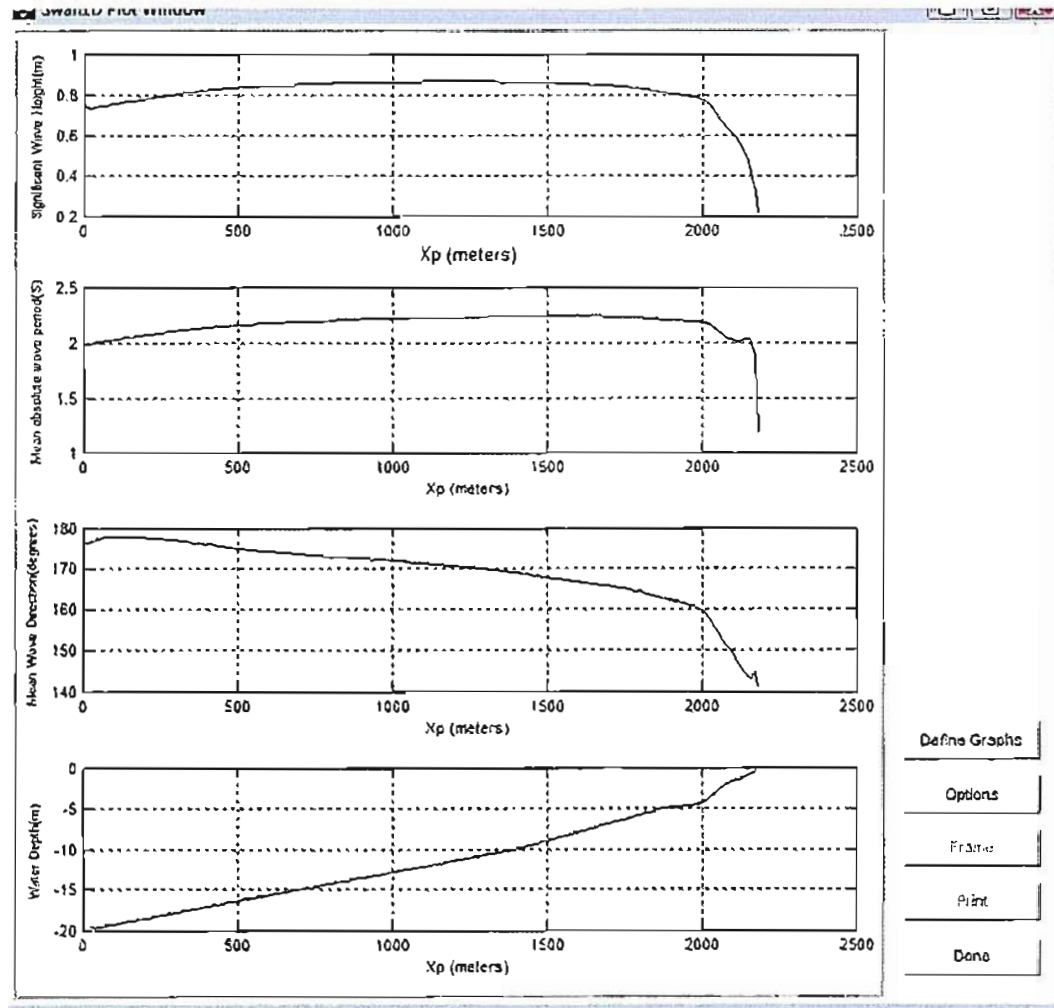


Figura 21 - Altezza d'onda significativa, periodo medio dell'onda, direzione d'onda (dd) e profondità del fondale

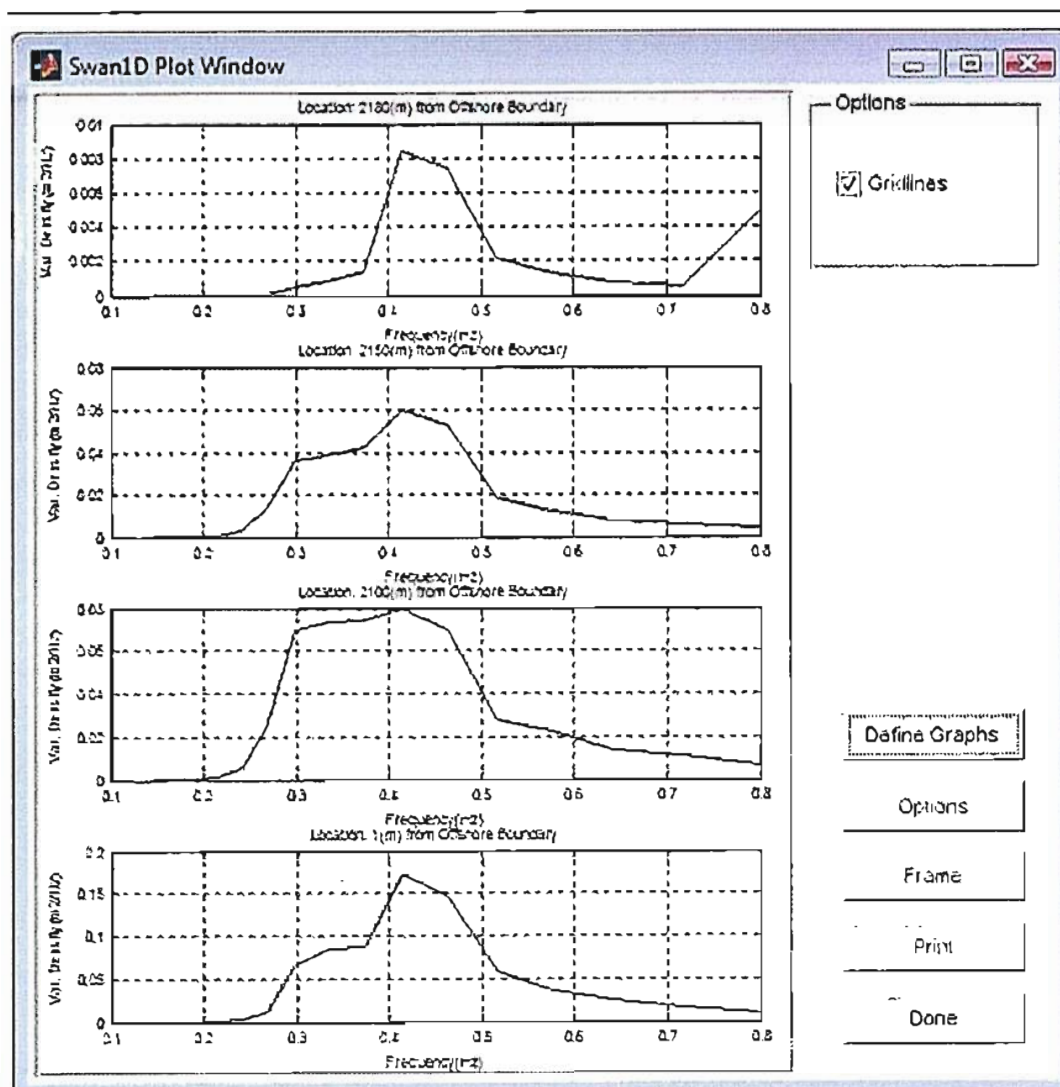


Figura 22 – Spettri di energia in alcune sezioni di calcolo

$dd = 180$ $H_{m0} = 0.56$ m $T_{m0} = 1.64$ s

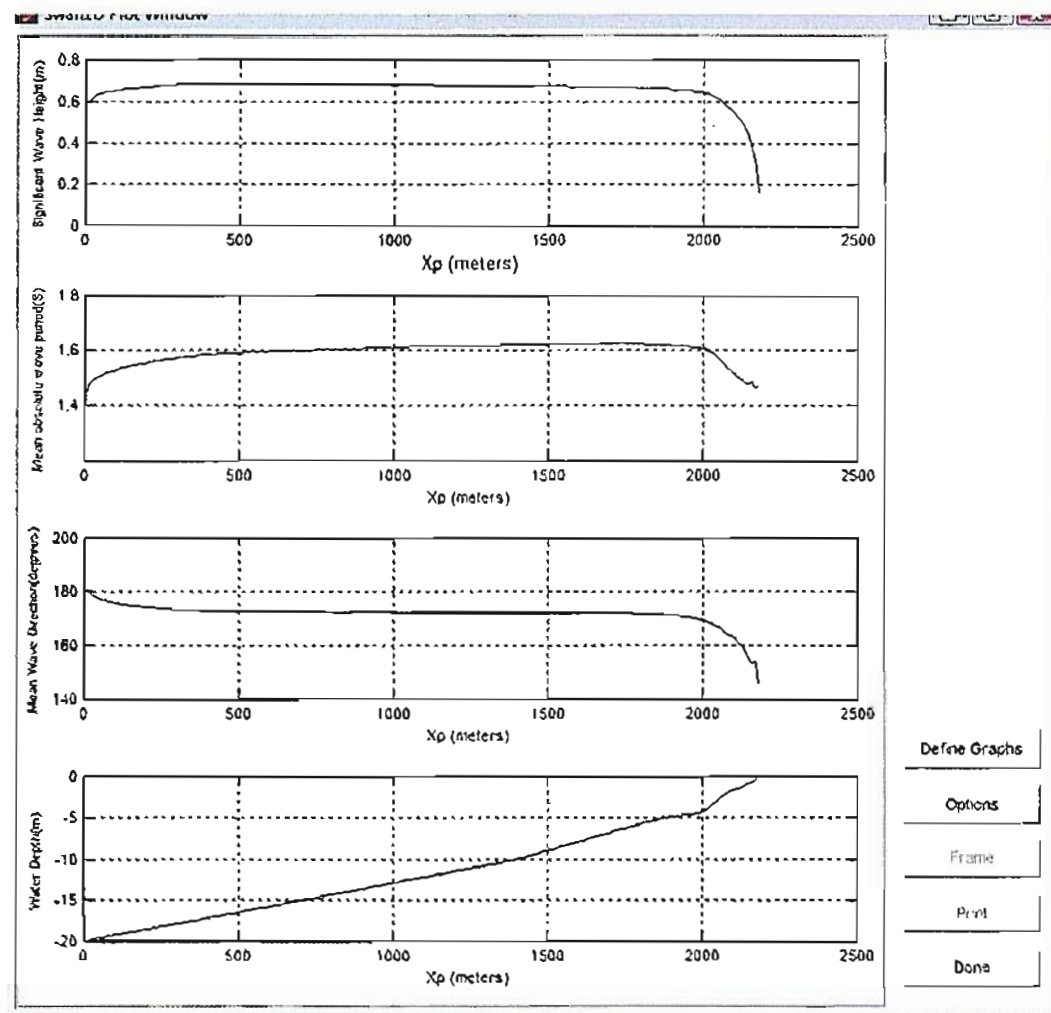


Figura 23 - Altezza d'onda significativa, periodo medio dell'onda, direzione d'onda (dd) e profondità del fondale

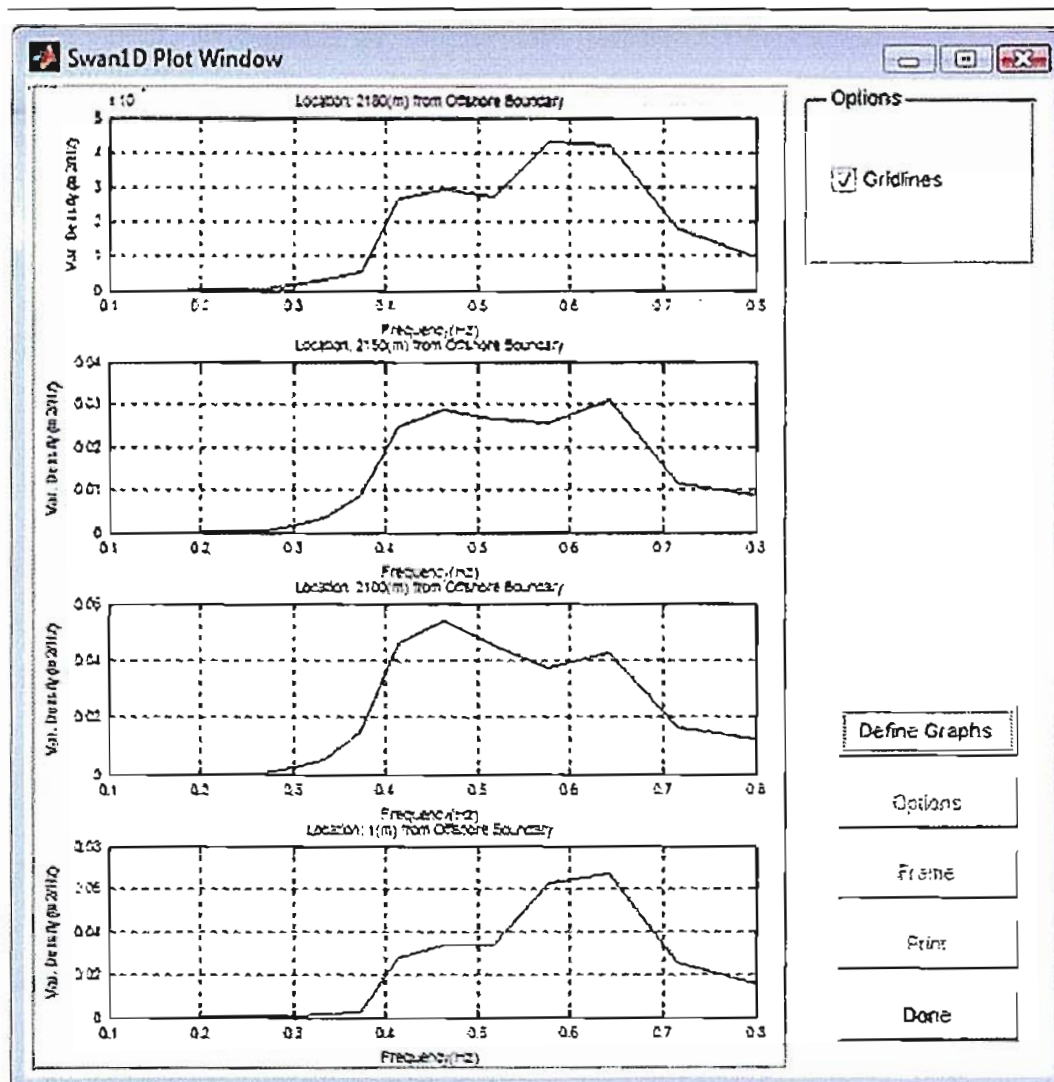


Figura 24 – Spettri di energia in alcune sezioni di calcolo

3.2 Stato di fatto costa con canali

Punti di calcolo

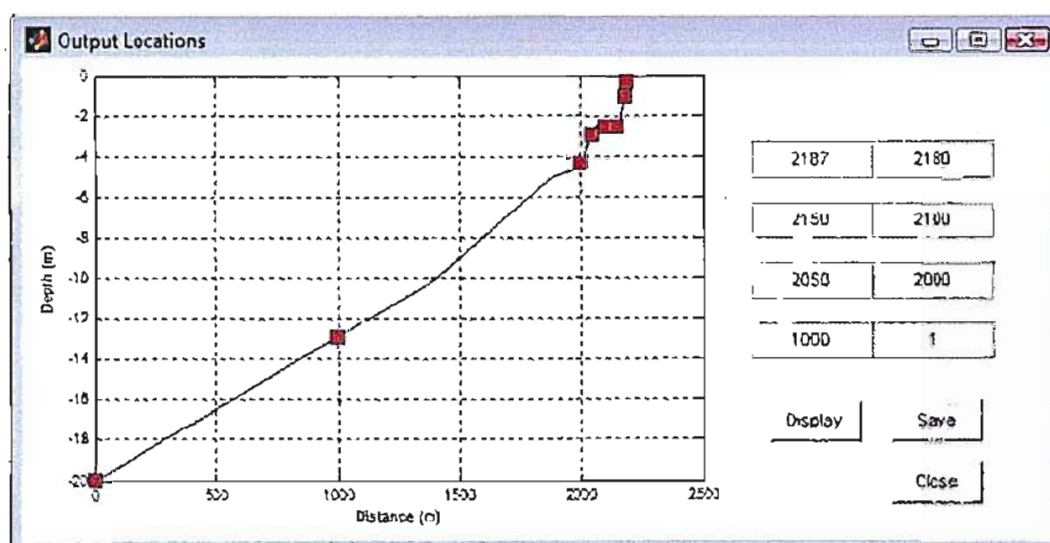


Figura 25 – Punti di calcolo delle grandezze diagrammate

$dd = 90$ $H_{m0} = 0.68\text{m}$ $T_{m0} = 2.17\text{ s}$

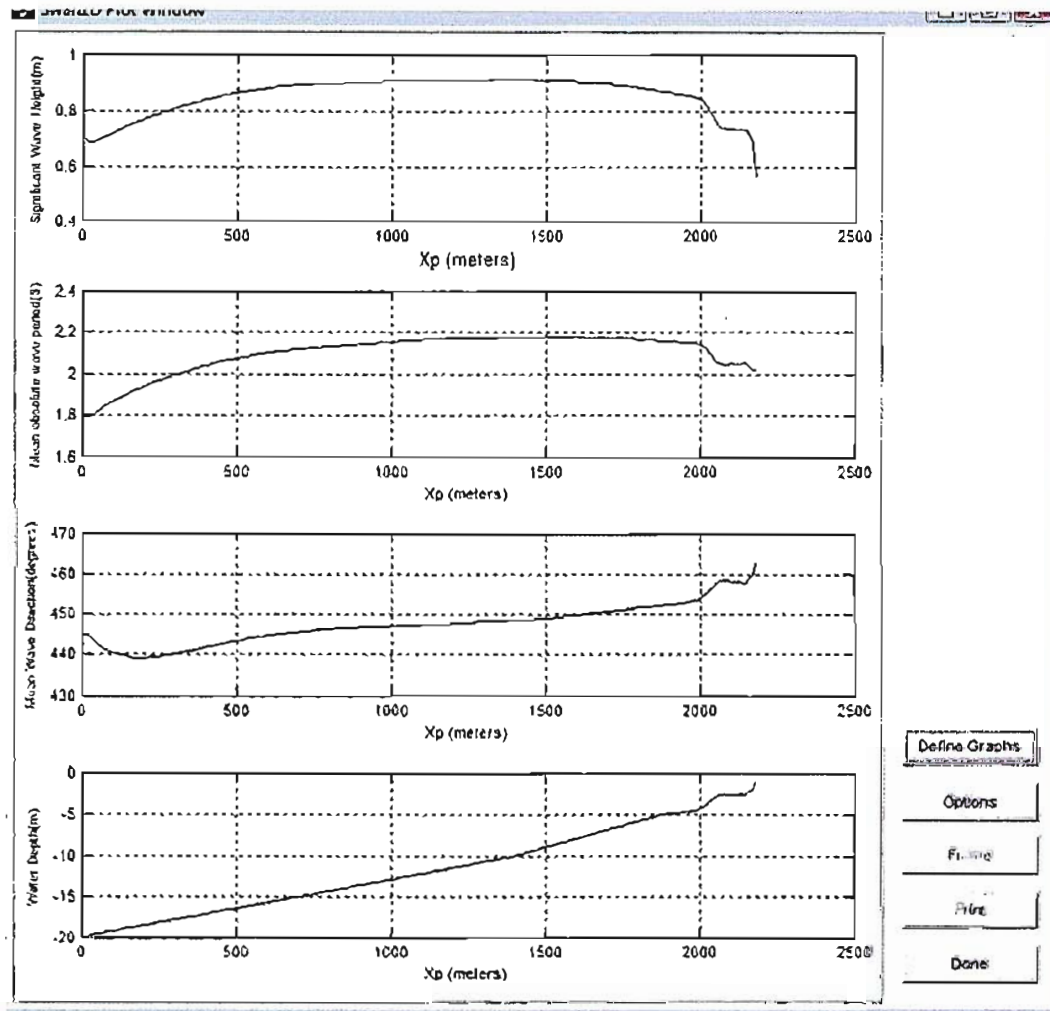


Figura 26 - Altezza d'onda significativa, periodo medio dell'onda, direzione d'onda (dd) e profondità del fondale

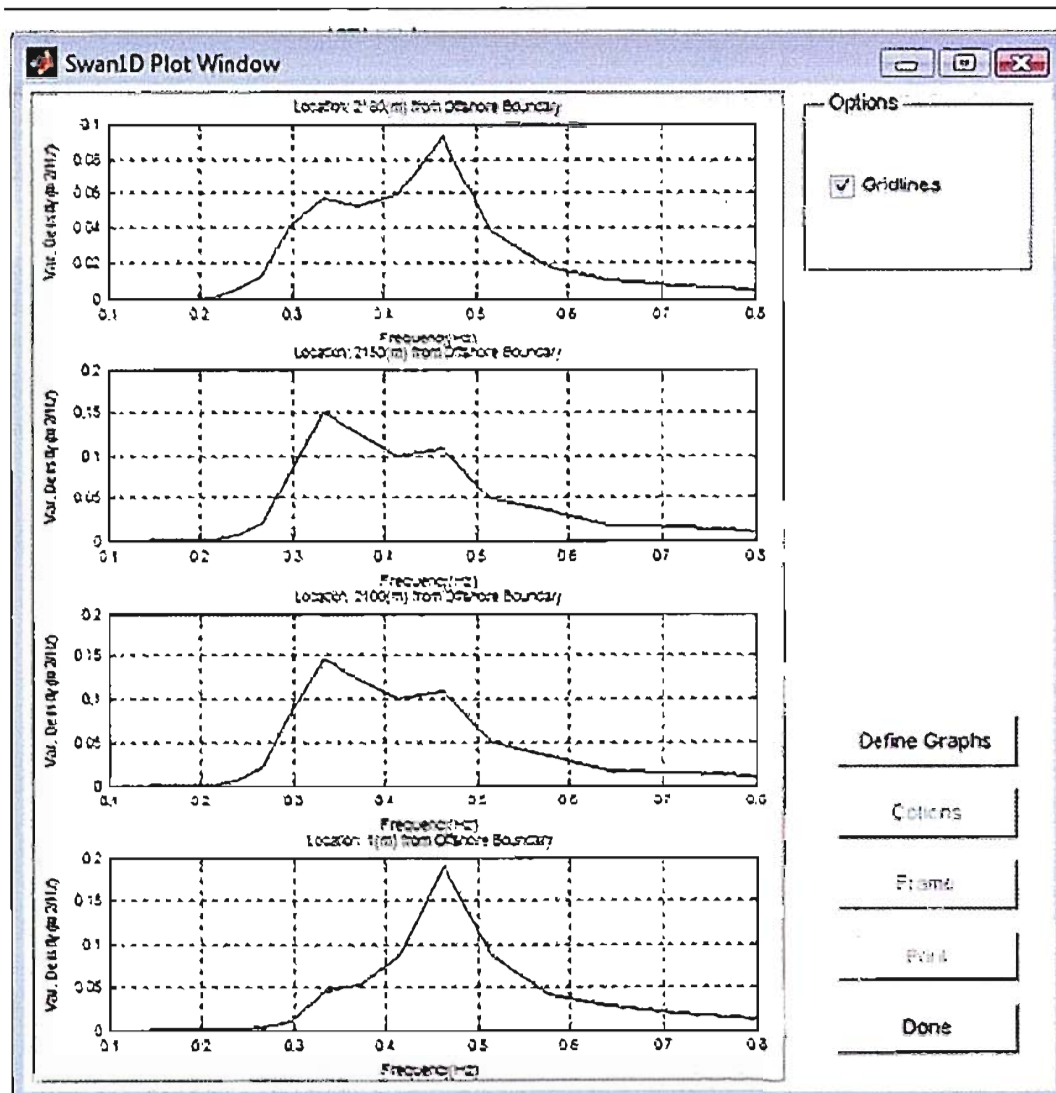


Figura 27 – Spettri di energia in alcune sezioni di calcolo

$dd = 100$ $H_{m0} = 0.98$ m $T_{m0} = 3.75$ s

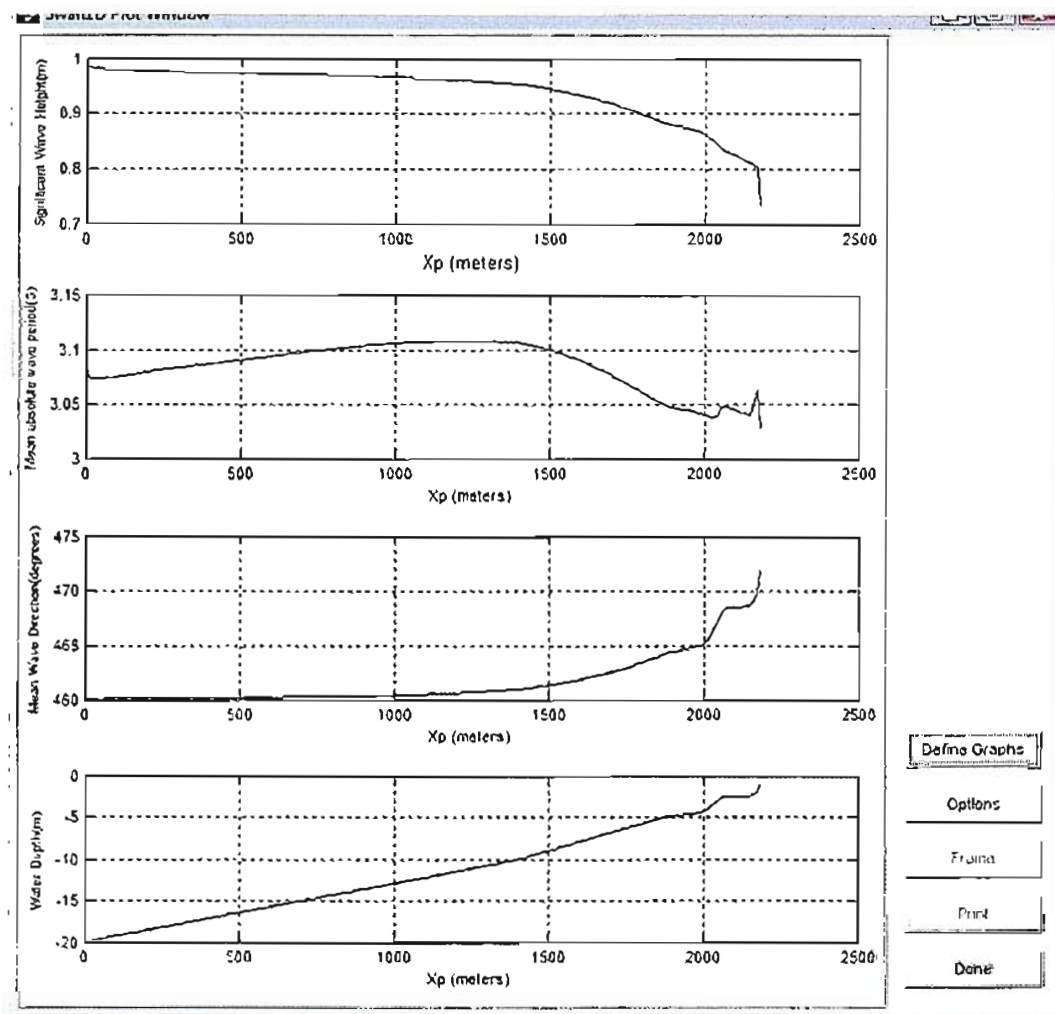


Figura 28 - Altezza d'onda significativa, periodo medio dell'onda, direzione d'onda (dd) e profondità del fondale

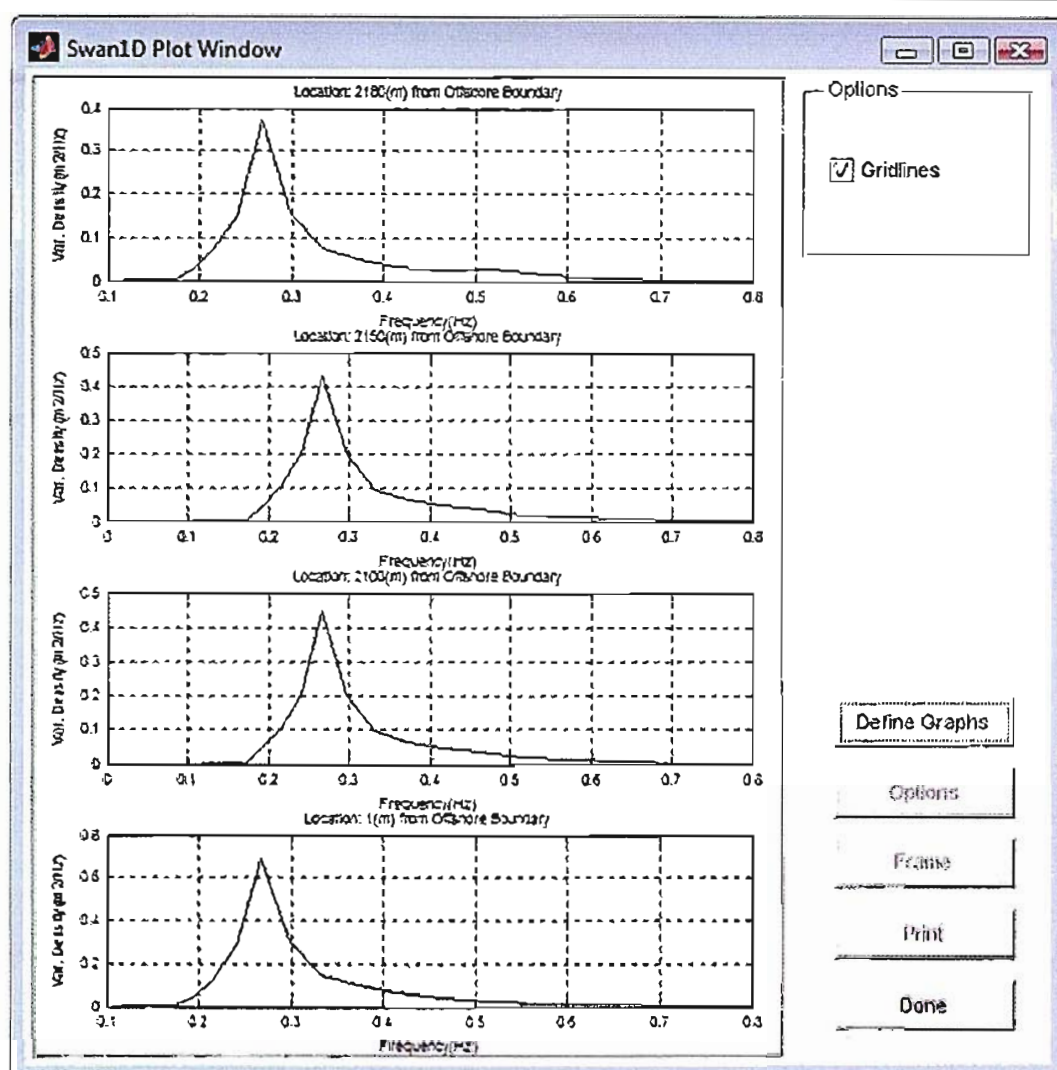


Figura 29 – Spettri di energia in alcune sezioni di calcolo

$$dd = 110^\circ \quad H_{m0} = 1.02 \text{ m} \quad T_{m0} = 3.99 \text{ s}$$

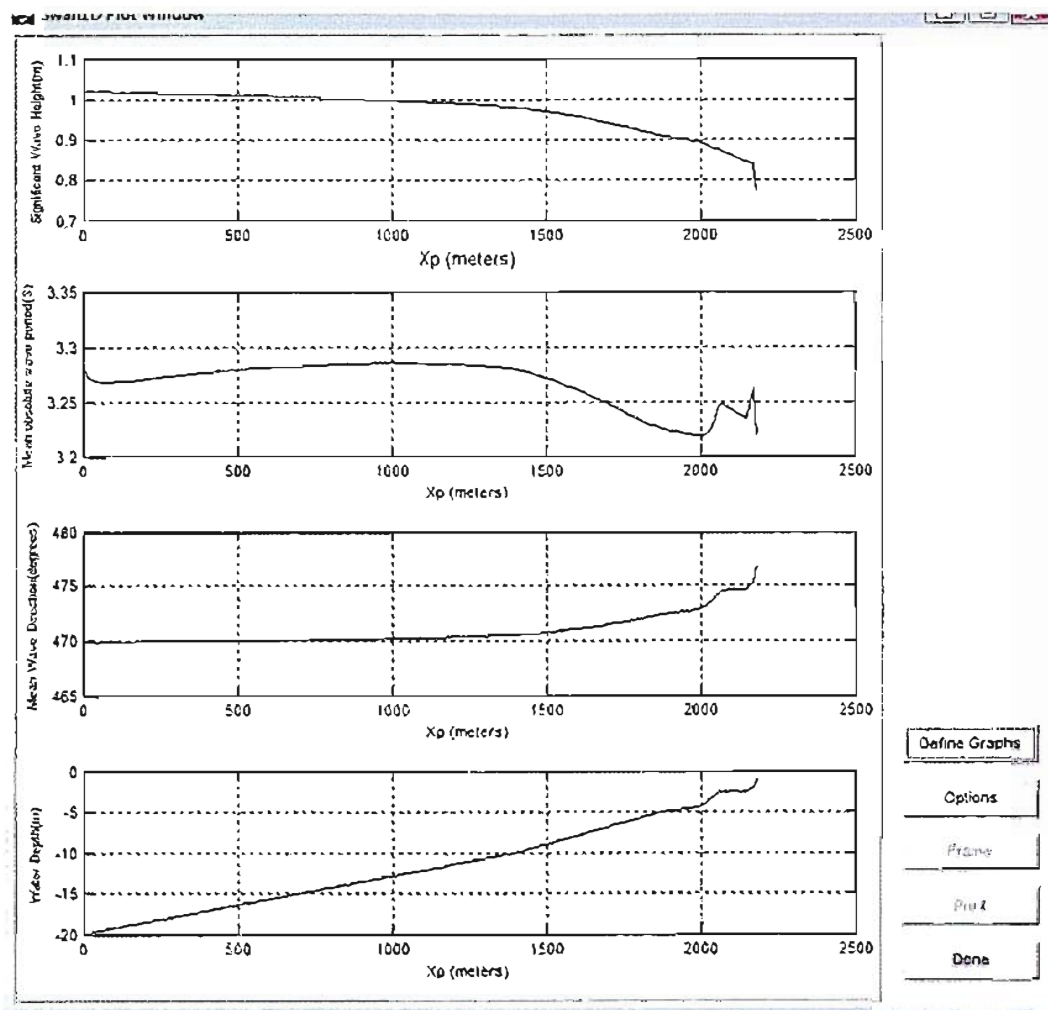


Figura 30 - Altezza d'onda significativa, periodo medio dell'onda, direzione d'onda (dd) e profondità del fondale

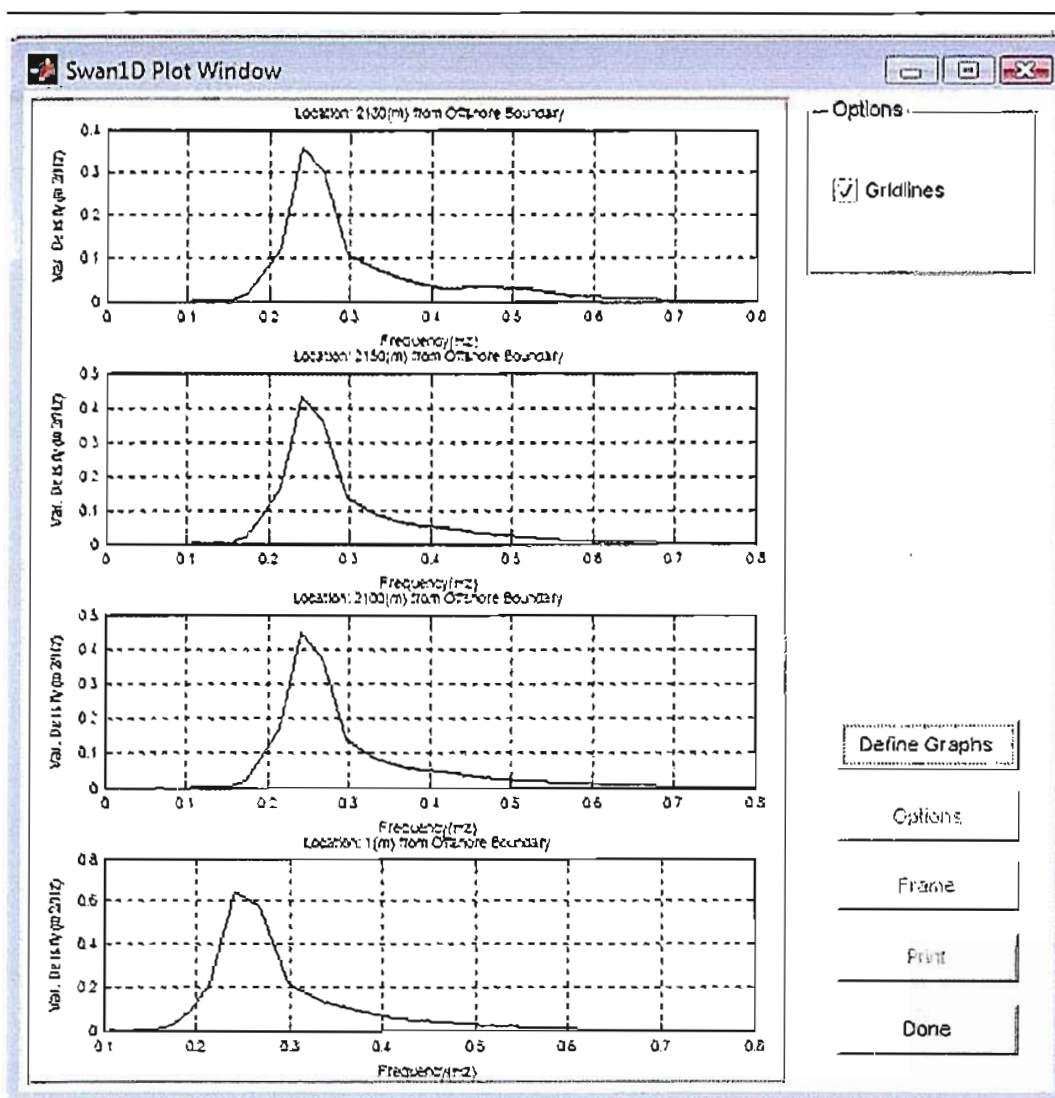


Figura 31 – Spettri di energia in alcune sezioni di calcolo

$dd = 120$ $H_{m0} = 1.02$ m $T_{m0} = 5.14$ s

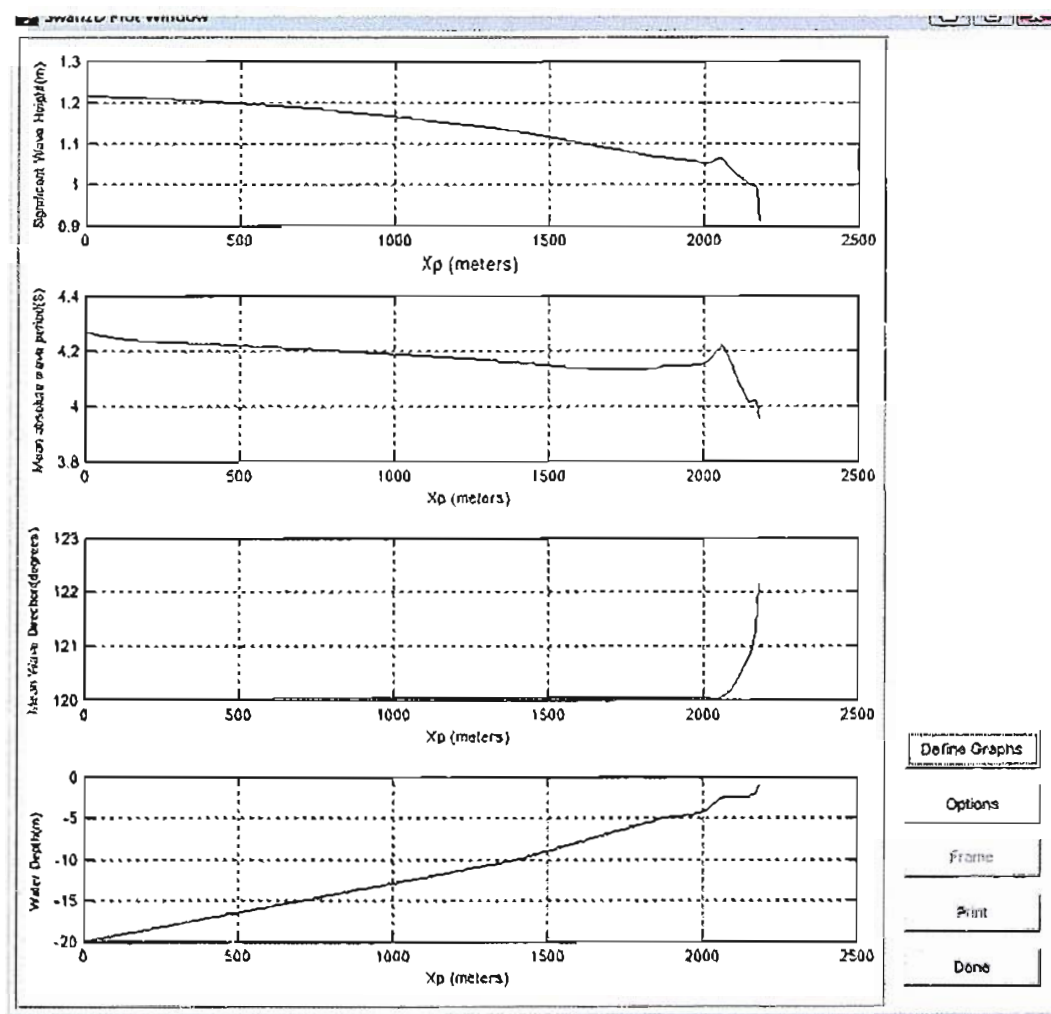


Figura 32 - Altezza d'onda significativa, periodo medio dell'onda, direzione d'onda (dd) e profondità del fondale

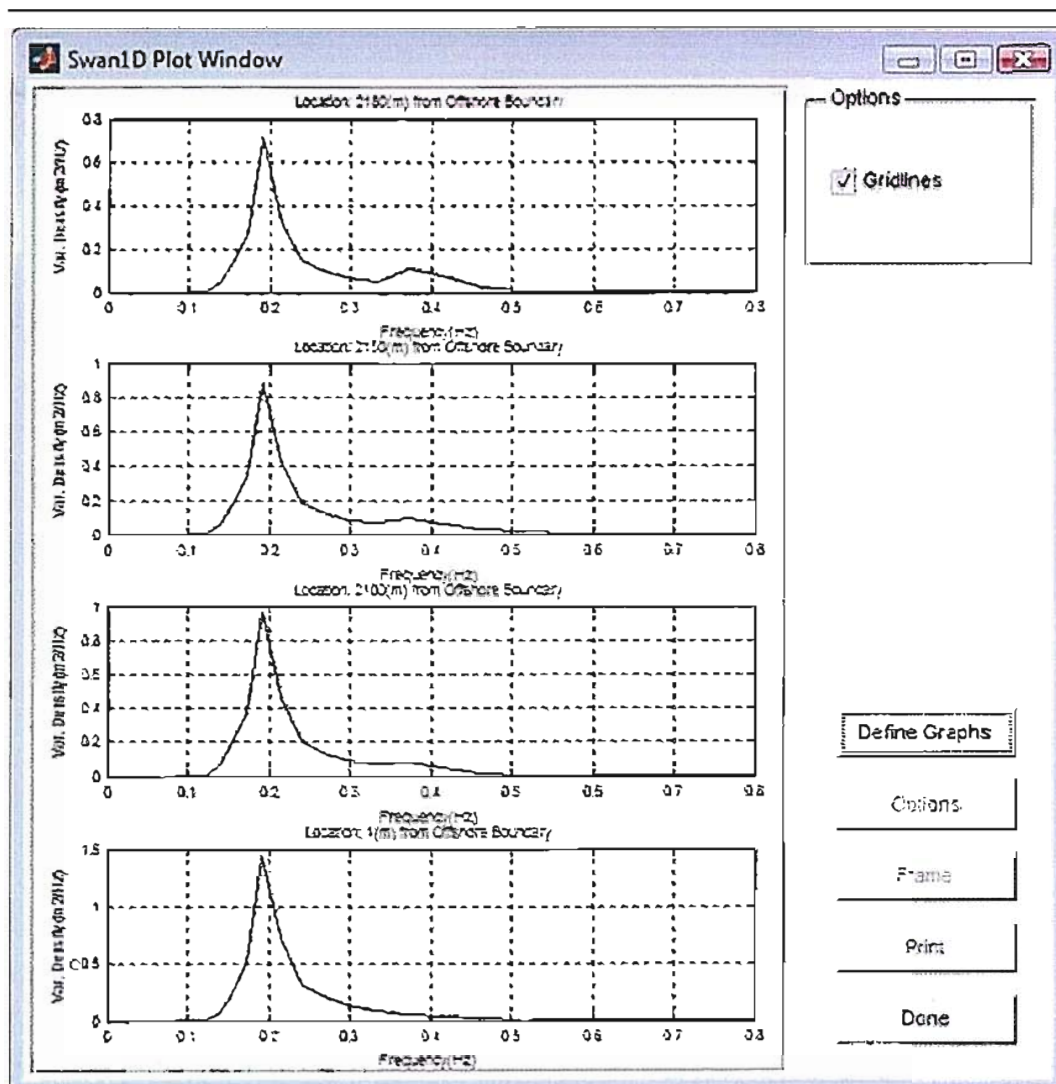


Figura 33 – Spettri di energia in alcune sezioni di calcolo

$dd = 130$ $H_{m0} = 1.29$ m $T_{m0} = 5.66$ s

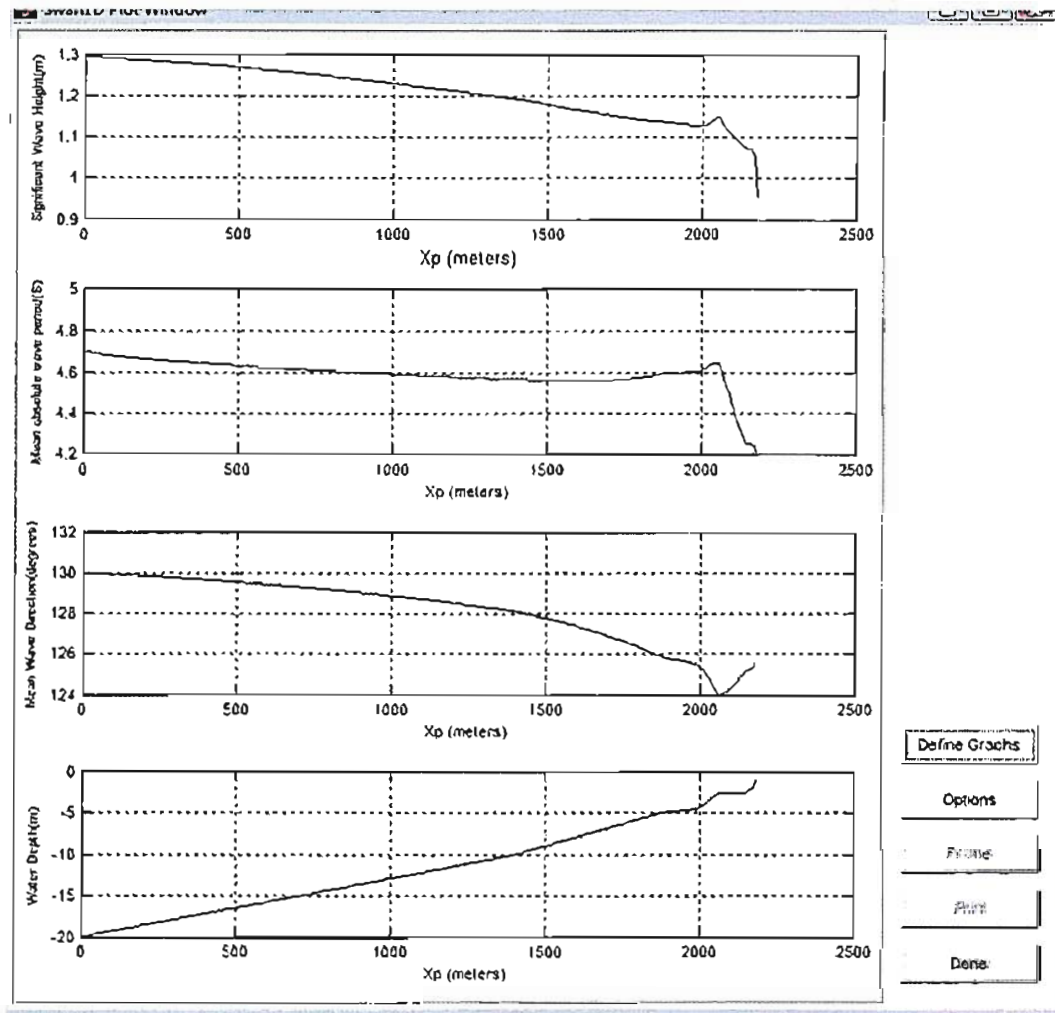


Figura 34 - Altezza d'onda significativa, periodo medio dell'onda, direzione d'onda (dd) e profondità del fondale

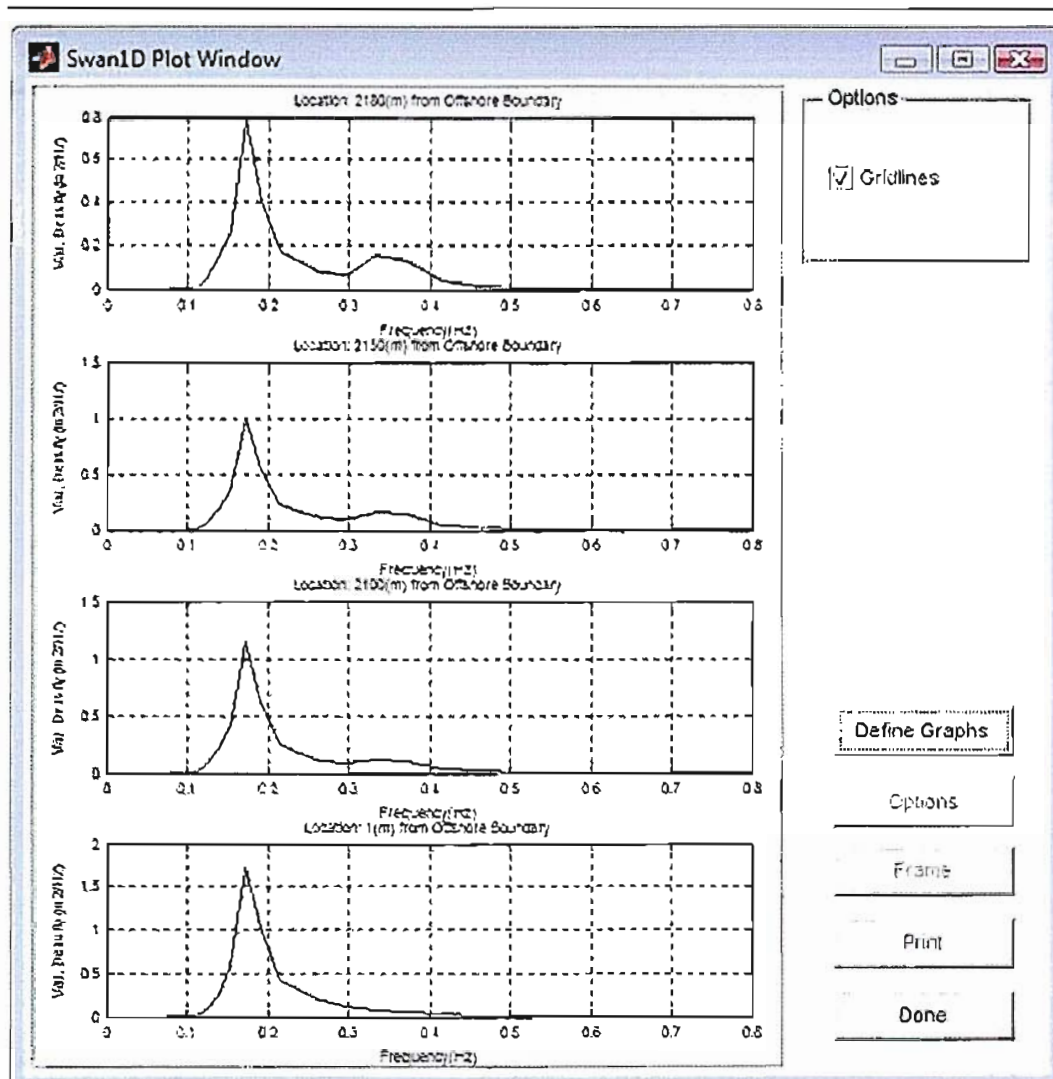


Figura 35 – Spettri di energia in alcune sezioni di calcolo

$dd = 140$ $H_{m0} = 1.33$ m $T_{m0} = 5.91$ s

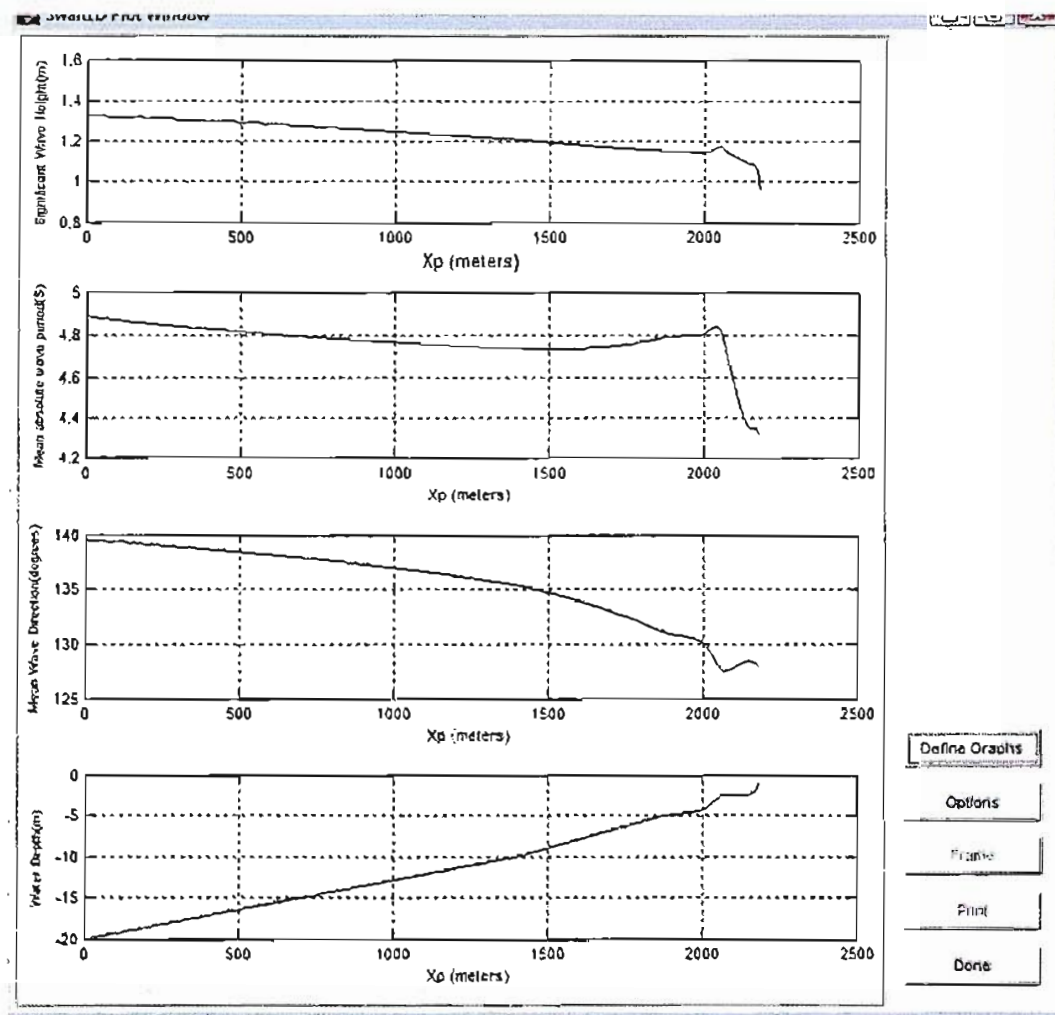


Figura 36 - Altezza d'onda significativa, periodo medio dell'onda, direzione d'onda (dd) e profondità del fondale

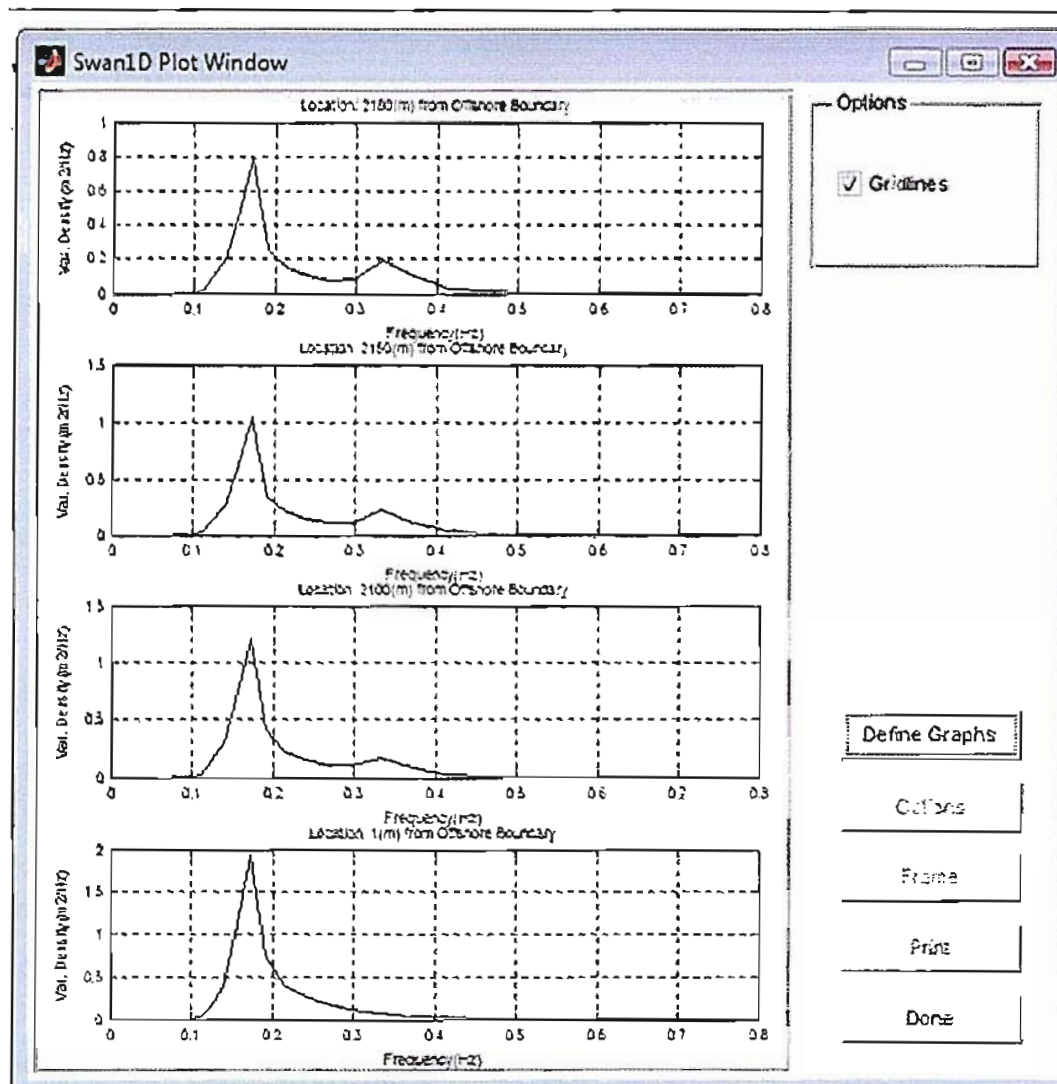


Figura 37 – Spettri di energia in alcune sezioni di calcolo

$dd=150$ $H_{m0}=1.08$ m $T_{m0}=4.34$ s

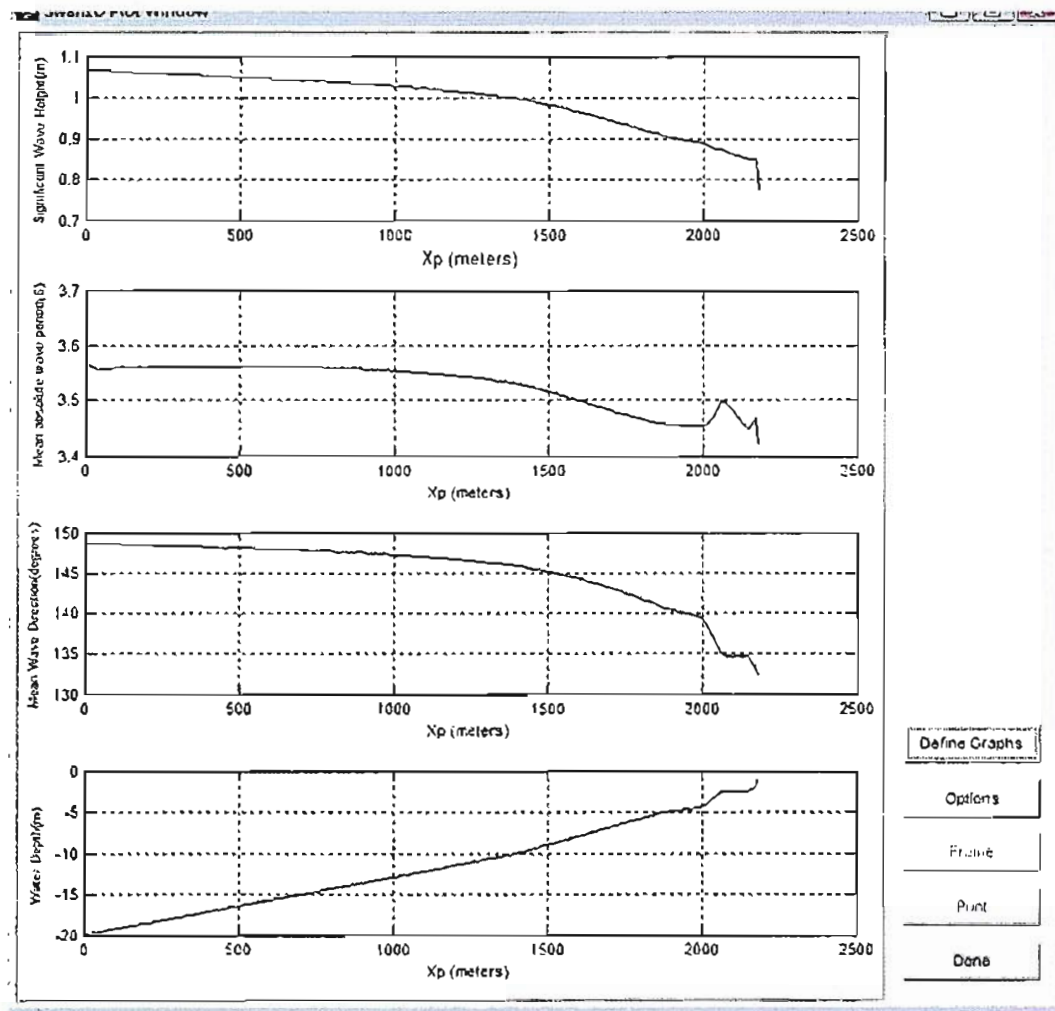


Figura 38 - Altezza d'onda significativa, periodo medio dell'onda, direzione d'onda (dd) e profondità del fondale

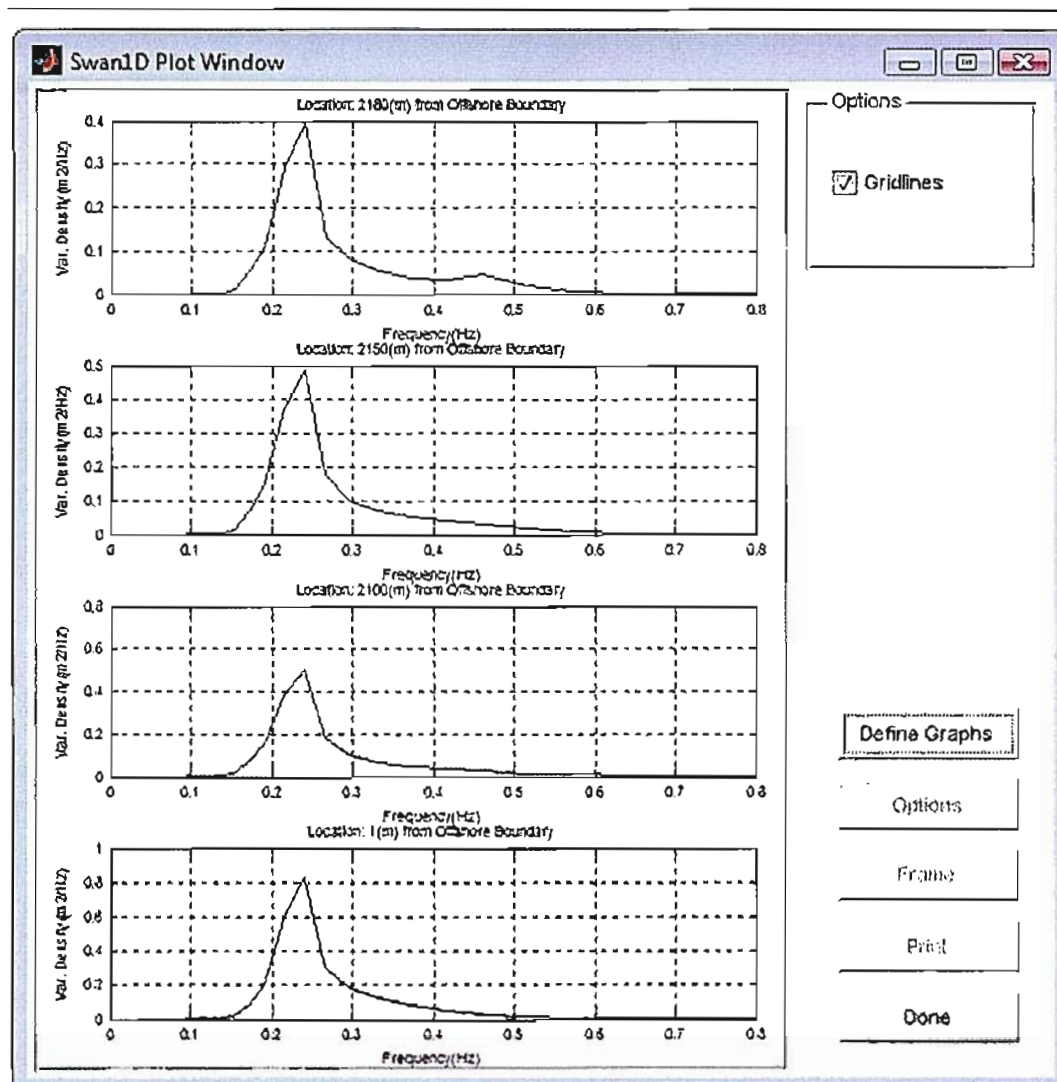


Figura 39 – Spettri di energia in alcune sezioni di calcolo

$dd=160$ $H_{m0}=0.84$ m $T_{m0}=2.97$ s

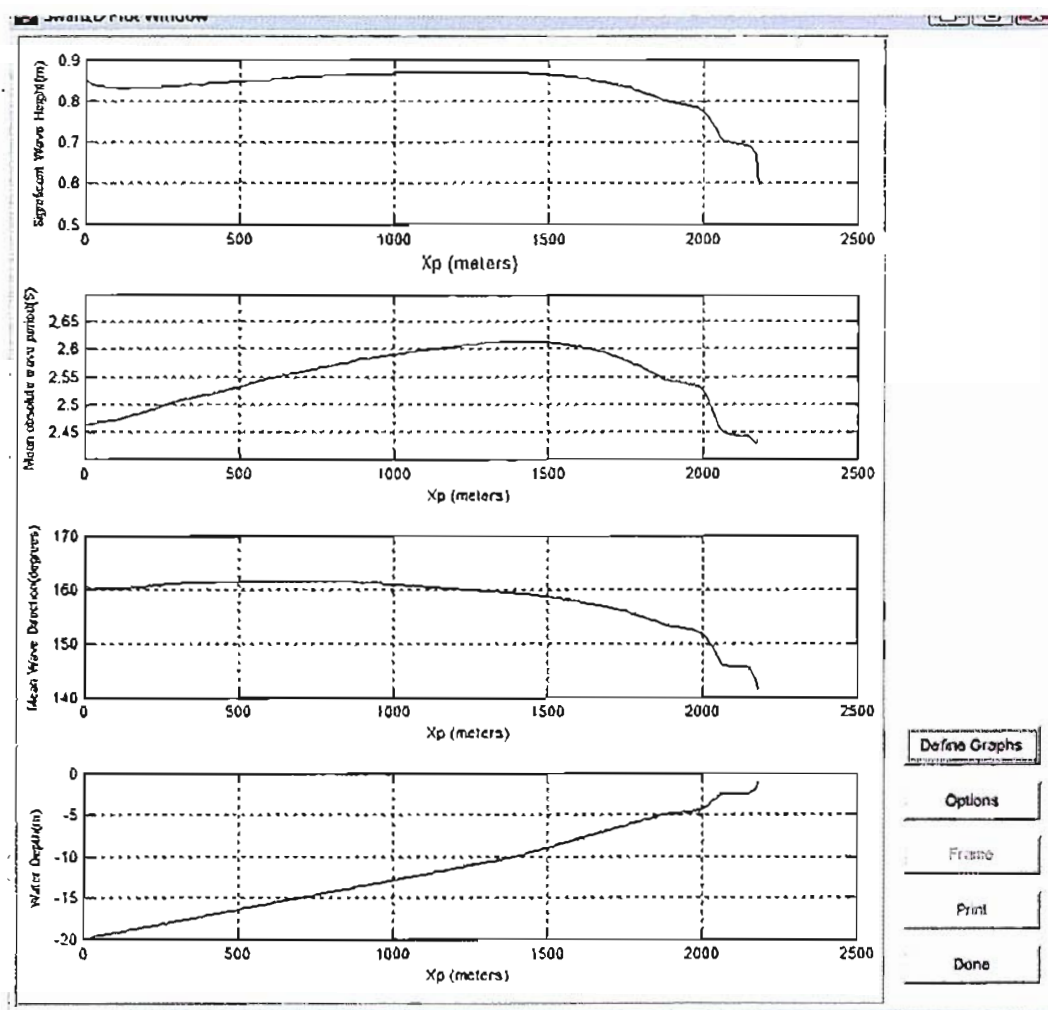


Figura 40 - Altezza d'onda significativa, periodo medio dell'onda, direzione d'onda (dd) e profondità del fondale

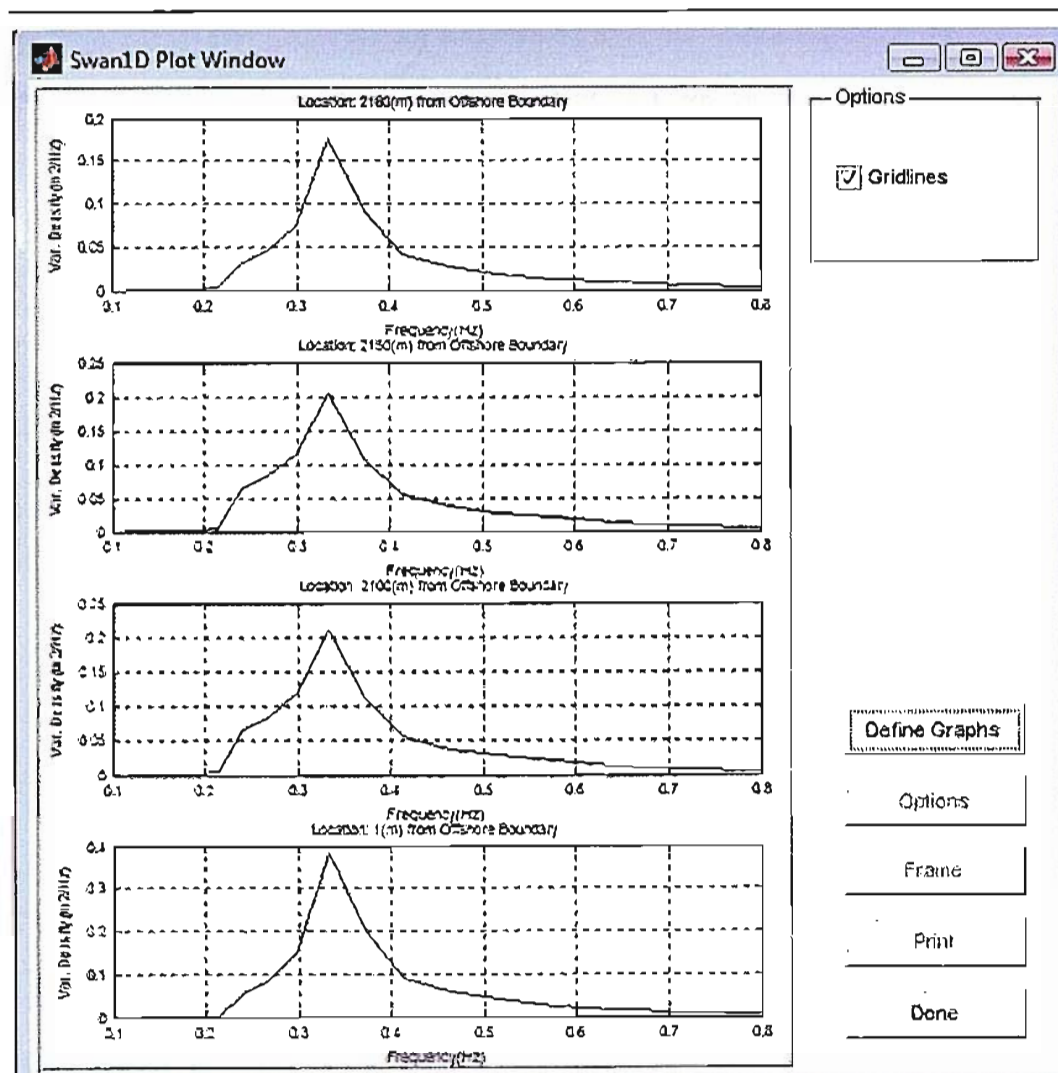


Figura 41 – Spettri di energia in alcune sezioni di calcolo

$dd = 170^\circ$ $H_{m0} = 0.71$ m $T_{m0} = 2.31$ s

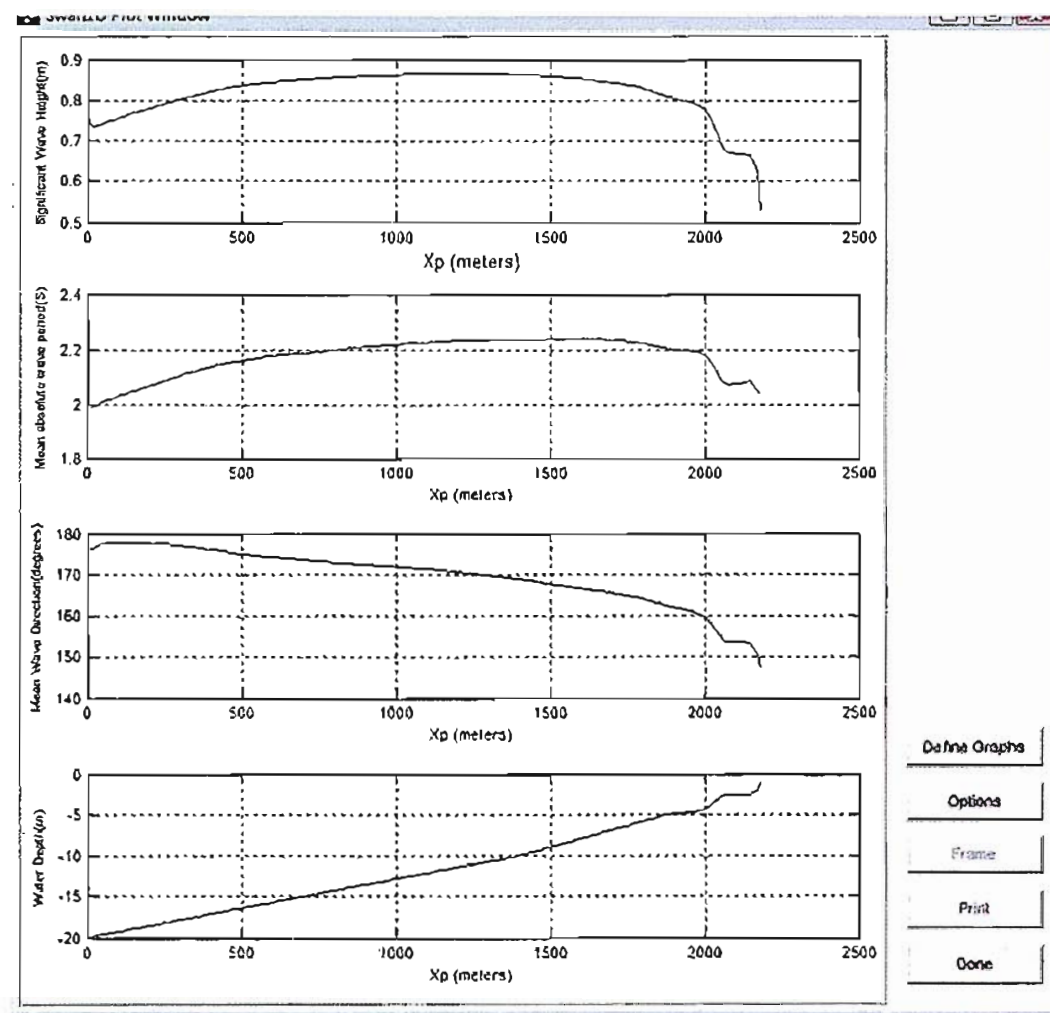


Figura 42 - Altezza d'onda significativa, periodo medio dell'onda, direzione d'onda (dd) e profondità del fondale

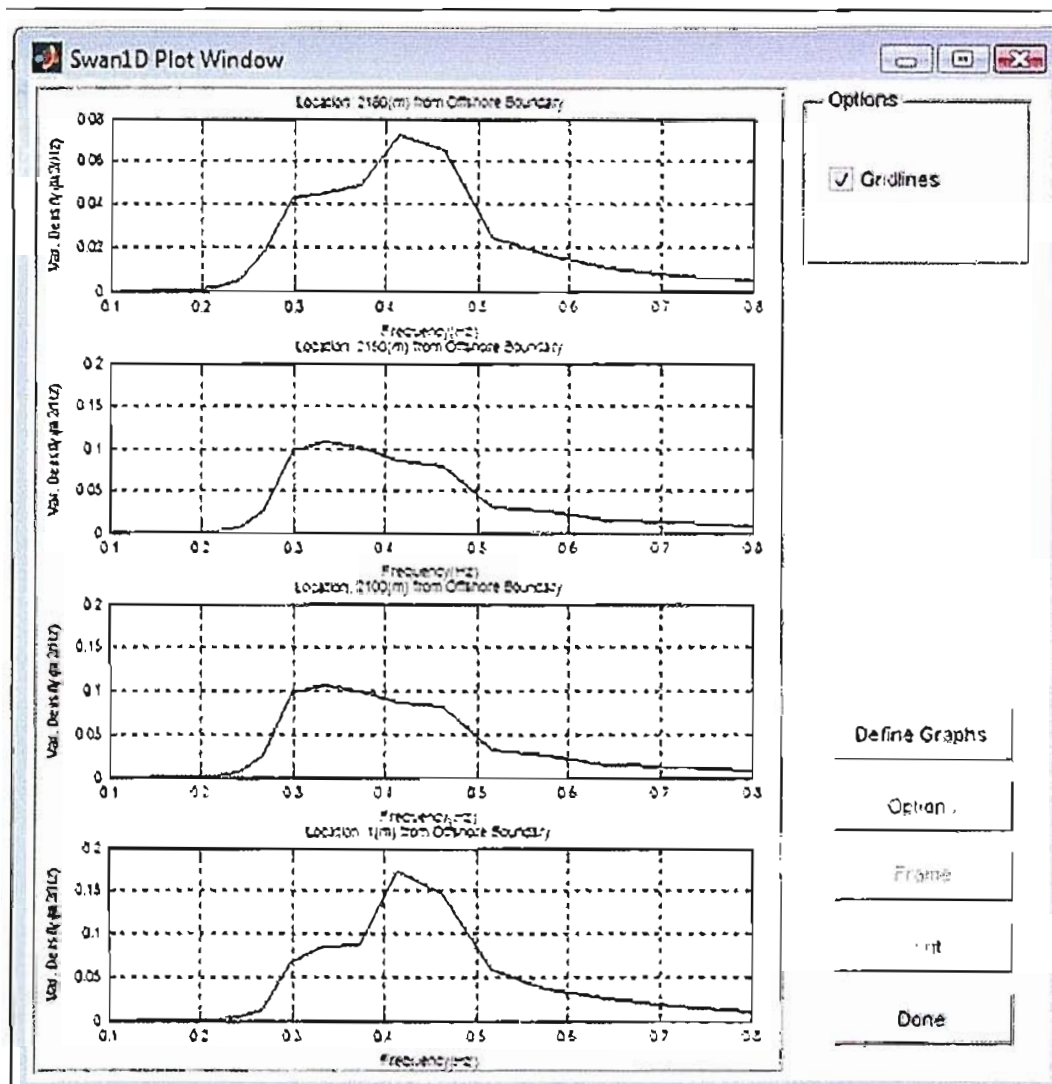


Figura 43 – Spettri di energia in alcune sezioni di calcolo

$dd=180$ $H_{m0}=0.56$ m $T_{m0}=1.64$ s

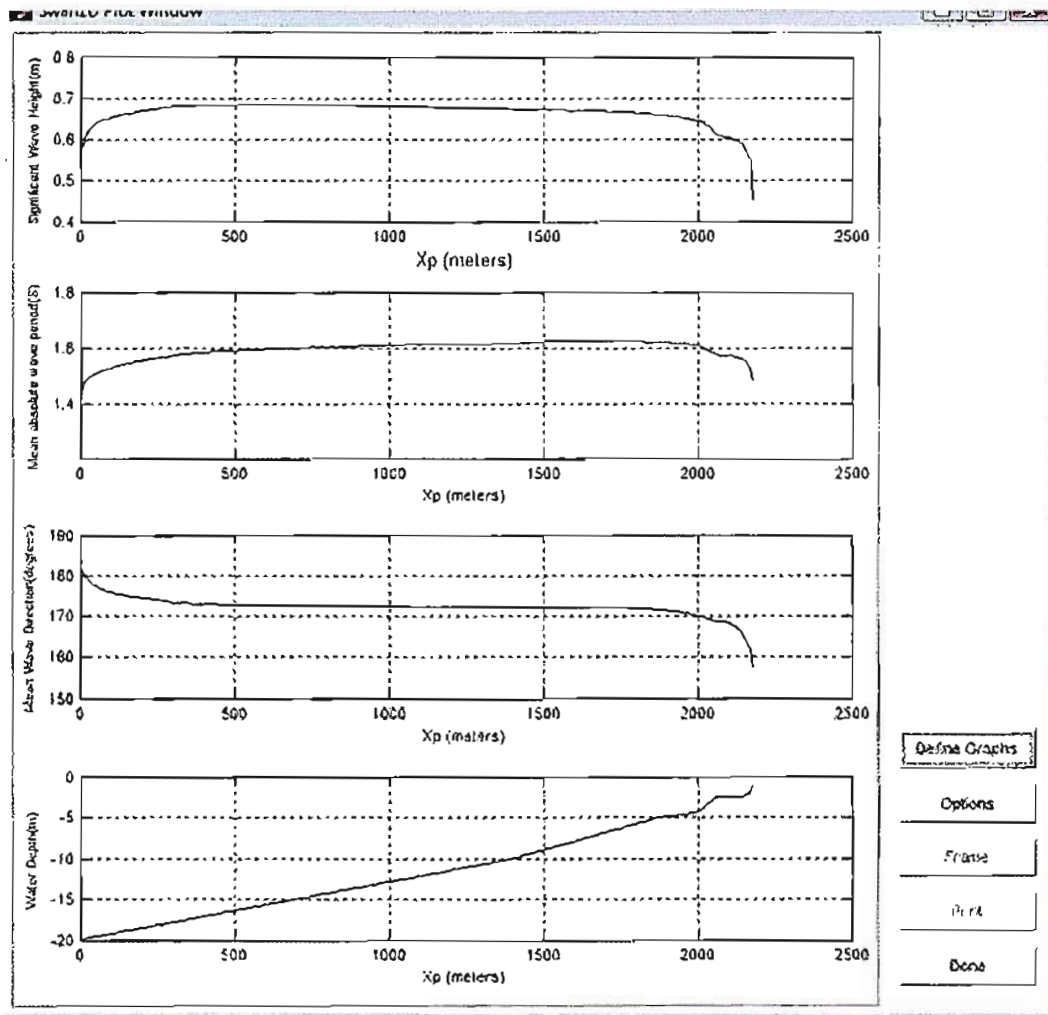


Figura 44 - Altezza d'onda significativa, periodo medio dell'onda, direzione d'onda (dd) e profondità del fondale

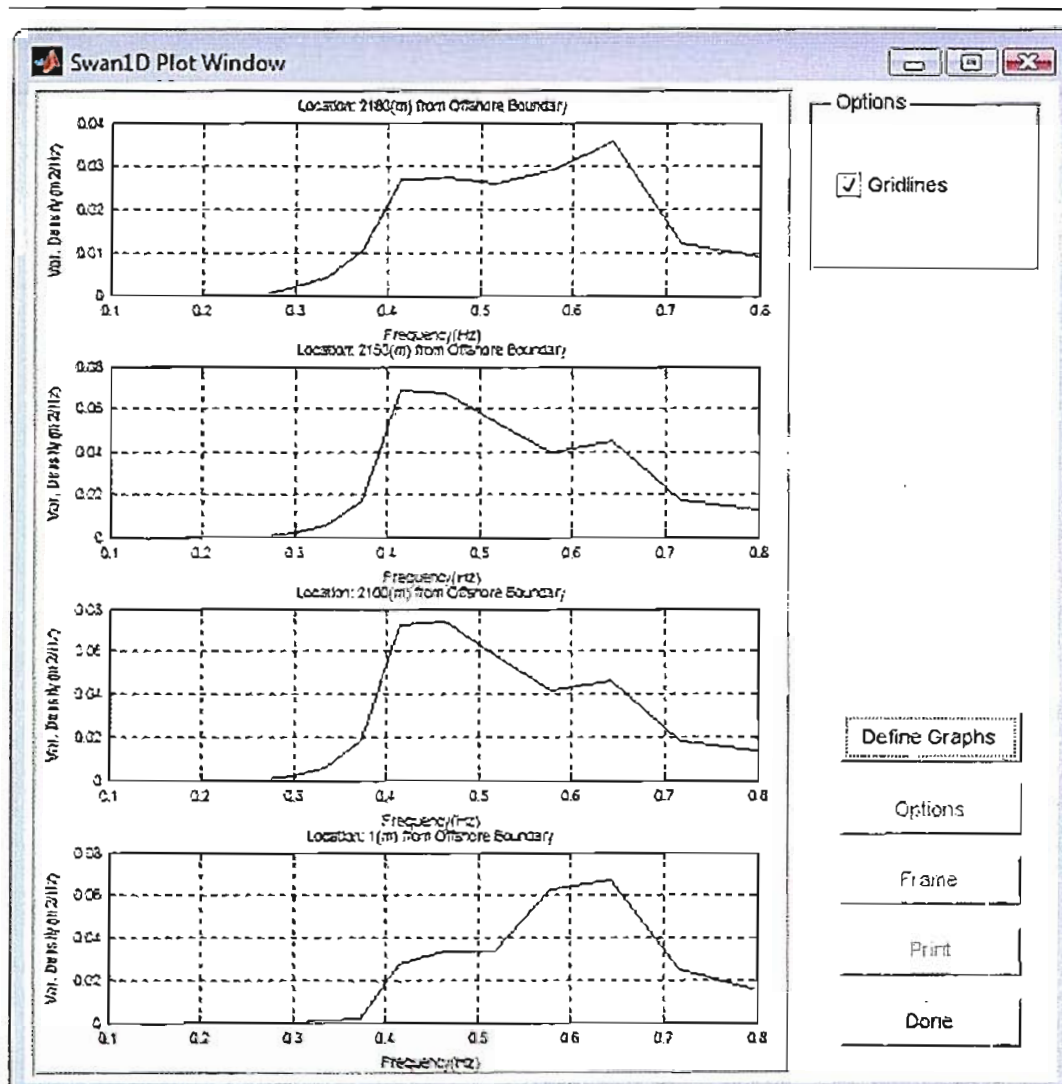


Figura 45 – Spettri di energia in alcune sezioni di calcolo

3.3 Stato di progetto barriera a 200 m dalla linea di costa con $B=5m$, $R_c=-1m$ e $h_c=-4m$

Punti di calcolo

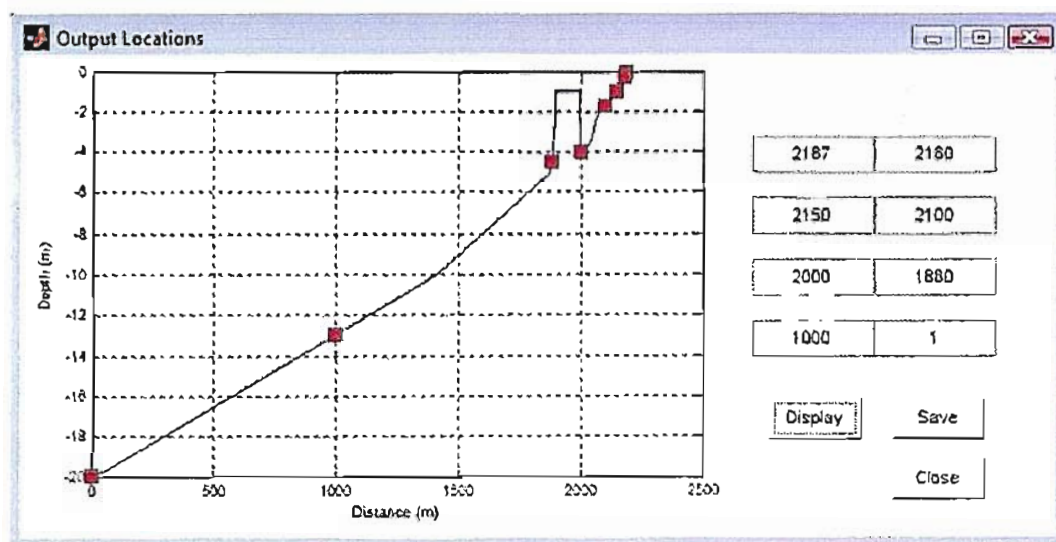


Figura 46 – Punti di calcolo delle grandezze diagrammate

$dd = 90^\circ$ $H_{m0} = 0.68\text{m}$ $T_{m0} = 2.17\text{ s}$

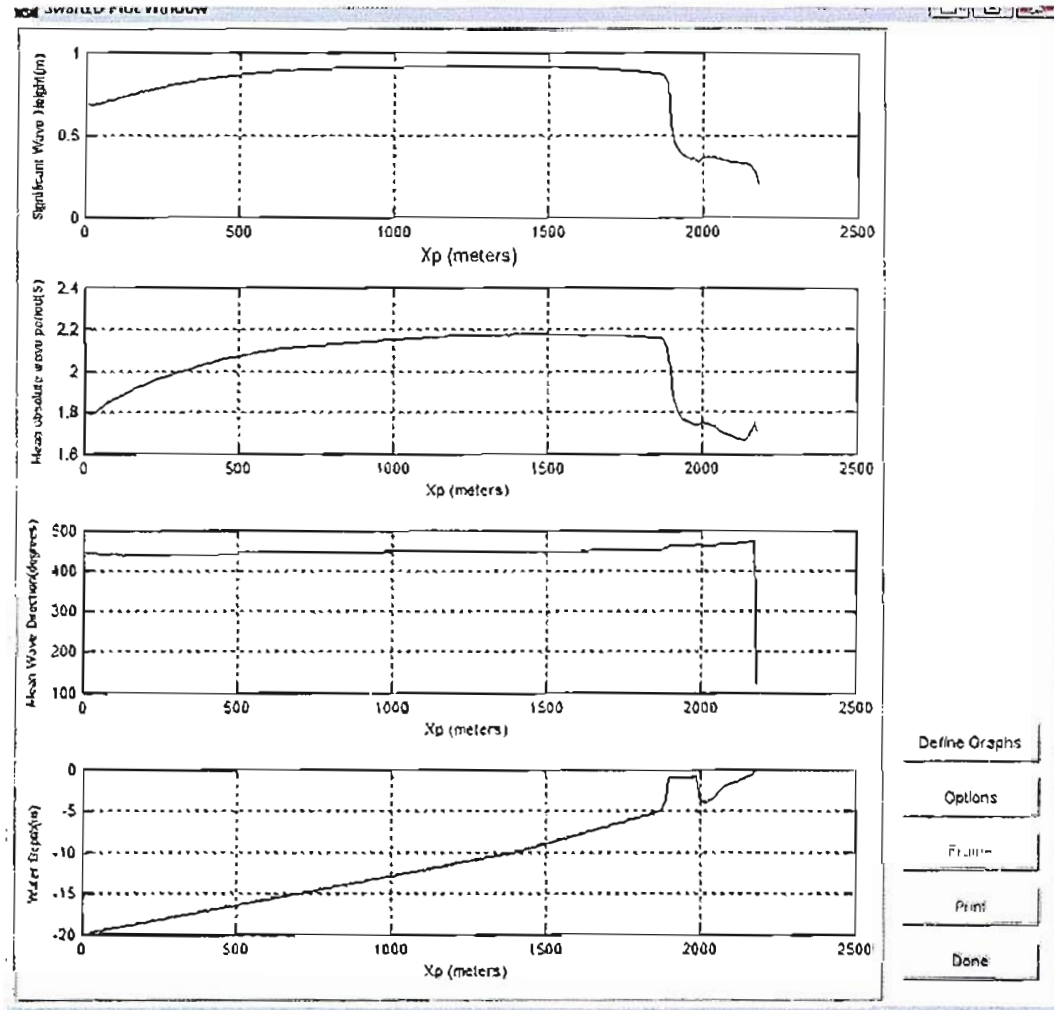


Figura 47 - Altezza d'onda significativa, periodo medio dell'onda, direzione d'onda (dd) e profondità del fondale

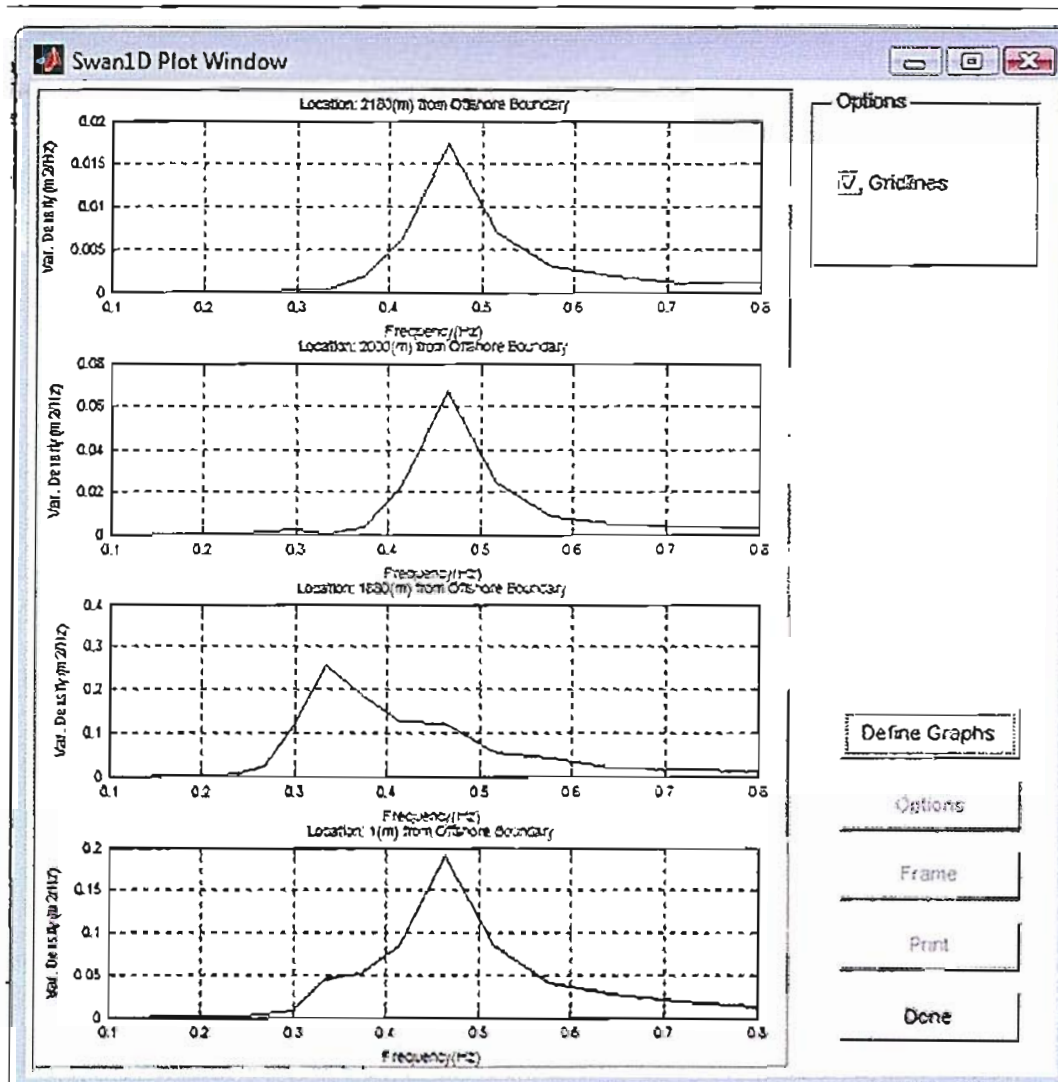


Figura 48 – Spettri di energia in alcune sezioni di calcolo

$dd = 100$ $H_{m0} = 0.98$ m $T_{m0} = 3.75$ s

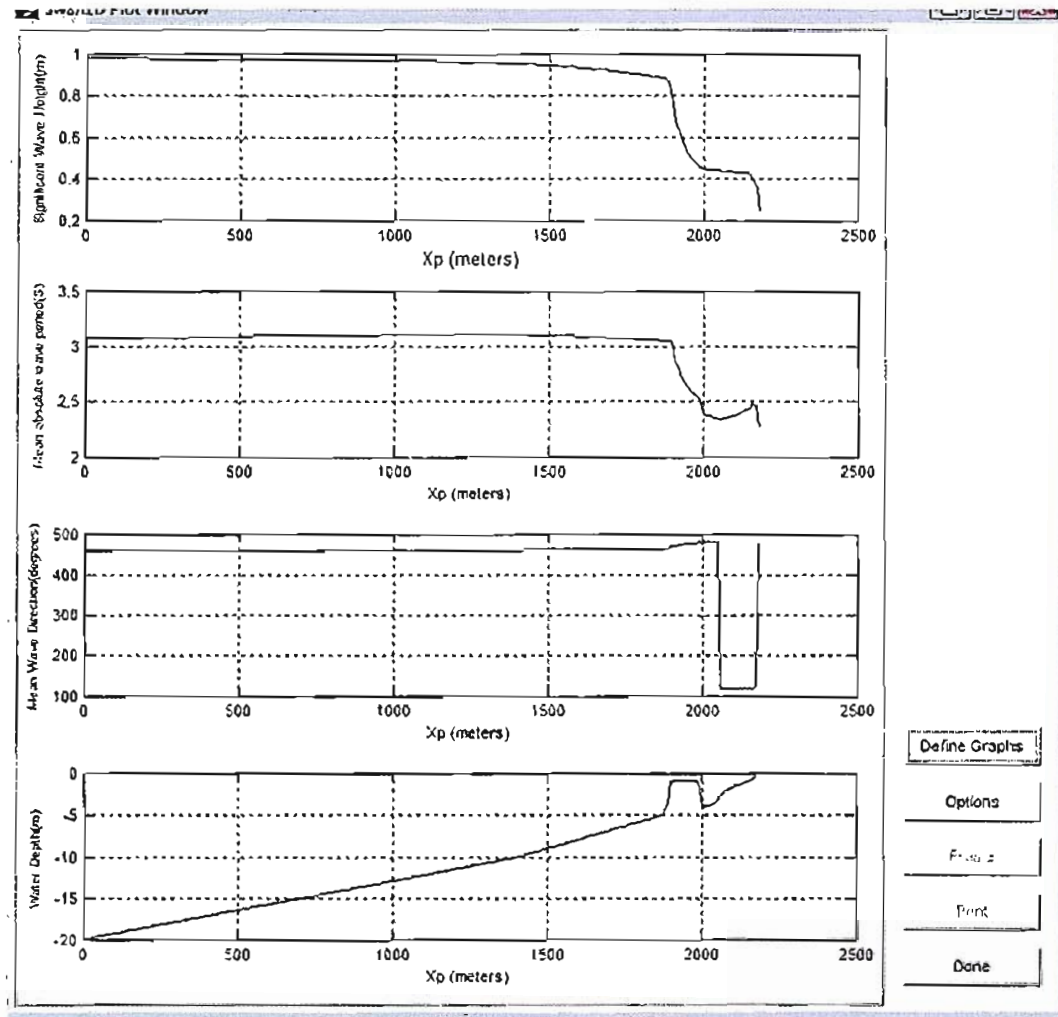


Figura 49 - Altezza d'onda significativa, periodo medio dell'onda, direzione d'onda (dd) e profondità del fondale

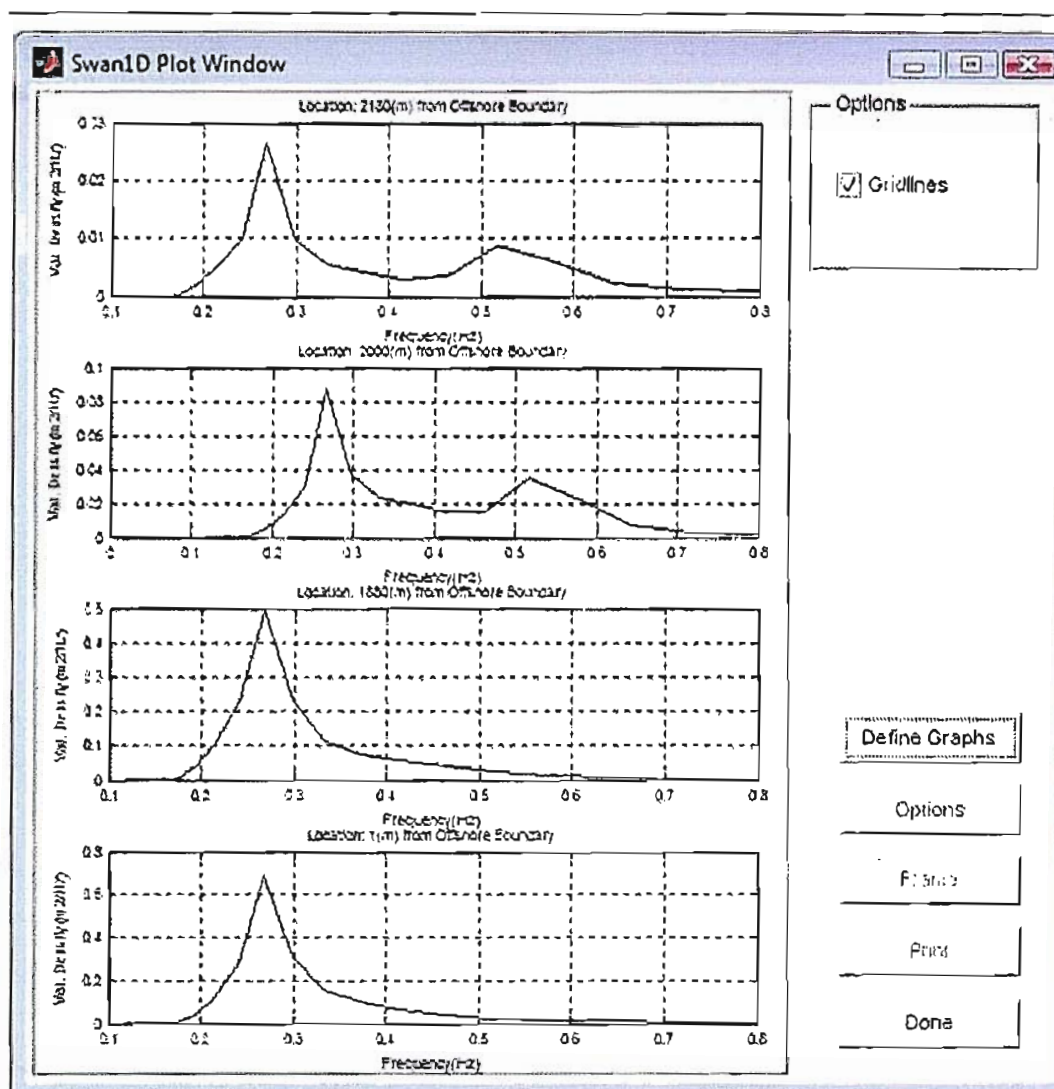


Figura 50 – Spettri di energia in alcune sezioni di calcolo

$$dd = 110 \text{ } H_{m0} = 1.02 \text{ m } T_{m0} = 3.99 \text{ s}$$

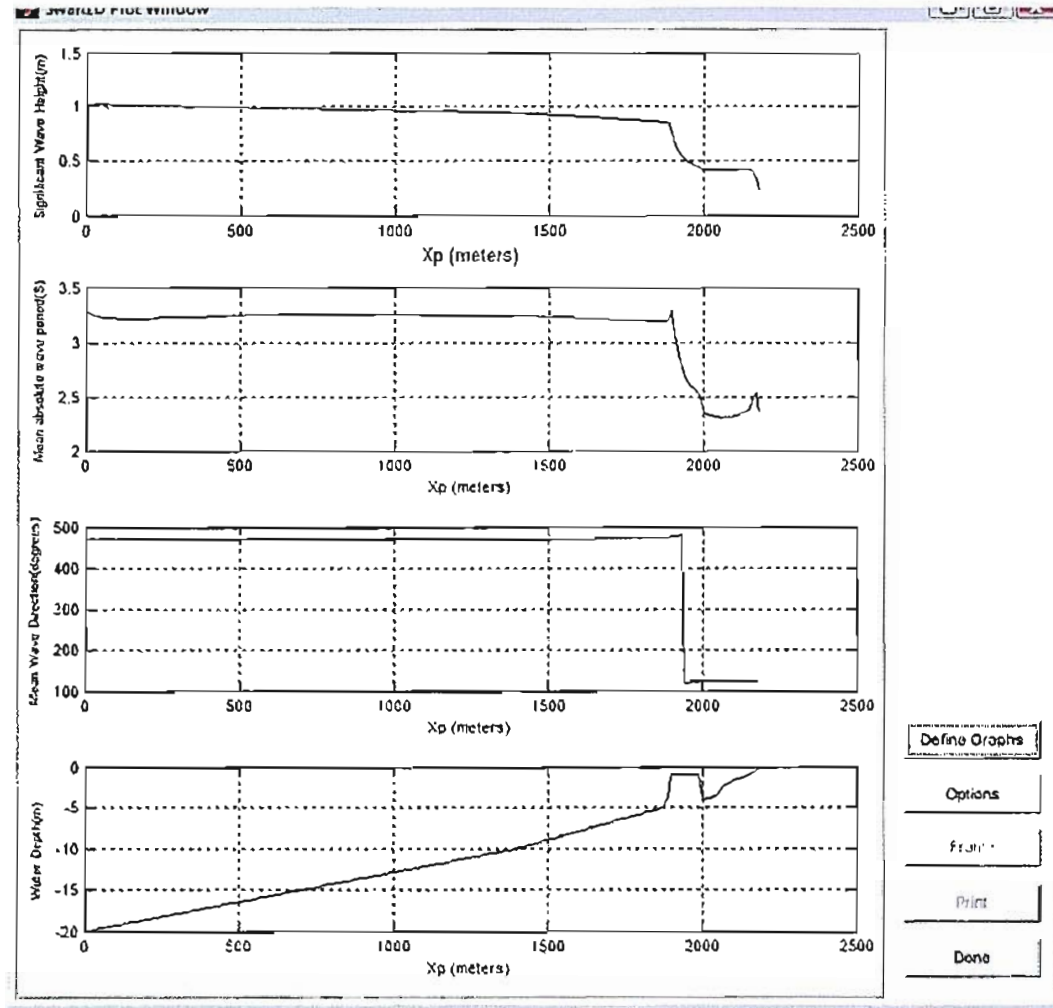


Figura 51 - Altezza d'onda significativa, periodo medio dell'onda, direzione d'onda (dd) e profondità del fondale

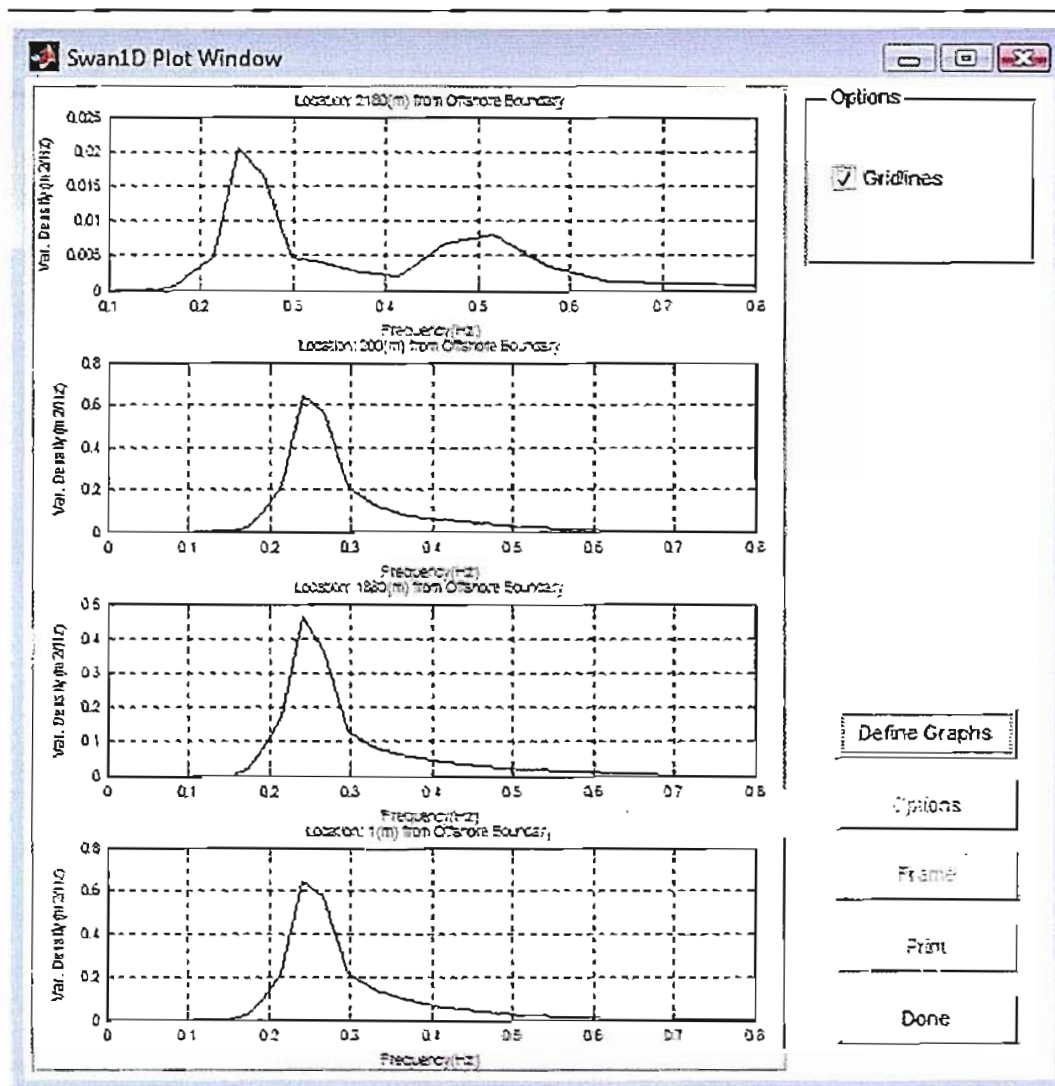


Figura 52 – Spettri di energia in alcune sezioni di calcolo

$dd = 120$ $H_{m0} = 1.02$ m $T_{m0} = 5.14$ s

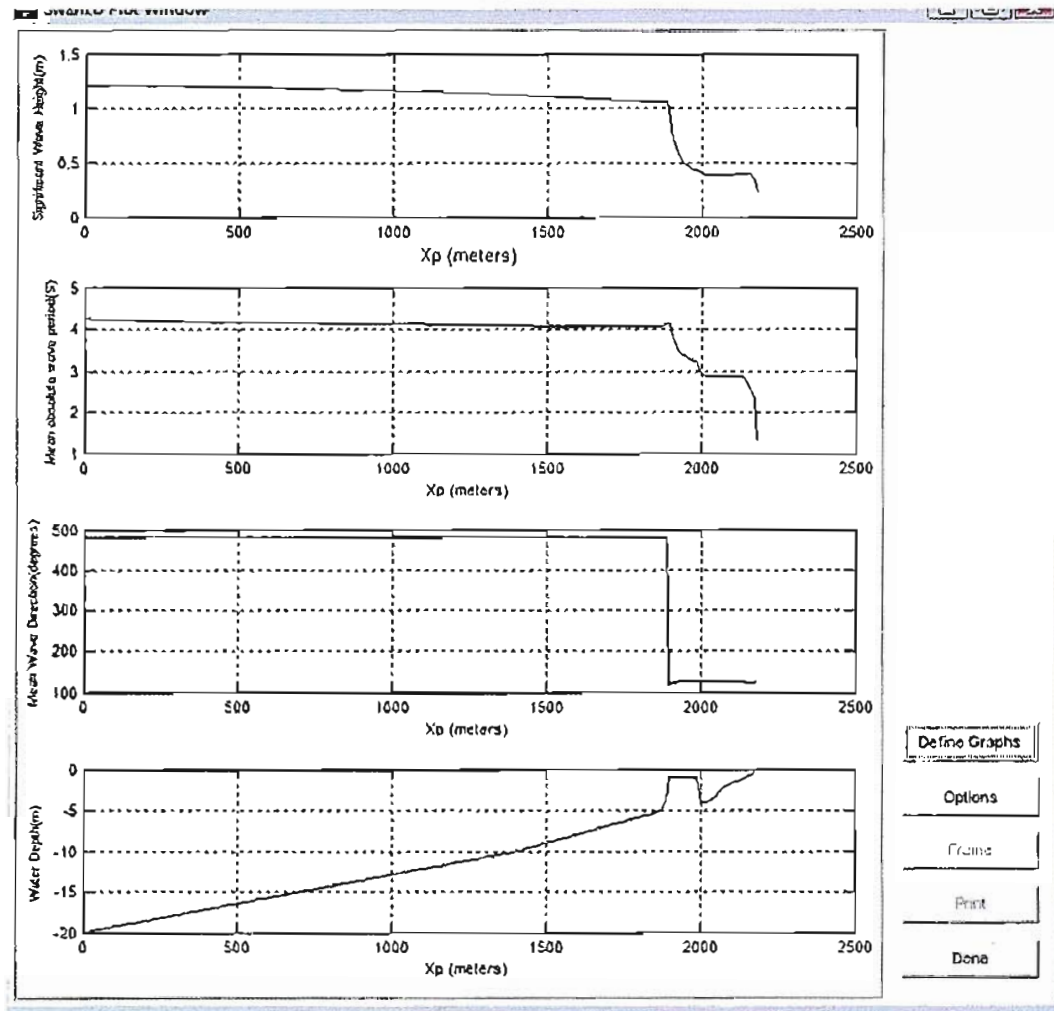


Figura 53 - Altezza d'onda significativa, periodo medio dell'onda, direzione d'onda (dd) e profondità del fondale

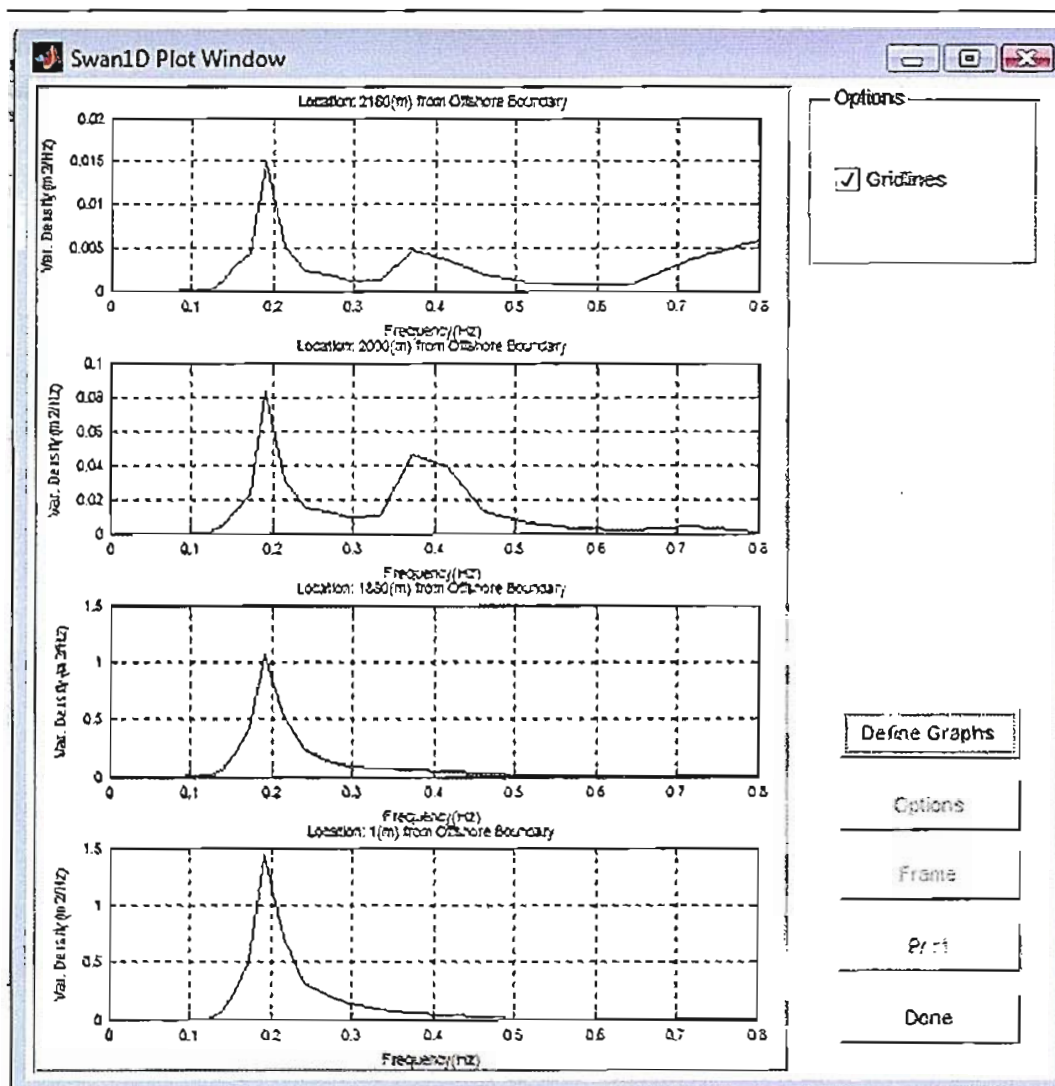


Figura 54 – Spettri di energia in alcune sezioni di calcolo

$dd = 130$ $H_{m0} = 1.29$ m $T_{m0} = 5.66$ s

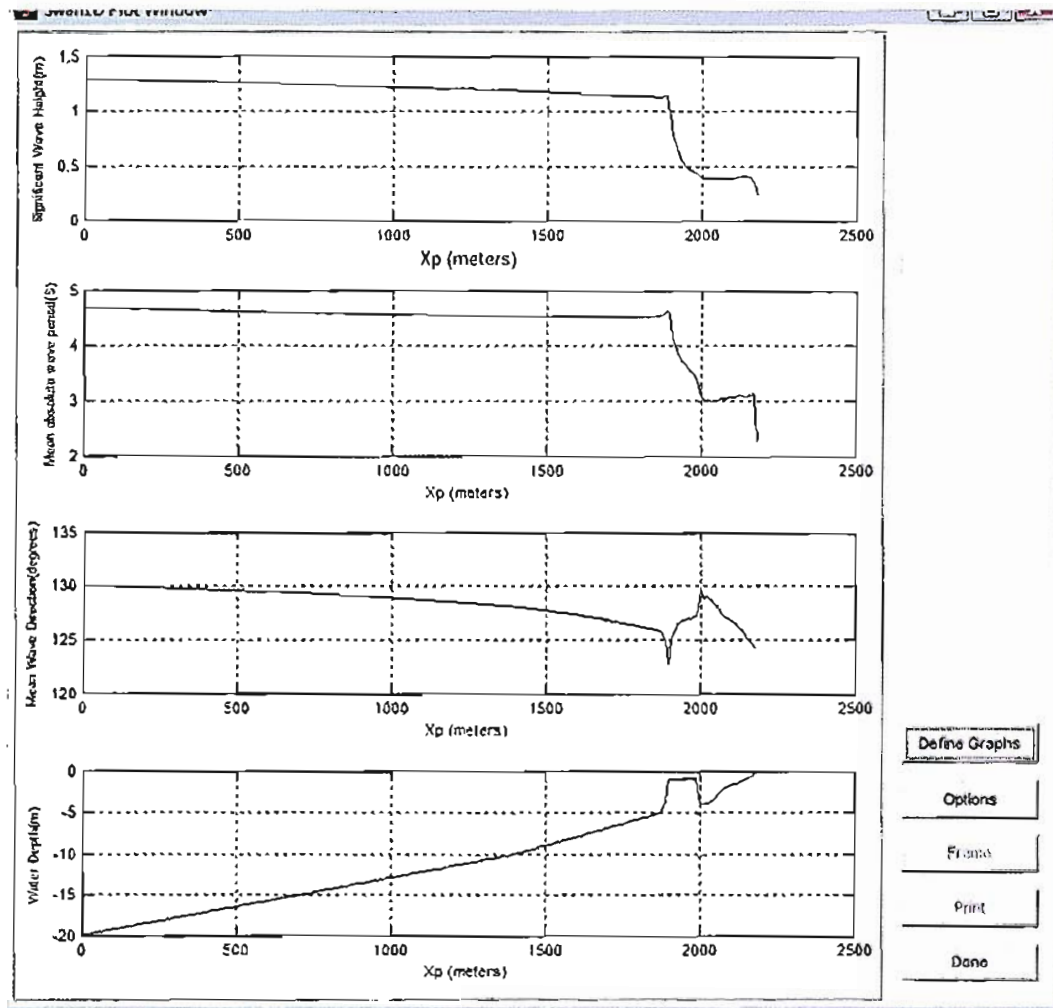


Figura 55 - Altezza d'onda significativa, periodo medio dell'onda, direzione d'onda (dd) e profondità del fondale

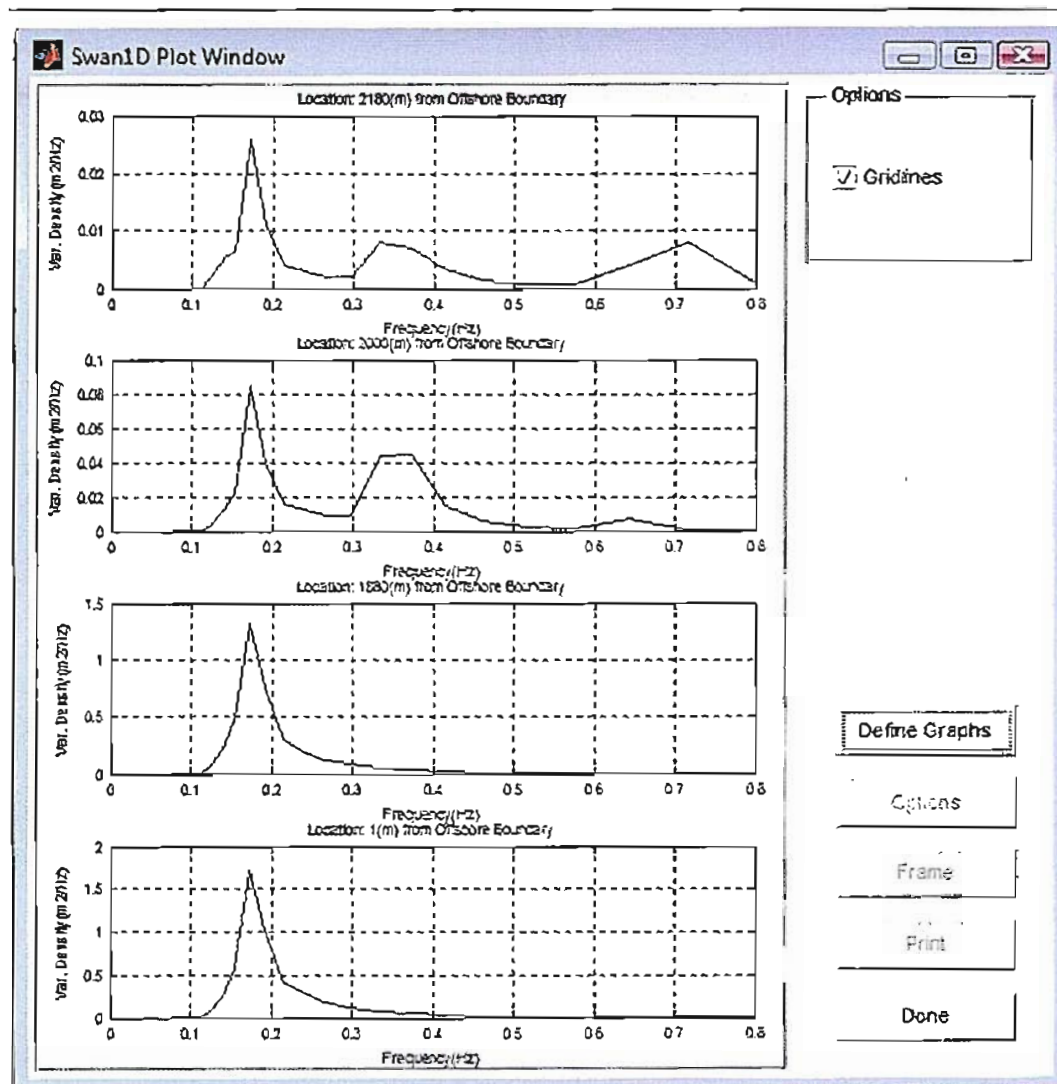


Figura S6 – Spettri di energia in alcune sezioni di calcolo

$dd = 140$ $H_{m0} = 1.33$ m $T_{m0} = 5.91$ s

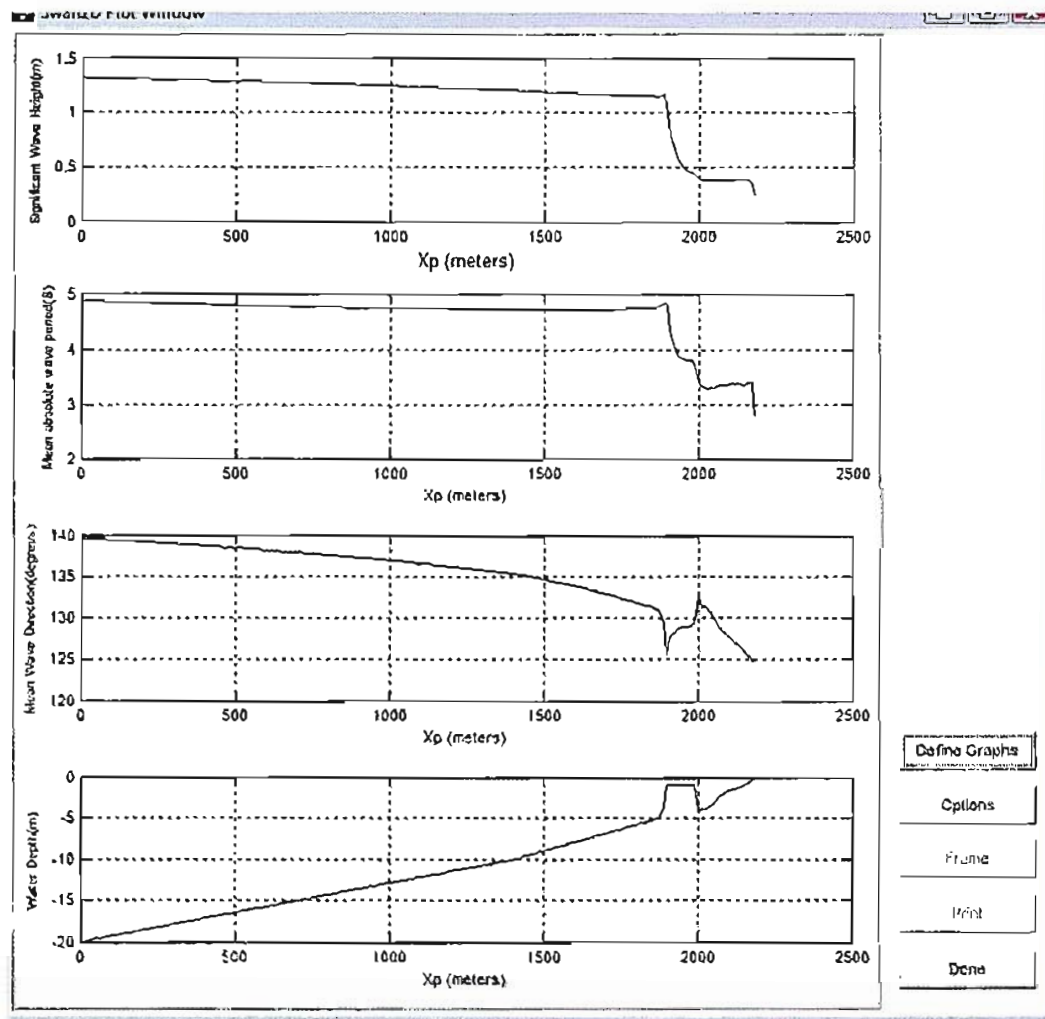


Figura 57 - Altezza d'onda significativa, periodo medio dell'onda, direzione d'onda (dd) e profondità del fondale

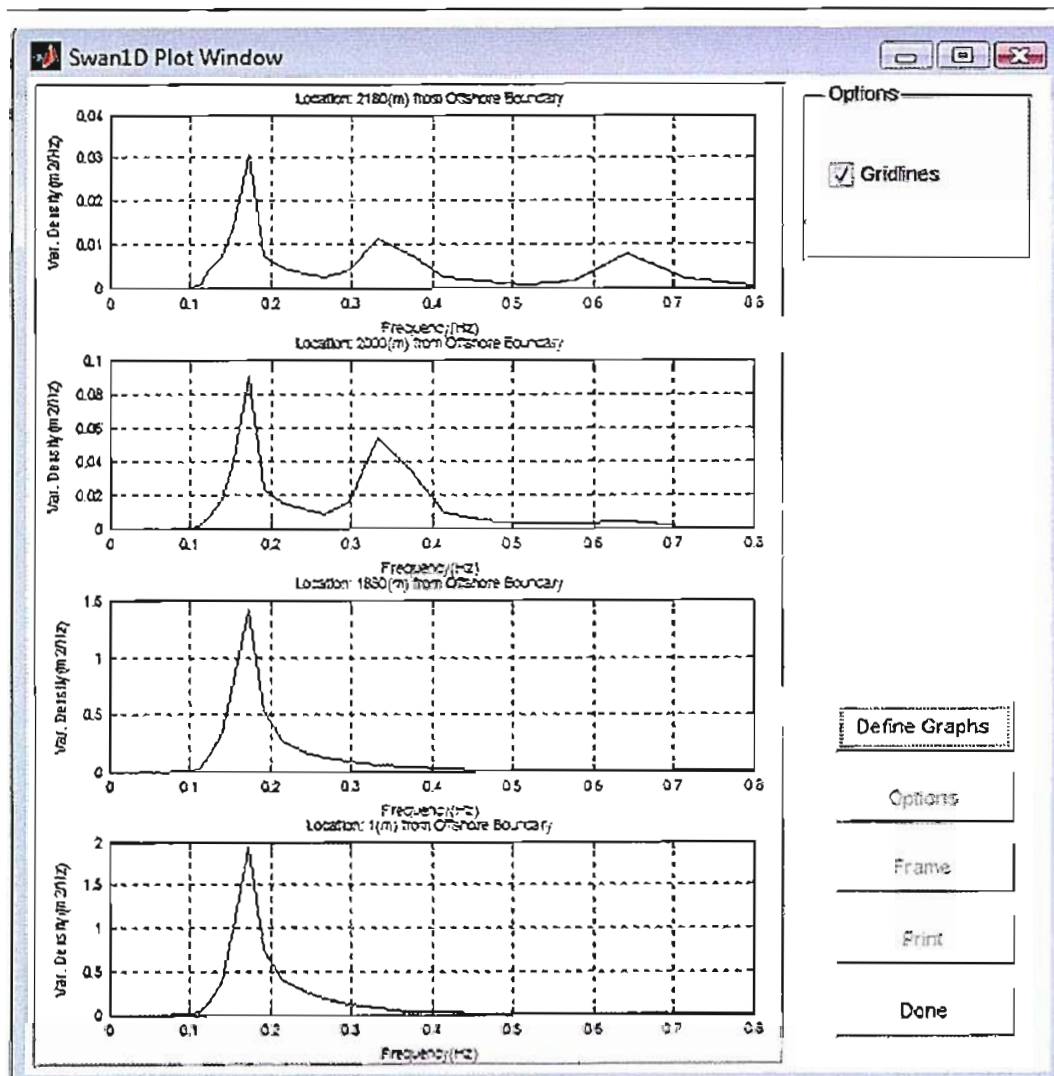


Figura 58 – Spettri di energia in alcune sezioni di calcolo

$dd=150$ $H_{m0}=1.08$ m $T_{m0}=4.34$ s

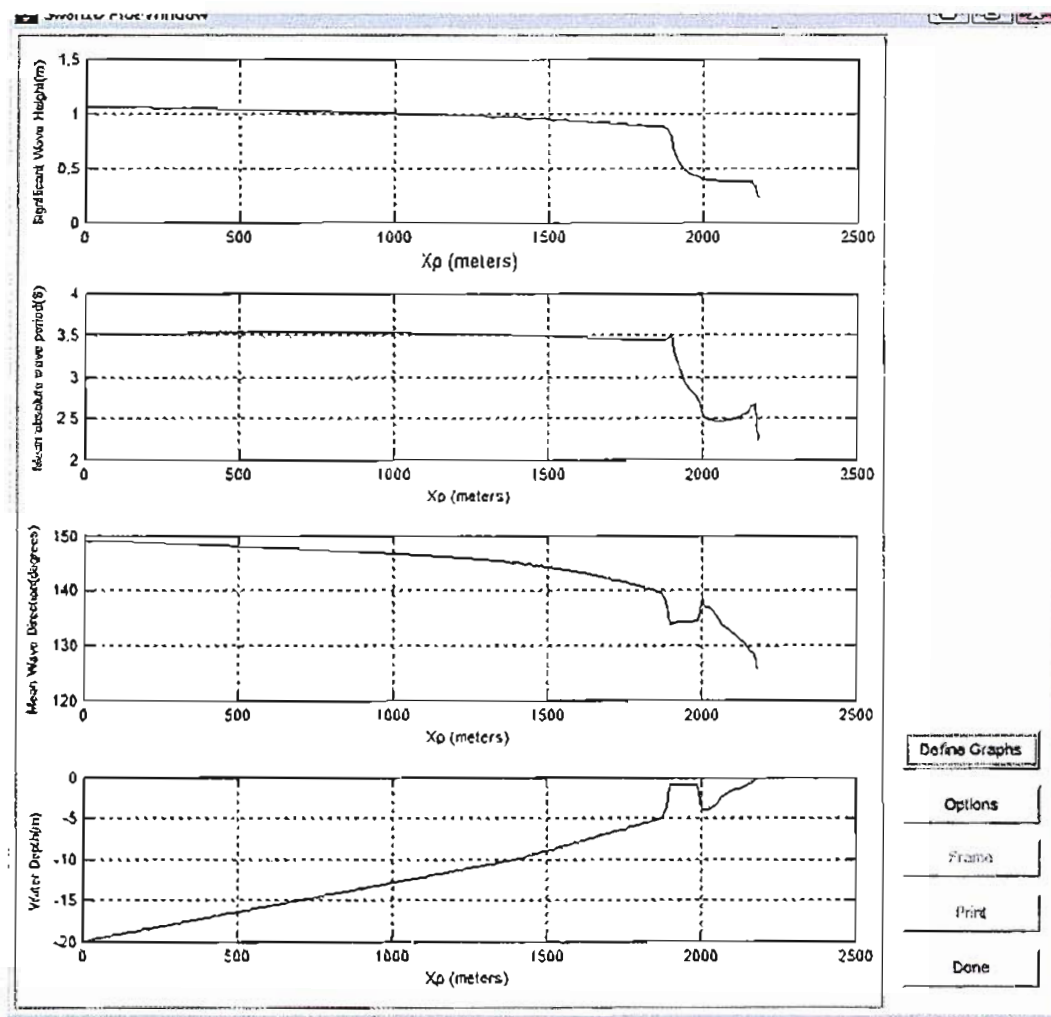


Figura 59 - Altezza d'onda significativa, periodo medio dell'onda, direzione d'onda (dd) e profondità del fondale

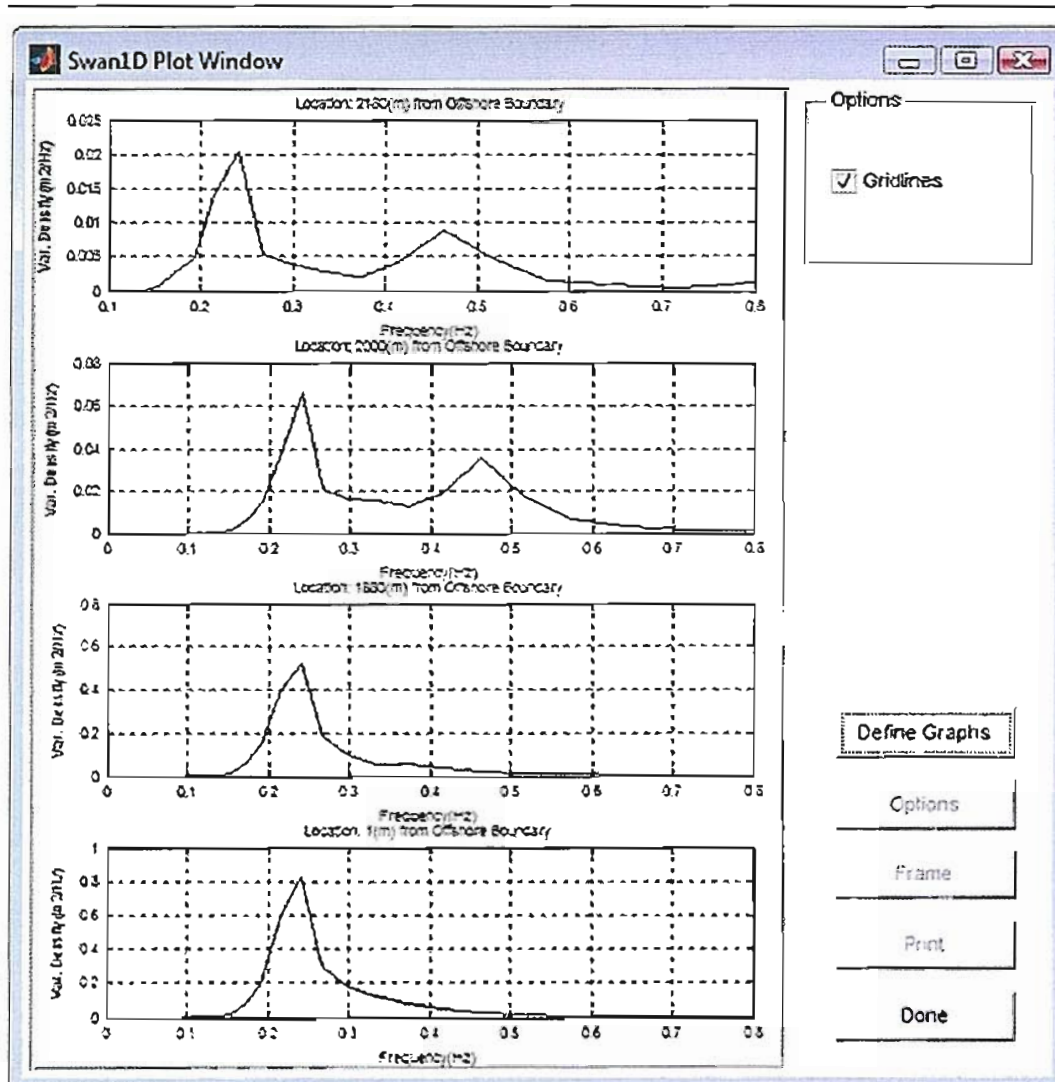


Figura 60 – Spettri di energia in alcune sezioni di calcolo

$dd=160$ $H_{m0}=0.84$ m $T_{m0}=2.97$ s

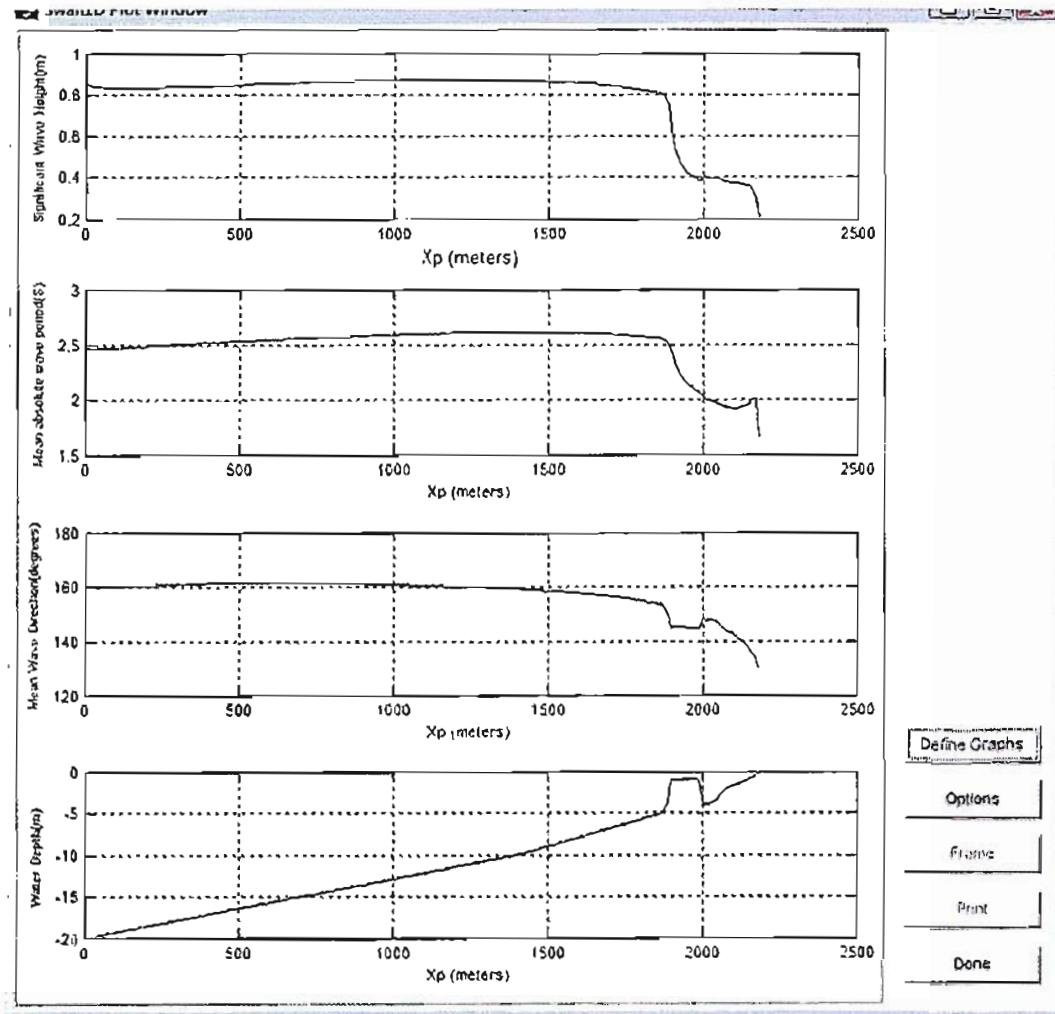


Figura 61 - Altezza d'onda significativa, periodo medio dell'onda, direzione d'onda (dd) e profondità del fondale

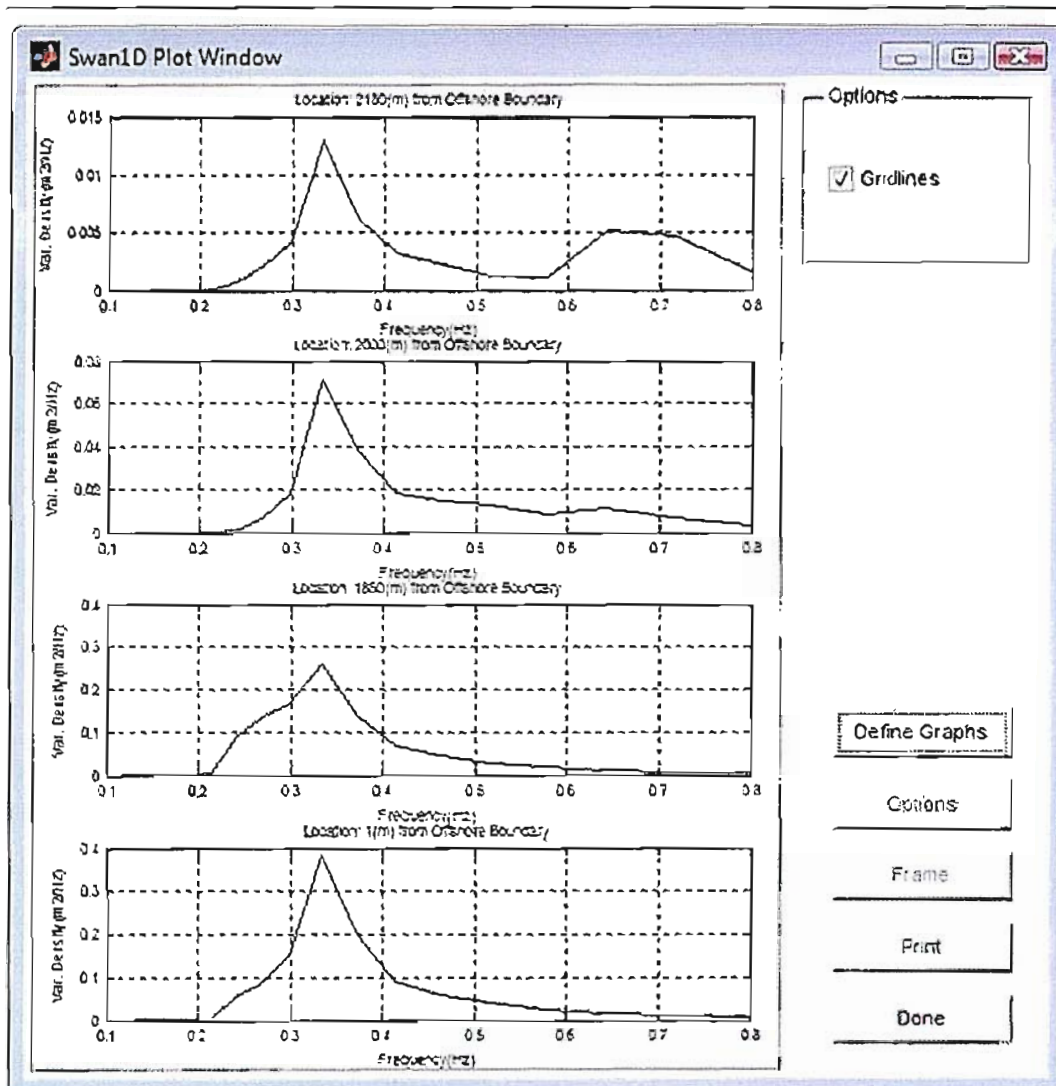


Figura 62 – Spettri di energia in alcune sezioni di calcolo

$$dd = 170^\circ \quad H_{m0} = 0.71 \text{ m} \quad T_{m0} = 2.31 \text{ s}$$

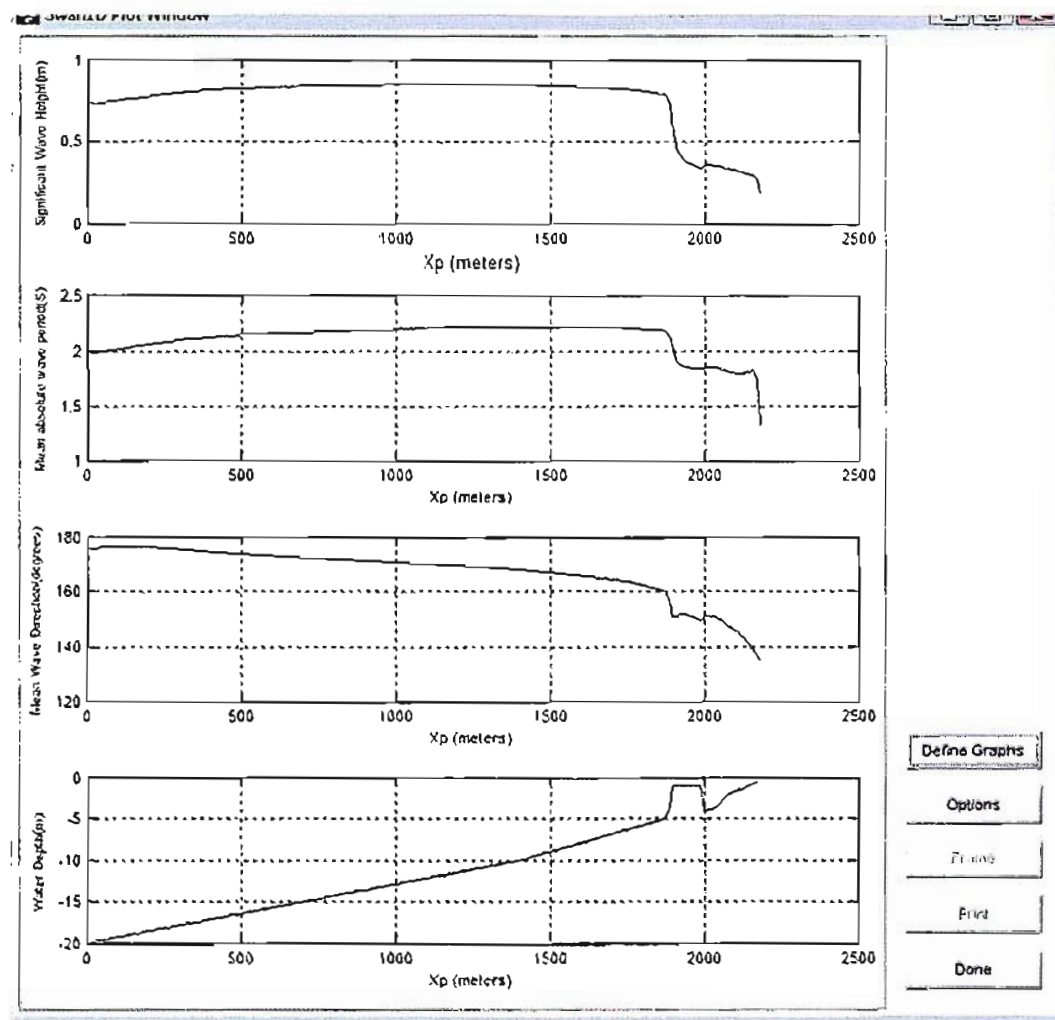


Figura 63 - Altezza d'onda significativa, periodo medio dell'onda, direzione d'onda (dd) e profondità del fondale

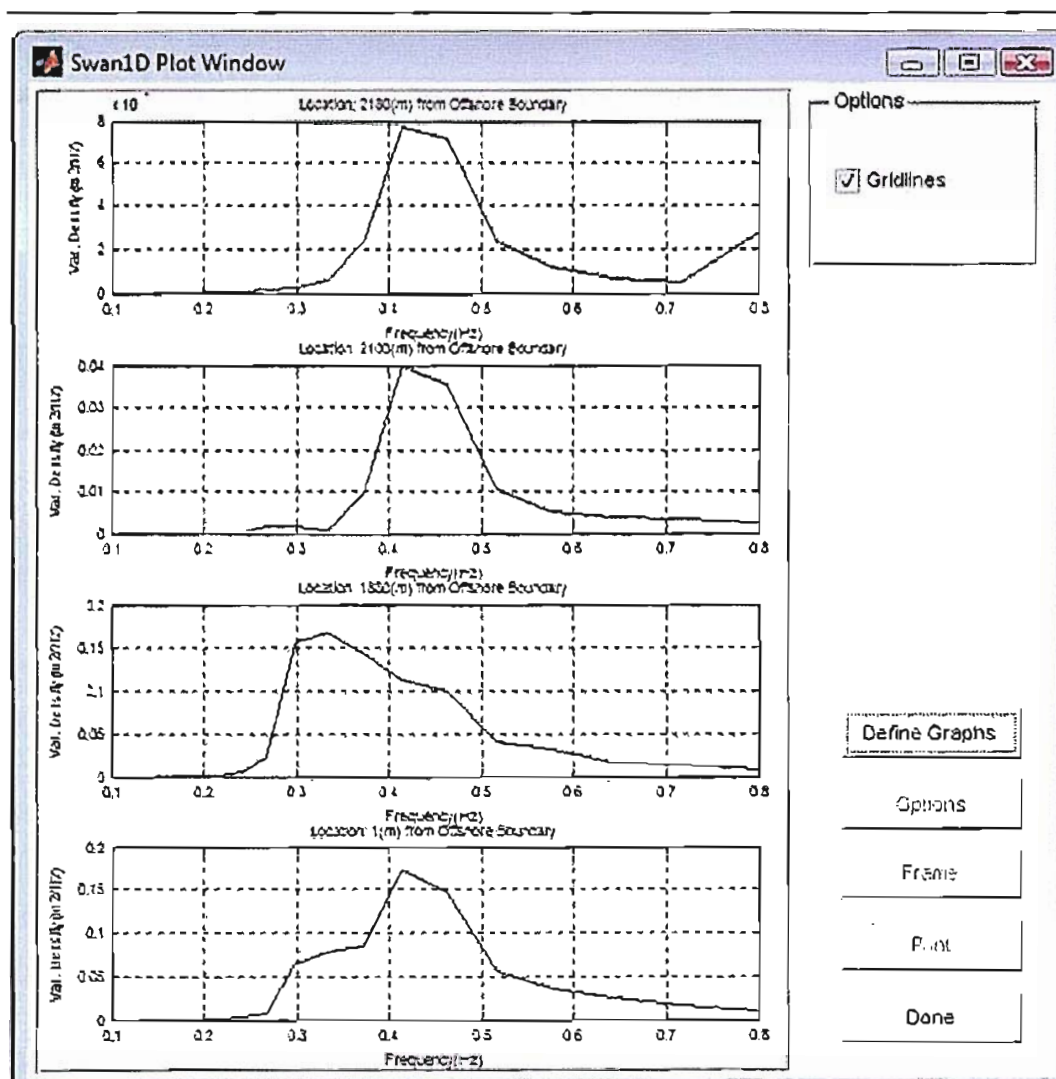


Figura 64 – Spettri di energia in alcune sezioni di calcolo

$dd=180$ $H_{m0}=0.56$ m $T_{m0}=1.64$ s

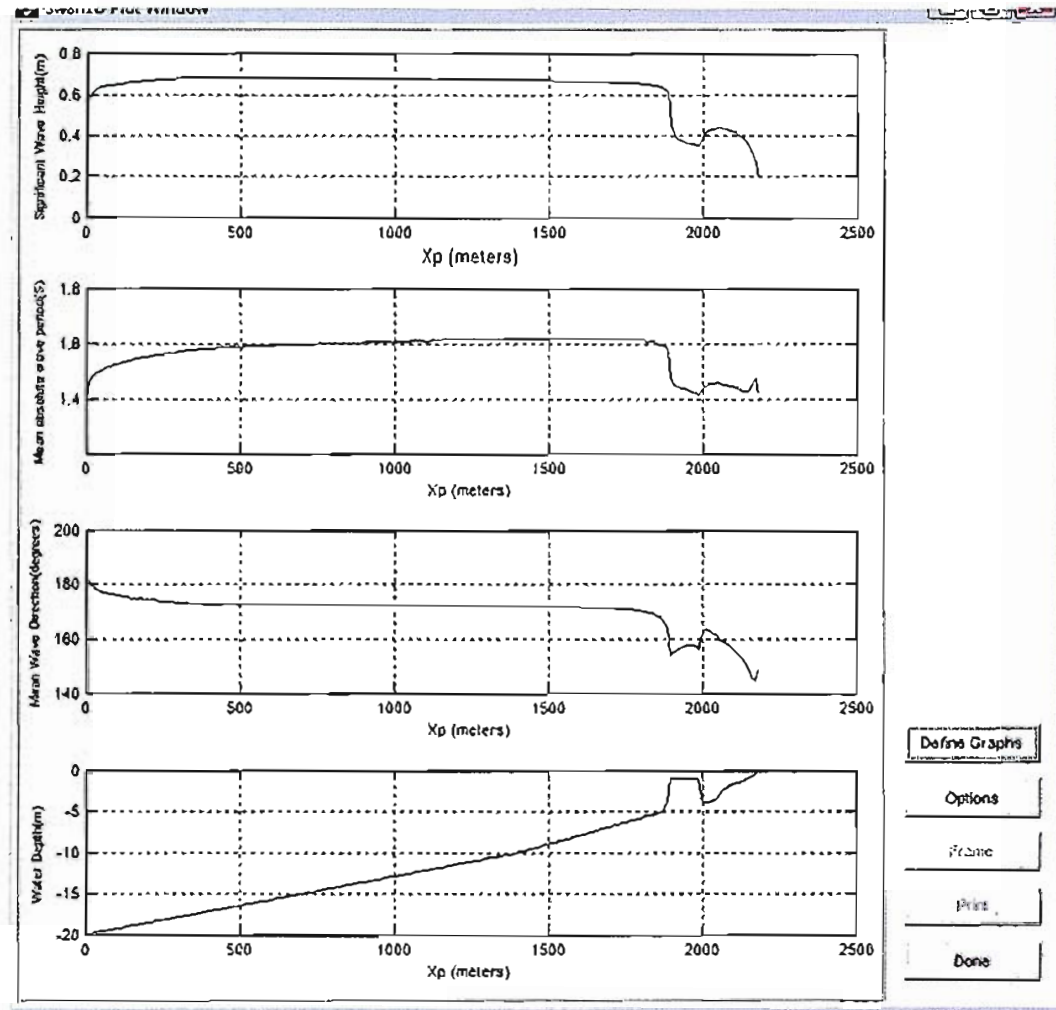


Figura 65 - Altezza d'onda significativa, periodo medio dell'onda, direzione d'onda (dd) e profondità del fondale

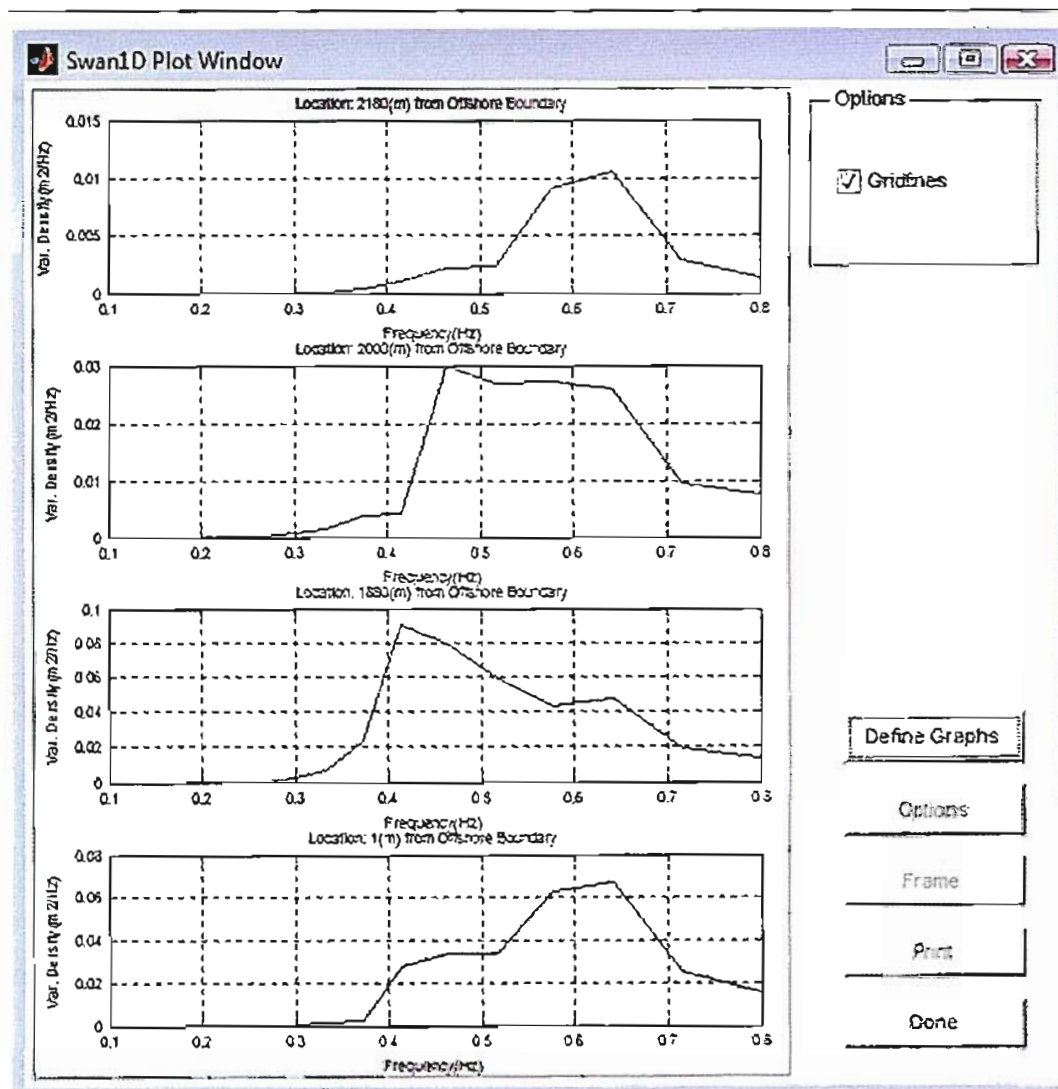


Figura 66 – Spettri di energia in alcune sezioni di calcolo

3.4 Stato di fatto al 1978 (profili Amatucci)

Punti di calcolo

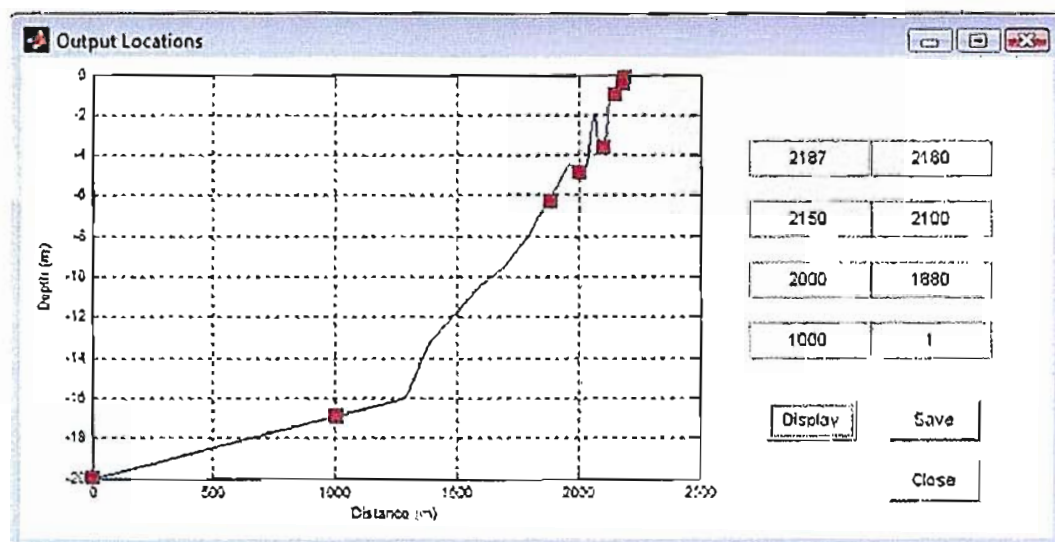


Figura 67 – Punti di calcolo delle grandezze diagrammate

$$dd = 90^\circ \quad H_{m0} = 0.68\text{m} \quad T_{m0} = 2.17\text{ s}$$

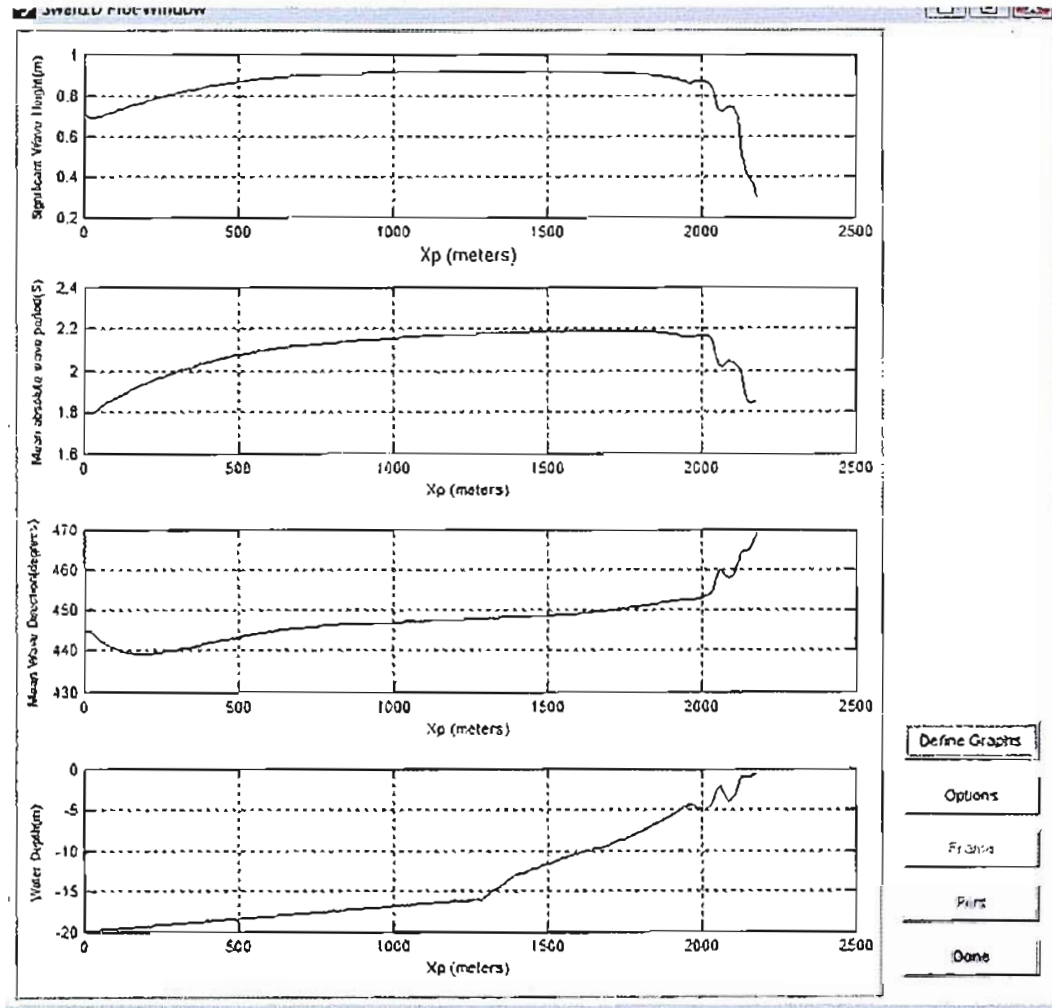


Figura 68 - Altezza d'onda significativa, periodo medio dell'onda, direzione d'onda (dd) e profondità del fondale

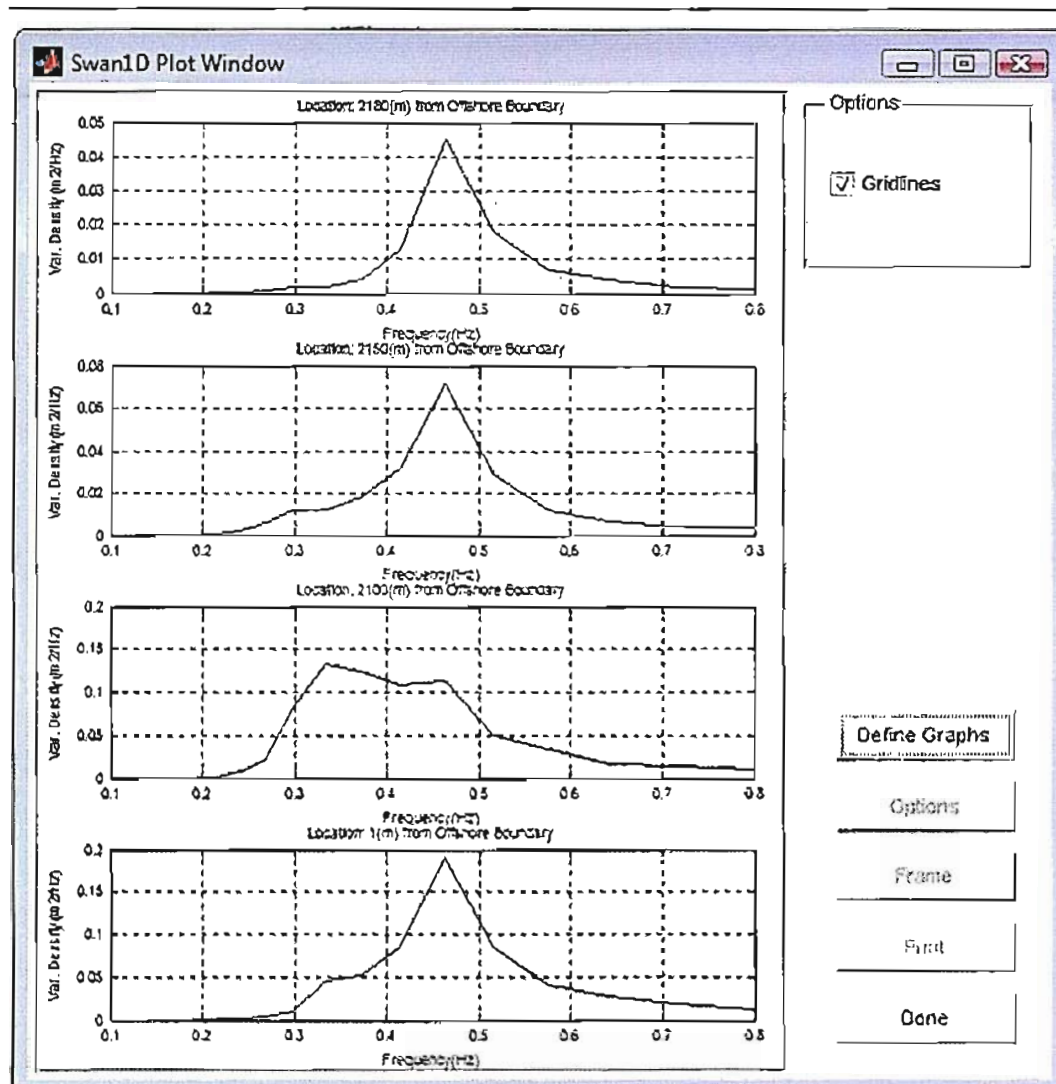


Figura 69 – Spettri di energia in alcune sezioni di calcolo

$dd = 130$ $H_{m0} = 1.29$ m $T_{m0} = 5.66$ s

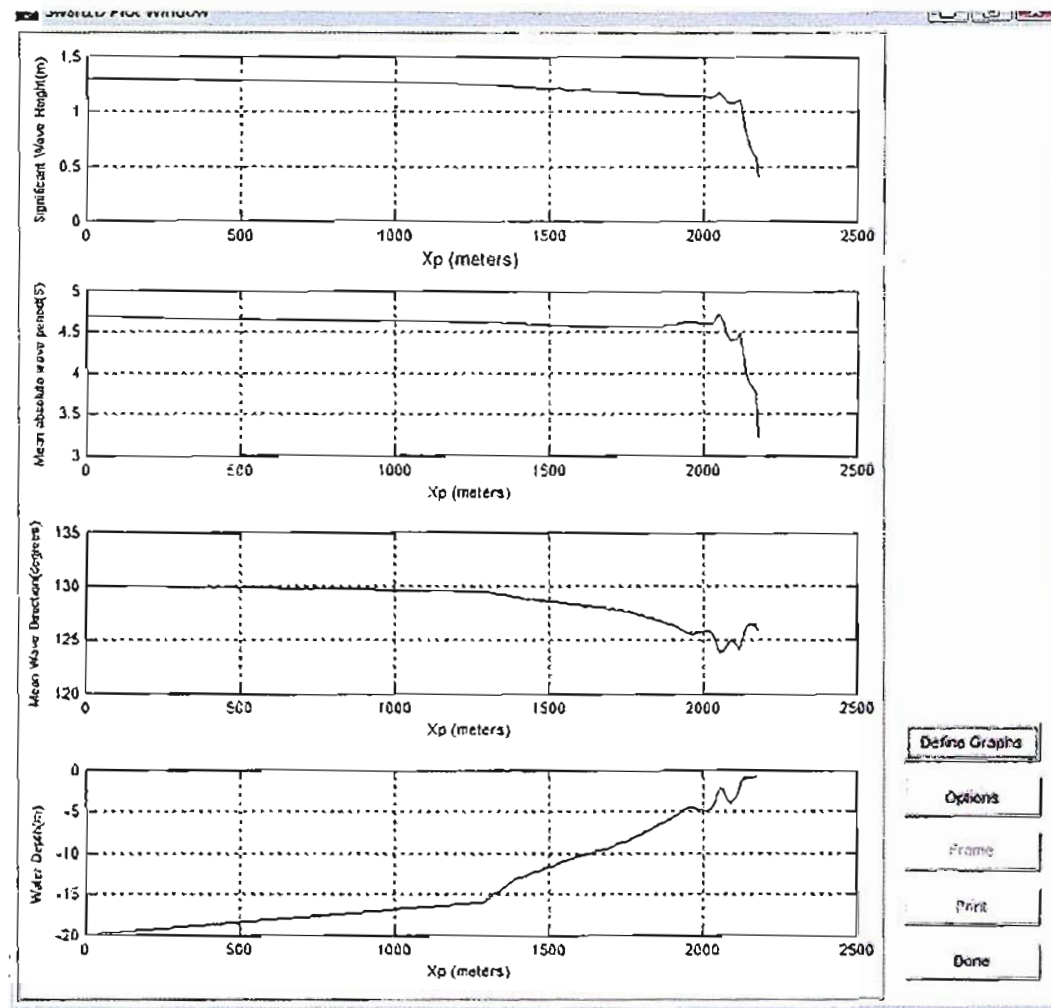


Figura 70 - Altezza d'onda significativa, periodo medio dell'onda, direzione d'onda (dd) e profondità del fondale

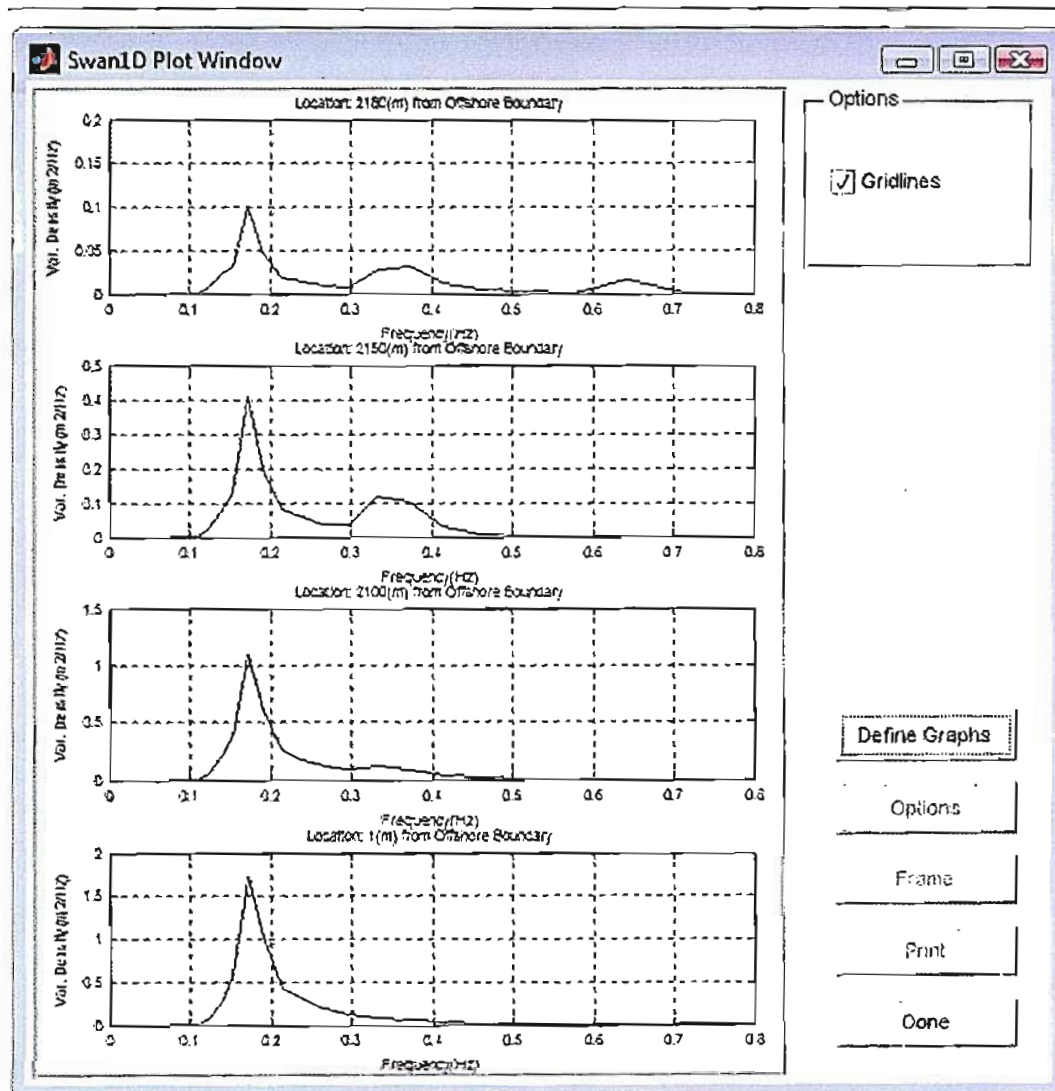


Figura 71 – Spettri di energia in alcune sezioni di calcolo

$dd = 140$ $H_{mo} = 1.33$ m $T_{mo} = 5.91$ s

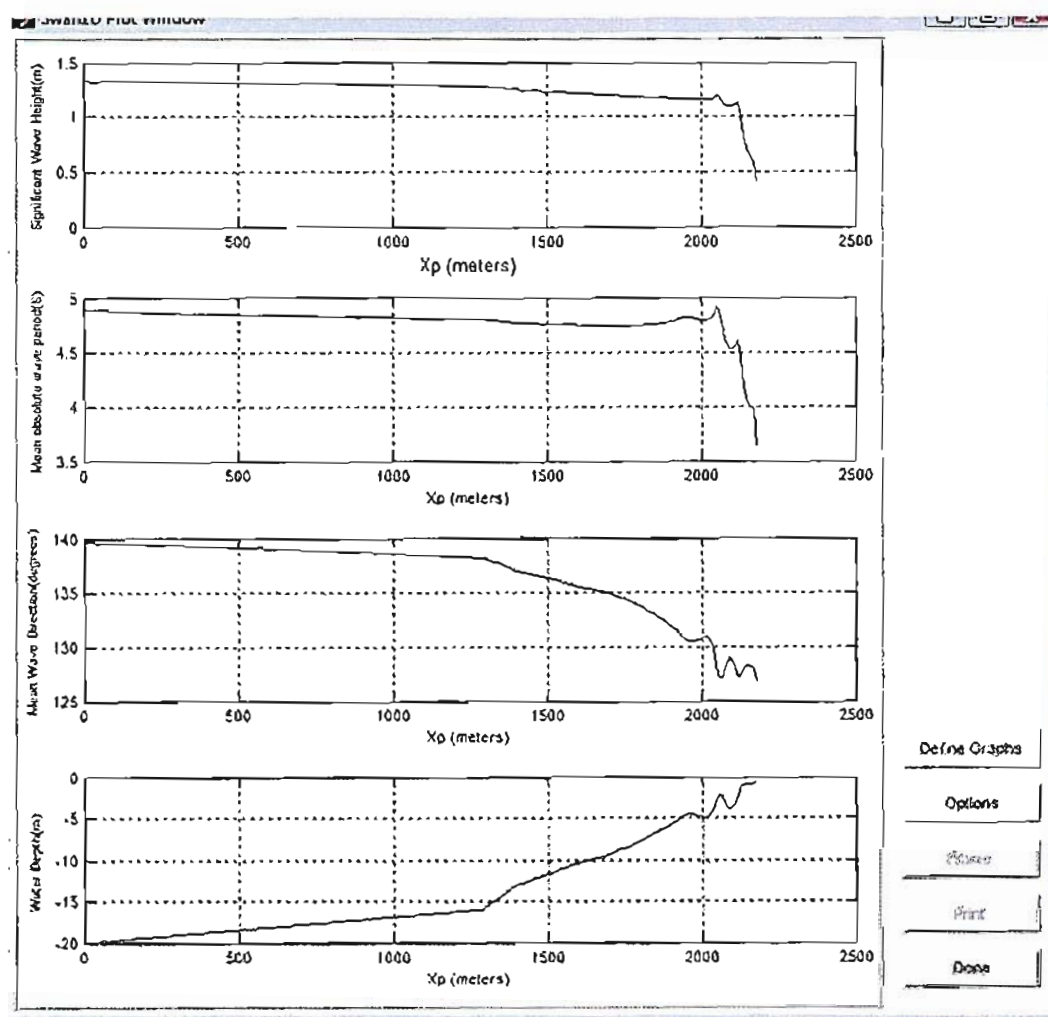


Figura 72 - Altezza d'onda significativa, periodo medio dell'onda, direzione d'onda (dd) e profondità del fondale

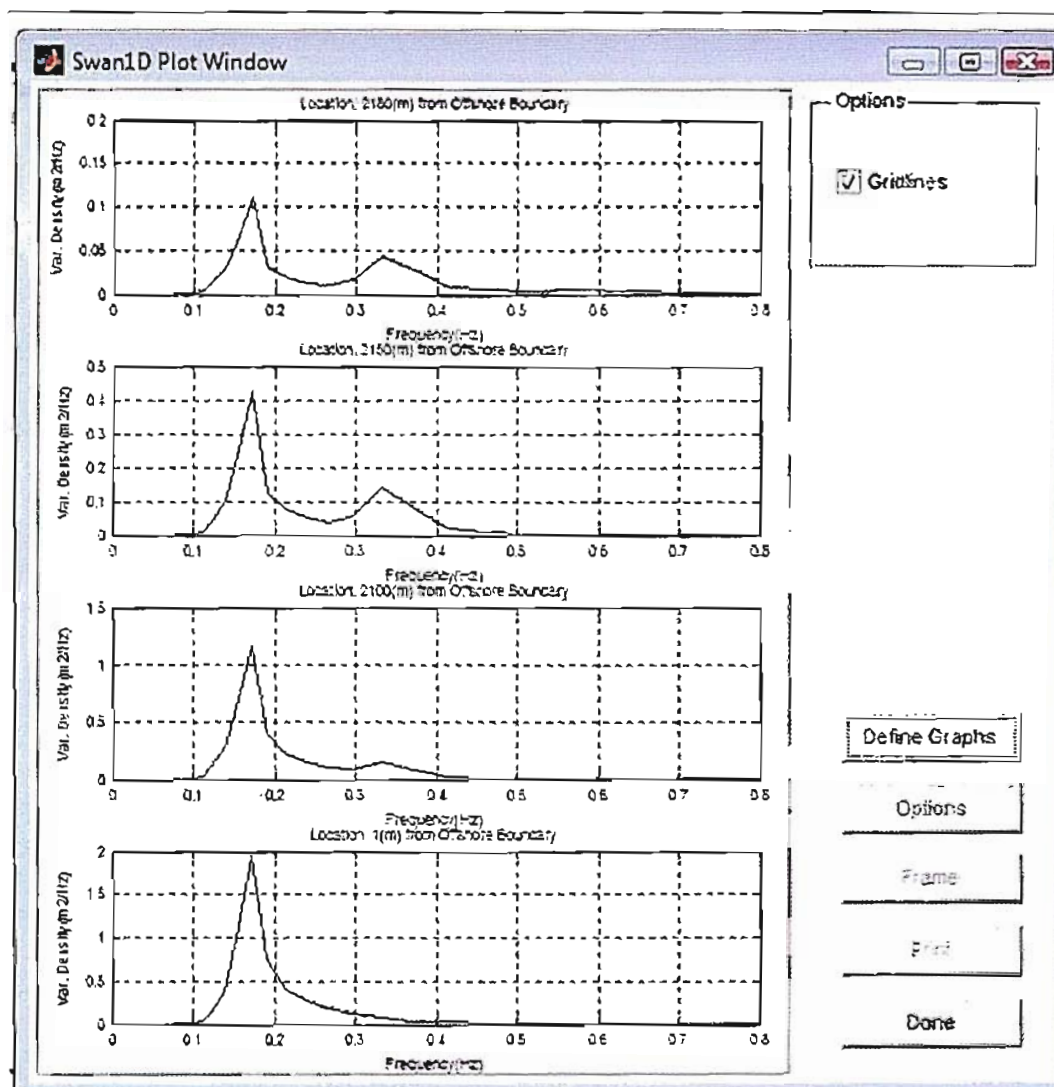


Figura 73 – Spettri di energia in alcune sezioni di calcolo

$dd=150$ $H_{mo}=1.08$ m $T_{mo}=4.34$ s

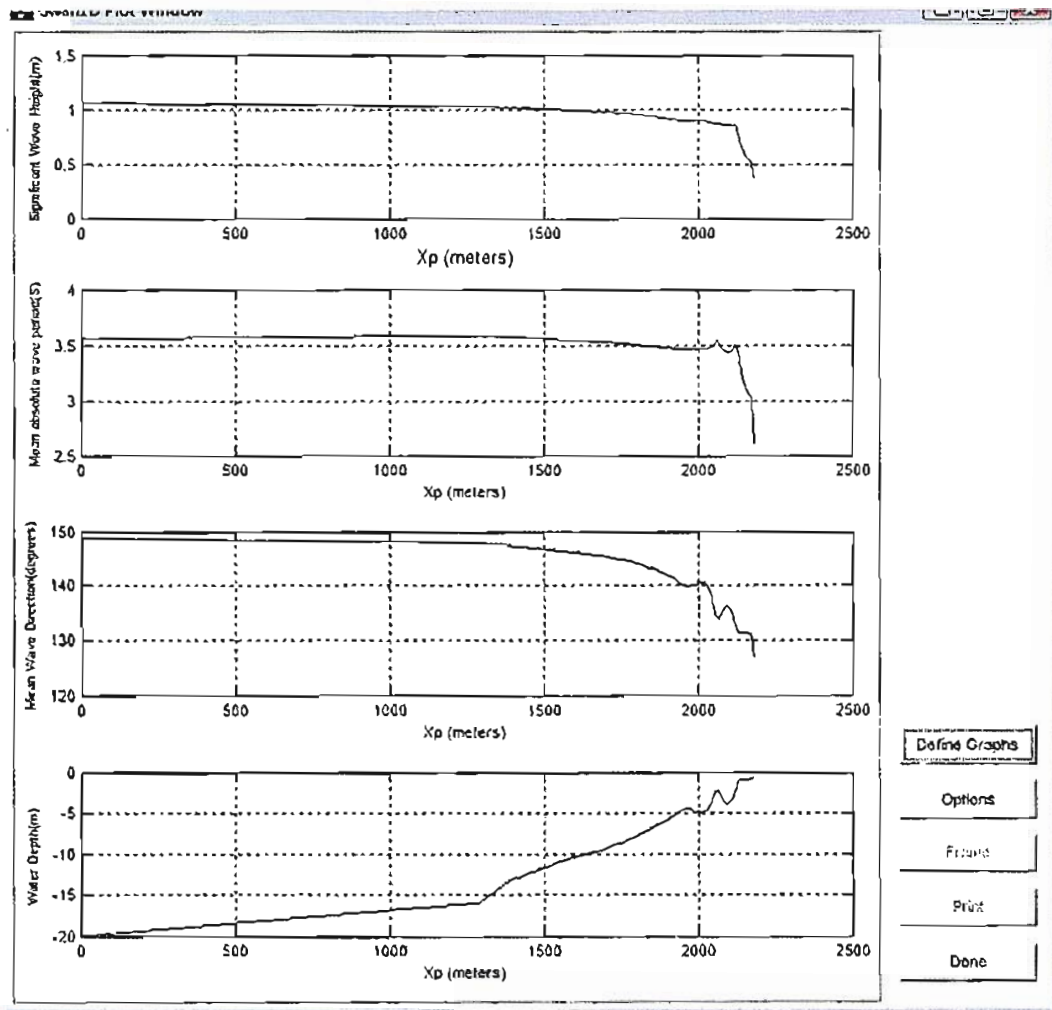


Figura 74 - Altezza d'onda significativa, periodo medio dell'onda, direzione d'onda (dd) e profondità del fondale

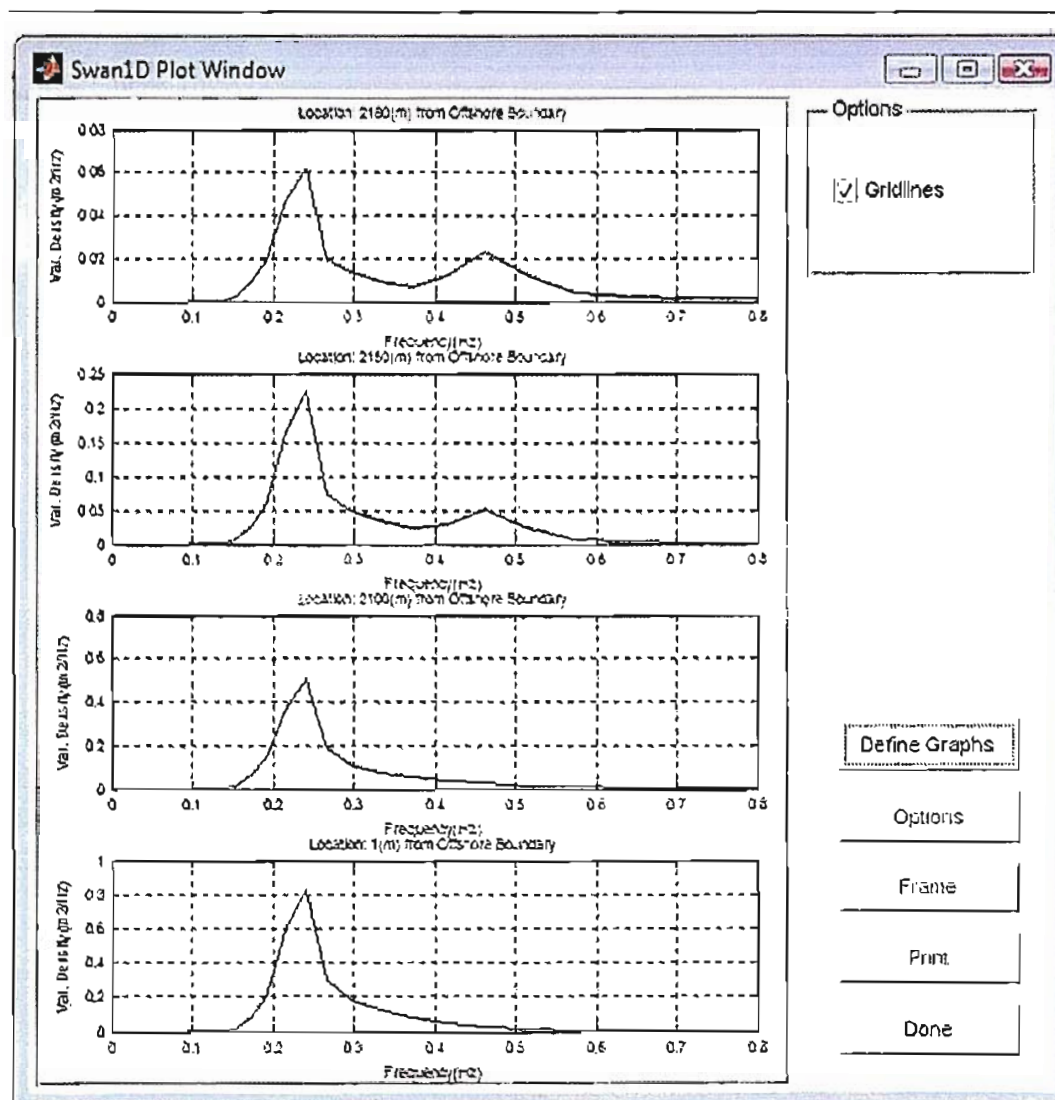


Figura 75 – Spettri di energia in alcune sezioni di calcolo

$dd=180$ $H_{m0}=0.56$ m $T_{m0}=1.64$ s

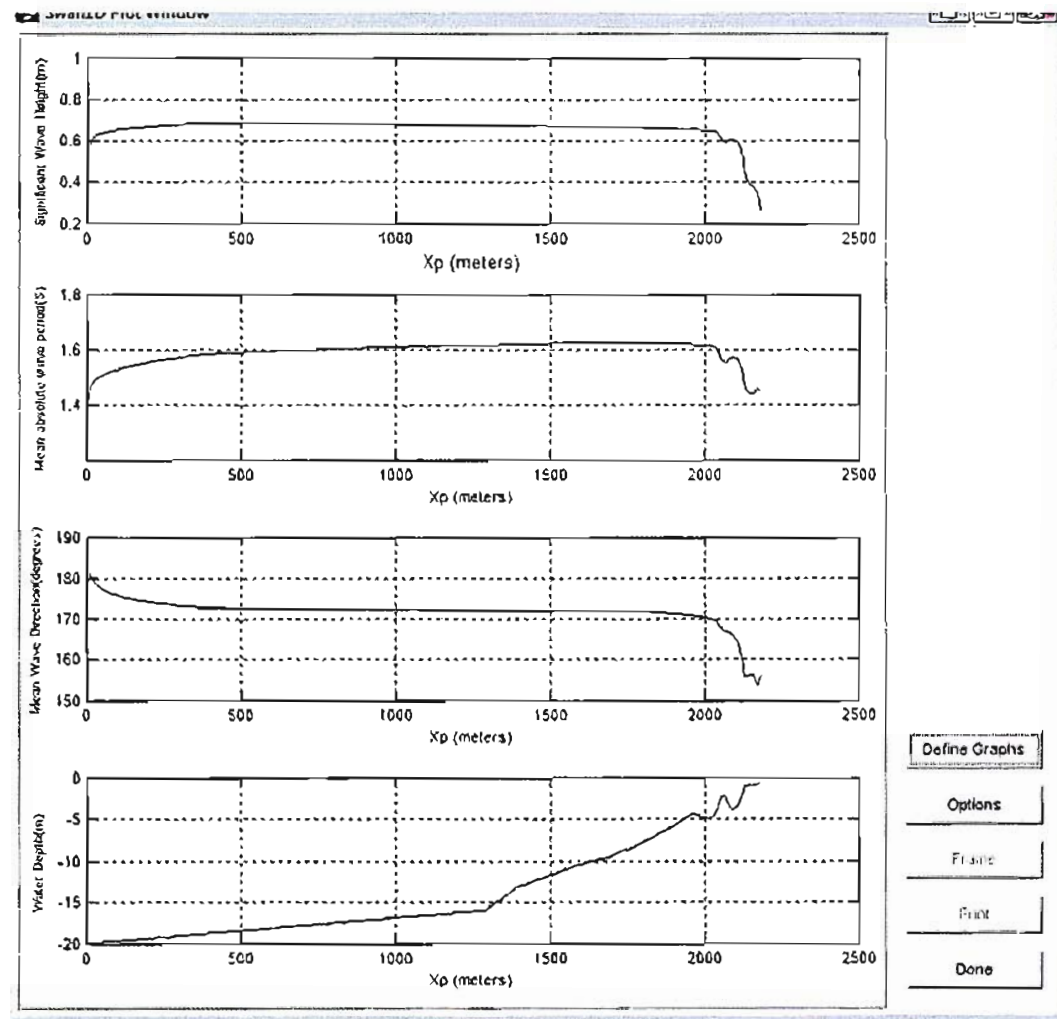


Figura 76 - Altezza d'onda significativa, periodo medio dell'onda, direzione d'onda (dd) e profondità del fondale

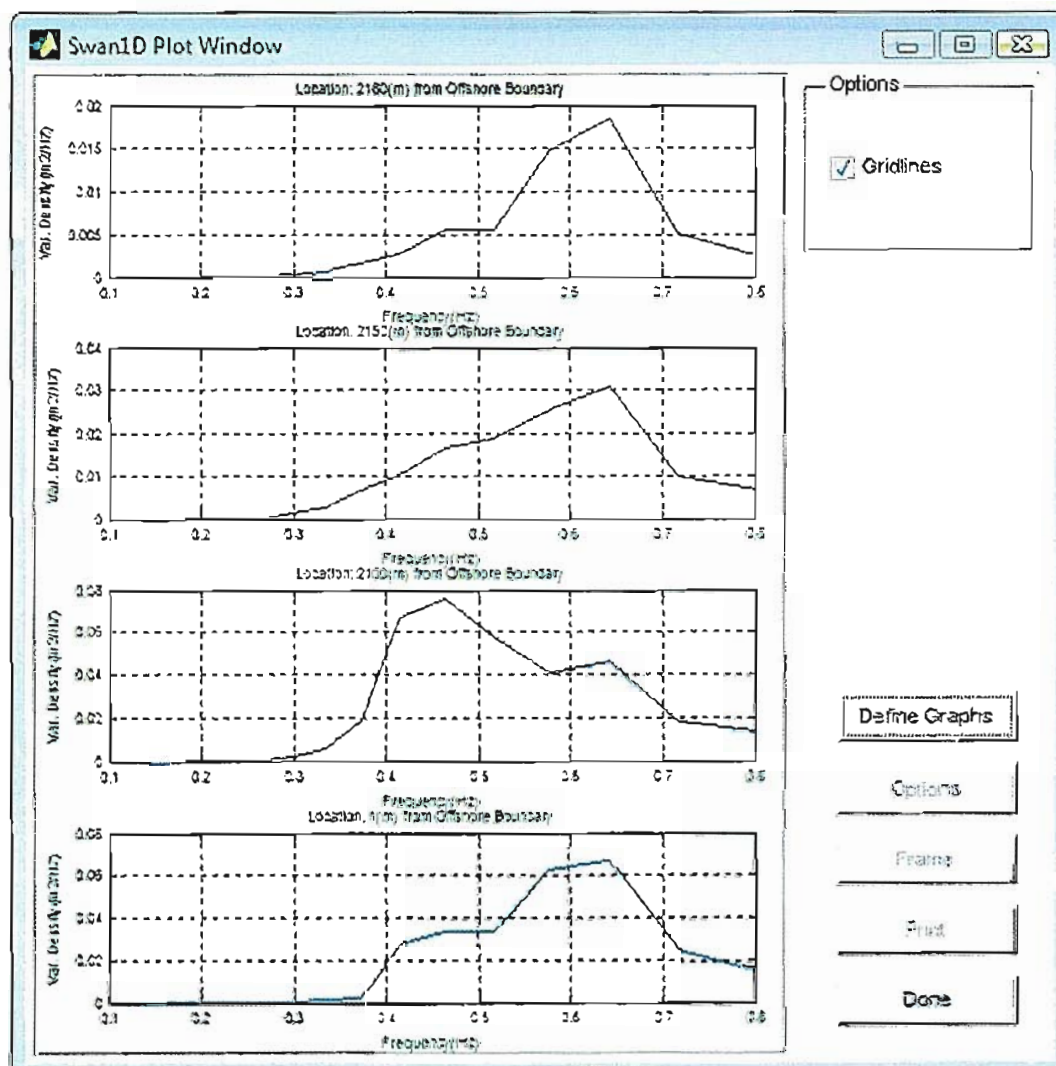


Figura 77 – Spettri di energia in alcune sezioni di calcolo

4.1 Modellazione bidimensionale

Per un maggior dettaglio di valutazione, è stata affrontata anche l'analisi bidimensionale del tratto di costa di interesse introducendo tutti gli elementi di criticità individuati lungo il litorale. Lo studio è stato condotto con l'impiego del software SWAN ver. 40.72 sviluppato e licenziato (licenza pubblica) dal Technology Institute dell'Università di Delft.

Le condizioni di simulazione ripercorrono le ipotesi di lavoro già affrontate nelle simulazioni monodimensionali e, ai fini di una rapida disamina dei risultati, di seguito vengono esposti alcuni dei risultati più salienti.

In primis, le batimetrie adottate per le simulazioni sono essenzialmente:

- batimetria acquisita nella campagna 2007 aggiornata con i rilievi batimetrici dell'aprile 2010 antecedente alle attività di ripascimento (denominata nel prosieguo "batimetria senza canali") riportata nella Figura 78, in bassa risoluzione (20mx20m) corrispondente alla griglia di calcolo, e in Figura 79, in alta risoluzione con maglia (5mx5m);
- batimetria post interventi di ripascimento costituita dalla precedente ad alta risoluzione con l'inserimento di tre canali di larghezza circa 20 m e profondità -2,5m, che rappresentano le escavazioni effettuate durante le attività di ripascimento per l'avvicinamento del pontone di dragaggio (denominata nel prosieguo "batimetria con canali"), riportata in Figura 80 con evidenziati i canali.

Ancorché le rappresentazioni sopra esposte si riferiscano volutamente ad ambiti spaziali diversi, e ciò al fine di porre in evidenza le peculiarità di ogni rappresentazione e schematizzazione computazionale, le simulazioni condotte fanno riferimento all'intero paraggio individuato tra i fiumi Basento (SO) e Bradano (NE) includendo, nella parte meridionale della griglia di calcolo, anche l'infrastruttura portuale degli Argonauti, come si evince dalla Figura 78.

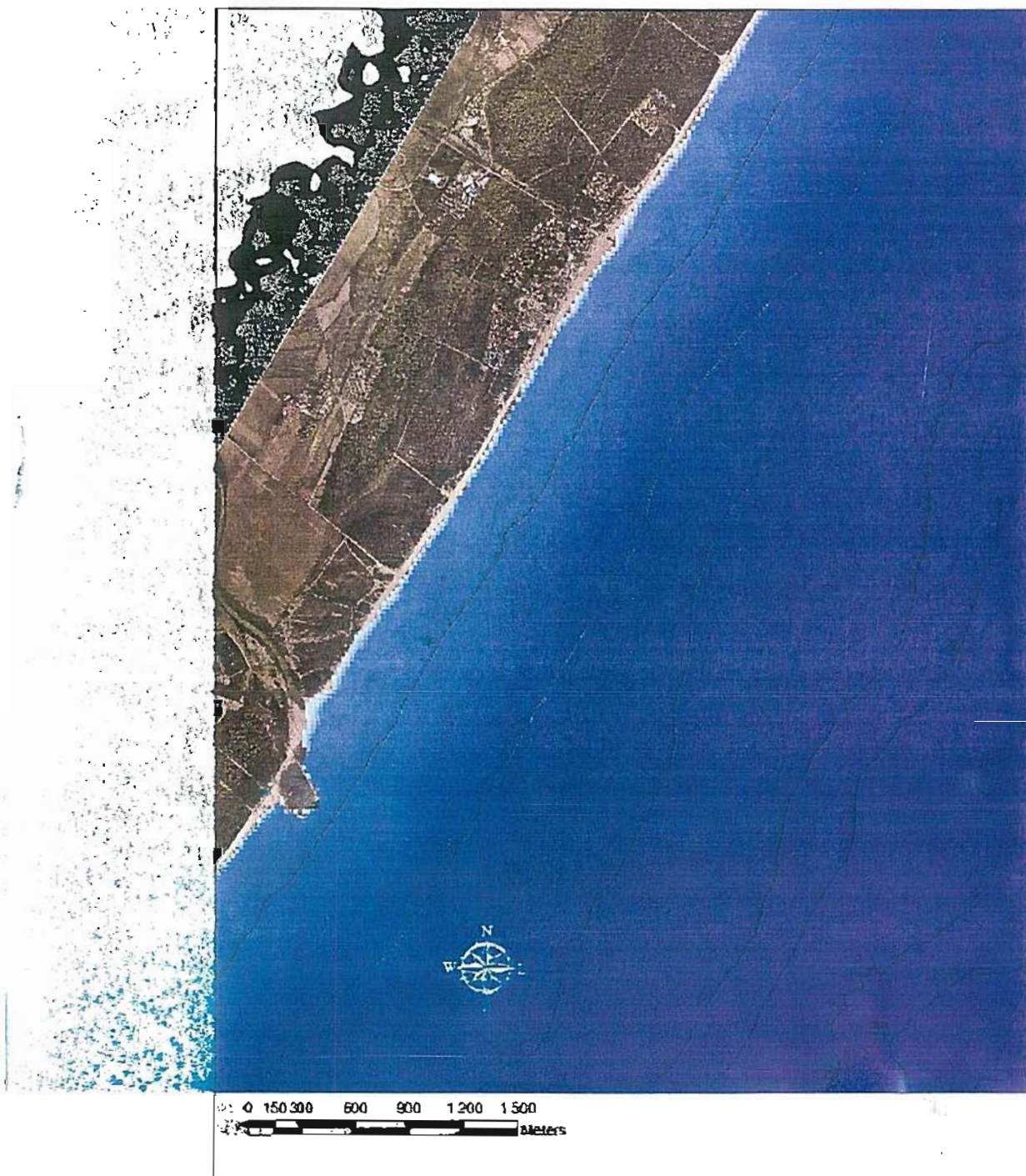


Figura: 78 – Batimetria antecedente l'attività di ripascimento 2010 ("batimetria senza canali") a bassa risoluzione (20m x 20m)

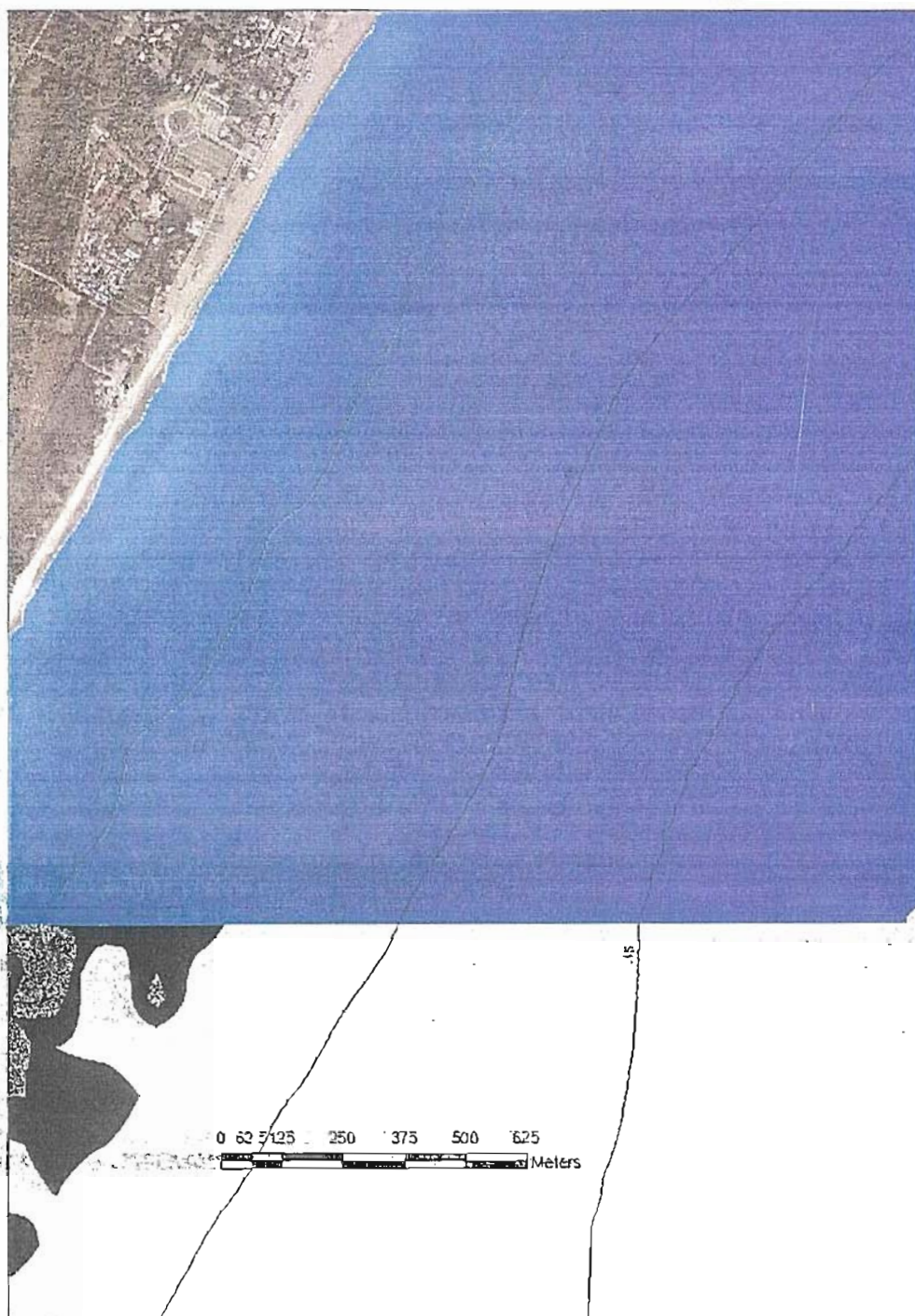


Figura 79.— Batimetria antecedente l'attività di ripascimento 2010 ("batimetria senza canali") a alta risoluzione (5m x 5m)



Figura 80 — Batimetria ex-post l'attività di ripascimento 2010 ("batimetria con canali") a alta risoluzione (5m x 5m)

4.1 Stato di fatto aprile 2010 ante ripascimento

La simulazione è stata condotta a titolo di analisi e studio, poiché coincide con una configurazione batimetrica non corrispondente all'attuale stato di fatto. Occorre, tuttavia, sottolineare che tale assetto, per inevitabili rapporti morfologici ed energetici tra la spiaggia sommersa e l'azione degli stati di mare, corrisponde ragionevolmente alla configurazione a cui si riporterà il sistema nell'arco della stagionalità del clima ondoso e, pertanto, rappresenta uno scenario di riferimento.

Le figure di seguito riportate si riferiscono alle simulazioni condotte sulla batimetria senza canali e relative alla propagazione dell'onda morfologica massima proveniente dalla direzione 140 N e con altezza d'onda pari a 1,33 m e periodo 5,91 sec. In particolare la Figura 81 riporta, alla larga scala, il valore dell'altezza d'onda propagantesi da largo verso costa, la cui distribuzione dei periodi d'onda è riportata in Figura 82, sia in termini di valore dell'onda sia di direzione dalla quale si rileva la rilevante rifrazione che si ingenera nell'avvicinamento del fronte d'onda verso rive. Tale enfattizzazione del fenomeno di rifrazione è ovviamente conseguenza della morfologia della batimetria del paraggio in esame che presenta una configurazione sub-parallela alla linea di riva con una leggera convergenza verso NO caratterizzando, per la simulazione de quo, alla stessa distanza dalla costa, celerità di propagazione via via aumento da SE verso NO .

La Figura 83 descrive, alla piccola scala, la distribuzione delle onde che raggiungono il litorale conseguenti la propagazione della suddetta onda morfologica. E' quanto mai evidente come le onde arrivino pressoché integre fino ad una distanza media dalla costa di poco superiore ai 100 m, con la inevitabile conseguenza di trasferire direttamente sulla costa il contenuto energetico delle mareggiate, siano queste di modellamento, come nella presente simulazione, siano di tipo estremo.

La Figura 84 riporta la distribuzione delle velocità al fondo responsabili della movimentazione delle particelle solide che, come riportato nell'analisi meteo marina, sono caratterizzate da una velocità limite di trasporto dell'ordine di 10 cm/sec a fronte di valori mediamente più elevati, come riportato dalle isotachie.

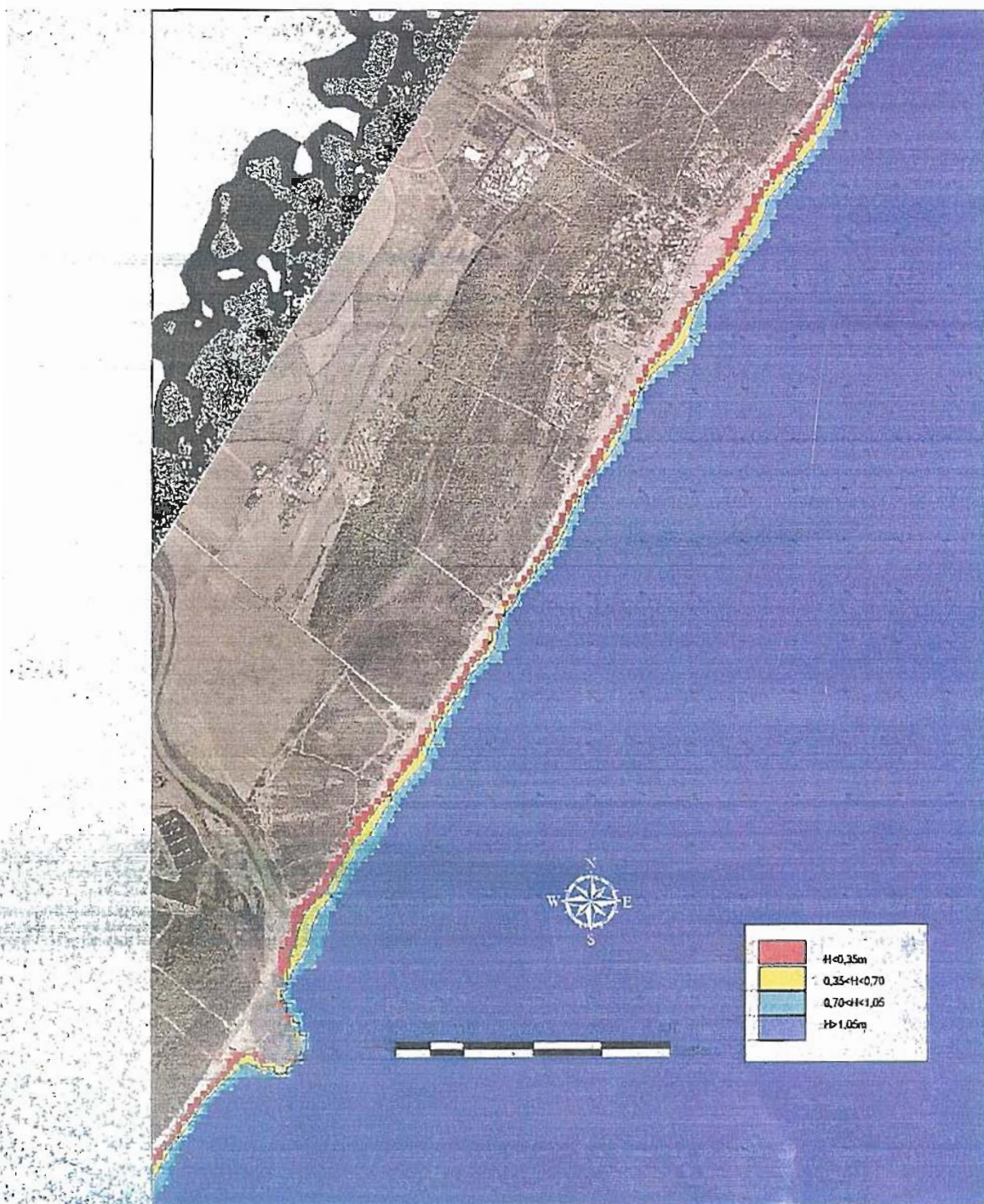


Figura 81—Altezza d'onda relativa alla propagazione onda morfologica $dd=1,10$, $H_{mo}=1,33$ m e $T_{mo}=5,91$ s, larga scala

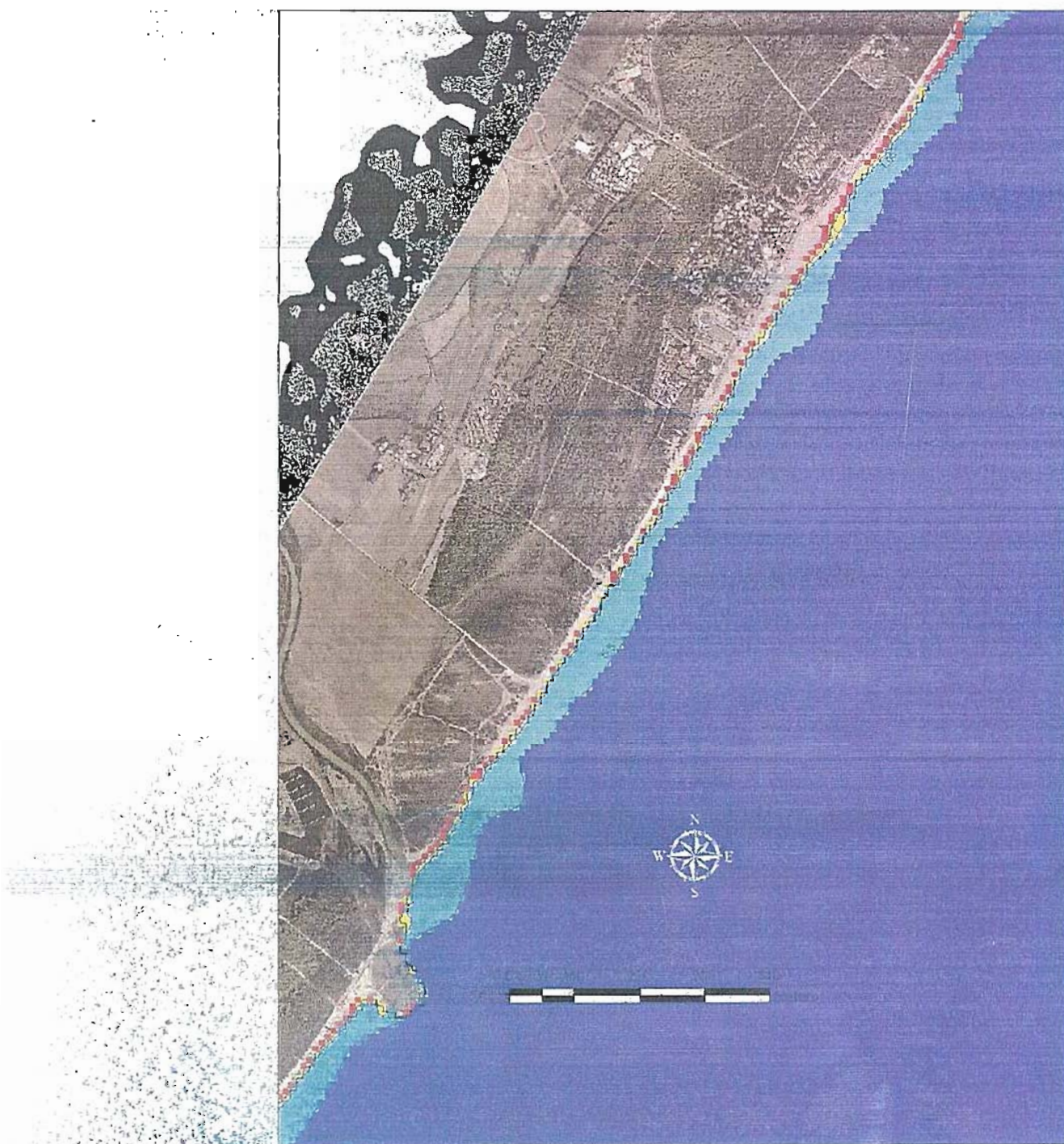


Figura 82 - Periodo relativo alla propagazione dell'onda morfologica $dd=140$, $H_{mo}=1,33m$ e $T_{mo}=5,91s$, larga scala

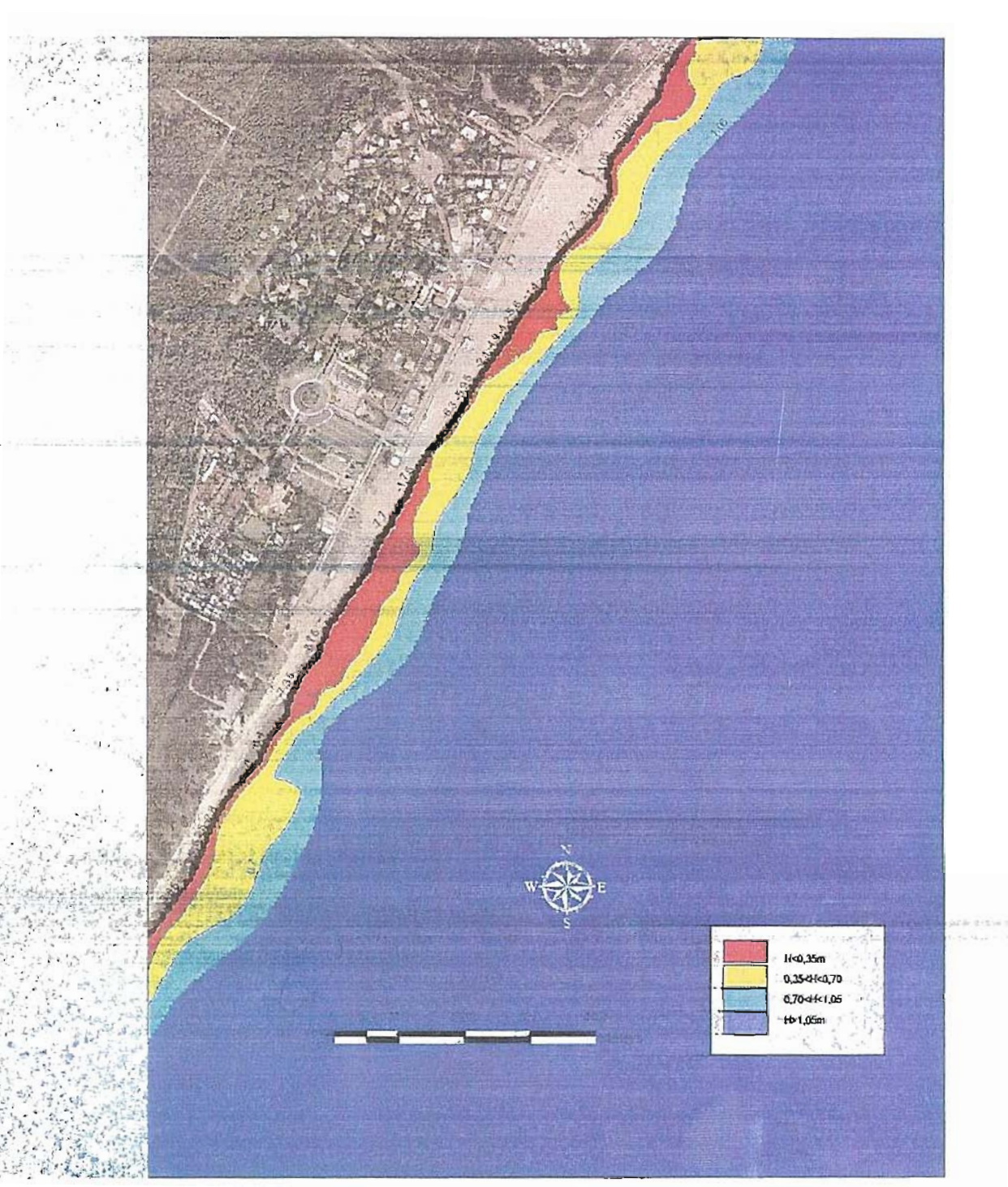


Figura 83 – Altezza d'onda relativa alla propagazione onda morfologica $dd=140$, $H_{mo}=1,33\text{m}$ e $T_{mo}=5,91\text{s}$, piccola scala



Figura 84 — Velocità al fondo relativa alla propagazione onda morfologica $dd=140$, $H_{mo}=1,33$ m. e $T_{mo}=5,91$ s, larga scala

4.1 Stato di fatto costa con canali

L'analisi è stata condotta per le stesse caratteristiche dell'onda di modellamento del caso senza canali, ma portando in conto la conformazione batimetrica risultante dall'escavazione dei canali di accesso del pontone di lavorazione impiegato nell'attività di ripascimento del 2010.

Le Figura 85, Figura 86 e Figura 87 si riferiscono, rispettivamente, al valore dell'altezza d'onda, del periodo e della velocità al fondo conseguenti la propagazione dell'onda morfologica massima.

Il confronto con la configurazione precedente, soprattutto per quel che concerne l'altezza d'onda, enfatizza come la presenza dei canali determini un inevitabile ulteriore avvicinamento di onde con maggiore altezza e, quindi, maggiore contenuto energetico e, come tali, responsabili di effetti localizzati di aggressione dell'arenile emerso.

La Figura 88, invece, riporta la propagazione verso costa di un'onda pari a 3 m, corrispondente ad una mareggiata con tempo di ritorno di circa inferiore ai 10 anni, dove viene ulteriormente enfatizzata l'ingressione del moto ondoso proprio in corrispondenza dei varchi generati dagli scavi, elevando sensibilmente il rischio localizzato di erosione.

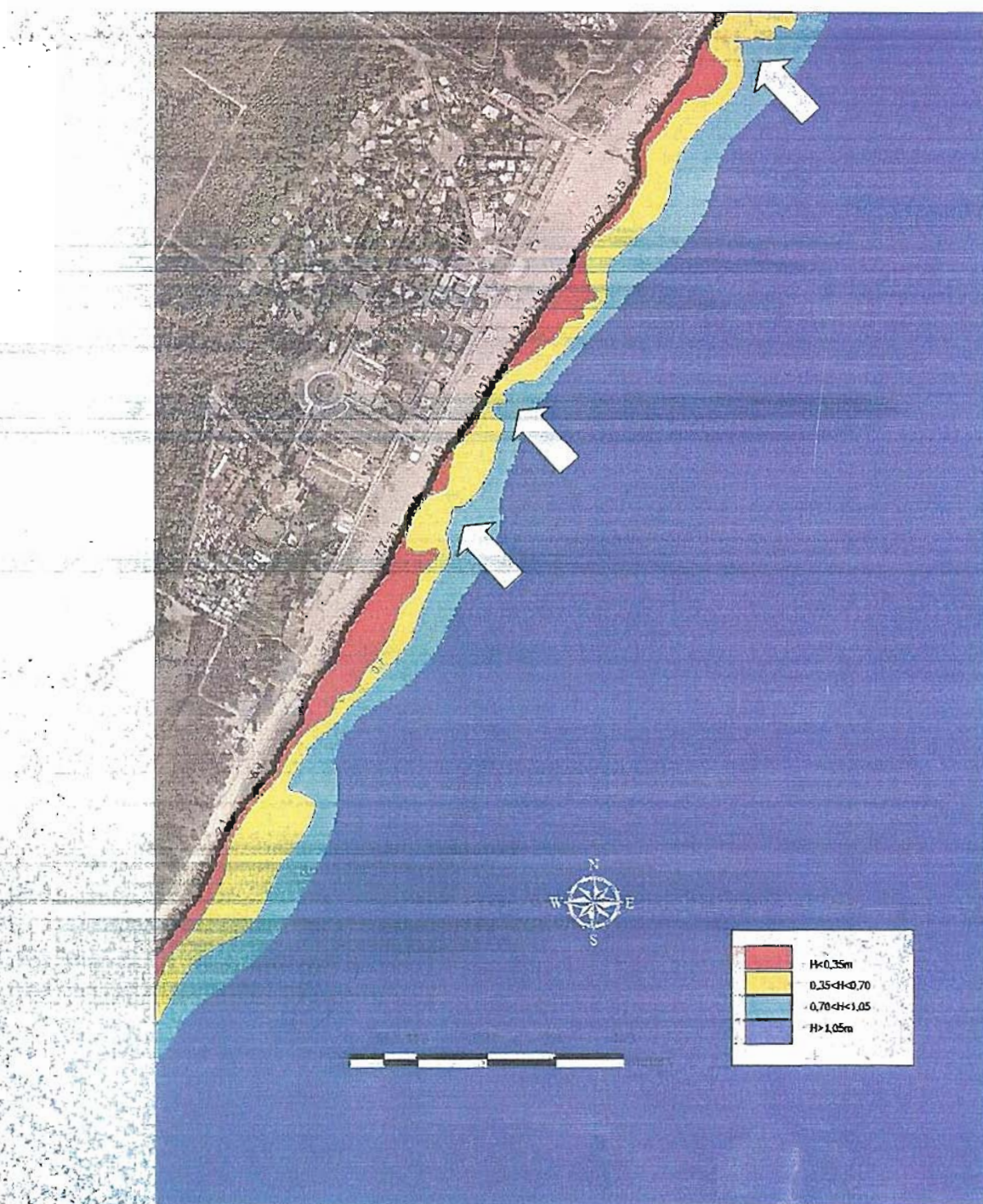


Figura 85 – Altezza d'onda relativa alla propagazione onda morfologica $dd=140$, $H_{mo}=1,33\text{m}$ e $T_{mo}=5,9\text{s}$, piccola scala



Figura 86 — Periodo relativo alla propagazione dell'onda morfologica: $\lambda_d=140$, $H_{mo}=1,33$ m e $T_{mo}=5,91$ s, larga scala

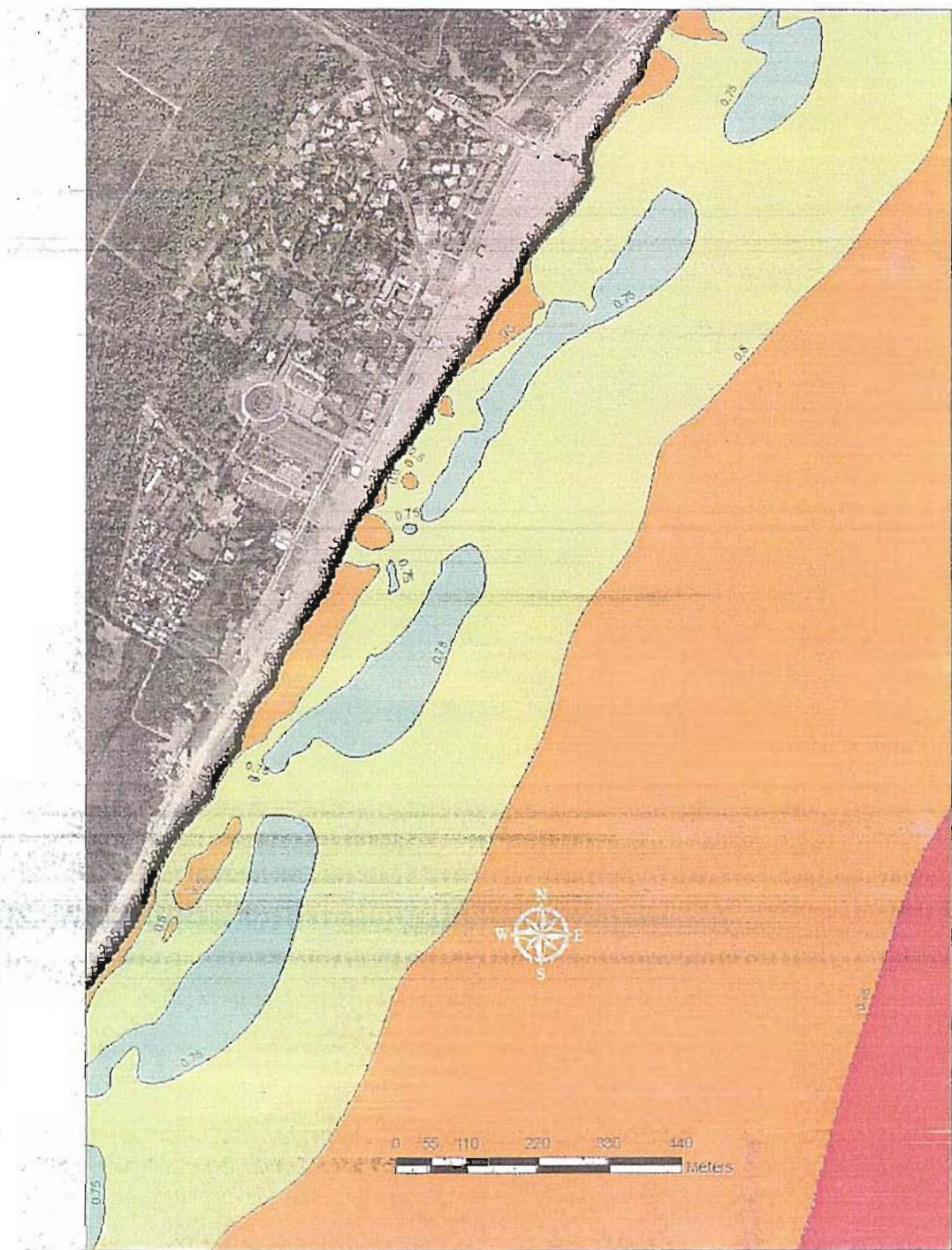


Figura 87 – Velocità al fondo relativa alla propagazione onda morfologica : $dd=140$, $H_{mo}=1,33m$ e $T_{mo}=5,91s$, piccola scala

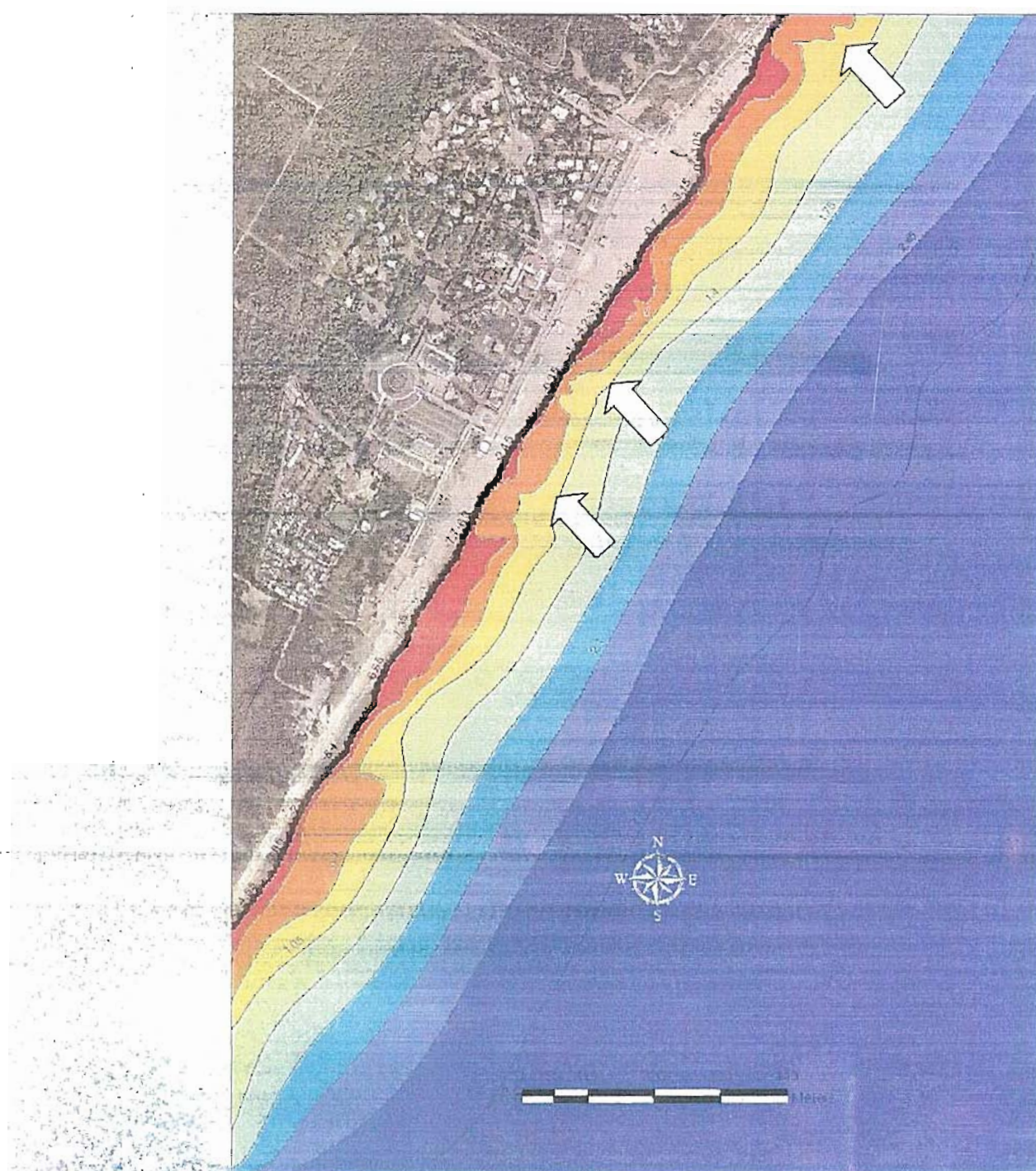


Figura 88 – Altezza d'onda relativa alla propagazione di una mareggiata con onda significativa a largo di 3 m. e direzione di provenienza 140N

4.2 Stato di progetto barriera a 200 m dalla linea di costa con $B=5m$, $R_c=1m$ e $hc=-4m$

Le simulazioni sono state condotte in riferimento all'ipotesi progettuale di realizzare un sistema di barriere soffolte la cui estensione interessi l'intero arco di costa dalla sponda destra della foce del Basento, fino al punto settentrionale più estremo del Lido di Metaponto, ossia in corrispondenza del litorale direttamente interessato dai fenomeni di erosione costiera con interferenze sul sistema urbano.

Sono state valutate due configurazioni principali, atteso che la profondità di ammorsamento dell'opera deve essere in prossimità dell'isobata -4 m, a cui corrisponde la linea dei frangenti dell'onda morfologica massima. In tal senso il sistema di barriere è in grado di "catturare" tutte le onde morfologiche ed abbatterne il contenuto energetico, ovvero ridurre la capacità di mobilitazione verso largo dei sedimenti.

La geometria dell'opera trasversalmente alla riva corrisponde a quella adottata nelle simulazioni monodimensionali, mentre quella longitudinale presenta, come accennato, una doppia opzione:

- *configurazione 1*: lunghezza della barriera, L , pari a 200 m corrispondente circa a 4 volte la lunghezza d'onda, e interasse, s , pari a 200 m, garantendo dei varchi di facile ed ampio accesso per gli utenti;
- *configurazione 2*: lunghezza della barriera, L , pari a 200 m corrispondente circa a 4 volte la lunghezza d'onda, e interasse, s , pari a 100 m, proponendo dei varchi di ridotto accesso per gli utenti;

Le figure Figura 89 e Figura 90 ripropongono le due soluzioni in termini di propagazione dell'onda morfologica massima, e pongono in risalto come la configurazione 1 genera dei varchi di propagazione che non garantiscono sull'efficacia del sistema di protezione, ossia, in altri termini, pur abbattendo l'onda trasmessa a tergo dell'opera questa risulta mediamente alimentata dall'onda filtrante tra le barriere. Inoltre l'interasse così ampio non riduce l'effetto indesiderato generato dai canali esistenti.

La configurazione 2, sembra rispondere in maniera più efficace all'obiettivo di protezione, seppur garantendo una minore, ma comunque buona, agibilità al transito nei varchi.

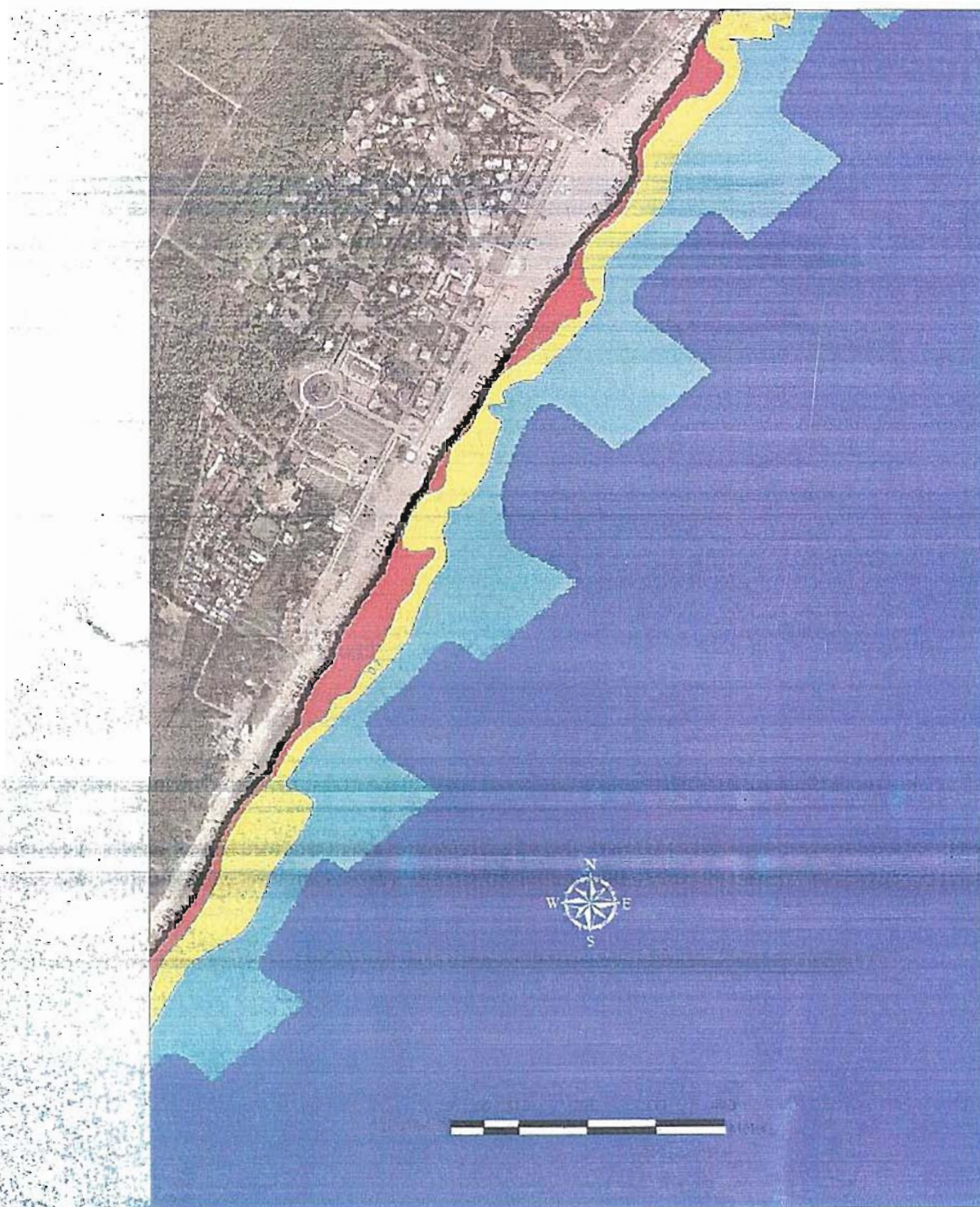


Figura. 89 – Altezza d'onda relativa alla propagazione onda morfologica: $\Delta d=140$, $H_{mo}=1,33$ m e $T_{mo}=5,91$ s, in presenza di barriere $L=200$ m e $s=200$ m

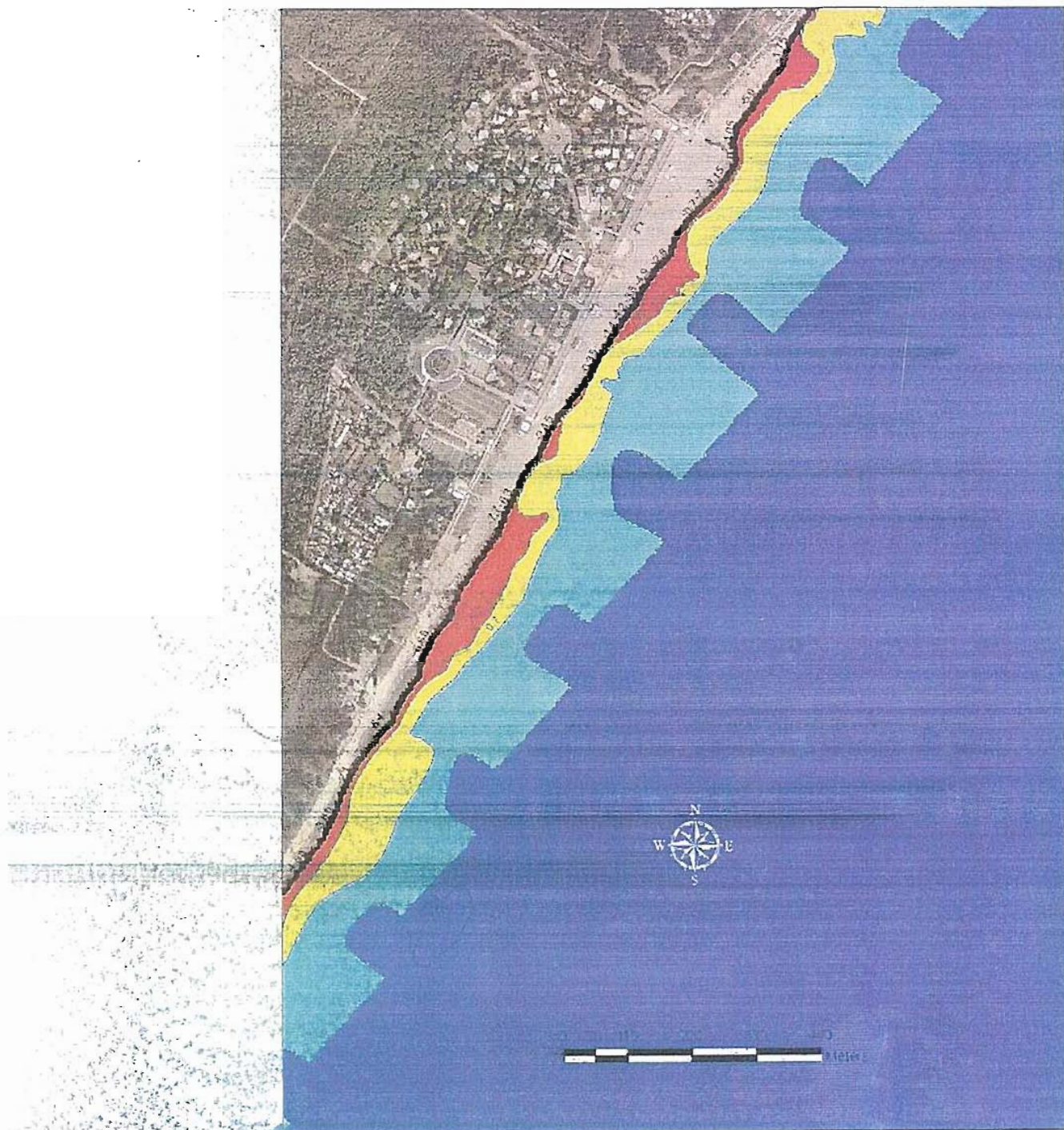


Figura 90 – Altezza d'onda relativa alla propagazione onda morfologica: $d_d=140$, $H_{mo}=1,33$ m e $T_{mo}=5,91$ s, in presenza di barriere $L=200$ m e $S=100$ m

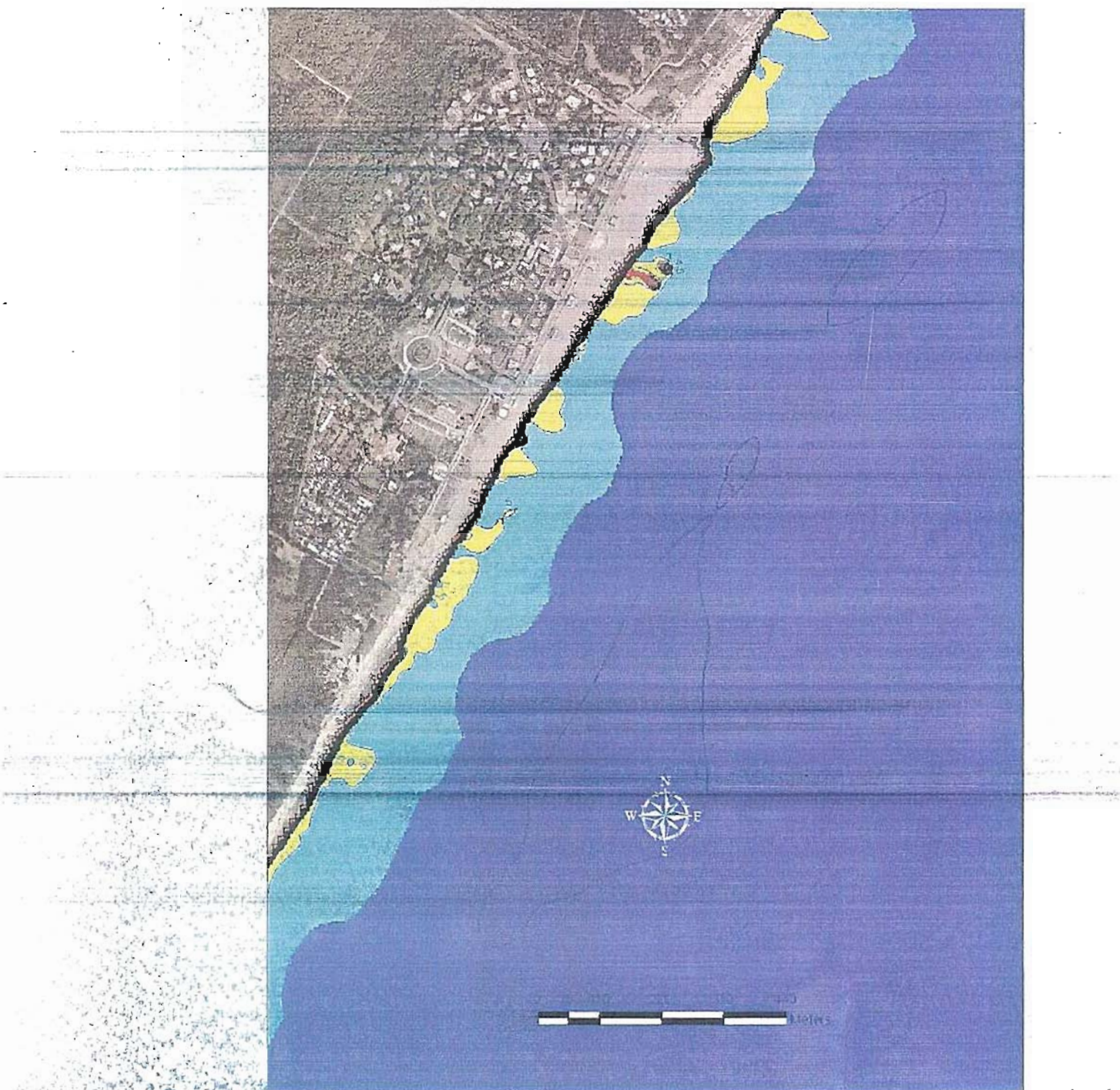


Figura 91 – Periodo relativo alla propagazione dell'onda morfologica $\lambda_{dd}=140$, $H_{mo}=1,33$ m e $T_{mo}=5,91$ s, larga scala



Figura 92 – Velocità al fondo relativa alla propagazione onda morfologica: $dd=140$, $H_{mo}=1,33m$ e $T_{mo}=5,91s$, piccola scala

Il coefficiente di trasmissione complessivo risulta prossimo al 70% per l'onda morfologica massima, con un abbattimento dell'energia di circa il 40%.

Le figure Figura 91 e Figura 92, riportano rispettivamente la distribuzione dei periodi d'onda conseguenti alla presenza del sistema di barriere soffolte e la relativa distribuzione delle velocità al fondo, che evidenzia la presenza di una buona dinamicità dei flussi, che garantisce rispetto alle esigenze di ricircoli e ricambi nonché alla relativamente bassa propensione alla composizione di truogoli.

Le ulteriori immagini, propongono la valutazione dell'effetto del sistema di barriere in corrispondenza del transito di un'onda morfologica intermedia (Figura 93) e di una mareggiata con altezza d'onda pari a 3 m (Figura 94). Nel primo caso, per semplicità di analisi pur mantenendone la significatività, è stata scelta un'onda sollecitante pari all'altezza morfologica media proposta da Amatucci (2000), di ampiezza 0,79 m, direzione 130N e periodo pari a 2,66 sec. Le simulazioni riportano un uniforme comportamento lungo costa, con un omogeneo, seppur ridotto, smorzamento delle altezze d'onda. Nel caso della mareggiata, invece, il sistema di barriere esercita un'azione significativa sulla riduzione degli ondamenti sia in termini propri di altezza d'onda sia, soprattutto, in termini energetici (Figura 95). In particolare, per le simulazioni condotte, si osserva che la distribuzione delle onde sottocosta a tergo delle barriere risultante dall'aggressione della mareggiata è confrontabile, se non affine, alla distribuzione risultante dalla propagazione dell'onda morfologica massima in assenza di barriere (Figura 85), dando una misura concreta circa le previsioni di progetto dell'efficacia del sistema proposto.

Ad adiuvandum, e per correttezza intellettuale, l'efficacia maggiore può rispondere a tipologie differenti di opere foranee, avendo volutamente accantonato l'idea di operare con opere radenti. In particolare rese maggiori possono essere ottenute realizzando barriere emerse ovvero barriere sommerse con larghezza del coronamento maggiore. Tralasciando le ovvie considerazioni circa l'impatto visivo, paesaggistico e funzionale (fruibilità ridotta dell'arenile e dello specchio d'acqua) che le opere emerse e radenti ingenerano sull'ambiente ancorché antropizzato, la valutazione circa una maggiore larghezza del coronamento rientra nell'ambito di una classica analisi costi/benefici, poiché la geometria proposta risponde in misura sufficiente agli obiettivi di progetto.



Figura 93 – Altezza d'onda conseguente alla propagazione dell'onda morfologica: $dd=130$, $H=0,79$
in $T=2,66$ -sec

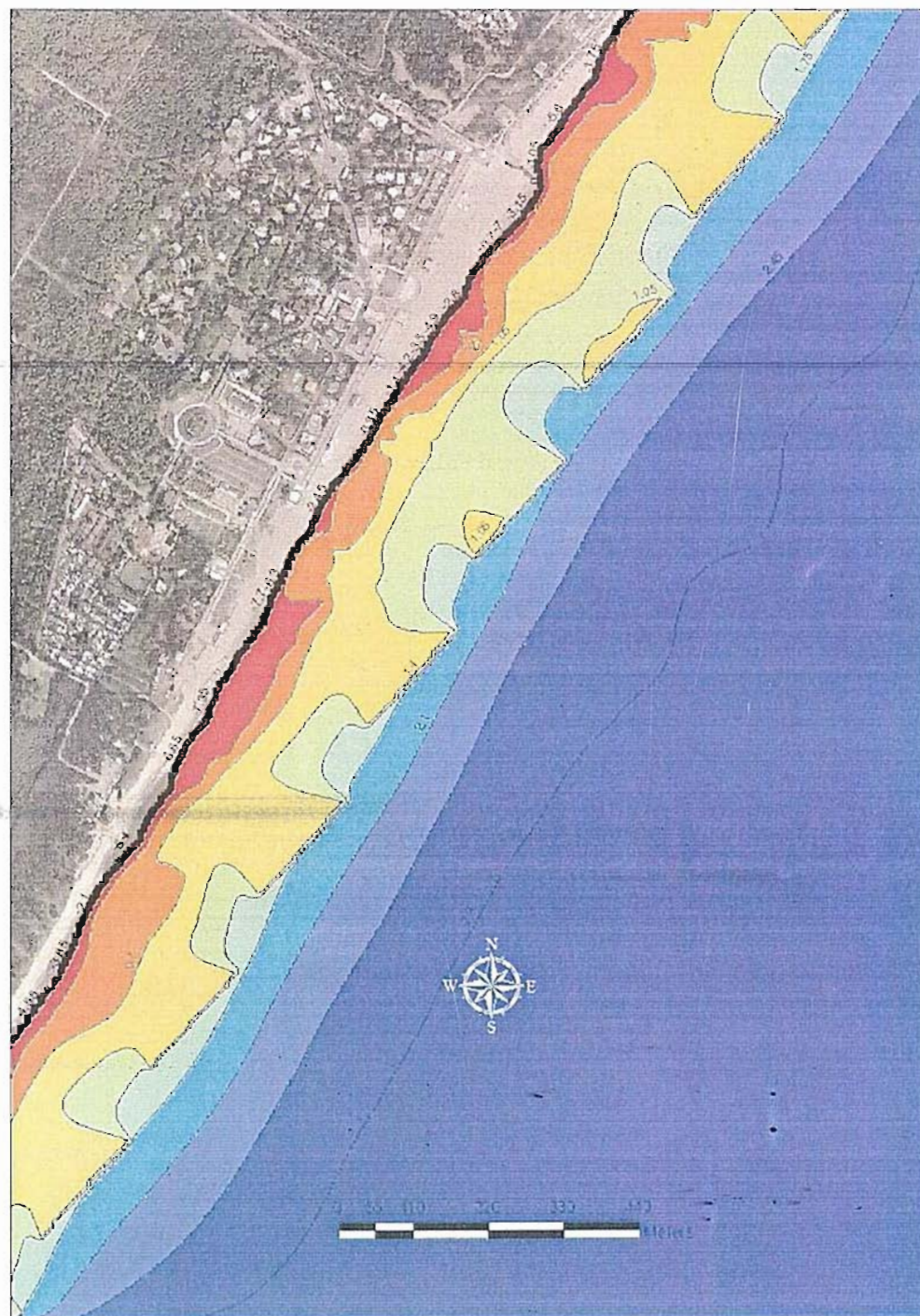


Figura 94 – Altezza d'onda conseguente alla propagazione di una mareggiata con $H = 3\text{m}$

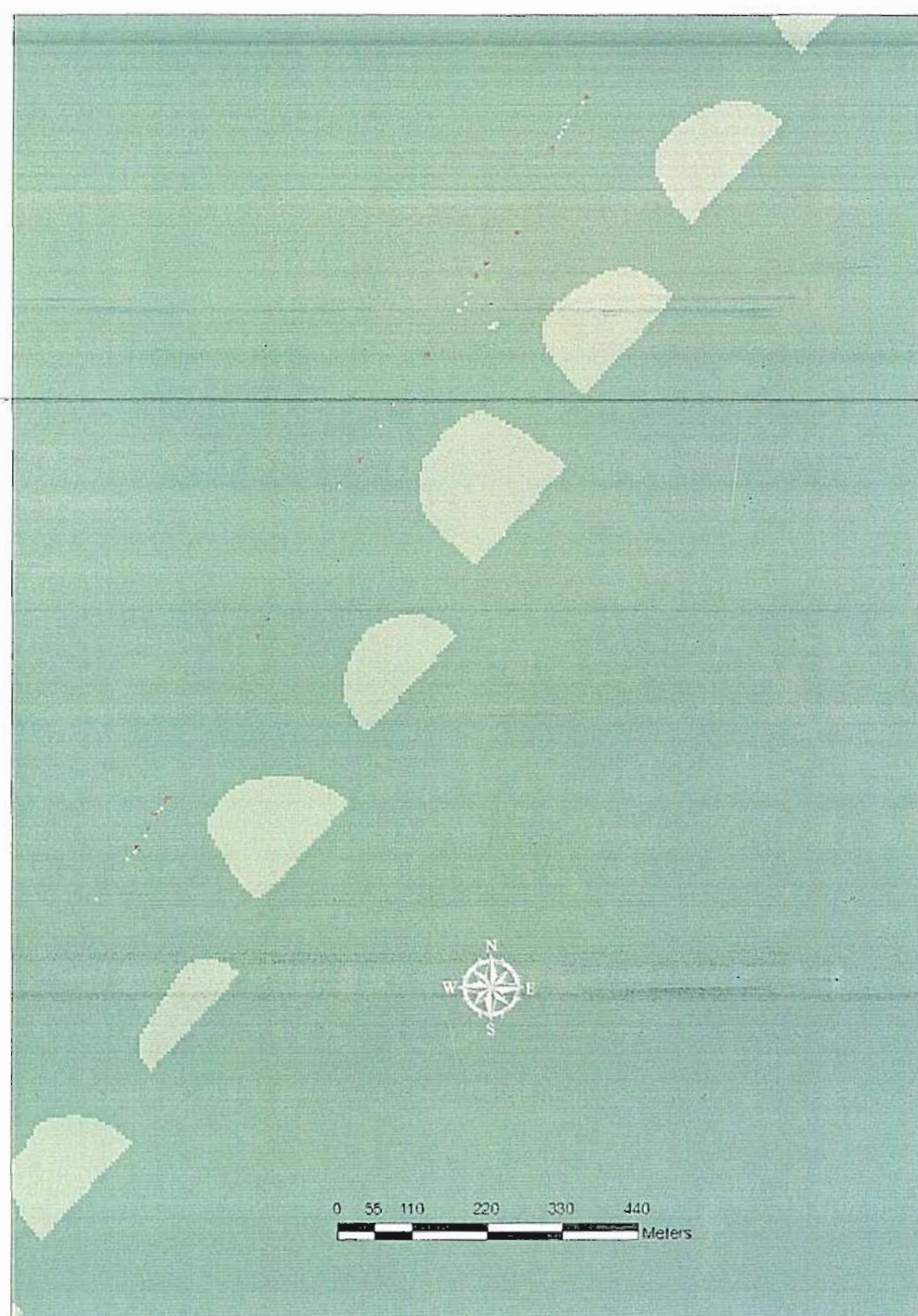


Figura 95 – Mappatura della dissipazione di energia a tergo delle barriere

5 Bibliografia

1. Amatucci F. Mauro A., 2000, Considerazioni sull'equilibrio dinamico in atto sul litorale in destra del fiume Noce in comune di Maratea. Atti V delle Giornate Italiane di Ingegneria Costiera V edizione. Reggio Calabria.
2. Amatucci F., Amore C., Cataldo P., 1978, Modellamento della spiaggia sommersa per effetto del moto ondoso tra Metaponto Lido e Ginosa Marina, Convegno A.I.O.L., Progetto finalizzato "Conservazione del suolo" sottoprogetto "Difesa dei Litorali".
3. Amatucci F., Mauro A., 1999, "Studio dell'evoluzione litoranea nell'arco di costa ionica lucana. Influenza dei contenuti energetici del moto ondoso e dei processi fluviali ed antropici" – Quaderni del DIFA.
4. Arena F. e Barbaro G., 2000, Sulle previsioni in tempi lunghi dei livelli di agitazione ondosa, XXVII Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche Vol. IV, Genova, 11-19.
5. Arena F., S. Meduri, D. Pavone, A. Romolo, 2006, Directional Return Period of Severe Storms Off Italian Coasts, Proc. of the 25th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering - OMAE 2006 – of ASME, Hamburg, Germany, paper 92615, pp. 1-10
6. Barbaro G e Tomasicchio G. R., 1996, Applicazione e verifica di una soluzione analitica per i periodi di ritorno delle mareggiate, XXV Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche Vol. II, Torino, 347-357.
7. Battjes J. A., 1970, Long term wave height distribution at seven stations around the British isles, Report A 44 National Oceanographic Institute, Wormley U.K.
8. Benassai E., Cataldo P., Ragone A., 1976, Inquadramento meteomarinico dell'area campione dello Ionio, Quaderni de "La ricerca scientifica".
9. Benassai E., Ragone A., 1979, La difesa delle spiagge sottili: aggiornamento sui tipi di opere e sui criteri della loro disposizione, Convegno su: "Le spiagge di Romagna: uno spazio da proteggere".
10. Benassai E., Bracci Laudiero A., Paoletta G., Corsini S., 1995, Hydrodynamic actions on the crest element of a rubble mound submerged structure Proceedings of the Fifth International Offshore and Polar Engineering-Conference.
11. Boccotti P., 1982, Relations between characteristic sea wave parameters, J. Geoph. Res., 87, 4267-4268.
12. Boccotti P., 1986, Previsione delle onde per i mari italiani, XX Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Padova.
13. Boccotti P., 1997, Idraulica marittima, UTET.
14. Boccotti P., 2000, Wave Mechanics for Ocean engineering, Elsevier.
15. Borgmann L. E., 1970, Maximum wave height probabilities for random number of random intensity storms. Proc. 12th Conf. Coastal Engng

16. Borgmann L.E., 1973, Probabilities for the highest wave in a hurricane. *J. Port Coastal and Ocean Engng.*
17. Bretschneider C., 1952, Revised Wave Forecasting Relationships. *Proceedings of the 2nd Coastal Engineering Conference, American Society of Civil Engineers*, pp 1-5.
18. Calabrese M., Vicinanza D., Buccino M., 2002, Trasmissione ondosa a tergo di scogliere a cresta bassa, *Studi costieri – 2002 – vol. 5*, pgg. 93-106.
19. Calabrese M., Vicinanza D., Buccino M., 2002, Trasmissione ondosa a tergo di scogliere a cresta bassa: indagine sperimentale su modello in grande scala, *XXVIII Convegno di Idraulica e Costruzioni idrauliche*, Potenza.
20. Calabrese M., Vicinanza D., Buccino M., 2003, 2D Wave Set Up behind Low Crested and Submerged Breakwaters, *Proceedings of The Thirteenth International Offshore and Polar Engineering Conference*.
21. Cappietti L., Mori E., Aminti P., 2006, Studio sperimentale dell'influenza della larghezza di berma sulla trasmissione del moto ondoso sottoflutto a scogliere sommerse, *XXX Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche*;
22. CERC – EH - U.S. Army Corps of Engineers, 2008, "Coastal Engineering Manual";
23. CERC, 1973, Shore Protection Manual, U.S. Army Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Council.
24. CERC, 1984, Shore Protection Manual, U.S. Army Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Council.
25. CERC, 2002, Coastal Engineering Manual, U.S. Army Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Council.
26. Cheng S., Liu S., Zheng Y., 2003, Application study on submerged breakwaters used for coastal protection, *International Conference on Estuaries and Coasts*.
27. Coastal Engineering, 1986: Directional wave spectra using cosine-squared and cosine 2s spreading functions, *Technical Note*;
28. Collins, J. I., et al. 1981: Refraction of Directional Spectra, *Proceedings, Directional Wave Spectra Applications*, ASCE, New York, N.Y., pp 251-266
29. Contini P. e De Girolamo P., 1998, Impatto morfologico di opere a mare: casi di studio, *VIII Convegno AIOM*.
30. Ferrante V., Vicinanza D., 2006, Trasmissione ondosa a tergo di barriere sommerse: un'applicazione sulla trasformata di Hilbert-huang, *XXX Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche*;
31. Gertz M., 2000, Oracle/ SQL Tutorial, Database and Information System Group, Dept. of Computer Science, University of California, Davis.
32. Goda Y., 1988, On the Methodology of Selecting Design Wave Height, *Proc. Of 23th ICCE*.
33. Goda Y., 1999, Random seas and design in maritime structures, University of Tokyo Press.

34. Greco M, Mauro A. Martino G., 2005, Sviluppo di una metodologia integrata di previsione degli stati di mare nel lungo periodo, *L'Acqua* n. 2, pp. 9-16;
35. Greco M., A. Sole, Tortoriello A., Velluzzi G., 1999, Design and management of monitoring network for marine interference control in coastal groundwater, International Conference on Water, Environment, Ecology, Socio-Economics and Health Engineering, Seoul, Korea.
36. Greco M., Mauro A., Martino G., 2004, Sviluppo, implementazione e validazione di una metodologia innovativa di previsione indiretta degli stati di mare nel lungo periodo, 29° Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche. Trento 7 – 10 settembre 2004, pp. 793 – 800 Vol. 3,
37. Greco M., Mauro A., Martino G., D'Erchia A., 2008, Protezione costiera e produzione energetica. Applicazione al litorale jonico lucano, Collana Editoriale Studi e Ricerche, Autorità di Bacino della Basilicata: Coste Prevenire, Programmare, Pianificare Atti del Convegno Nazionale di Maratea 15-17 maggio 2008, vol. n.4, pp. 159-168;
38. Greco M., Mauro A., Martino G., 2004, Semiprobabilistic integrated model for real sea forecasting, , Fifth International Conference on Coastal Environmental 2004, 26 - 28 April 2004, Alicante, Spain, pp. 321 – 331;
39. Greco M., Mauro A., Mirauda D., Sole A., Vita M., 2004, Integrated monitoring system of littoral and fluvial sediment transport in Basilicata, Coastal Environment 2004, Fifty International Conference on Environmental Problem in Coastal Region, Alicante, Spain, pp. 199-208;
40. Greco M., Sole A., Palma A., 2001, Definizione di una rete di monitoraggio per il controllo quali-quantitativo delle acque sotterranee costiere ioniche, Documenti del territorio, vol. 47, 2-8;
41. Hasselmann K., Barnett T. P., Bouws E. et al., 1973, Measurements of wind wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP), *Deut. Hydrogr. Zeit.*, A8,1-95.
42. Helmholtz H., 1888, *Über Atmosphärische Bewwungen*. S.Ber. Preuss. Akad. Wiss. Berlin, Mathem.Physik Kl.
43. Jeffreys H., 1925, On the Formation of Waves by Wind. *Proc. Roy. Soc. Lond.*, Ser. A., Vol 110, pp 341-347.
44. Longuet-Higgins M. S., 1952, On the statistical distribution of the heights of sea waves. *J. Mar. Res.*, 11, 245-266.
45. Metapontum Agrobios, 2004, "Relazione generale" e allegati, I Stralcio funzionale, Progetto " "Monitoraggio dell'erosione costiera e caratterizzazione quali-quantitativa dei sedimenti a mare";
46. Metapontum Agrobios, 2005, "Relazione generale" e allegati, II Stralcio funzionale, Progetto " "Monitoraggio dell'erosione costiera e caratterizzazione quali-quantitativa dei sedimenti a mare";
47. Metapontum Agrobios, Nautilus, 2007, "Relazione tecnica" e allegati, Progetto " "Monitoraggio dell'erosione costiera e caratterizzazione quali-quantitativa dei sedimenti a mare", attività di rilevamento e caratterizzazione quali-quantitativa dei sedimenti a

mare nell'ambito del progetto di cartografia geologica e tematica alla scala 1:50.000 finalizzato al controllo ambientale della parte a mare ricadente nel foglio n. 524 foce del Sinni;

48. Pierson W. J. Jr., Neumann G. and James R. W., 1955, *Practical Methods for Observing and Forecasting Ocean Waves by Means of Wave Spectra and Statistics*. U. S. Navy Hydrographic Office, H.O. Publ. No. 603.

49. Pierson W. J., Moskowitz L., 1964, A proposed spectral form for fully developed waves based on the similarity of S. A. Kitaigorodkii. *J. Geoph. Res.*, 69, 5181-5190.

50. Pilarczyk K.W., 2003, Design of low-crested (submerged) structures – an overview, VI International Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries.

51. Pilarczyk K.W., 2008, Alternative for coastal protection, *Journal of Water resources and Environmental Engineering*, n. 23, pp. 181-188.

52. R. Deigaard - J. Fredsoe, 1999, "The use of numerical models in coastal hydrodynamics and morphology" - I.A.H.R. Symposium on River, Coastal and Estuarine Morphodynamics - Genova.

53. Ragone A., 1977, Installazione di una stazione ondametrica in località Ginosa Marina: criteri per il rilevamento e la elaborazione dei dati, Convegno su: "Metodologie di acquisizione e apparecchiature per la misura delle grandezze idrologiche e marittime, Progetto finalizzato "Conservazione del suolo".

54. Ragone A., 1980, Interazione tra impianti portuali turistici e fenomeni evolutivi litoranei, Conferenza operativa tra le Regioni Basilicata-Calabria-Puglia su: "Lo sviluppo della nautica da diporto nello Ionio".

55. Resio D. T., Vincent, C. L., 1977, Estimation of Winds Over the Great Lakes. *J. Waterways Harbors and Coastal Div.*, American Society of Civil Engineers, Vol 102, pp 263-282.

56. Simeoni U., Alverinho Dias J.M., De Bernardinis B., Garcia Novo F., Mazzini E., Tessari U., Ciavola P., Trivisani A., Vita M., Greco M., Santarsiero V., Carcia Mora M.R., 1997: Integrated management of the beach-dune system, VI International Conference Coastlines 97, Napoli;

57. Simeoni U., Tessari U., Zamariolo A., Schiavi C., Bonora N., Fontolan G., Burla I., Trivisani A., 2002: "Interazioni bacino-costa", III Rapporto Progetto: "Produzione ed elaborazione dati per la definizione di indicatori delle relazioni tra evoluzione bacini ed evoluzione costa in aree prototipali in Basilicata e Veneto".

58. Sverdrup H. U. and Munk W. H., 1947, *Wind, Sea and Swell: Theory of Relations for Forecasting*. U.S. Navy Hydrographic Office, H.O. Publ. No. 601.

59. Tomasicchio U. , 2002, *Manuale di Ingegneria Portuale e Costiera*, BIOS, Cosenza.

60. Tomasicchio U. e Longo S., 1987, Sulla ricostruzione dell'agitazione ondosa con applicazione e confronto per il paraggio di Brindisi, *Giornale del Genio Civile*, fasc.4,5,6.

61. Van der Meer J.W., Briganti R., Zanuttigh B., Wang B., 2005, Wave transmission and reflection at low-crested structures: Design formulae, oblique wave attack and spectral change, *Coastal Engineering* 52 pgg. 915–929;
62. Verhagen H.J., van Vledder G., Arab S. E., 2008, A practical method for design of coastal structures in shallow water, *Coastal engineering* (pp 2912-2922).