REGIONE LIGURIA
DIPARTIMENTO PROGRAMMI REGIONALI, PORTI, TRASPORTI, LAVORI PUBBLICI ED EDILIZIA
Settore Progetti Infrastrutture Viabilità Porti e Logistica

Anas S.p.A.
Direzione Centrale Progettazione

InfrastruttureLiguria
GRUPPO FILSE

CONVENZIONE DEL 14 SETTEMBRE 2009 TRA REGIONE LIGURIA E INFRASTRUTTURE LIGURIA S.R.L. PER LA REALIZZAZIONE DI ATTIVITÀ PER L'ATTUAZIONE DEL PROGRAMMA DI STUDI E PROGETTAZIONI INFRASTRUTTURALI STRATEGICHE

Oggetto:

VARIANTE DI TRACCIATO ALLA S.S.1 AURELIA – CAPO NOLI
STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE

Titolo:

STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE

Doc. n: 02A\AUT\AMB\R001 – Allegato C

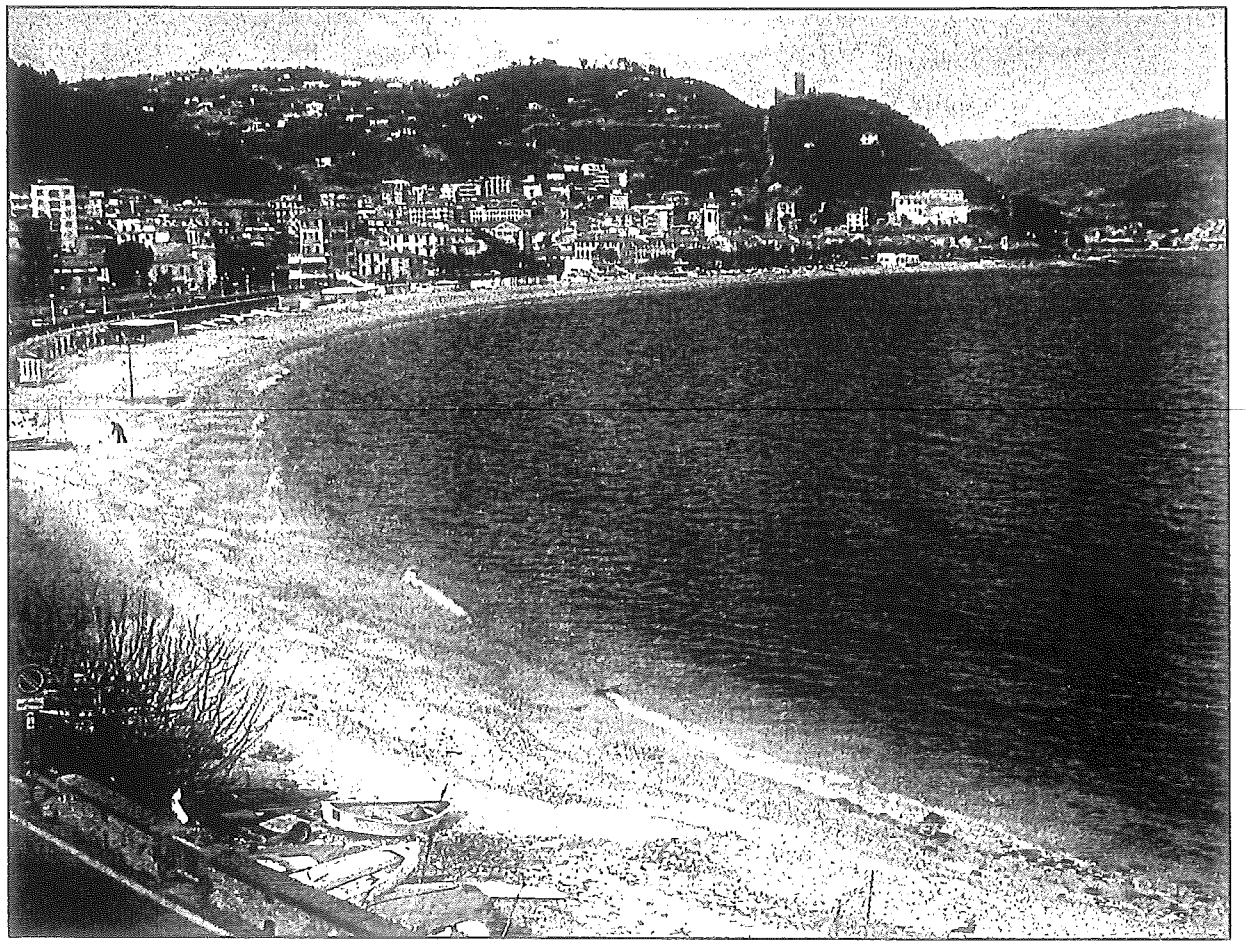
Rev.	Data	Sez.	Pag.	Redatto	Controllato	Approvato	Descrizione
3	20/07/12	-	-	IL	FB	SB	Per Emissione

Spazio riservato alla codifica ANAS

CODICE PROGETTO	CODICE ELABORATO	RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO
DP GE05 D 11 01	T 00 IA 00 AMB RE 01	*Ing. Raffaele Carso*

HYDROSOIL S.r.l.
via Pana 56/a - 35027 Noventa padovana (PD) - tel./fax 049 8703933 - E-mail: hydrosoil@iol.it

COMUNE DI NOLI
PROVINCIA DI SAVONA



Data: giugno 2004	STUDI IDRAULICO-MARITTIMI RELATIVI ALLA SPIAGGIA DI NOLI (SV)	Elaborato: unico
Commessa: HS228		
Revisione: V00		
Prof. Ing. P. Ruol Albo degli Ingegneri della Provincia di Padova n. 1883		HydroSoil S.r.l. Ing. M. Tondello Albo degli Ingegneri della Provincia di Padova n. 277 Ing. C. Candlan Albo degli Ingegneri della Provincia di Padova n. 3510

INDICE

1 PREMESSA 4

2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE 5

3 CARATTERISTICHE DEI VENTI E DEL MOTO ONDOSO "AL LARGO" 7

4 PROPAGAZIONE DEL MOTO ONDOSO 14

4.1 DESCRIZIONE DEL CODICE DI CALCOLO SWAN 14

4.1.1 Capacità e limitazioni di SWAN 14

4.1.2 Cenni sulla formulazione del modello SWAN 14

4.1.3 Equazione di conservazione dell'azione 15

4.1.4 Cenni sulla numerica di SWAN 17

4.1.5 Settaggio del modello 18

4.2 DETERMINAZIONE DEL CLIMA LOCALE 21

4.3 STUDIO DELLA PROPAGAZIONE LOCALE DEL MOTO ONDOSO 23

4.3.1 Presentazione dei risultati 24

5 ANALISI DELL' EVOLUZIONE MORFOLOGICA DEL LITORALE 28

5.1 RICOSTRUZIONE STORICA SULL'EVOLUZIONE DEL LITORALE DI NOLI (DAL 1700 AL 1980) 28

5.2 EVOLUZIONE DEL LITORALE DAL 1980 AD OGGI 29

5.3 CARATTERISTICHE LITO-GEOMORFOLOGICHE DEL LITORALE E DELL'ENTROTERRA DELL'UNITÀ FISIOGRAFICA DI NOLI 29

5.4 RICOSTRUZIONE DELL'EVOLUZIONE STORICA RECENTE 31

6 INTERAZIONE TRA MOTO ONDOSO E SEDIMENTI LITORANEI 35

7 STUDIO MORFOLOGICO DEL LITORALE 38

7.1 DATI DI MOTO ONDOSO 38

7.2 PROPAGAZIONE SOTTOCOSTA 41

7.3 DESCRIZIONE MODELLO STWAVE 42

7.4 RISULTATI DEL MODELLO STWAVE 45

7.4.1 Clima locale in corrispondenza dei diversi punti di output 45

7.4.2 Propagazione locale delle mareggiate 47

8 ANALISI MODELLISTICA DELL'EVOLUZIONE MORFOLOGICA 50

8.1 PREMESSA ALLA MODELLAZIONE 50

8.2 DESCRIZIONE DEL CODICE DI CALCOLO GENESIS 50

8.2.1 Andamento del trasporto solido longitudinale e valutazione del bypass 53

8.2.2 Profilo trasversale del litorale 53

8.2.3 Profondità di chiusura e altezza di swash 54

8.2.4 Determinazione delle caratteristiche dell'onda al frangimento 54

8.3 DATI SEDIMENTOLOGICI 55

8.4 TARATURA 59

8.4.1 Considerazioni preliminari 59

8.4.2 Parametri utilizzati nel modello 59

8.4.3 Risultati taratura 60

8.5 PREVISIONE IN CONFIGURAZIONE ATTUALE E MODIFICATA DALLE NUOVE OPERE 62

9 CONCLUSIONI 71

Allegati fuori testo:

GRAFICI:

Propagazione moto ondoso:

Tavola S1	Griglie di calcolo impiegate per lo studio della propagazione del moto ondoso
Tavola S2	Studio della propagazione del moto ondoso sottocosta – TEST 1
Tavola S3	Studio della propagazione del moto ondoso sottocosta – TEST 2
Tavola S4	Studio della propagazione del moto ondoso sottocosta – TEST 3
Tavola S5	Studio della propagazione del moto ondoso sottocosta – TEST 4
Tavola S6	Studio della propagazione del moto ondoso sottocosta – TEST 5
Tavola S7	Studio della propagazione del moto ondoso sottocosta – TEST 6
Tavola S8	Planimetria area di interesse con ubicazione transetti di calcolo

Evoluzione morfologica del litorale:

Tavola G1	Studio dell'evoluzione morfologica del litorale – Ricostruzione storica e taratura
Tavola G2	Studio dell'evoluzione morfologica del litorale – Confronto soluzioni di intervento
Tavola G3	Studio dell'evoluzione morfologica del litorale – Soluzione di progetto

NUMERICI:
TABULATI DI OUTPUT LUNGO I TRANSETTI

1 PREMESSA

La società Hydrosoil S.r.l., con sede in Noventa Padovana, ha ricevuto dall'Ing. Gaggero l'incarico per la redazione di una serie di studi idraulico-marittimi relativi alla spiaggia di Noli.

In particolare, gli studi sono stati articolati nelle seguenti attività:

- analisi statistica del clima meteomarino sulla base dei dati disponibili;
- determinazione del clima ondoso in un punto antistante il tratto di litorale in oggetto (codice di calcolo SWAN);
- studio della propagazione locale del moto ondoso per le onde più alte documentate per i diversi settori di provenienza (codice di calcolo SWAN);
- determinazione del clima locale del moto ondoso in un numero di punti sufficiente a descrivere compiutamente le condizioni di trasporto solido lungo l'intero tratto di litorale analizzato (codice di calcolo STWAVE);
- studio dell'evoluzione morfologica del litorale attraverso il codice di calcolo GENESIS, ipotizzando il permanere della configurazione attuale e diverse tipologie di intervento;
- alla luce dei risultati dell'analisi dell'efficacia delle diverse tipologie di intervento, delle indicazioni del Comune di Noli e dei funzionari regionali, ottenute nell'incontro del 13 maggio scorso, è stata sviluppata una proposta progettuale, validata attraverso un'ulteriore applicazione del modello matematico tarato.

2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Il litorale di Noli, procedendo da ponente verso levante, si estende dalla galleria del Malpasso, ove confina con il litorale di Finale Ligure, sino alla foce del Rio Torbora, al confine con il Comune di Spotorno. Oggetto del presente studio è il tratto antistante l'abitato, compreso tra la stazione di pompaggio ed il IV molo (Molo Gaverri), riportato nella foto in Figura 1.

La storia geologica recente della spiaggia di Noli, analogamente a quella di altre spiagge liguri, inizia a partire dal Pleistocene sup. (circa 30.000 anni) quando con il termine dell'ultima glaciazione (Wurm III e IV) si ha una trasgessione causata da un innalzamento del livello marino fino oltre 100m rispetto al livello glaciale precedente.

La paleogeografia costiera del territorio di Noli era caratterizzata dalla presenza di una marcata insenatura imbutiforme svasata verso mare e orograficamente delimitata dai promontori del Castello a levante e di Capo Noli a ponente nonché dai primi contrafforti dei retrostanti rilievi già modellati da precedenti ingressioni marine, come testimoniato dai numerosi terrazzi d'erosione marina posti a quota compresa tra +30 e +50 m rispetto al livello marino attuale e verosimilmente databili all'interstadiale Mindel (500.000 anni).

A Nord del promontrorio del Castello (Chiariventi) la costa era rocciosa diritta così come quella del versante di Panen - S.Michele con ripide falesie direttamente esposte a mare.
L'azione di degradazione operata dagli agenti atmosferici, agevolata dall'elevato grado di fratturazione dei litotipi presenti, e l'elevata acclività del territorio determinarono disponibilità di materiale detritico destinato ad essere trasportato dai corsi d'acqua del retrostante bacino il cui grado evolutivo era di tipo giovanile e, pertanto, piuttosto erosivo.
La deposizione del carico alluvionale dei torrenti Noli, Acquaviva e Mazzeno andò a determinare un primo embrione di arenile che dalla foce degli stessi, originariamente molto interna al golfo, determinò un graduale riempimento del seno originario con migrazione della linea di costa verso mare aperto. In tale fase iniziale le spiagge erano, di conseguenza, pressochè assenti e limitate agli apparati fociali, mentre risultavano del tutto predominanti le falesie attive.
A seguito del riempimento di tali aree, la linea di riva avanzò gradualmente fino ad esporsi, sempre in maniera graduale, al trasporto marino verso nord. Iniziò in tal senso il superamento dei capi in occasione delle mareggiate più violente e i materiali che sfuggivano al golfo, sia in conseguenza dell'andamento abbastanza lineare della costa, sia per la sua esposizione tangenziale rispetto al moto ondoso dominante, venivano rapidamente trasportati verso levante, comportando, quindi, con il tempo, un accrescimento della linea di riva dell'arenile di Spotorno.

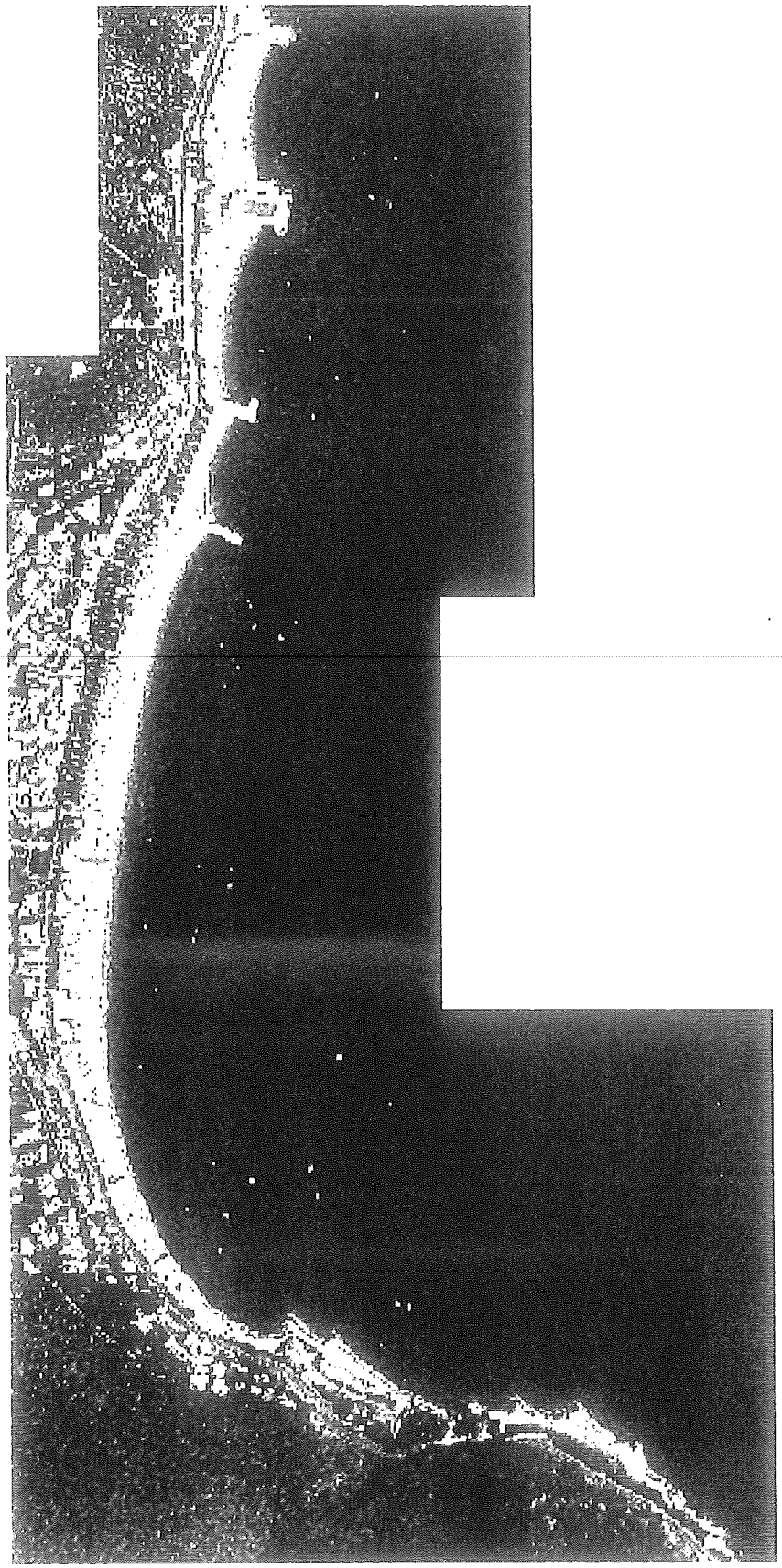


Figura 1 – Area di interesse

3 CARATTERISTICHE DEI VENTI E DEL MOTO ONDOSO "AL LARGO"

Per la definizione delle caratteristiche meteomarine del paraggio (onde e venti) si è fatto riferimento ai dati forniti dal centro meteorologico inglese: "UK Meteorological Office" (nel seguito indicato con l'acronimo U.K.M.O.).

Il modello European Wave Model dell'U.K.M.O. ricostruisce lo stato del mare a partire dai dati meteorologici (carte bariche) e dal campo di moto. Le agenzie meteorologiche nazionali iniziarono ad impiegare modelli di previsione spettrale delle condizioni di moto ondoso a partire dalla metà degli anni '70. I modelli operano in continuo, funzionando in cascata con relativi modelli di previsione meteorologica, che forniscono loro i dati di vento necessari come input.
I modelli U.K.M.O. Global Wave Model e European Wave Model sono modelli della seconda generazione per la parametrizzazione non lineare dello spettro del moto ondoso. I dati ottenibili, con cadenza di 30 minuti, sono relativi ad ogni nodo della maglia. Oltre ad altezza significativa, periodo medio e direzione media di propagazione, il modello è in grado di fornire anche spettri direzionali, con 16 direzioni, discretizzati con 13 frequenze.
Il modello UK Met Office Wave Model copre le acque europee con una griglia locale (European Wave Model, Figura 2) le cui maglie hanno lati di 25÷30 km. L'archivio del modello, che elabora con continuità i dati meteorologici, fornisce dati sequenziali di vento e moto ondoso a partire dall'ottobre 1986.

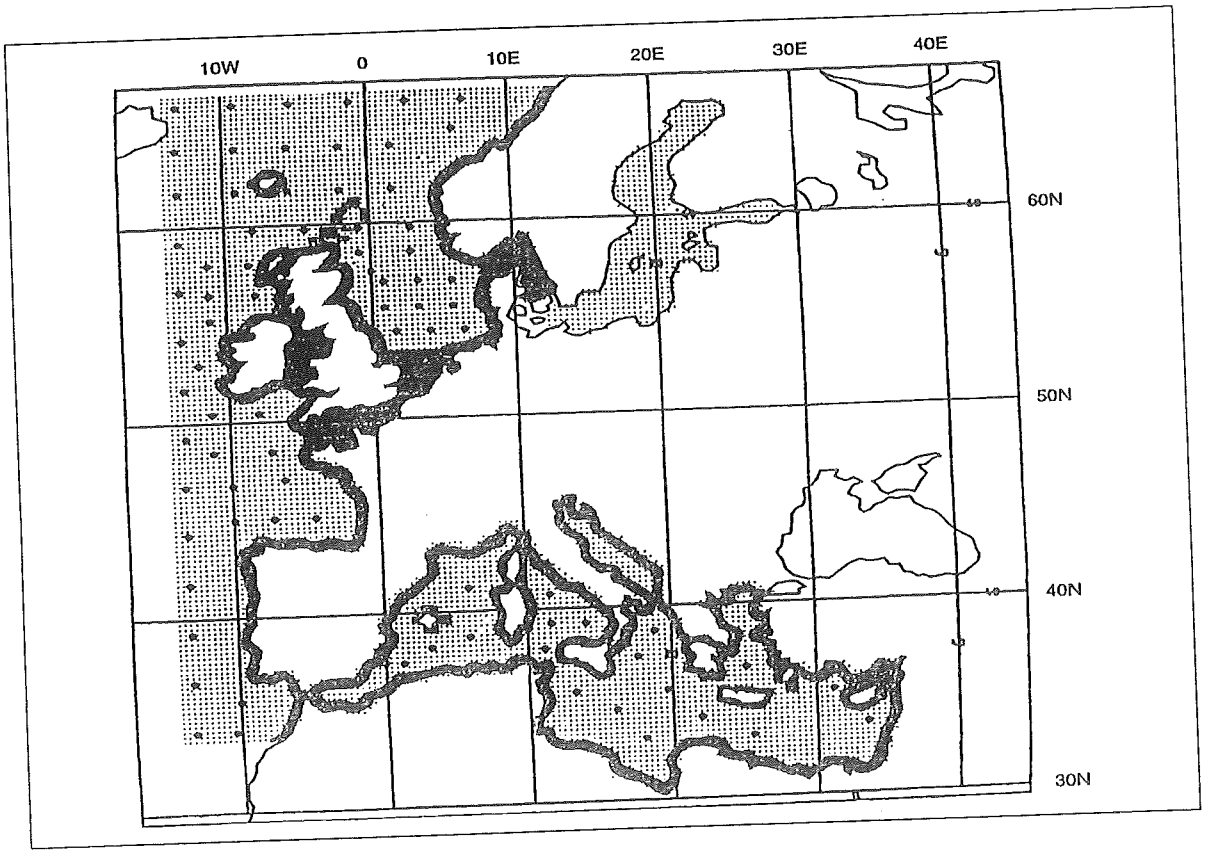


Figura 2 – Punti di rilievo UKMO

Lo European Wave Model si annida all'interno del Global Wave Model (maglia di lato pari a 150 km), che elabora i dati su scala maggiore.

I dati forniti hanno consentito di caratterizzare lo stato del mare (e le caratteristiche dei venti) sulla base dell'analisi delle più recenti carte bariche della zona e rappresentano un'affidabile ed insostituibile fonte di informazione, in assenza di stazioni ondametriche locali.
I dati elaborati sono relativi al periodo di osservazione gennaio 1987 – dicembre 1998. Essi sono estesamente illustrati nelle pagine seguenti.

In particolare, in Tabella 1 sono riportate le registrazioni di moto ondoso ordinate per altezza e direzione di provenienza; la durata degli eventi appartenenti a ciascuna classe è espressa in parti per centomila sull'intero periodo di registrazione/ricostruzione.

In Figura 3 è riportato il diagramma polare che descrive la frequenza (coordinata radiale) del moto ondoso proveniente dai diversi settori (coordinata angolare) e la relativa altezza significativa (spessore del vettore).
Dall'osservazione del diagramma riportato in figura è immediato constatare che le mareggiate più frequenti e intense provengono da un settore particolarmente ristretto (SSW, 210°N). Le onde provenienti da tale settore sono in grado di raggiungere solo indirettamente la spiaggia di Noli, per effetto della diffrazione attorno al Capo, che ne attenua notevolmente l'intensità.
La spiaggia risulta così esposta solo a mareggiate relativamente meno intense e frequenti, condizione ne ne permette la buona stabilità registrata nel recente passato.

In Figura 4 è riportato il medesimo tipo di diagramma, riferito però a direzione, frequenza e intensità dei venti; il regime dei venti è caratterizzato dal prevalere di due settori di provenienza, quello di SSW, coerente con la presenza delle mareggiate evidenziate in Figura 3, e quello di N-NE, con venti ancora più intensi e frequenti, ma non in grado di generare moto ondoso in quanto spira da terra verso mare.

In Figura 5 è riportata la statistica degli estremi riferita alle altezze d'onda significative (per tutti i settori di provenienza), sviluppata sulla base del modello di Weibull. Sembra ovvio comunque ritenere che le altezze maggiori vadano associate al settore di SSW.

In Tabella 2, oltre alla sintesi dei risultati della statistica degli estremi, è riportata la correlazione tra altezza d'onda significativa e periodo (T_S o T_{01}), sviluppata sulla base della serie storica registrata a Genova Nervi. Tale correlazione risulta di particolare importanza per gli studi meteomarini condotti, in quanto ha consentito di associare ad ogni classe di altezza il relativo periodo (non disponibile sulla base dei dati UKMO, che attribuiscono le registrazioni di pari altezza e direzione alla medesima classe, indipendentemente dal periodo caratteristico della mareggiata).

UKMO European Wave Model wind/wave data for Mar Ligure: 44.0N 8.73E

Data in parts per hundred thousand
Hs is the significant wave height in metres
P(H>H1) is the probability of Hs exceeding H1

Annual

Total number of hours = 105192
Based on UKMO predictions for January 1987 - December 1998

H1 To H2		P(H>H1)	Wave direction in degrees North											
			-15 15	15 45	45 75	75 105	105 135	135 165	165 195	195 225	225 255	255 285	285 315	315 345
0.00	0.50	0.98757	2507	2575	2276	2493	3023	5208	7275	12232	4586	1666	1172	1480
0.50	1.00	0.52264	2849	2321	1591	1503	1782	2972	3879	9024	3140	1842	1537	2889
1.00	1.50	0.16935	1366	1263	713	525	622	896	1047	3571	702	299	285	482
1.50	2.00	0.05165	279	188	262	185	234	191	342	1415	311	71	103	134
2.00	2.50	0.01449	77	9	57	60	54	108	108	419	48	6	31	43
2.50	3.00	0.00428	9	0	11	6	11	54	46	134	6	6	0	3
3.00	3.50	0.00143	0	0	0	3	3	29	31	31	0	0	0	0
3.50	4.00	0.00046	0	0	0	3	3	9	9	9	0	0	0	0
4.00	4.50	0.00014	0	0	0	3	6	0	3	3	0	0	0	0
Parts per thousand for each direction			71	64	49	48	57	95	127	268	88	39	31	50

Significant wave heights for given exceedence levels

P(H>Hs)		Wave direction in degrees North											
	All dir.	-15 15	15 45	45 75	75 105	105 135	135 165	165 195	195 225	225 255	255 285	285 315	315 345
0.50	0.53	0.68	0.63	0.56	0.48	0.47	0.45	0.44	0.57	0.48	0.58	0.63	0.68
0.20	0.96	1.11	1.07	1.04	0.94	0.94	0.90	0.88	1.03	0.89	0.89	0.93	0.94
0.10	1.29	1.37	1.33	1.39	1.29	1.29	1.19	1.15	1.41	1.13	1.00	1.19	1.16
0.05	1.52	1.52	1.45	1.66	1.56	1.55	1.45	1.45	1.74	1.45	1.31	1.46	1.43
0.02	1.93	1.90	1.69	1.94	1.94	1.92	2.05	1.92	2.07	1.80	1.53	1.85	1.79
0.01	2.22	2.10	1.85	2.17	2.22	2.18	2.48	2.32	2.39	1.95	1.81	2.00	1.98
Average	0.63	0.73	0.68	0.67	0.61	0.61	0.58	0.56	0.68	0.57	0.60	0.66	0.69

Tabella 1 – Registrazioni di moto ondoso ordinate per altezza e direzione

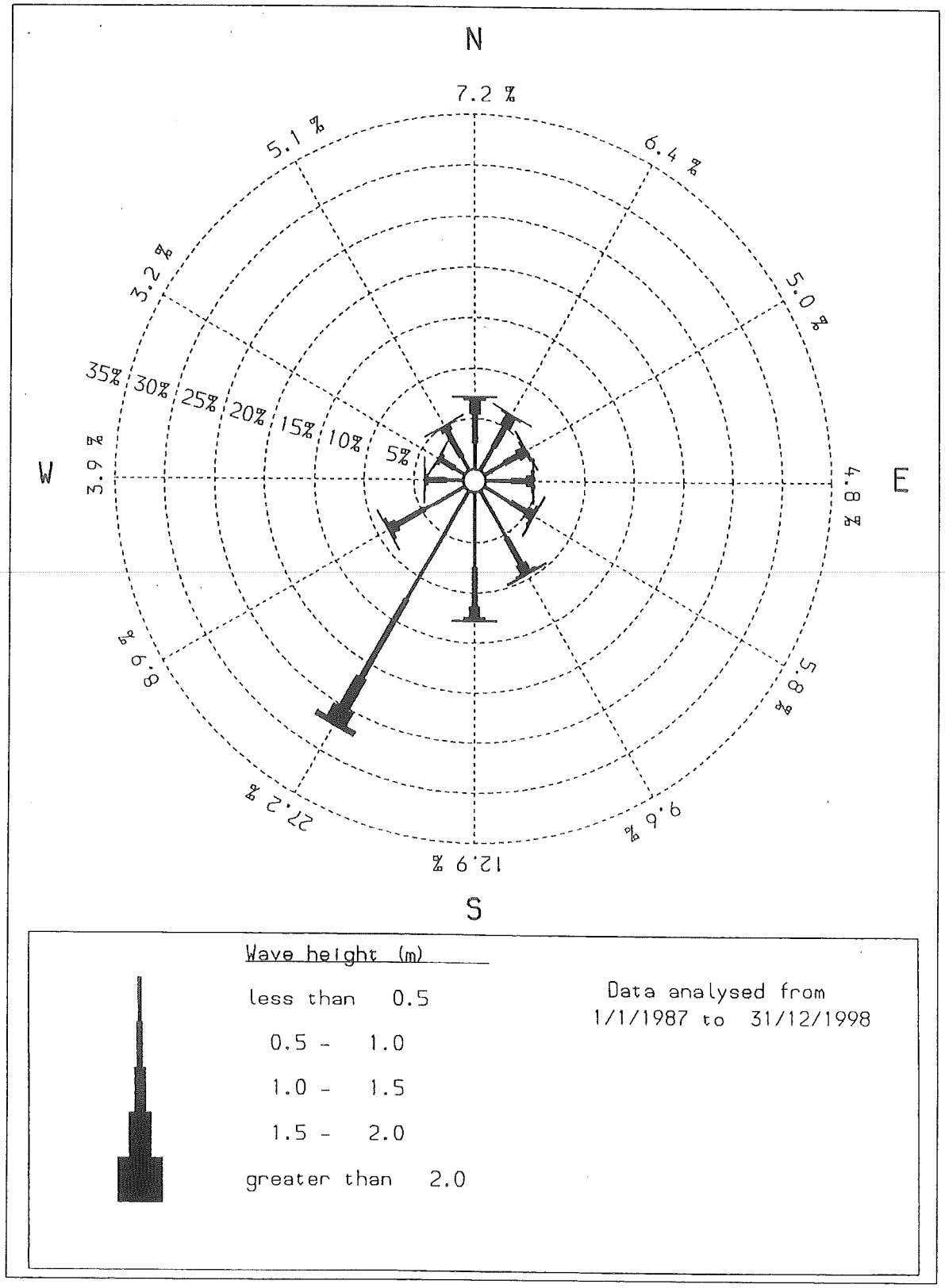


Figura 3 – Frequenza annuale delle altezze d'onda, ordinata per direzione

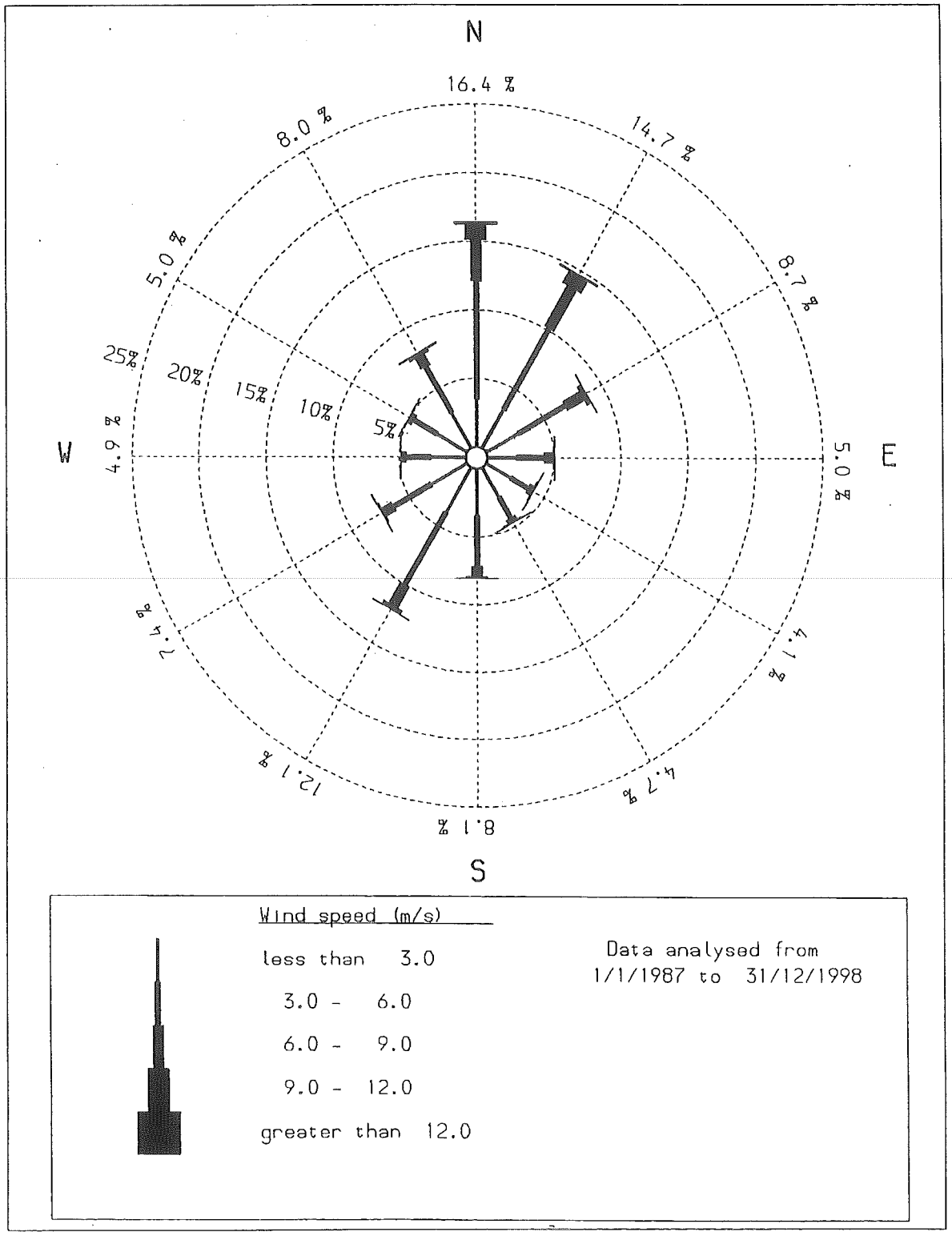


Figura 4 – Frequenza annuale dei venti, ordinata per direzione

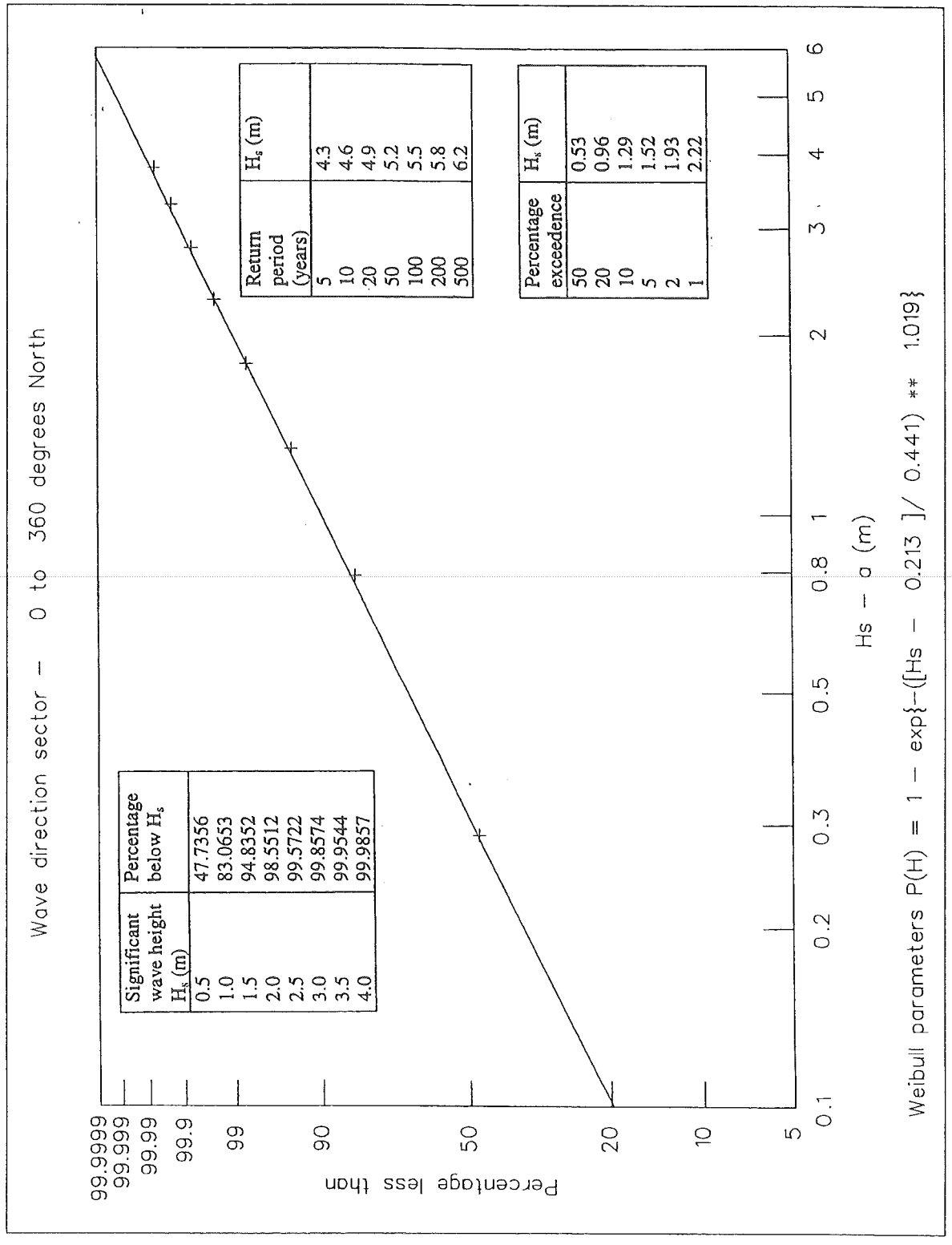


Figura 5 – Statistica degli estremi relativa alle altezze d'onda

Return period (years)	Significant wave height H_s (m)
	Mar Ligure, near Genoa
5	4.3
10	4.6
20	4.9
50	5.2
100	5.5
200	5.8
500	6.2

T_m (s) = 4.3 $\sqrt{}$ H_s (m) (based on the Genoa Nervi data)
The assumed duration is 3 hours

Percentage exceedence	Significant wave height H_s (m)
	Mar Ligure, near Genoa
50	0.53
20	0.96
10	1.29
5	1.52
2	1.93
1	2.22

Tabella 2 – Correlazione tra altezze e periodi e riepilogo statistica degli estremi

4 PROPAGAZIONE DEL MOTO ONDOSO

La propagazione del moto ondoso sottocosta è stata ricostruita a partire dai dati al largo forniti dall'organismo meteorologico inglese U.K.M.O e sulla base della batimetria aggiornata del sito oggetto di studio, ricavata in base alle carte nautiche e ai più recenti rilievi locali resi disponibili dal Committente.
L'analisi è stata condotta mediante il modello numerico SWAN (Simulation Waves Nearshore), descritto al successivo paragrafo 4.1.

4.1 Descrizione del codice di calcolo SWAN

Il modello SWAN (Simulation WAves Nearshore) è un modello numerico espressamente sviluppato per ottenere stime attendibili dei parametri d'onda in aree costiere. Il modello si basa sull'equazione di conservazione dell'azione, e tiene conto di varie forzanti e fattori dissipativi. SWAN è un modello della terza generazione, cioè dinamico e completamente spettrale in frequenza e direzione. Il modello è stato sviluppato dall'Università di Delft (Olanda) e conta ormai come utenti - validatori moltissimi Istituti di Ricerca in più di trenta paesi.

4.1.1 Capacità e limitazioni di SWAN

Il modello SWAN può tenere conto dei seguenti processi: rifrazione dovuta al fondo e ai gradienti di corrente, shoaling dovuto al fondo e ai gradienti di corrente, blocking e riflessione dovuti alla corrente. Il modello inoltre considera le seguenti forzanti/processi dissipativi: generazione dovuta al vento, dissipazione dovuta al whitecapping, frangimento, attrito al fondo, ridistribuzione dell'energia sullo spettro dovuta ad interazioni non lineari (interazioni a tre e a quattro onde).
La diffrazione e la riflessione non sono modellati da SWAN. Il modello non è perciò affidabile in presenza di forti gradienti di profondità, nelle immediate vicinanze di ostacoli e all'interno di porti o bacini protetti.
Si ricorda che la significatività dei risultati di un modello di propagazione di moto ondoso del tipo di quello qui impiegato è vincolata alla qualità dei dati impiegati. In particolare, in acque basse (prima della zona dei frangenti) i risultati dipendono in maniera critica dall'attrito sul fondo. In presenza di informazioni dettagliate sul fondo (materiale, conformazione ecc) e di una taratura mediante misure in sito i risultati sono generalmente affetti da un errore inferiore al 5% per quanto riguarda l'altezza d'onda ed inferiore al 10% per il periodo.

4.1.2 Cenni sulla formulazione del modello SWAN

In SWAN le onde sono modellate mediante uno spettro bidimensionale della densità d'azione. Lo spettro considerato è quello della densità d'azione $N(\sigma,\theta)$ e non quello della densità d'energia $E(\sigma,\theta)$, in quanto la densità d'azione si conserva anche in presenza di correnti, mentre cio' non accade per la densità di energia (Whitham, 1974). Le variabili indipendenti sono la frequenza relativa σ (osservata in un sistema di riferimento che si muove con la velocità di propagazione dell'azione) e la direzione dell'onda θ. La densità di azione è pari alla densità di energia divisa per la frequenza: $N(\sigma,\theta) = E(\sigma,\theta)/\sigma$.

4.1.3 *Equazione di conservazione dell'azione*

In SWAN l'evoluzione dello spettro è descritta dall'equazione di conservazione dell'azione spettrale che, in coordinate cartesiane è (Hasselmann et al., 1973):

$$\frac{\partial}{\partial t} N + \frac{\partial}{\partial x} c_x N + \frac{\partial}{\partial y} c_y N + \frac{\partial}{\partial \sigma} c_\sigma N + \frac{\partial}{\partial \theta} c_\theta N = \frac{S}{\sigma}$$

Il primo termine del primo membro rappresenta la variazione locale, in funzione del tempo, della densità di azione; il secondo e terzo termine rappresentano la propagazione dell'azione nello spazio (con velocità di propagazione c_x e c_y rispettivamente in x- e y-). Il quarto termine rappresenta lo shift della frequenza relativa dovuta a variazioni di profondità e a correnti (con velocità di propagazione c_σ nello spazio σ). Il quinto termine rappresenta la rifrazione indotta dalla batimetria e dalla corrente (con velocità di propagazione c_θ nello spazio θ). Le suddette velocità di propagazione sono ricavate dalla teoria lineare (Dingemans, 1997). Il termine S ($=S(\sigma,\theta)$) a secondo membro è il cosiddetto termine sorgente e rappresenta gli effetti generativi, dissipativi e le interazioni non lineari. Di seguito viene riportata, in breve, la formulazione dei vari termini sorgenti.

Input dovuto al vento

Il trasferimento di energia dal vento alle onde è descritto in SWAN sulla base del meccanismo di risonanza di Phillips (1957) e del meccanismo di feedback di Miles (1957). Il corrispondente termine sorgente può essere schematizzato come la somma di una crescita lineare e di una esponenziale:

$$S_{in}(\sigma,\theta) = A + B\,E(\sigma,\theta)$$

dove A e B dipendono dalla frequenza e dalla direzione dell'onda e dalla frequenza e direzione del vento. L'effetto di correnti è modellato in SWAN mediante l'uso, per il vento, della velocità e direzione apparenti.

L'espressione per A è dovuta a Cavaleri e Malanotte-Rizzoli (1981), come modificata da Tolman (1992). L'espressione per B è mutuata dalla versione più recente del modello WAM (WAM Cycle 4, Komen et al., 1994). E' dovuta a Janssen (1991) e tiene conto delle interazioni tra vento e onde considerando esplicitamente effetti atmosferici di interfaccia e la lunghezza d'onda caratteristica della superficie del mare. Il corrispondente insieme di equazioni viene risolto mediante la procedura iterativa di Mastenbroek et al. (1993).

Dissipazione

I termini dissipativi sono rappresentati dalla somma di tre contributi: whitecapping $S_{ds,w}(\sigma,\theta)$, attrito sul fondo $S_{ds,b}(\sigma,\theta)$ e frangimento dovuto alla profondità $S_{ds,br}(\sigma,\theta)$. Il whitecapping è essenzialmente controllato dalla ripidità dell'onda. La formulazione del fenomeno è basata su un adattamento del modello di Hasselmann (WAMDI group 1988):

$$S_{ds,w}(\sigma,\theta) = -\Gamma\ \tilde{\sigma}\frac{k}{\tilde{k}}E(\sigma,\theta)$$

Dove Γ è un coefficiente che dipende dalla ripidità dell'onda, k è il numero d'onda, $\tilde{\sigma}$ e $\tilde{k}$ sono rispetivamente la frequenza media e il numero d'onda medio. Il coefficiente Γ è basato

sull'espressione di Janssen (1991).
La dissipazione energetica dovuta alle interazioni con il fondo può essere causata dall'attrito sul fondo, da movimenti del materiale del fondo, da percolazione e riflessione dovuta ad irregolarità del fondo stesso. Il meccanismo dominante è l'attrito sul fondo, che può essere rappresentato come:

$$S_{ds,b}(\sigma,\theta) = -C_{bottom}\frac{\sigma^2}{g^2 \sinh^2(kd)}E(\sigma,\theta)$$

dove C_{bottom} è il coefficiente di attrito sul fondo. A partire dal primo lavoro di Putnam e Johnson (1949), sono stati proposti moltissimi modelli per la stima di C_{bottom}. Dal momento che nelle aree costiere le condizioni del fondo (caratteristiche del materiale, conformazione del fondo, ecc.) sono estremamente varie, non esiste evidenza sperimentale che porti a preferire una qualche formulazione per il coefficiente di attrito. Per questo motivo in SWAN sono attualmente implementati solo i modelli più semplici: il modello empirico JONSWAP di Hasselmann et al. (1973), il modello di Madsen et al. (1988) ed il modello di Collins (1972). L'utente deve scegliere la formulazione ed i coefficienti che più si adattano alle caratteristiche del fondale. In mancanza di informazioni dettagliate, il modello usa dei coefficienti di attrito che garantiscono la conservatività dei risultati. L'effetto della corrente sulla dissipazione dovuta all'attrito sul fondo non è modellato, essendo dfi ordine superiore (Tolman, 1992).
Il processo del frangimento spettrale dovuto alla profondità è ancora poco conosciuto. Al contrario, la dissipazione totale (cioè integrata su tutto lo spettro) può essere ben modellata (Battjes and Janssen, 1978; Thornton and Guza, 1983). Il modello di Battjes e Janssen è stato perfezionato in termini spettrali da Eldeberky e Battjes (1995). Generalizzando la loro espressione per includere le direzioni, si ottiene la formulazione implementata nel modello:

$$S_{ds,br}(\sigma,\theta) = -\frac{D_{tot}}{E_{tot}}E(\sigma,\theta)$$

dove E_{tot} è l'energia totale dell'onda e D_{tot} rappresenta la dissipazione dell'energia totale dovuta al frangimento, come in Battjes e Janssen (1978). Il valore di D_{tot} dipende dal valore del parametro $\gamma = H_{max} / d$ (dove H_{max} è la massima altezza possibile per un'onda monocromatica, in una profondità d). In SWAN al parametro γ viene dato un valore costante γ =0.73 (che costituisce la media del data set riportato in Battjes e Stive, 1985). Come opzione si può impostare un valore di γ variabile in funzione della pendenza del fondo, come suggerito da Nelson (1987, 1994), oppure in funzione della ripidità dell'onda al largo, come suggerito dagli stessi Battjes e Stive (1985) nei casi di onda non monocromatica.
SWAN può stimare la trasmissione delle onde oltre una struttura semisommersa, tramite la formulazione di Goda et al. (1967), modificata secondo Seelig (1979) per tenere conto della sezione della barriera.
Il programma può inoltre tenere conto del set-up indotto dall'onda, secondo la procedura avanzata da Dingemans (1997). Se non diversamente specificato, il setup viene assunto come nullo nel punto più profondo della griglia di calcolo.

Interazioni non lineari

In acque profonde, le interazioni a quattro onde dominano l'evoluzione dello spettro. Queste interazioni trasferiscono energia dal picco verso le basse frequenze (con l'effetto netto di diminuire la frequenza di picco) e verso le alte frequenze (aumentando cosi' l'energia dissipata dal

whitecapping).
In acque molto basse, le interazioni a tre onde trasferiscono l'energia dalle basse alle alte frequenze, dando luogo ad armoniche di ordine superiore (Beji and Battjes, 1993).
In SWAN il calcolo delle interazioni a quattro onde è eseguito tramite la tecnica "Discrete Interaction Approximation" (DIA) di Hasselmann et al. (1985), tecnica che è risultata molto efficace nel descrivere lo sviluppo dello spettro (Komen et al., 1994).
Il calcolo delle interazioni a quattro onde è eseguito tramite la tecnica "Lumped Triad Approximation" (LTA) sviluppata da Eldeberky (1996). Questa tecnica si è dimostrata molto efficace nel descrivere il trasferimento di energia dal picco dello spettro verso le armoniche di ordine superiore.

4.1.4 Cenni sulla numerica di SWAN

L'integrazione dell'equazione di bilancio dell'azione è stata implementata in SWAN mediante uno schema alle differenze finite in tutte e cinque la dimensioni (tempo, spazio e direzione spettrale).
Nel modello lo spettro è discretizzato con una risoluzione direzionale costante (tipicamente 30° o 15°) e una risoluzione in frequenza con fn/fn+1 costante (distribuzione logaritmica delle frequenze). Le frequenze (tipicamente 15-30) sono definite tra una frequenza minima (tipicamente 0.6 fp) ed una frequenza massima (tipicamente 2.5 fp). Per frequenze superiori alla frequenza massima il modello aggiunge una "coda" allo spettro, per rendere possibile il calcolo delle interazioni non lineari ad alta frequenza e per calcolare i parametri integrati. In SWAN questa coda viene calcolata seguendo la formulazione di Phillips (1985).
Per la propagazione lo schema numerico di SWAN è uno schema "upwind" implicito del primo ordine nello spazio geografico (x-y). Uno schema implicito, essendo incondizionatamente stabile, permette di usare passi di integrazione lunghi. Molti anni di sperimentazione e validazione del modello di seconda generazione HISWA (Holthuijsen et al., 1989) hanno mostrato che lo schema numerico usato è sufficientemente accurato nello spazio geografico. Nello spazio spettrale è tuttavia richiesta, specialmente in acque basse, una maggiore accuratezza. Questa è stata ottenuta integrando, nello spazio spettrale, lo schema di primo ordine con uno schema del secondo ordine ad approssimazione centrale (più economico, in termini computazionali, di uno schema "upwind" di secondo ordine). I due schemi vengono combinati linearmente mediante due coefficienti di somma unitaria.
Le condizioni al contorno in SWAN, sia nello spazio geografico che spettrale, sono di completo assorbimento dell'energia che esce dalla griglia di calcolo o che attraversa la linea di riva. L'energia entrante dai bordi della griglia di calcolo deve essere indicata dall'utente, con particolare cautela sui bordi che intersecano la linea di riva.

4.1.5 *Settaggio del modello*

La batimetria è stata ricavata usando come base la più recente cartografia dell'Istituto Idrografico Militare ed un rilievo locale (1983).

Il dominio di calcolo è stato discretizzato con un sistema di griglie annidate: sono state infatti impiegate 3 griglie con passo decrescente (BIG, MEDIUM, SMALL).
La griglia maggiore (BIG GRID, vedi Figura 6) ha origine nel punto di coordinate locali (X = 20000, Y = 10000), ha dimensione 50000 x 50000 m a maglia quadrata di passo 500 m.

Per le simulazioni annidate sono state utilizzate in successione due griglie batimetriche meno estese:

- MEDIUM GRID (Figura 7): origine (X 36000, Y 30500), passo 100 m, dimensioni 3000 x 4000 m.
- SMALL GRID (Figura 8): origine (X 36200, Y 31800), passo 20 m, dimensioni 900 x 2000 m.

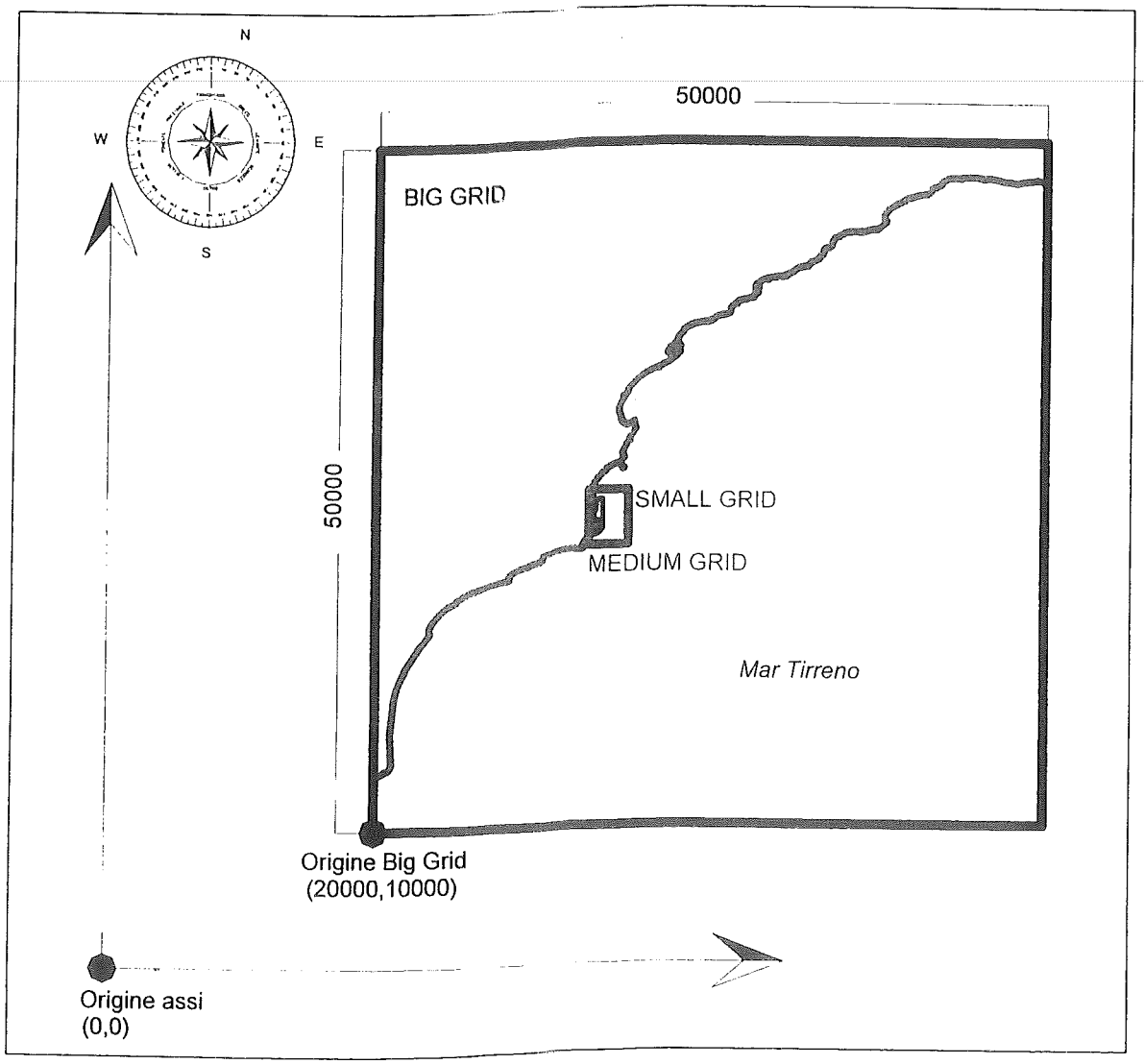


Figura 6 – BIG GRID – passo 500x500 m

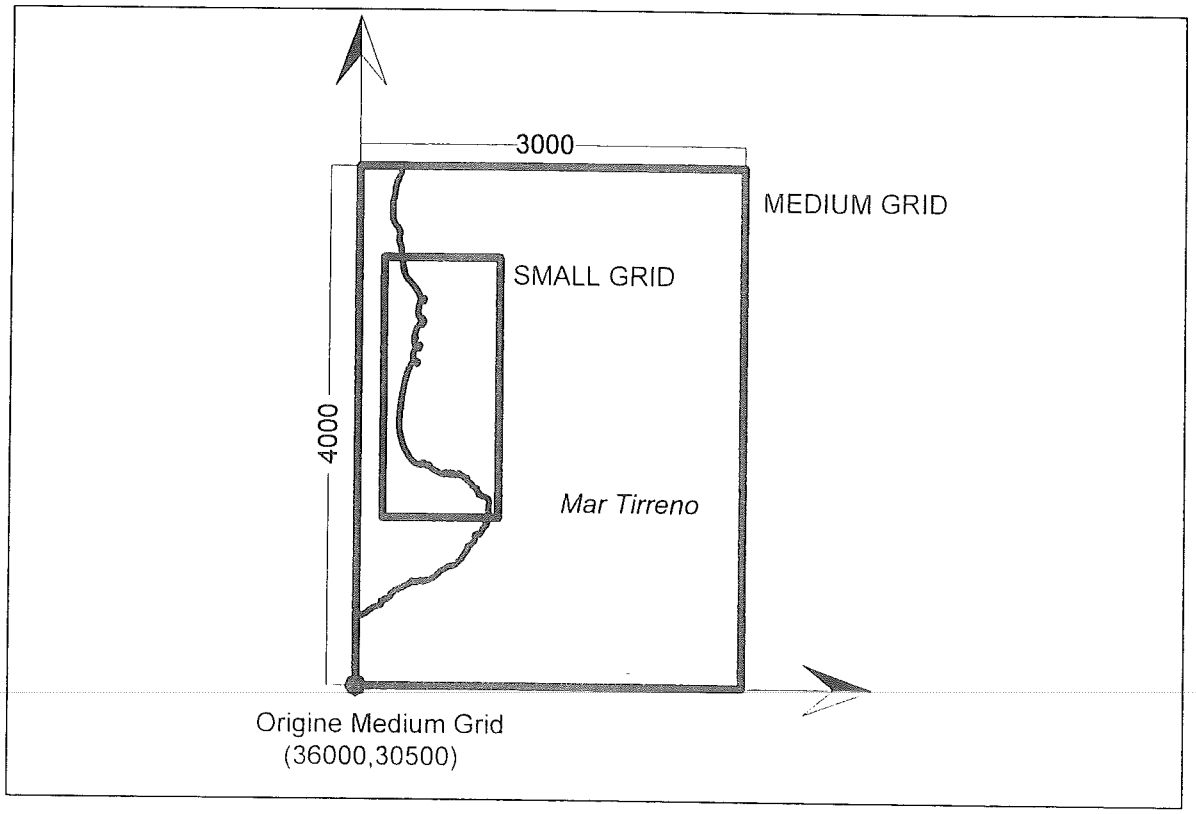


Figura 7 – MEDIUM GRID – passo 100x100 m

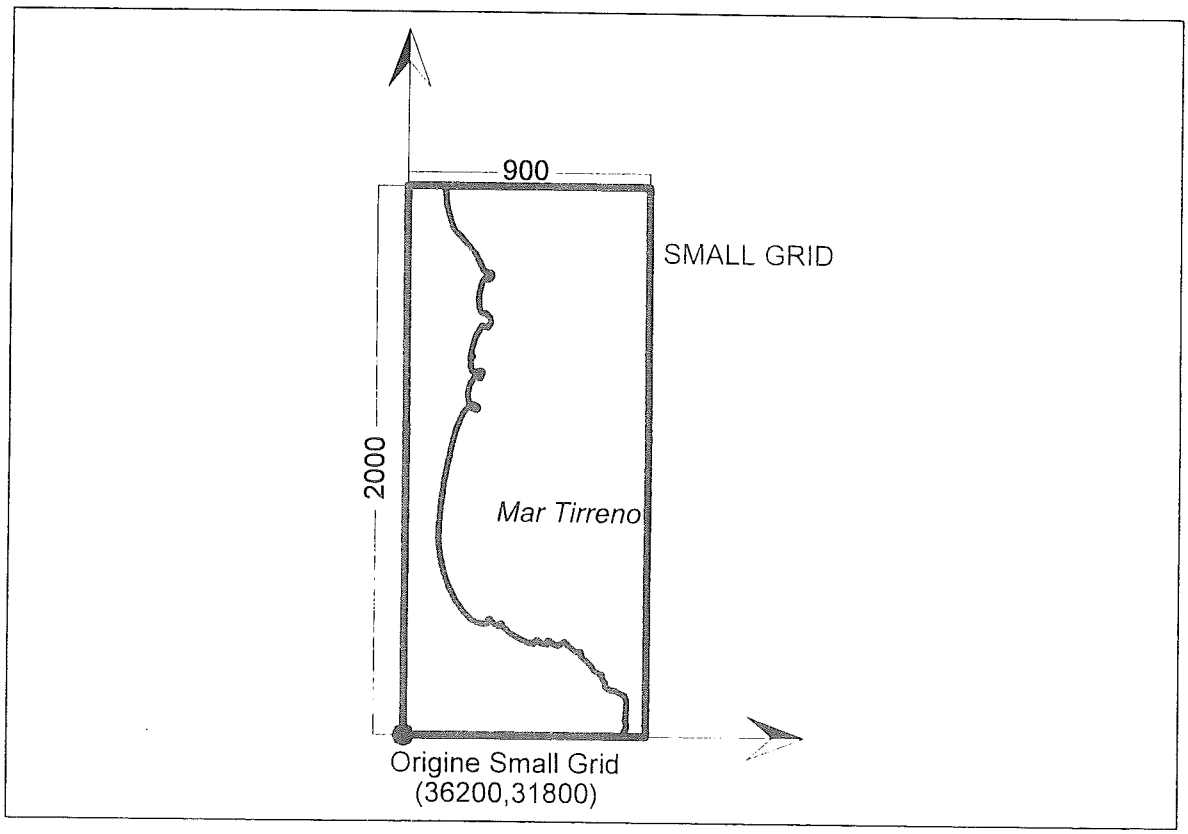


Figura 8 – SMALL GRID - passo 20 x 20 m

Per le simulazioni oggetto del presente studio, i parametri significativi del moto ondoso sono stati rappresentati con uno spettro bidimensionale di tipo JONSWAP avente fattore di picco (γ) e spreading direzionale (s) desunti dalla ripidità dell'onda (mediante la formula di Wilson, 1965). Lo spettro è stato poi discretizzato in 25 frequenze (f1=0.04 Hz, fn+1=1.1 fn) e 24 direzioni (equispaziate di 15°).
Per le simulazioni si è ricorsi alla tecnica del ciclo annidato: è stata inizialmente usata una griglia di calcolo di 50000 x 50000 m, discretizzata in maglie di calcolo di 500 m di lato. Le condizioni al contorno sono state assunte costanti lungo i bordi della griglia, con l'accortezza di scalare i parametri d'onda in funzione della profondità nella porzione di bordo immediatamente sottoriva, dove avvengono fenomeni di frangimento dovuti al fondo. I risultati della prima simulazione sono serviti da input per un secondo ciclo di calcolo effettuato su una griglia di calcolo di 3000 x 4000 m, discretizzata in maglie di calcolo di 100 m di lato. Successivamente i risultati della seconda simulazione sono serviti da input per un terzo ciclo di calcolo effettuato su una griglia di calcolo di 900 x 2000 m, discretizzata in maglie di calcolo di 20 m di lato e centrata sull'area di interesse.

In mancanza di informazioni dettagliate sulla conformazione e composizione del fondo, si è adottata per la dissipazione dovuta al fondo la formulazione di Madsen et al (1988), con lunghezza caratteristica Ks= 0.04 m, valore generalmente accettato in letteratura (Komen et al, 1994). Come parametro di frangimento χ si è optato per impostare un valore variabile in funzione della ripidità dell'onda al largo, come suggerito da Battjes e Stive (1985).
Il vento è stato stimato a partire dalle condizioni al largo, ipotizzando condizioni di mare generativo. La direzione del vento è stata assunta pari alla direzione dell'onda al largo.
Gli altri settaggi del modello sono stati operati mirando alla conservatività dei risultati. Questa scelta è stata anche suggerita dal fatto che, nelle simulazioni in cui non viene fornito al modello l'input del vento, la diffusività intrinseca dello schema numerico di avvezione tende a ridurre leggermente l'altezza d'onda anche in assenza di fenomeni dissipativi.

4.2 Determinazione del clima locale

La determinazione del clima ondoso locale è stata condotta utilizzando il modello matematico descritto al precedente paragrafo; le simulazioni della propagazione del moto ondoso dal punto UKMO verso riva sono state effettuate per tutte le classi di altezza e direzione (con popolazione non nulla) appartenenti al settore compreso tra 45°N e 225°N, cioè aventi direzioni di provenienza al largo corrispondenti a 60, 90, 120, 150, 180 e 210 °N.

Il punto "P3" di output del clima ondoso locale, ubicato in un fondale di circa 70 m di fronte all'area di intervento, è riportato in Figura 9.
le classi di altezza e direzione al largo utilizzate per la determinazione del clima locale sono riportate nella Tabella 3, che riporta anche le registrazioni, in parti per centomila, appartenenti a ciascuna classe.

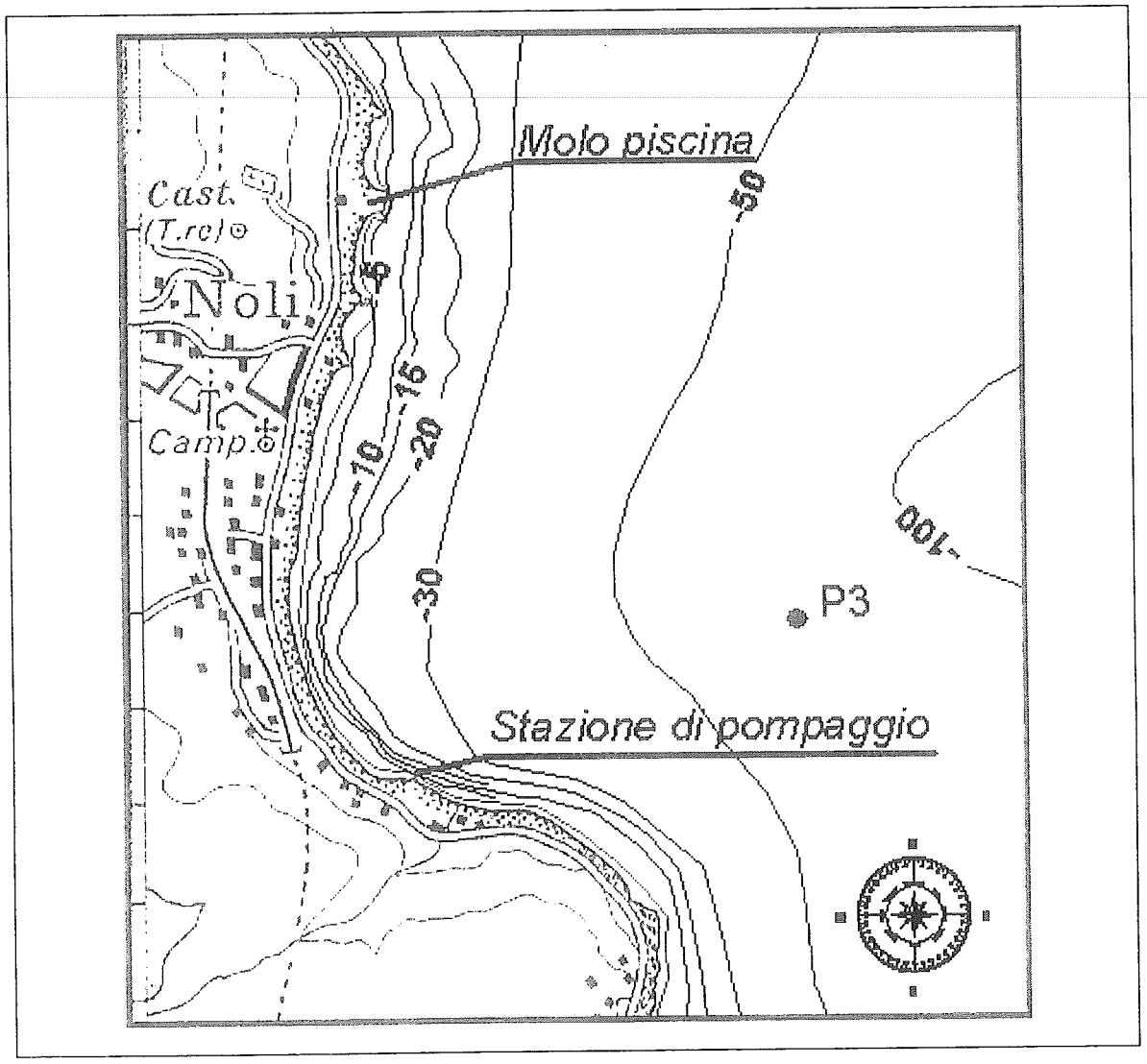


Figura 9 – Ubicazione del punto di output del clima locale

H_S (m)	Dir (°N)					
	60	90	120	150	180	210
0.5	2276	2493	3023	5208	7275	12232
1.0	1591	1503	1782	2972	3879	9024
1.5	713	525	622	896	1047	3571
2.0	262	185	234	191	342	1415
2.5	57	60	54	108	108	419
3.0	11	6	11	54	46	134
3.5	0	3	3	29	31	31
4.0	0	3	3	9	9	9
4.5	0	3	6	0	3	3

Tabella 3 – Classi al largo utilizzate per la determinazione del clima locale e relative popolazioni

AL LARGO			PUNTO "P3"			AL LARGO			PUNTO "P3"		
H_S (m)	T_{01} (s)	Dir (°N)	H_S (m)	T_{01} (s)	Dir (°N)	H_S (m)	T_{01} (s)	Dir (°N)	H_S (m)	T_{01} (s)	Dir (°N)
0.50	3.04	60	0.36	2.97	65.6	0.50	3.04	150	0.45	2.97	150.3
1.00	4.30	60	0.72	4.21	66.4	1.00	4.30	150	0.92	4.23	150.2
1.50	5.27	60	1.08	5.14	66.8	1.50	5.27	150	1.39	5.17	150.1
2.00	6.08	60	1.44	5.88	67.1	2.00	6.08	150	1.87	5.93	150.0
2.50	6.80	60	1.79	6.50	67.3	2.50	6.80	150	2.35	6.57	149.8
3.00	7.45	60	2.14	7.05	67.5	3.00	7.45	150	2.83	7.14	149.4
3.50	8.04	60	2.48	7.55	67.7	3.50	8.04	150	3.30	7.66	148.9
4.00	8.60	60	2.81	8.02	67.9	4.00	8.60	150	3.77	8.16	148.3
4.50	9.12	60	3.13	8.42	68.0	4.50	9.12	150	4.24	8.60	147.6
0.50	3.04	90	0.44	2.99	90.1	0.50	3.04	180	0.44	2.96	178.5
1.00	4.30	90	0.90	4.26	90.1	1.00	4.30	180	0.88	4.17	178.1
1.50	5.27	90	1.38	5.22	90.1	1.50	5.27	180	1.30	5.06	177.4
2.00	6.08	90	1.85	5.98	90.1	2.00	6.08	180	1.69	5.73	176.5
2.50	6.80	90	2.32	6.63	90.0	2.50	6.80	180	2.05	6.29	175.5
3.00	7.45	90	2.80	7.19	90.0	3.00	7.45	180	2.39	6.78	174.4
3.50	8.04	90	3.26	7.71	89.9	3.50	8.04	180	2.73	7.24	173.3
4.00	8.60	90	3.72	8.18	89.8	4.00	8.60	180	3.05	7.68	172.1
4.50	9.12	90	4.16	8.60	89.7	4.50	9.12	180	3.37	8.07	170.9
0.50	3.04	120	0.44	2.99	120.0	0.50	3.04	210	0.19	2.95	196.0
1.00	4.30	120	0.90	4.27	120.0	1.00	4.30	210	0.39	4.16	195.1
1.50	5.27	120	1.38	5.23	120.0	1.50	5.27	210	0.58	5.04	193.5
2.00	6.08	120	1.85	5.99	120.0	2.00	6.08	210	0.75	5.71	192.0
2.50	6.80	120	2.33	6.64	120.1	2.50	6.80	210	0.91	6.27	190.5
3.00	7.45	120	2.80	7.22	120.0	3.00	7.45	210	1.07	6.76	188.9
3.50	8.04	120	3.28	7.75	120.0	3.50	8.04	210	1.22	7.23	187.1
4.00	8.60	120	3.76	8.25	119.8	4.00	8.60	210	1.37	7.71	185.1
4.50	9.12	120	4.23	8.69	119.6	4.50	9.12	210	1.52	8.14	183.2

Tabella 4 – Propagazione delle mareggiate dal punto UKMO al largo al punto P3

4.3 Studio della propagazione locale del moto ondoso

Lo studio della propagazione locale del moto ondoso, con il tracciamento dei piani d'onda, è finalizzato alla valutazione dell'impatto delle mareggiate più significative, nella fattispecie quelle caratterizzate dalle massime altezze d'onda registrate/ricostruite per i sei settori di provenienza considerati.

Sono stati effettuati sei test con relative simulazioni, prendendo come condizioni al largo rispettivamente:

Test 1:	Hs = 3,0 m;	Tp = 8,49 s;	θ_0 = 60°N
Test 2:	Hs = 3,0 m;	Tp = 8,49 s;	θ_0 = 90°N
Test 3:	Hs = 4,5 m;	Tp = 10,40 s;	θ_0 = 120°N
Test 4:	Hs = 4,0 m;	Tp = 9,80 s;	θ0 = 150°N
Test 5:	Hs = 4,0 m;	Tp = 9,80 s;	θ_0 = 180°N
Test 6:	Hs = 4,0 m;	Tp = 9,80 s;	θ_0 = 210°N

4.3.1 Presentazione dei risultati

I risultati delle simulazioni dei 3 test condotti sono stati rappresentati graficamente nelle Tavole da 2 a 7.
Per ciascun test i risultati del modello sono stati rappresentati all'interno della griglia di calcolo di 900 x 2000 m, attraverso il tracciamento di vettori aventi direzione e verso corrispondenti a quelli medi di propagazione della mareggiata e modulo proporzionale all'altezza significativa.
Per facilitare la lettura delle variazioni di tale parametro in funzione della geometria del fondale, nelle tavole sono anche rappresentate le isolinee di altezza significativa H_s e di periodo T_{01}.

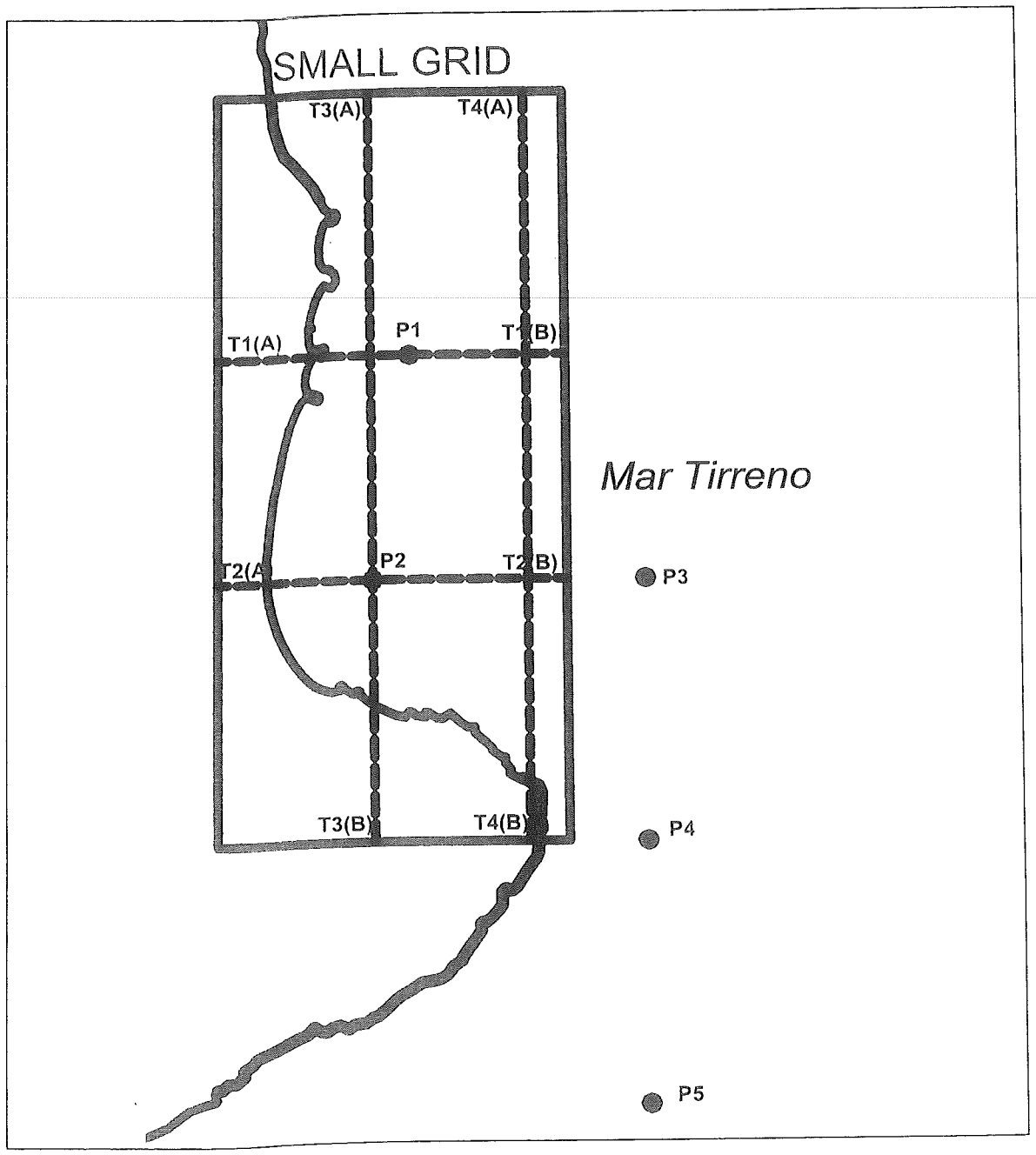


Figura 10 – Transetti di calcolo e punti di output

Sono stati inoltre considerati 4 transetti di calcolo e 5 punti di output, rappresentati in Figura 10. Le coordinate delle estremità dei transetti, nel sistema di riferimento Gauss-Boaga, sono evidenziate alla seguente Tabella 5 e nell'apposito elaborato grafico (tavola 8).

TRANSETTO	A		B	
	E	N	E	N
T1	453313	4895255	454213	4895255
T2	453313	4894655	454213	4894655
T3	453713	4895955	453713	4893955
T4	454113	4895955	454113	4893955

Tabella 5 – Coordinate estremità transetti di calcolo

Le coordinate E e N dei punti di output, riportate in Tabella 6, sono sempre riferite al sistema di riferimento Gauss-Boaga; mentre, per quanto riguarda le coordinate Z, sono state ricavate dagli output della MEDIUM GRID per P3, P4, P5 e della SMALL GRID per P1, P2.

PUNTI DI OUTPUT	E	N	Z (m s.m.m.)
P1	453813	4895255	-25,521
P2	453713	4894655	-30,870
P3	454413	4894655	-71,066
P4	454413	4893955	-47,101
P5	454413	4893255	-75,403

Tabella 6 – Coordinate punti di output

I risultati ottenuti lungo i 4 transetti (tabulati ogni 10 m), per ciascuno dei 6 test condotti, sono riportati in forma numerica in allegato alla presente relazione.
Nelle figure seguenti (da Figura 11 a Figura 14) sono riportati graficamente i risultati ottenuti, in termini di altezza d'onda (HS) e periodo (T01), lungo ciascuno dei transetti individuati per il Test 3, che viene ritenuto maggiormente significativo poiché presenta il massimo valore dell'altezza d'onda (4,5 m s.m.m.).
Nella seguente Tabella 7 sono riassunte le caratteristiche di ciascuna figura evidenziata.

FIGURA	TEST	TRANSETTO	GRANDEZZE RAPPRESENTATE
Figura 11	3	T1	HS, T01,Profondità
Figura 12	3	T2	HS, T01,Profondità
Figura 13	3	T3	HS, T01,Profondità
Figura 14	3	T4	HS, T01,Profondità

Tabella 7 – Indice delle figure

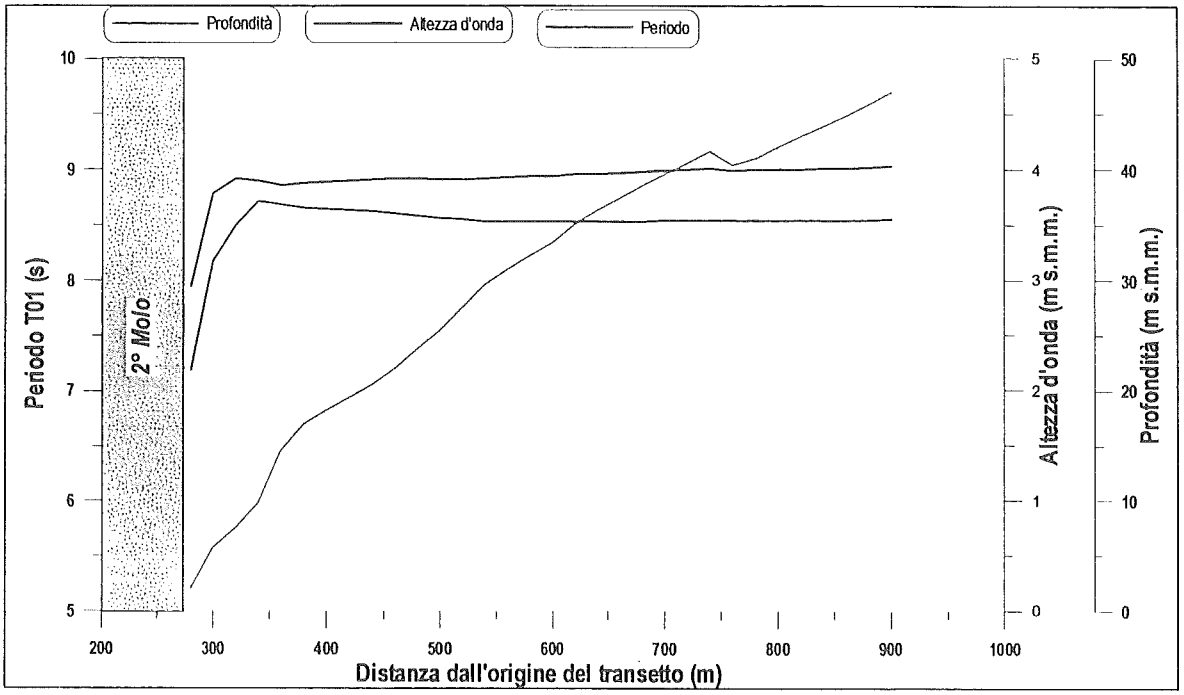


Figura 11 – TEST3 – T1

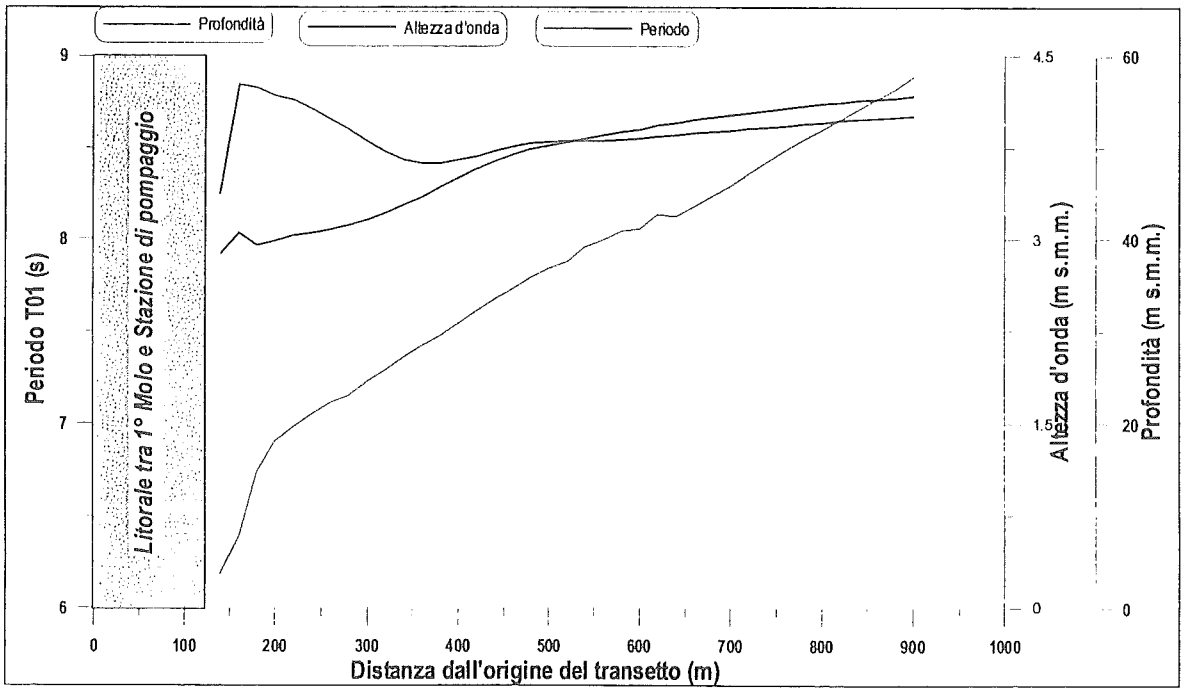


Figura 12 – TEST3 – T2

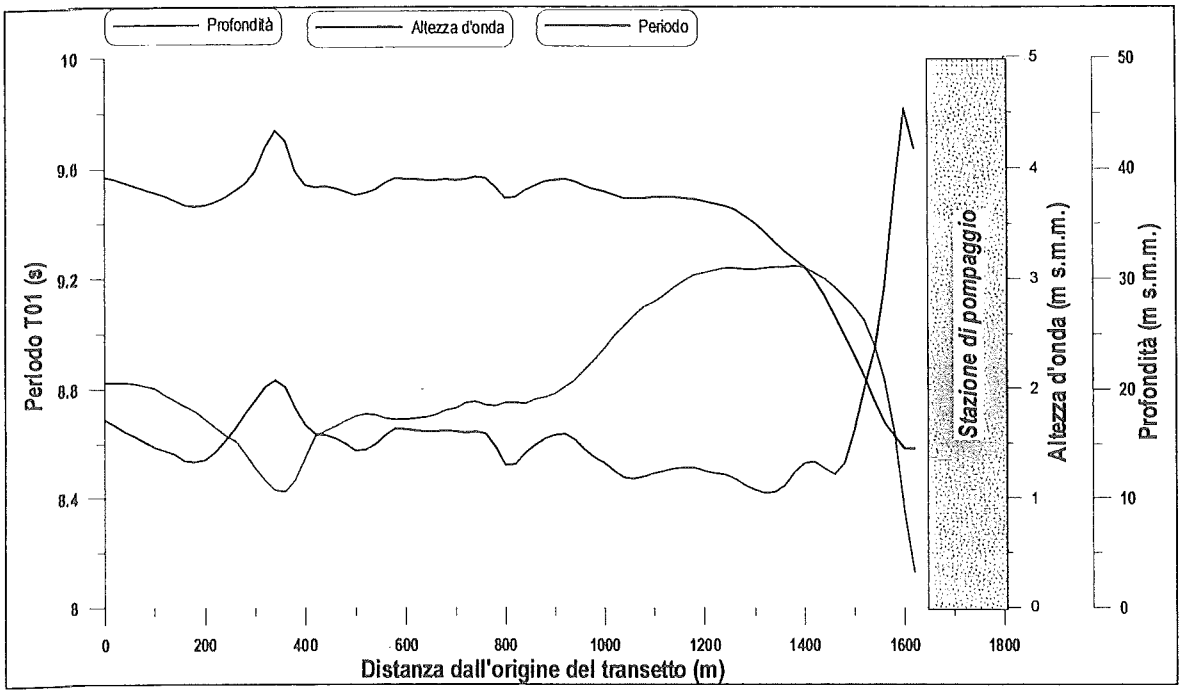


Figura 13 – TEST3 – T3

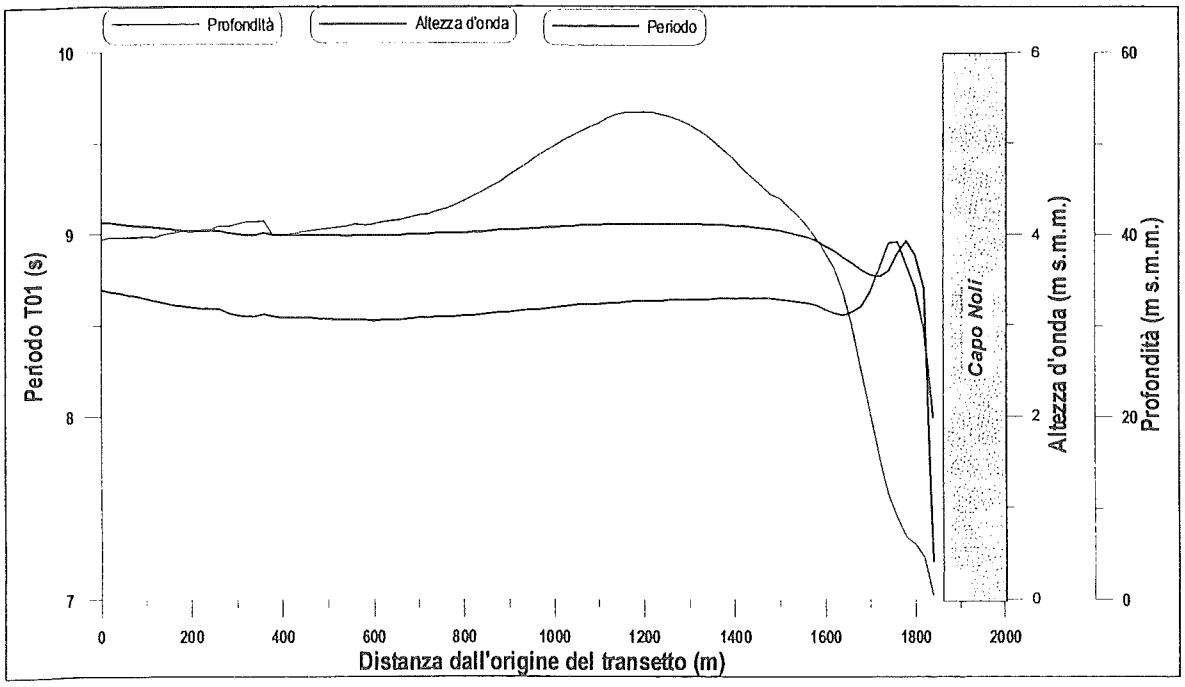


Figura 14– TEST3 – T4

5 ANALISI DELL' EVOLUZIONE MORFOLOGICA DEL LITORALE

Lo studio morfologico ha lo scopo di fornire una valutazione, sulla base della ricostruzione storica dell'evoluzione della costa, della potenziale variazione della battigia nel caso in cui vengano realizzati o meno gli interventi, descritti in dettaglio nei successivi paragrafi.
Lo studio è stato quindi articolato nelle seguenti fasi:

- ricostruzione storica, mediante raccolta dei dati forniti dal Committente, dell'evoluzione morfologica recente e studio del trasporto solido litoraneo, valutato sulla base delle aree di accrescimento/erosione;
- studio dell'interazione tra moto ondoso e sedimenti litoranei;
- analisi modellistica dell'evoluzione morfologica del litorale potenzialmente interessato dagli interventi di difesa;
- valutazione dell'interazione tra costa e interventi.

5.1 Ricostruzione storica sull'evoluzione del litorale di Noli (dal 1700 al 1980)

In seguito all'aumento della popolazione e allo sviluppo dell'agricoltura e connesso disboscamento, fu favorito l'apporto di materiale solido da parte dei torrenti locali. La spiaggia progredì costantemente, sebbene con lentezza, alimentata anche in minima parte dai trasporti da ponente, fino a raggiungere una configurazione simile all'attuale alla fine del 1700, sebbene i tratti compresi tra Capo Noli e la foce del Rio Noli ed il litorale tra la punta del Castello fino quasi alla foce del torrente Crovetto rimanessero, invece, pressoché privi di spiaggia.

Nei primi anni del 1800 si realizzò la nuova Aurelia che, in corrispondenza dell'abitato di Noli, fu impostata direttamente sulla spiaggia che, all'epoca, giungeva sino alle case affacciate sull'attuale Corso Italia; dal riscontro delle mappe napoleoniche, si può rilevare che la spiaggia non superasse i 30 m d'ampiezza.

La costruzione della sede ferroviaria (1860), ed in particolare la realizzazione dei rilevati e delle opere d'arte, comportò il prelievo d'ingenti quantità di inerti, sia dagli alvei che direttamente dalle spiagge, con conseguente diretta ripercussione negativa sul bilancio delle stesse.

Nel 1897, al fine di contrastare tale tendenza all'arretramento, il Comune di Noli appaltò la costruzione di un pennello (1° Molo) di lunghezza iniziale pari a circa 60 m e successivamente ulteriormente prolungato, avente lo scopo di accentuare l'appoggio naturale ai sedimenti rappresentato dalla Punta del Vescovado.
Tale opera, grazie soprattutto agli ingenti sversamenti a mare dei detriti di estrazione delle cave di quarzite e calcari, in attività fino verso la fine degli anni '50, ebbe l'effetto di stabilizzare il profilo garantendone un equilibrio che, all'analisi storica, si è sempre rilevato efficace.
Gli interventi di ripascimento produssero un marcato avanzamento dell'arenile di tutta la porzione di estremo ponente della spiaggia, compresa tra Capo Noli e la piazzola della stazione di pompaggio, e

assicurarono l'equilibrio tra quest'ultimo ed il pennello del Vescovado, più volte prolungato, nonchè l'attuale falcatura di arenile stesso.

Sempre a partire dagli anni '60, da parte di privati, venne intrapresa l'iniziativa di realizzare una spiaggia artificiale nel tratto compreso tra la Punta del Castello e lo Scoglio Gaverri, zona da sempre pressochè priva di arenile. Mediante la costruzione di tre moli (2°Molo, Piscina e Gaverri) ed al versamento di ingenti quantità di materiali di fortuna, fu possibile realizzare una successione di spiagge su un fronte di quasi 500 m che in quest'ultimo quarantennio, anche in assenza di saltuari interventi di ripascimento artificiale, si sono dimostrate sufficientemente stabili nonostante la sistematica tendenza all'arretramento legata all'usura ed alla mancanza di apporti.
A levante del Molo Gaverri la costa rimase invece priva di spiaggia fino alla discarica Nereo, realizzata a partire dal 1958 in località Chiariventi.

5.2 Evoluzione del litorale dal 1980 ad oggi

Tra la fine degli anni '70 e l'inizio degli anni '80 iniziò a manifestarsi una marcata tendenza all'arretramento di tutto l'arco centrale di arenile che portò nel periodo compreso tra il 1982 e il 1985 allo smaltimento a mare, nella zona di capo Noli e, subordinatamente, della Colonia Cantore, di ingenti quantitativi di materiali, stimati pari a circa 10.000 m^3, tendenzialmente a granulometria grossolana, recuperati dalla dismissione e recupero urbanistico delle aree FFSS interne al nucleo abitato di Noli. In particolare,nella zona di estremo ponente, vennero realizzati tre piccoli moli con funzione di filtro, successivamente colmati dal sedimento con rifalcatura della linea di riva fino al piazzale antistante la stazione di pompaggio protetto con una scogliera radente.

Nei primi anni '90 venne realizzato un ulteriore ripascimento utilizzando il materiale di pulizia dell'alveo del torrente Quiliano: circa 2.000 m^3 vennero versati nella spiaggetta, all'epoca pressochè scomparsa, compresa tra il molo del Vescovado ed il 2° molo, circa 8.000 m^3 da capo Noli e circa 12.000 m^3 dal piazzale della stazione di pompaggio e Colonia Cantore.
Il risultato di tali interventi di sversamento degli anni '80 e '90, per complessivi 30-35.000 m^3, è stato decisamente positivo con un temporaneo avanzamento di alcuni metri della linea di riva nella porzione di ponente dell'arenile ed una condizione di sostanziale equilibrio in quella centrale, direttamente appoggiata al 1° molo.

Gli interventi più recenti di ripascimento possono essere così riassunti:

- primavera 2002: circa 1200 m^3 di sabbie fini da bagni Hilton (levante 2°molo);
- primavera 2002: circa 800 m^3 di sabbia ghiaiosa di quarziti da stazione di pompaggio;
- primavera/autunno 2003: circa 6-7.000 m^3 di sabbia quarzitica da stazione di pompaggio.

5.3 Caratteristiche lito-geomorfologiche del litorale e dell'entroterra dell'unità fisiografica di Noli

Il litorale di Noli rientra in un'unità fisiografica più ampia costituente un golfo delimitato dal promontorio di Capo Noli a sud e da quello di Punta del Maiolo a nord.
Il bacino sotteso da tale tratto di litorale è orograficamente delimitato, a nord, dalla dorsale del Vescovado - Castello (440 m s.m.m.) - Pian da Crava (427 m) - sella di Voze (560 m), a ovest da quella Bric Perasso (482 m) - Bric. Crovi (382 m) e, a sud, dalla dorsale Bric Crovi - Capo Noli (258

m): la superficie complessiva del bacino idrografico, amministrativamente compreso nel solo Comune di Noli, è pari a circa 5,5Kmq.

Dal punto di vista morfologico la costa è caratterizzata dalla presenza, in posizione pressochè centrale al golfo, della piana alluvionale del torrente Noli-Acquaviva la cui forma è di tipo imbutiforme, svasata verso mare, con uno sviluppo di tipo asimmetrico con piana costiera più ampia verso ponente.

Il tratto di costa antistante la piana è quello in cui sono meglio rappresentati i depositi marini attuali e recenti; quest'ultimi, oggi non più mobilizzabili in quanto intensamente antropizzati, occupano la fascia costiera in posizione arretrata rispetto alla spiaggia attuale e si estendono verso l'interno della valle, mescolandosi con materiale alluvionale dei torrenti e coltre eluvio-colluviale dei pendii, fino approssimativamente all'isoipsa di 8 m s.m.m. circa, corrispondente alla posizione della torre di S.Giovanni.

Nel tratto di litorale a levante della piana (Gaverri/Chiariventi), così come in quello a ponente (Capo Noli), la costa è alta con acclivi pendii direttamenti digradanti a mare o pareti rocciose subverticali (falesie) associate ad esigue strisce di arenile a sviluppo parallelo alla linea di costa; il sedime di via IV Novembre in Noli, così come quello di via Berninzoni e Maremma in Spotorno è rappresentato da potenti depositi di spiaggia recenti il cui spessore, sulla scorta dei risultati di indagini svolte ad altro titolo, può essere stimato superiore ai 10m.

Sotto il profilo strettamente geolitologico all'interno del bacino sono rappresentate formazioni rocciose di pertinenza paleogeografica brianzonese intermedio-esterna così descrivibili e classificabili:

-*Metasedimenti* costituiti da rocce metamorfiche finemente scistose d'età permo-carbonifera (seritoscisti, quarzoscisti e micascisti) intensamente fratturate ed alterate caratterizzate da media erodibilità e comportamento da semipermeabile per fratturazione a praticamente impermeabile;

-*Metavulcaniti* costituite da rocce metamorfiche scistose o massicce d'età permo-carbonifera (metarioliti e metandesiti) da fratturate ad intensamente fratturate mediamente caratterizzate da bassa erodibilità e comportamento semipermeabile per fratturazione;

-*Quarziti e Verrucano Brianzonese* (triass. inf.) costituiti da rocce sedimentarie stratificate assai compatte e tenaci generalmente ad elevato grado di fratturazione e localmente cataclasitiche; nel complesso il litotipo è ad elevata erodibilità e con comportamento semipermeabile per fratturazione;

-*Calcari e Dolomie* (triass.med.) *e Marmi* (Giuras. sup.) costituite da rocce sedimentarie stratificate o massicce in condizioni di fratturazione assai variabile; nel complesso il litotipo è mediamente semierodibile e permeabile per fratturazione e carsismo;

-*Breccie di pendio* (quaternario) costituite da breccie di pendio più o meno ricementate

-*Alluvioni antiche e recenti* (quaternario) costituite da materiali granulari a granulometria variabile ad elevata erodibilità ed elevata permeabilità per porosità;

-*Coperture detritiche sciolte* (quaternario) generalmente ad elevata erodibilità.

-*Alluvioni e depositi di spiaggia attuali* costituite da materiali granulari a granulometria variabile ad elevata erodibilità ed elevata permeabilità per porosità.

Dal punto di vista granulometrico le coperture sciolte sono fortemente condizionate dalle caratteristiche fisico-petrografiche delle loro rocce madri e dalla prevalenza dei fenomeni di degradazione agenti: le coltri di natura eluvio-colluviale associate ai metasedimenti, che per loro natura petrografica sono fortemente alterabili per argillificazione, risultano in genere a granulometria fine (limi argillosi con clasti) e poco permeabili per porosità mentre quelle associate alle metavulcaniti sono decisamente più grossolane (ghiaie e sabbie con subordinati limi) e generalmente permeabili; le coperture sciolte associate alle quarziti, da intensamente fratturate a cataclasate, sono di tipo permeabile per porosità ed eminentemente granulari in quanto costituite da sabbie ben gradate e ghiaie generate per prevalente termoclastismo mentre quelle associate alle rocce carbonatiche, generalmente disposte in falde di tipo pedemontano, sono anch'esse di tipo granulare e permeabili in quanto costituite da prevalenti ghiaioni da detrizione termoclastica spesso immersi in matrice fine terrosa (terre rosse) generata per residualità da dissoluzione chimica o addirittura ricementati dai prodotti di precipitazione delle acque di percolazione sature in carbonati.

5.4 Ricostruzione dell'evoluzione storica recente

La ricostruzione storica recente dell'evoluzione del litorale di Noli è stata condotta sulla base dei dati forniti dal Committente, ed in particolare:

- linea di riva 1983;
- linea di riva 2001;
- linea di riva 2004.

Il confronto tra le suddette linee di riva, per il tratto di litorale in esame, è riportato in Figura 15 e, più in dettaglio, nella Tavola G1 allegata.
Si riportano in le variazioni quantitative in termini di volumi e avanzamenti/arretramenti dei litorali, rispettivamente per i periodi 1983-2001, 2001-2004, 1983-2004. Va notato che le quantità ottenute sono state ricavate al netto dei ripascimenti eseguiti nel periodo 1983-2004, riassunti alla seguente Tabella 8.
Va ricordato che i volumi sono determinati in prima approssimazione come prodotto della variazione dell'area di spiaggia per la profondità della fascia attiva. La fascia attiva è la zona di litorale in cui si concentra il flusso litoraneo dei sedimenti; per il sito di Noli si stima che tale zona sia compresa tra la batimetrica di –5.50 m s.m.m. (dato ottenuto con la formulazione semiempirica di Hallermaier-1980, discussa al successivo paragrafo 8.2.3) e la quota di +1.50 m s.m.m..
La profondità della fascia attiva risulta così di 7.00 m.

Anni	Volume (m^3)
1982 - 1985	10 000
primi anni '90	14 000
2002	2 000
2003	6 500

Tabella 8 – Ripascimenti eseguiti nel periodo 1990 – 2003

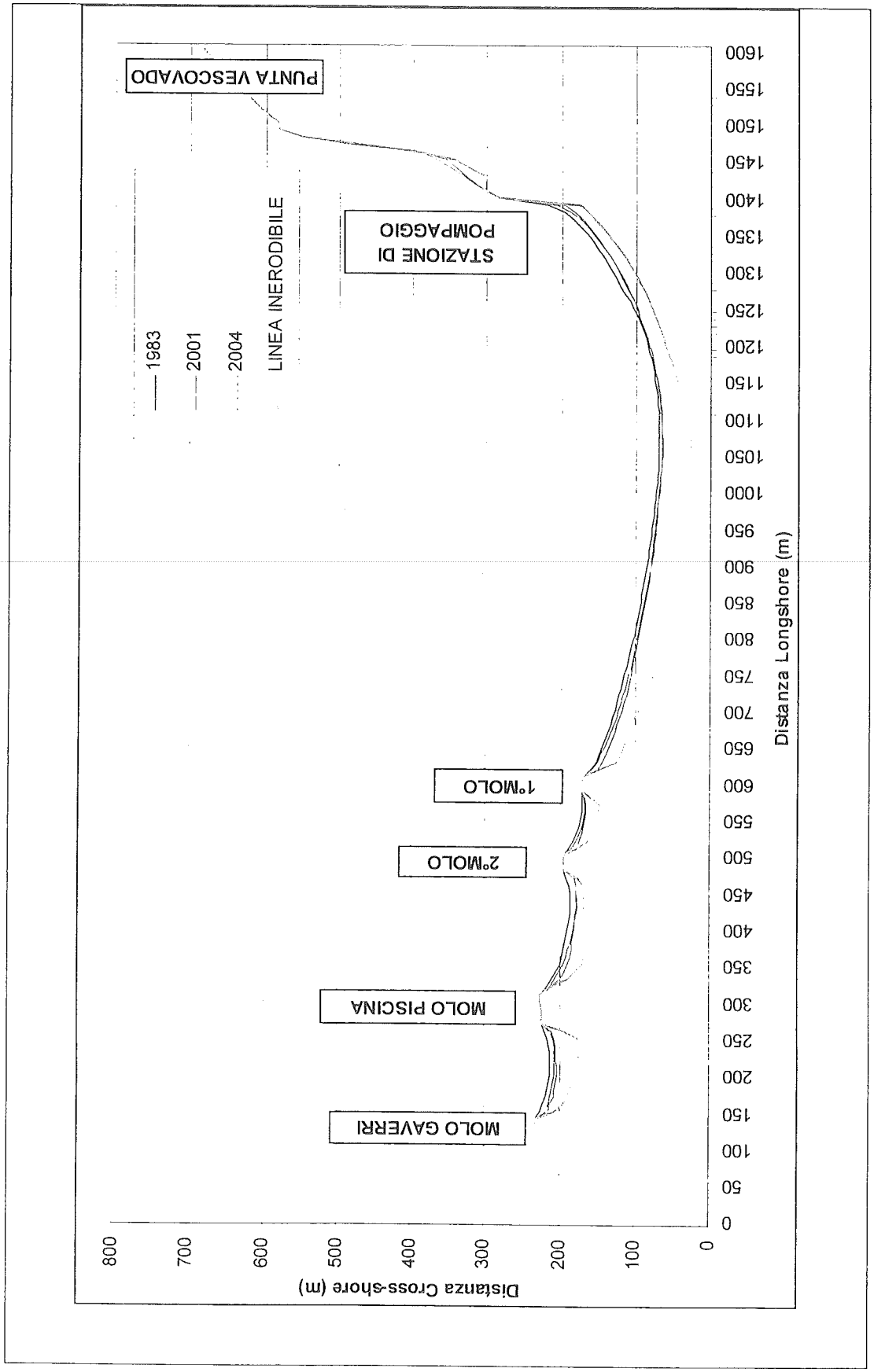


Figura 15 - Ricostruzione storica linee di riva

LITORALE DI NOLI		1983-2001	2001-2004	1983-2004
L	Lunghezza litorale (m)	1600	1600	1600
ΔY/anno media	Variazione media annuale della battigia (m)	- 0.37	- 0.92	- 0.45
ΔV/anno media	Variazione media annuale di volume di spiaggia (m^3/anno)	- 3587	- 8943	- 4352

Tabella 9 - Confronto litorale 1983 - 2004

Si può osservare come nel periodo analizzato 1983 - 2004 il tratto di litorale preso in esame (compreso tra Molo Gaverri e la stazione di pompaggio) denoti un trend erosivo medio di circa 0.45 m/anno, che assume un valore più elevato per il periodo 2001-2004 (- 0.92 m/anno).

Nelle seguenti figure (Figura 16, Figura 17, Figura 18) sono riportate alcune foto della situazione attuale del litorale, che evidenziano la situazione attuale della spiaggia e delle infrastrutture balneari.

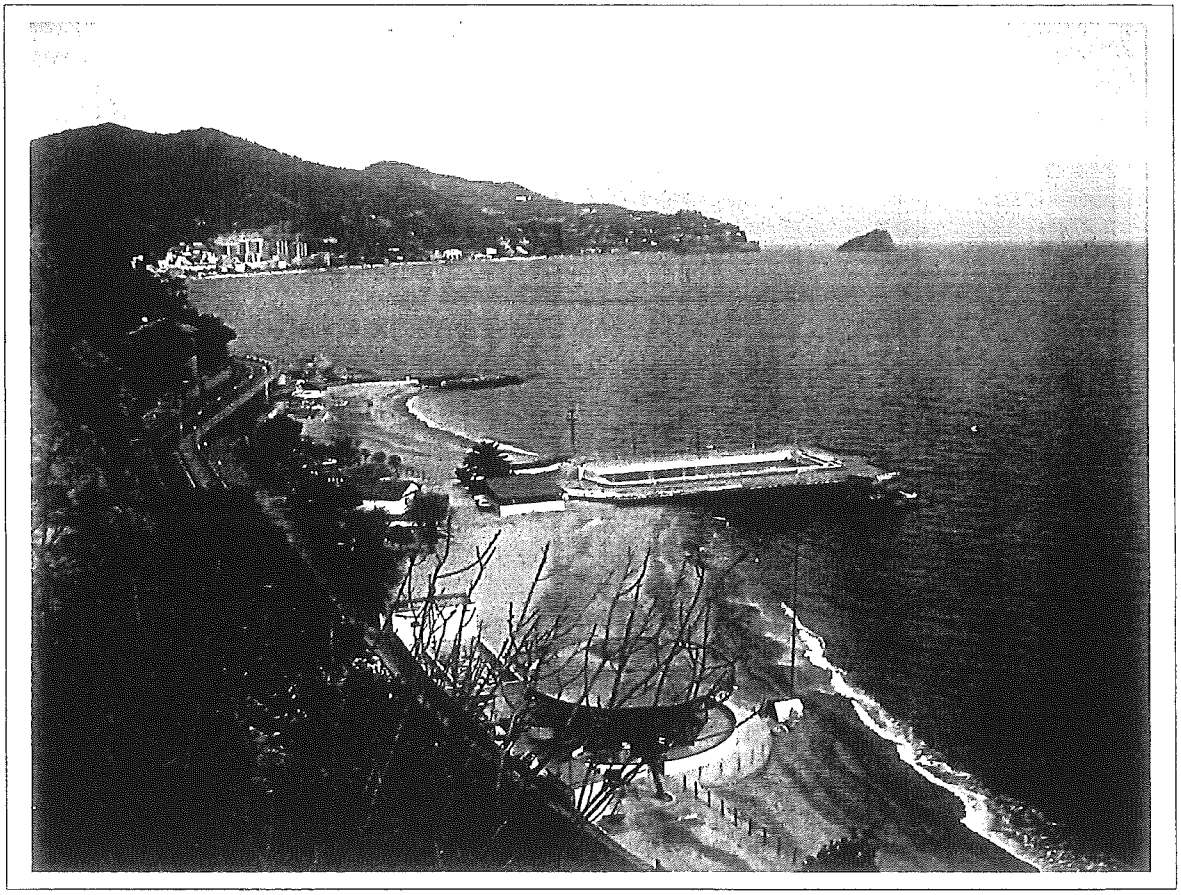


Figura 16 – Litorale di Noli (Molo Gaverri – Molo Piscina)



Figura 17 – Litorale di Noli (Vista da Molo Vescovado verso Sud)

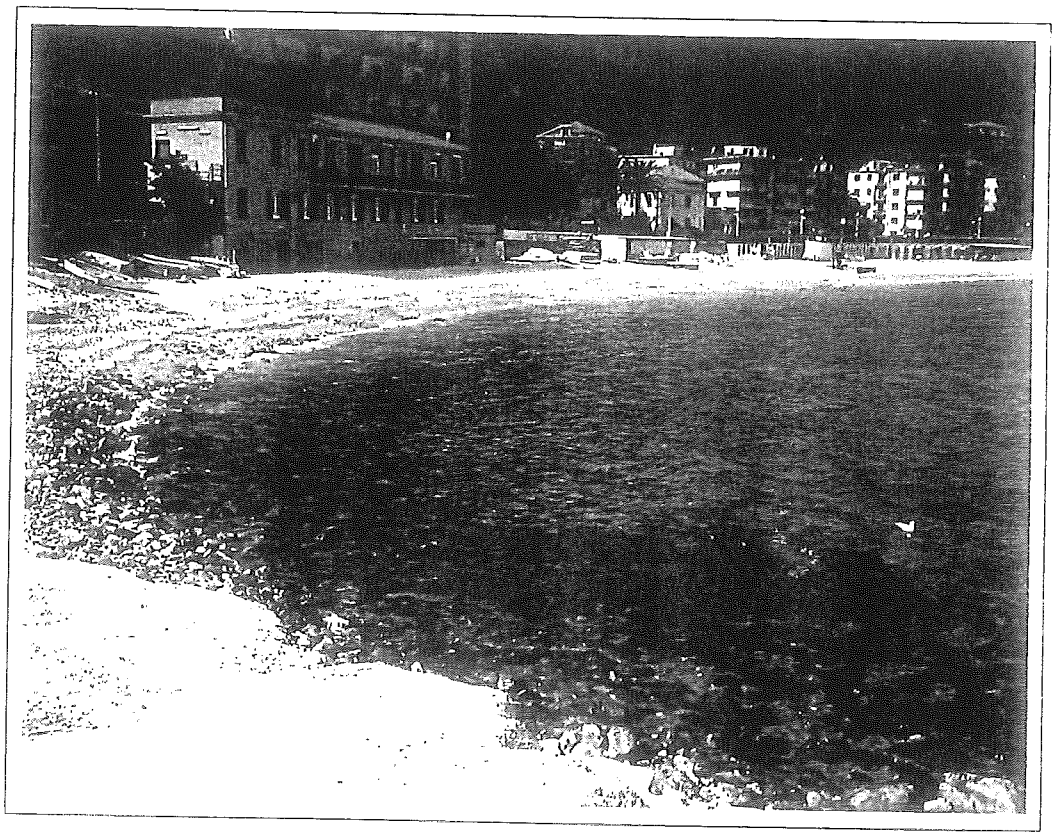


Figura 18 – Litorale di Noli (Stazione di pompaggio)

6 INTERAZIONE TRA MOTO ONDOSO E SEDIMENTI LITORANEI

Lo studio dell'interazione tra moto ondoso e sedimenti litoranei è stato condotto sulla base delle caratteristiche del moto ondoso incidente e della geometria della costa.
Come primo approccio all'analisi della dinamica litoranea è stato condotto uno studio basato sulle formule proposte dal CERC, che ha consentito di determinarne i lineamenti generali.
La capacità del moto ondoso di mettere in movimento i sedimenti litoranei che compongono la spiaggia dipende (CERC, 1984) dal flusso di energia del moto ondoso in direzione parallela alla costa.
Il flusso di energia per ciascuna direzione di propagazione è proporzionale al prodotto del quadrato dell'altezza d'onda significativa per il periodo relativo. Il periodo dell'onda significativa è legato all'altezza dalla relazione di Bretschneider, che stabilisce una proporzionalità diretta tra periodo e radice quadrata dell'altezza; la costante di proporzionalità è caratteristica del sito in esame ed è in generale compresa tra 3.5 e 5.
In tali ipotesi si può dimostrare che la componente del flusso di energia del moto ondoso in direzione parallela alla costa è espresso dalla seguente relazione:

$$\Phi \propto H^{2.5} sen\left(2\theta_0\right) \qquad (1)$$

dove H è l'altezza significativa e θ_0 la direzione dell'onda rispetto alla normale al litorale.
Il bilancio del flusso di energia può essere condotto sulla base dei dati rappresentati al successivo paragrafo 7.1, selezionando per il tratto di litorale in esame il settore di traversia corrispondente; per ciascuna direzione di provenienza delle onde in grado di incidere il tratto di litorale considerato viene quindi eseguita la sommatoria dei contributi energetici delle onde appartenenti alle diverse classi di altezza (uguale al prodotto del numero di registrazioni per la potenza 2.5 dell'altezza d'onda). Successivamente, il contributo energetico di ciascuna direzione di provenienza viene moltiplicato per il seno del doppio dell'angolo di incidenza, ottenendo il contributo delle onde con tale direzione al flusso di energia litoraneo; infine, viene fatto un bilancio del flusso per le diverse direzioni, ottenendo il verso del flusso netto di energia.

Si riportano in Tabella 10 l'energia (rappresentata anche in Figura 20) e il flusso di energia del moto ondoso relativi al settore di traversia considerato (60°N-180°N). Dai dati emerge la predominanza della componente del flusso di energia diretta verso Nord. Il trasporto solido potenziale indotto dal moto ondoso in direzione parallela alla costa, essendo direttamente proporzionale al flusso di energia, è orientato allo stesso modo.
È stata inoltre ricavata la direzione media del litorale (in termini di normale al litorale stesso) (vedi Tabella 11), per cui il flusso di energia associato al moto ondoso risulta nullo: tale normale ha direzione di 62.2°N e rappresenta l'orientamento di una spiaggia perfettamente equilibrata rispetto al clima ondoso locale.

Nlit (°N)	90°			
Dir. (°N)	**Ang.incidenza**	**Energia** $\Sigma r_i H_i^{2.5}$	**Flusso** $\Sigma r_i H^{2.5} sen2\theta_0$	
60	-30.0	1092	-945	**-945 verso Sud**
90	0.0	958	0	
120	30.0	1146	992	
150	60.0	1821	1577	
180	90.0	2280	0	**-2570 verso Nord**

Tabella 10 - Energia e flusso di energia del moto ondoso relativi al settore di traversia

Nlit (°N)	62.2		
Dir. (°N)	Ang.incidenza	Energia $\Sigma r_i H_i^{2.5}$	Flusso $\Sigma r_i H^{2.5} sen2\theta_0$
60	-2.2	1092	-85
90	27.8	958	790
120	57.8	1146	1034
150	87.8	1821	141
180	117.8	2280	-1880

Tabella 11 - Direzione litorale equilibrata rispetto al flusso di energia

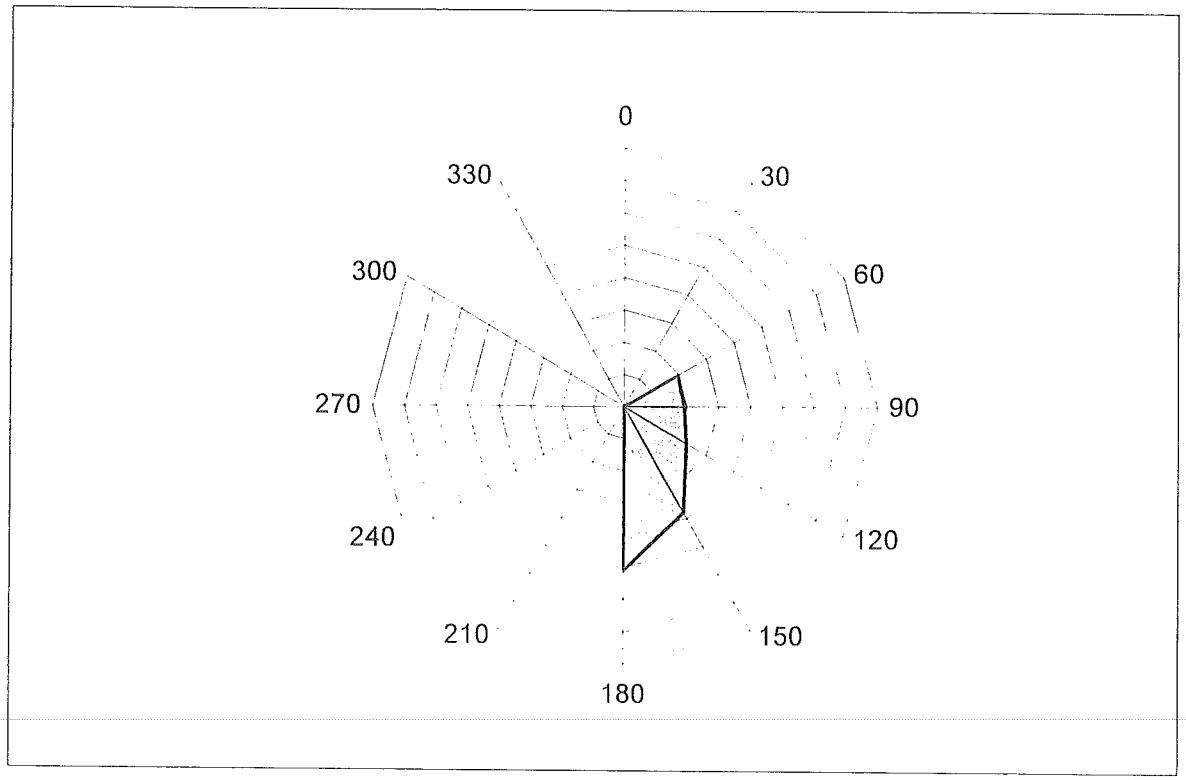


Figura 19 - Rose delle registrazioni

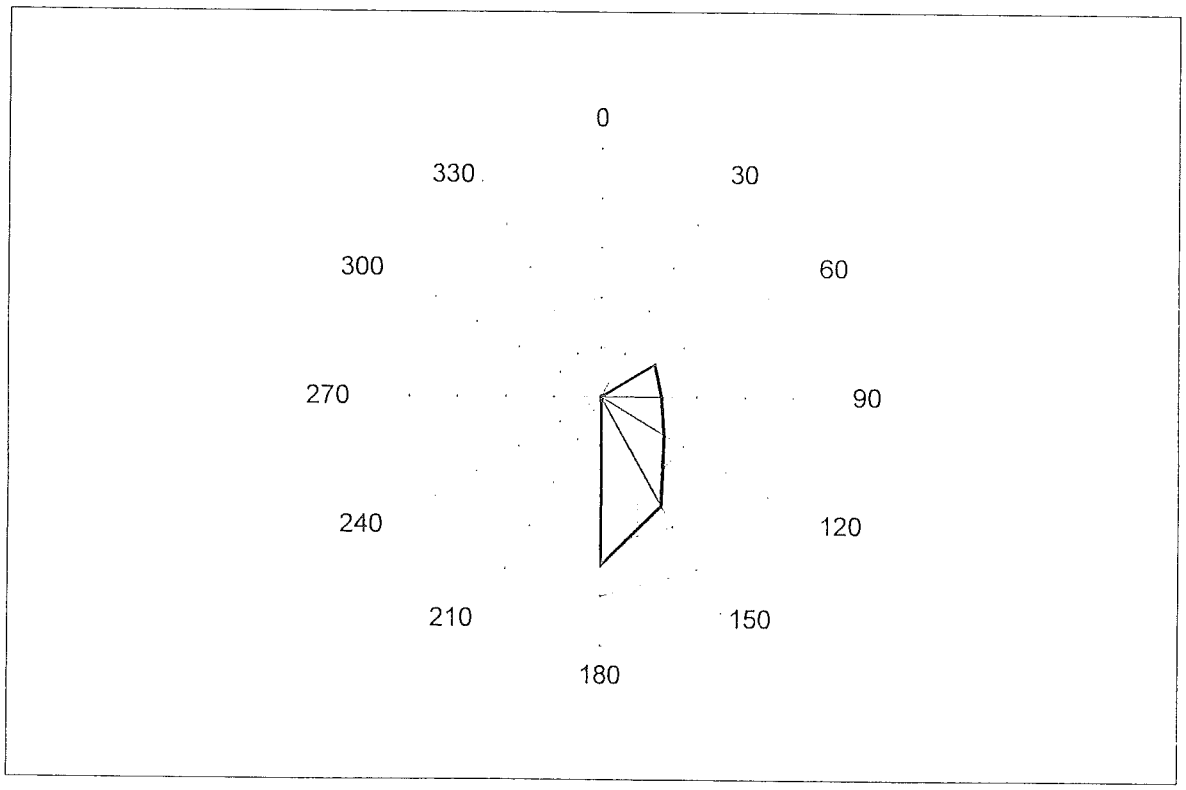


Figura 20 - Rose delle energie relative al settore di traversia

7 STUDIO MORFOLOGICO DEL LITORALE

Lo studio morfologico del litorale è stato condotto mediante l'utilizzo del codice di calcolo GENESIS sviluppato dal CERC (Coastal Engineering Research Center) sulla base della ricostruzione dei rilievi più recenti (1983 – 2004) della linea di riva forniti dalla committenza. Ai fini della modellazione matematica, è stato individuato un solo dominio di calcolo, schematizzando opportunamente (come in seguito specificato) le singolarità presenti.

7.1 Dati di moto ondoso

I dati necessari alla conoscenza dello stato del mare sono stati ricavati sulla base dei dati elaborati dal CNR - ISDGM di Venezia e forniti dalla Regione Lazio. Si rimanda al precedente capitolo 4 per una loro più esaustiva descrizione.
Il settore di traversia individuato per il litorale di studio è compreso fra i 60°N ed i 180°N. In base ai dati forniti dal CNR sono state determinate, per il settore di traversia considerato, le caratteristiche delle onde propagate dal largo verso riva in corrispondenza del punto "P3" rappresentato in Figura 21, ritenuto significativo a rappresentare il moto ondoso incidente sul litorale e situato in corrispondenza della batimetrica -70.
In Tabella 4 sono riassunte le caratteristiche del moto ondoso al largo e sul punto P3, suddivise per angolo di provenienza e altezza d'onda.

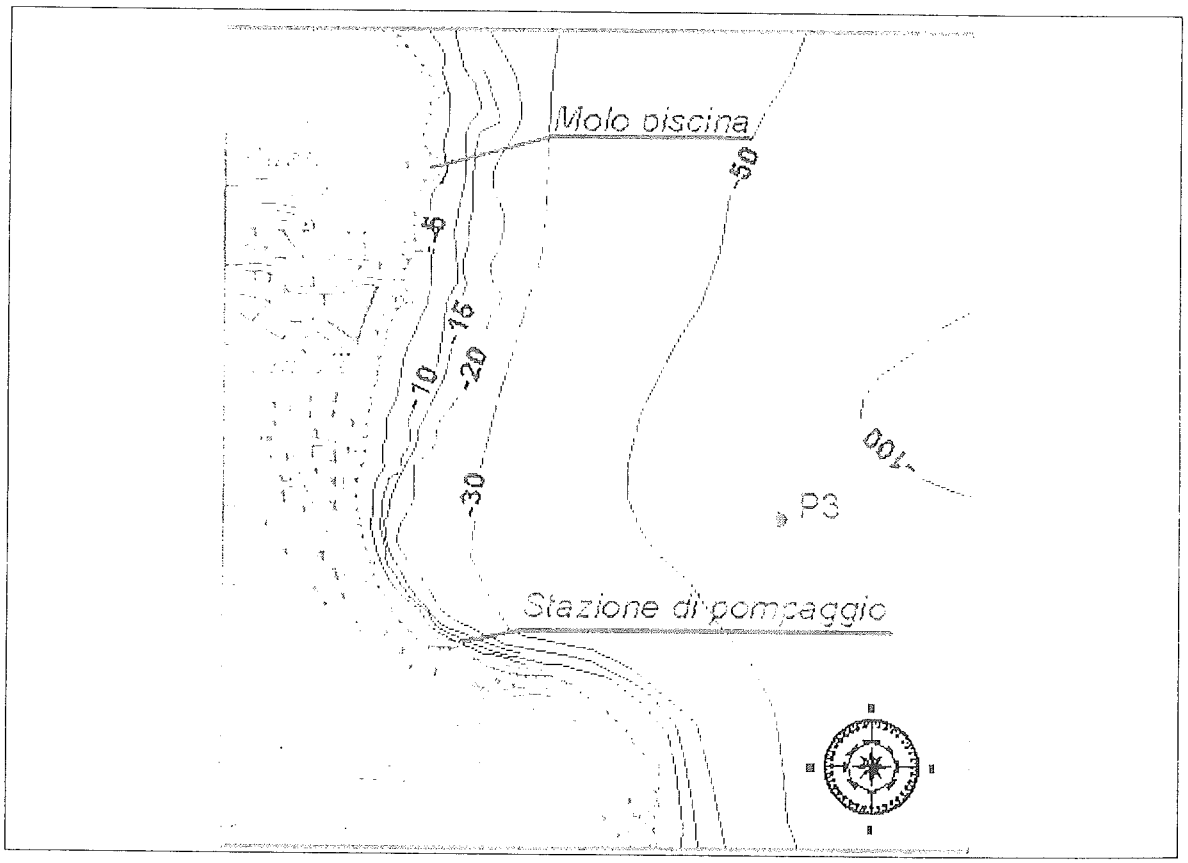


Figura 21 - Ubicazione punto di output "P3"

Il file di input che descrive il moto ondoso, nelle simulazioni condotte con il modello GENESIS, è stato ricavato creando una sequenza di eventi casualmente ordinata sulla base dei dati descritti. Una volta fissato l'intervallo temporale di calcolo (pari a 3 ore, nel caso in esame), infatti, l'andamento del clima meteomarino dell'anno medio risulta descritto da un numero di eventi pari al numero di intervalli di calcolo compresi nell'anno.
Il codice di calcolo associa a ciascuno degli intervalli una serie di valori di altezza significativa, periodo e direzione media di provenienza tali per cui l'andamento globale del clima ottenibile dalla sequenza ricostruita rappresenta efficacemente il clima vero.

Si riportano alle figure seguenti le caratteristiche di moto ondoso assunte nella successiva analisi di propagazione svolta mediante il codice di calcolo STWAVE.

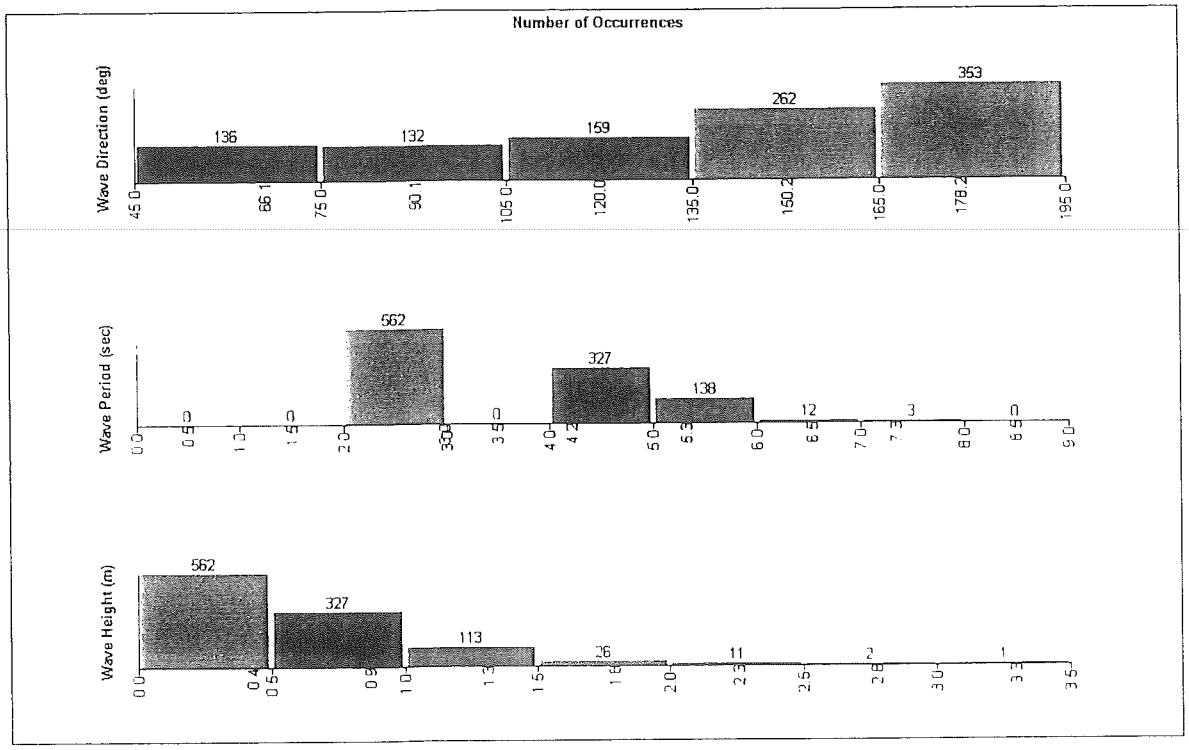


Figura 22 - Caratteristiche moto ondoso

7.2 Propagazione sottocosta

Le caratteristiche del moto ondoso nel punto P3 sono state trasferite sottocosta mediante il codice di calcolo STWAVE.
Si è scelto di rappresentare il clima ondoso locale attraverso 80 punti di output, posti lungo il litorale in corrispondenza della batimetrica -10 m s.m.m. (Figura 25), posizionati all'interno di ciascuna cella del modello STWAVE, della larghezza di 20 m. La griglia del modello ha le dimensioni di 860x1880 m, discretizzata in celle quadrate delle dimensioni di 20x20 m.
L'origine è posta al largo con asse X diretto verso la costa e asse Y diretto parallelamente ad essa, verso Sud. È stato quindi possibile rappresentare una clima ondoso differenziato lungo il litorale e tenere conto degli effetti delle singolarità della batimetria sulla propagazione locale delle onde e quindi sul trasporto solido e sull'evoluzione della linea di riva.

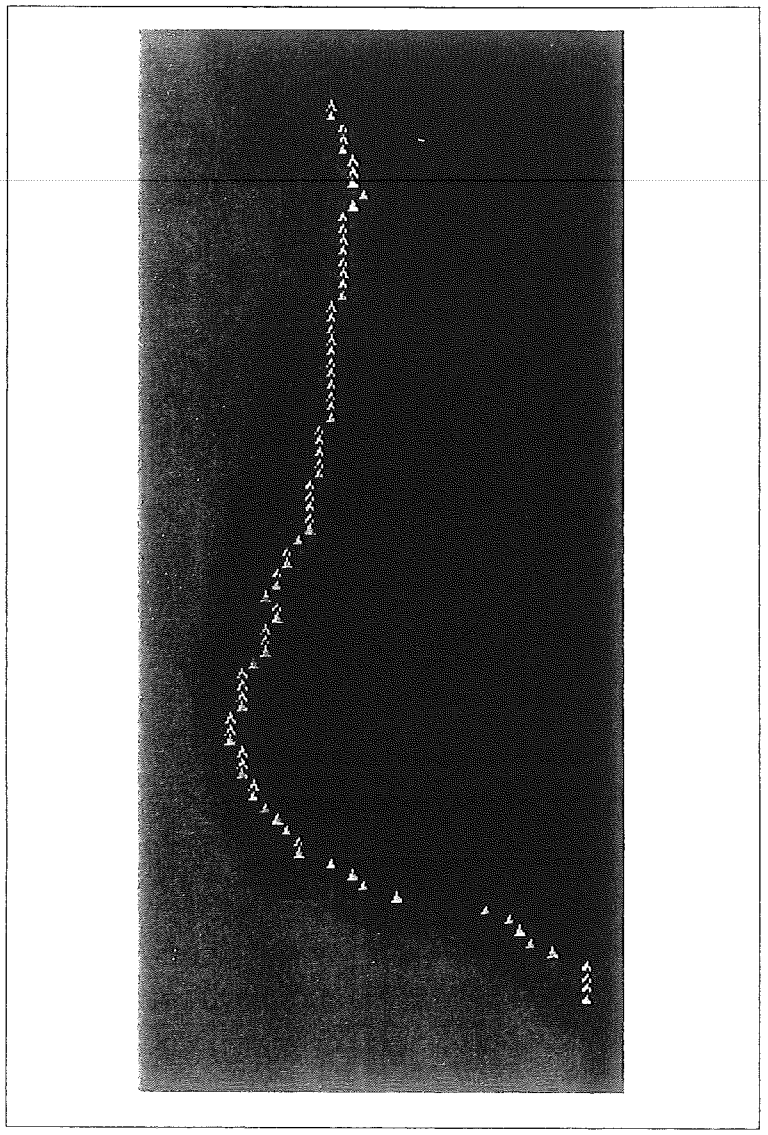


Figura 25 – Batimetria di calcolo e ubicazione dei punti di output del clima ondoso

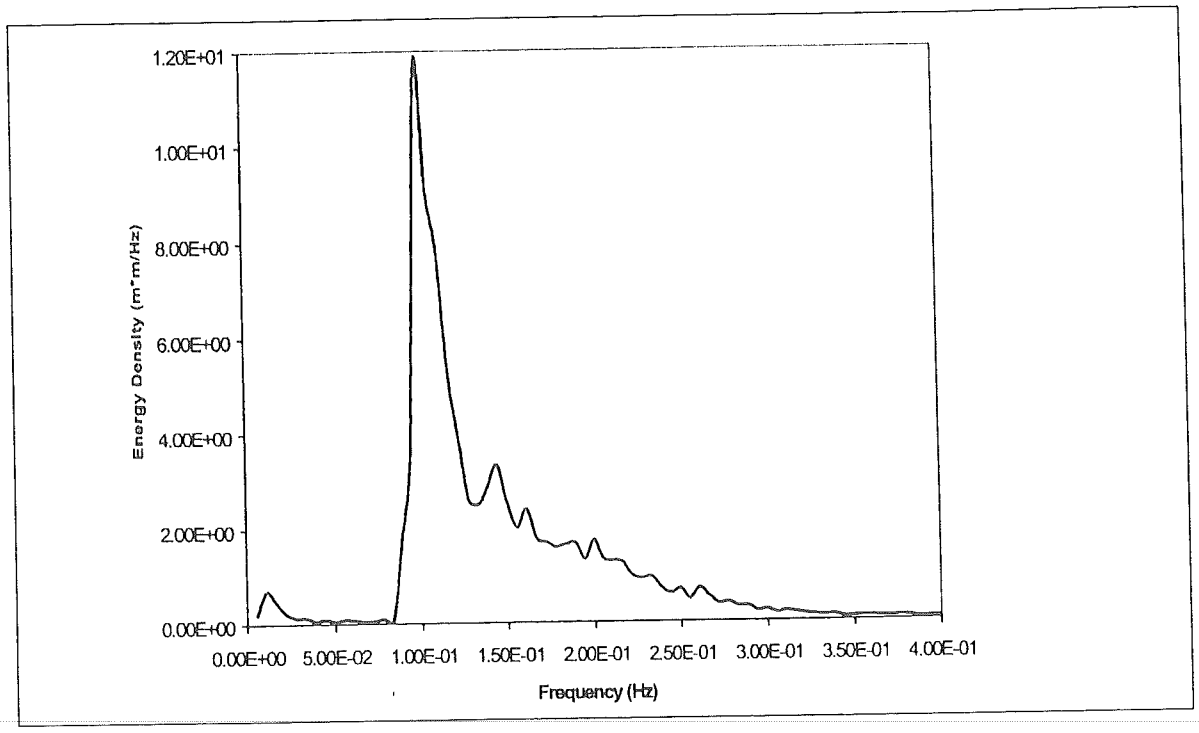


Figura 26 – Spettro monodimensionale

STWAVE è un modello numerico alle differenze finite, basato su una griglia cartesiana ortogonale. Le celle della griglia sono assunte quadrate ($\Delta x = \Delta y$). Si possono ottenere griglie a diversa risoluzione andando a costruire griglie annidate. Ciò può essere ottenuto facendo "girare" il modello a una risoluzione più grossolana, salvando uno spettro per un punto più a riva. Questo spettro può quindi essere utilizzato come una condizione al contorno per una griglia di risoluzione maggiore. Una griglia schematica è rappresentata nella Figura 27.
STWAVE opera in un sistema di coordinate locali, con l'asse X orientato in direzione perpendicolare alla spiaggia (con origine al largo) e asse Y orientato parallelamente alla costa, formando un sistema di coordinate che rispettano la regola della mano destra. L'orientazione dell'asse X (±87.5°) definisce il semipiano che è rappresentato nel modello. L'asse Y è generalmente allineato con le batimetriche al largo. Gli angoli di provenienza delle onde sono computati in senso antiorario dall'asse X. I confini laterali nel modello possono essere specificati come terra o mare indicando la profondità delle celle come positiva (mare) o negativa (terra). Si riassumono alla seguente Figura 28 gli input e gli output forniti dal modello.

Per generare uno spettro occorre specificare i seguenti parametri:

- periodo di picco (T_p);
- altezza d'onda;
- profondità;
- parametro di appuntimento dello spettro (γ).

Il parametro di appuntimento controlla la larghezza dello spettro in frequenza (numeri bassi forniscono picchi "larghi", ovvero condizioni di mare vivo, numeri elevati picchi "ristretti", ovvero condizioni di mare di swell). La distribuzione direzionale dello spettro è invece specificata mediante una direzione media e un coefficiente di spreading direzionale (*nn*).

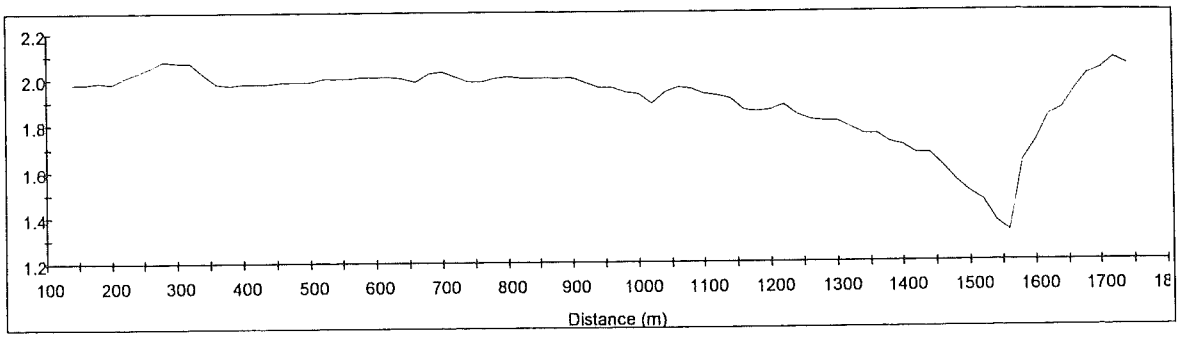


Figura 30 - Rappresentazione delle altezze d'onda sui punti di output per l'onda H=2.15m - ϑ=90.08°N - evento 21

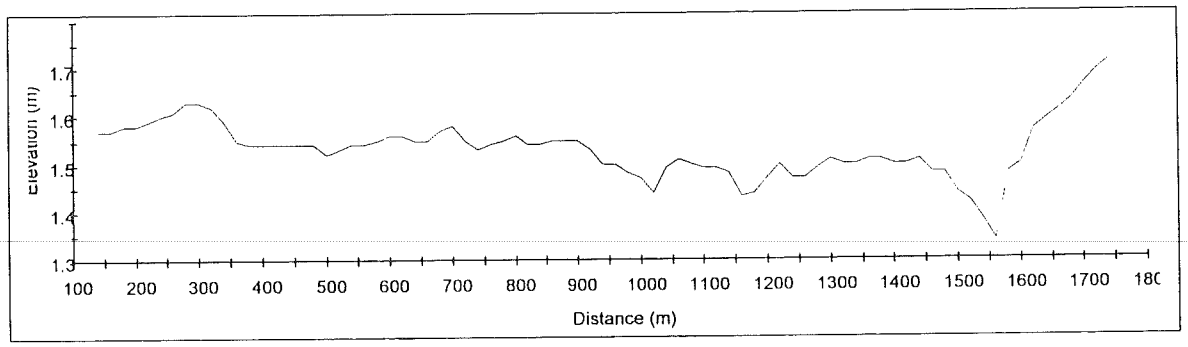


Figura 31 - Rappresentazione delle altezze d'onda sui punti di output per l'onda H=1.71m - ϑ=66.31°N - evento 20

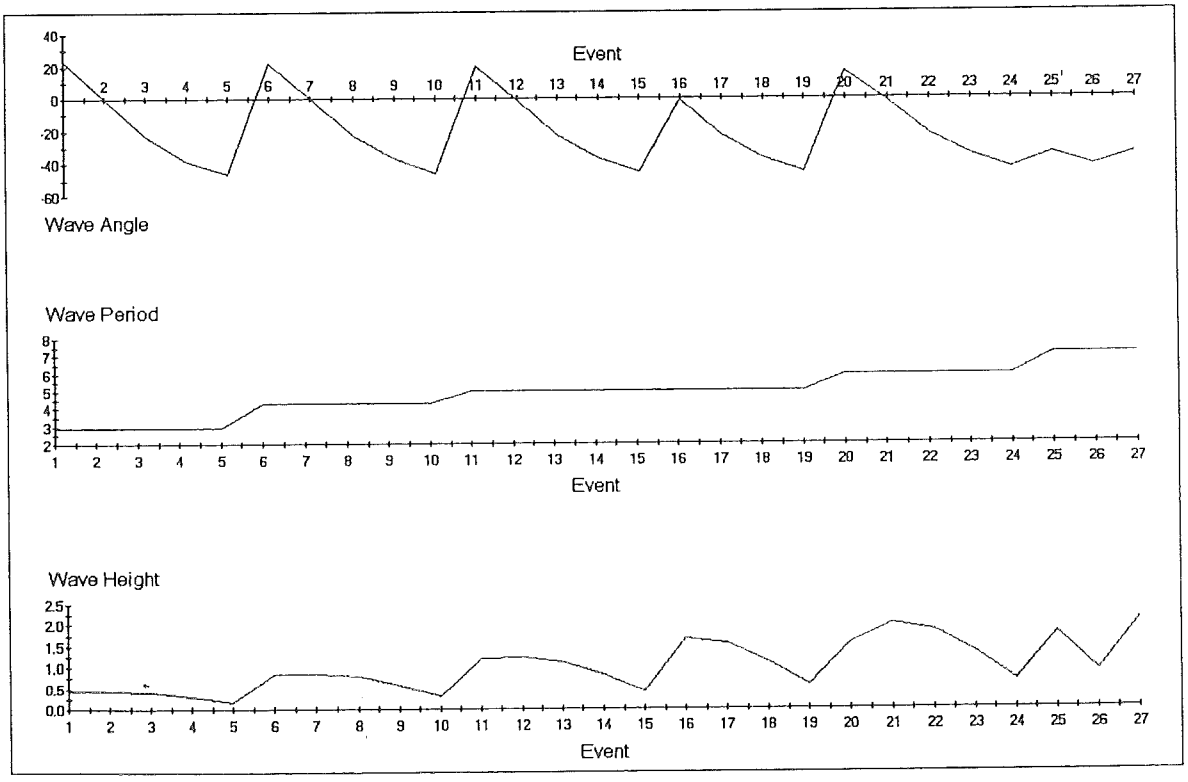


Figura 32 - Rappresentazione delle caratteristiche del moto ondoso in un punto di output

Propagazione locale delle mareggiate

Fine di una migliore interpretazione della dinamica litoranea locale si ritiene utile fornire la rappresentazione grafica (dalla Figura 33 alla Figura 35) della propagazione locale delle mareggiate, riassunte alla precedente Tabella 13, a mezzo di vettori e scala cromatica delle altezze significative.

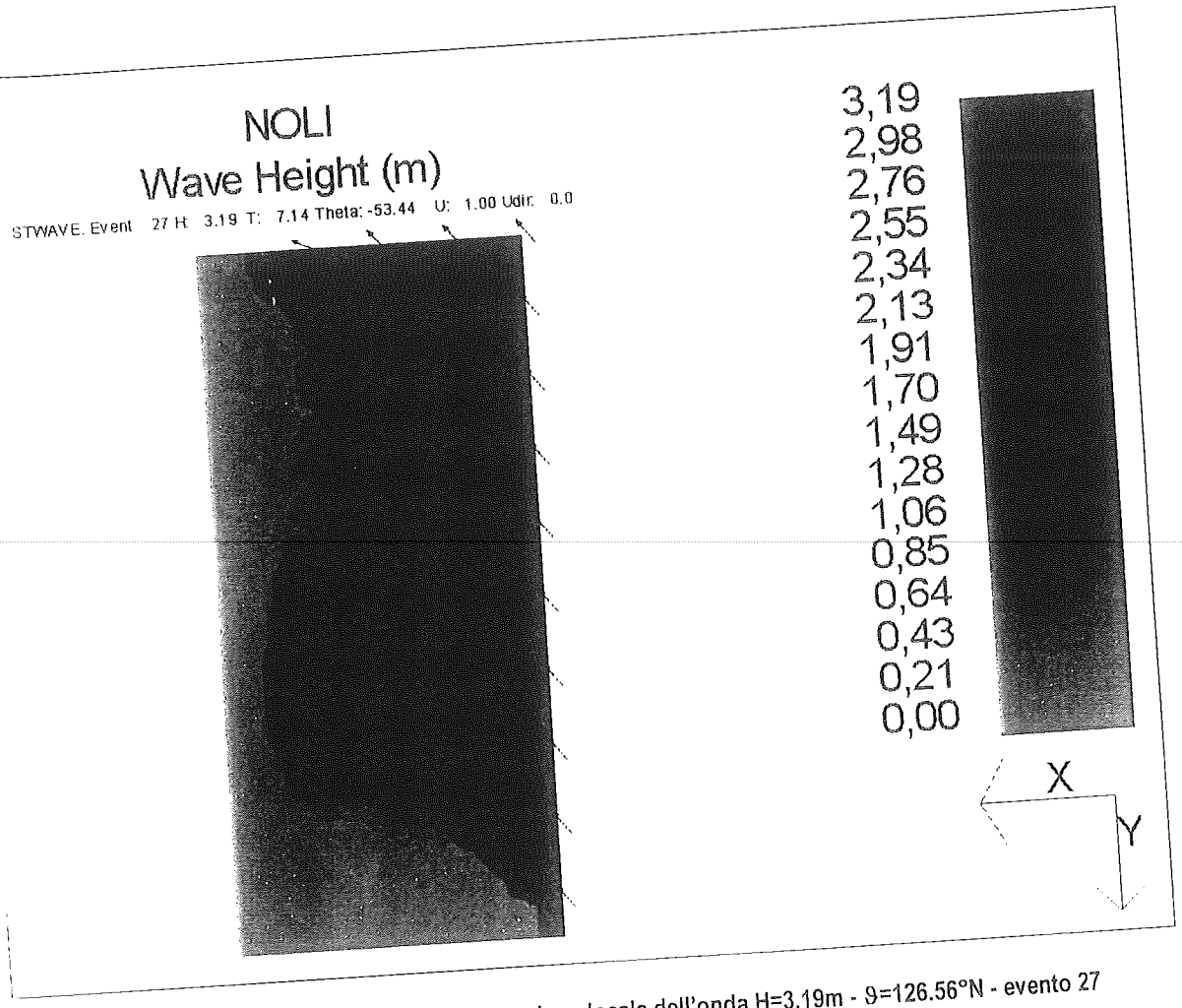


Figura 33 – Rappresentazione della propagazione locale dell'onda H=3.19m - ϑ=126.56°N - evento 27

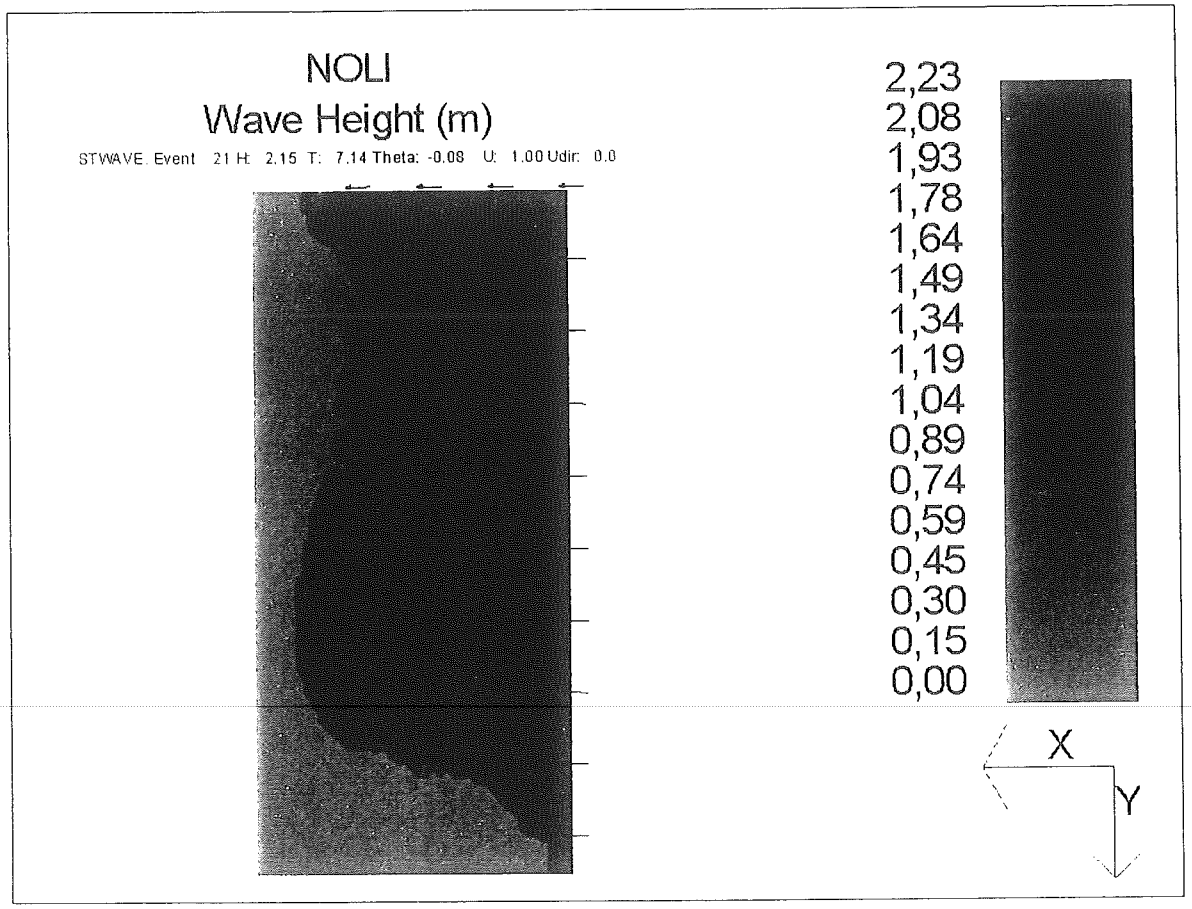


Figura 34 – Rappresentazione della propagazione locale dell'onda H=2.15m - ϑ=90.08°N - evento 21

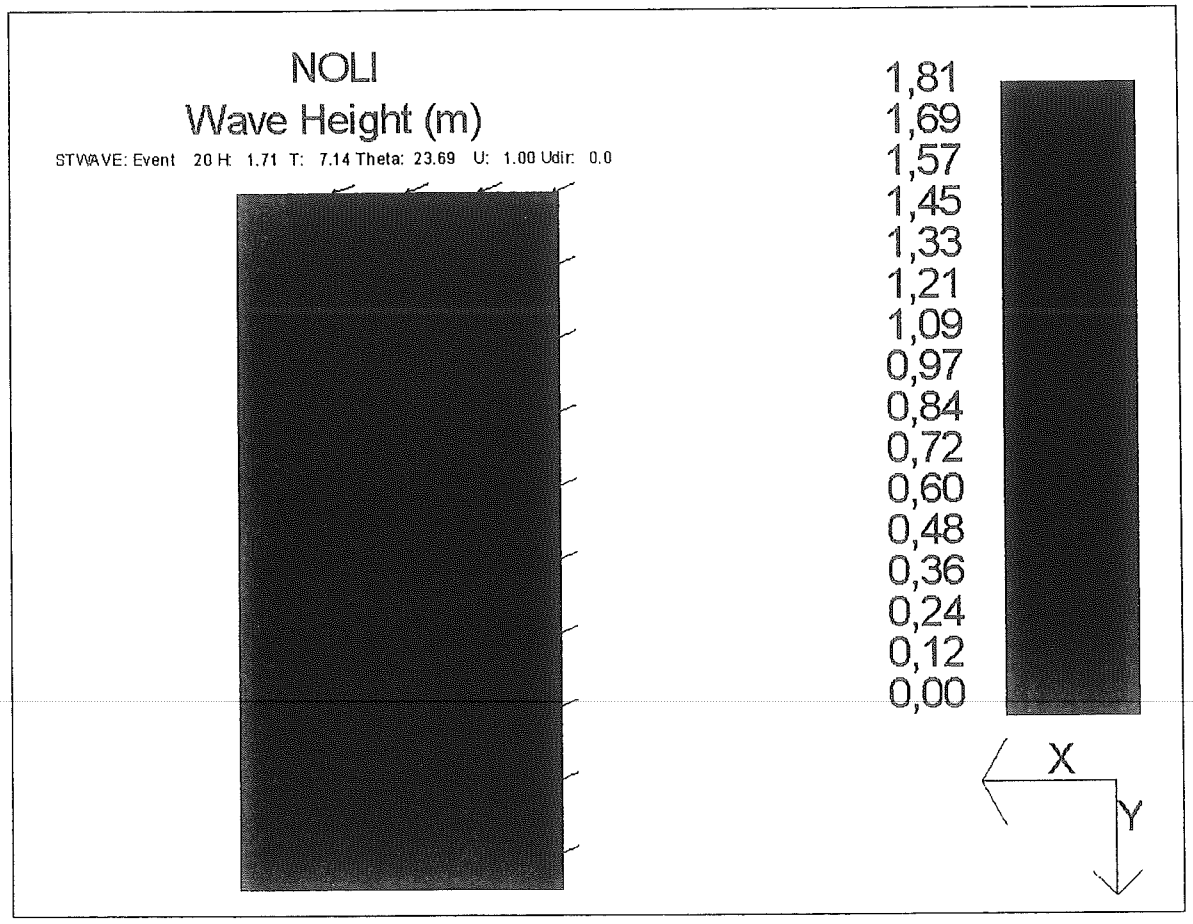


Figura 35 – Rappresentazione della propagazione locale dell'onda H=1.71m - ϑ=66.31°N - evento 20

8 ANALISI MODELLISTICA DELL'EVOLUZIONE MORFOLOGICA

8.1 Premessa alla modellazione

I modelli matematici costituiscono un valido strumento per l'analisi e la previsione dell'evoluzione della morfologia costiera. Il principale vantaggio dei modelli matematici risiede nella possibilità, una volta implementati, di studiare in tempi ragionevolmente brevi diverse soluzioni progettuali ovvero l'effetto di forzanti di natura diversa (mareggiate eccezionali, variazioni del clima, ecc.).
La modellazione dell'evoluzione morfologica di un litorale coinvolge fenomeni di natura diversa quali il moto ondoso incidente il litorale stesso, la presenza di correnti costiere, il trasporto solido longitudinale (in direzione parallela alla linea di riva), il trasporto solido trasversale (perpendicolare alla linea di riva), l'influenza di strutture collocate all'interno della zona attiva della spiaggia (quella cioè interessata da fenomeni di migrazione dei sedimenti per azione del moto ondoso) e di eventuali interventi di dragaggio o ripascimento artificiale.
In primo luogo è fondamentale la determinazione delle forzanti del sistema, cioè delle condizioni di moto ondoso. Sulla base di questi dati è possibile quindi valutare il trasporto solido nelle diverse direzioni nelle diverse celle che compongono il modello matematico. Una volta determinate le forzanti, si passa quindi alla valutazione del trasporto solido nelle diverse direzioni, valutazione che si basa su criteri semiempirici che legano le caratteristiche del moto ondoso alla geometria della spiaggia ed alle caratteristiche dei sedimenti che la costituiscono.
Va quindi analizzata l'influenza delle strutture collocate all'interno della zona attiva, sia in termini di modificazione della propagazione locale del moto ondoso che di interazione con il regime di trasporto solido, cioè di valutazione della variazione indotta localmente sulle forzanti del sistema dalla presenza di opere e della capacità di quest'ultime di intercettare, totalmente o in una parte da quantificare, il trasporto solido. Alla stregua delle opere in zona attiva vanno considerati gli interventi di dragaggio e ripascimento, che modificano localmente il campo di moto delle onde incidenti e alterano in alcune zone il budget di sedimenti passibile di migrazione per effetto delle forzanti già determinate. Verrà di seguito descritto il codice di calcolo GENESIS, utilizzato per la modellazione.

8.2 Descrizione del codice di calcolo GENESIS

Il modello matematico "GENESIS" (GENEralized model for SImulating Shoreline change), impiegato per lo studio dell'evoluzione morfologica del litorale in oggetto, è in grado di calcolare le modificazioni subite dalla linea di riva in conseguenza di variazioni nello spazio o nel tempo del trasporto solido litoraneo in direzione parallela alla linea di riva indotto dall'azione del moto ondoso.
L'estensione costiera che può essere convenientemente modellata può variare da meno di un chilometro a qualche decina di chilometri, mentre gli intervalli di calcolo delle variazioni della posizione della linea di riva variano in genere da alcuni mesi alle decine di anni.
Il modulo di calcolo che determina lo spostamento della linea di riva in funzione del trasporto solido e della sua variazione nello spazio, è basato sulla teoria dei modelli a una linea: tale teoria assume che il profilo trasversale della spiaggia (in direzione quindi perpendicolare alla linea di riva) si mantenga costante nel tempo, traslando semplicemente verso il largo o verso terra (Figura 36).
In questo modo, l'evoluzione del profilo completo della spiaggia può essere descritta attraverso la

traslazione orizzontale di un unico punto appartenente al profilo stesso.
Nelle suddette ipotesi, è quindi possibile descrivere l'evoluzione del litorale attraverso una unica linea: a tale scopo appare conveniente scegliere come riferimento la linea cui appartengono tutti i punti che si trovano alla quota del medio mare (cioè la linea di riva), che risulta sempre un indicatore di primaria importanza negli studi di idraulica marittima.
Una seconda ipotesi geometrica fondamentale assunta dal modello è che il trasporto solido indotto dal moto ondoso avvenga tra due quote fissate all'interno del profilo trasversale: si assume cioè che la zona "attiva" della spiaggia, ossia quella interessata dal trasporto solido longitudinale, e dalle modificazioni ad essa connesse, sia solamente quella compresa tra la massima quota D_B della spiaggia attiva emersa (di solito assunta pari alla quota di massima risalita) e la cosiddetta "profondità di chiusura" D_C, al disotto della quale il fondale si mantiene sensibilmente costante nel tempo (nel medio termine). Come accennato in precedenza questi ultimi valori sono determinabili in funzione delle caratteristiche del moto ondoso incidente.

L'equazione di continuità dei sedimenti in una generica sezione, con riferimento al significato dei simboli indicato Figura 36, può essere scritta nella forma seguente:

$$\frac{\partial y}{\partial t} + \frac{1}{(D_B + D_C)}\left(\frac{\partial Q}{\partial x} - q\right) = 0 \qquad (1)$$

dove Q rappresenta il trasporto solido longitudinale e q la quantità di materiale eventualmente apportato (ripascimenti o apporti fluviali) o asportato (dragaggi) dalla generica sezione.

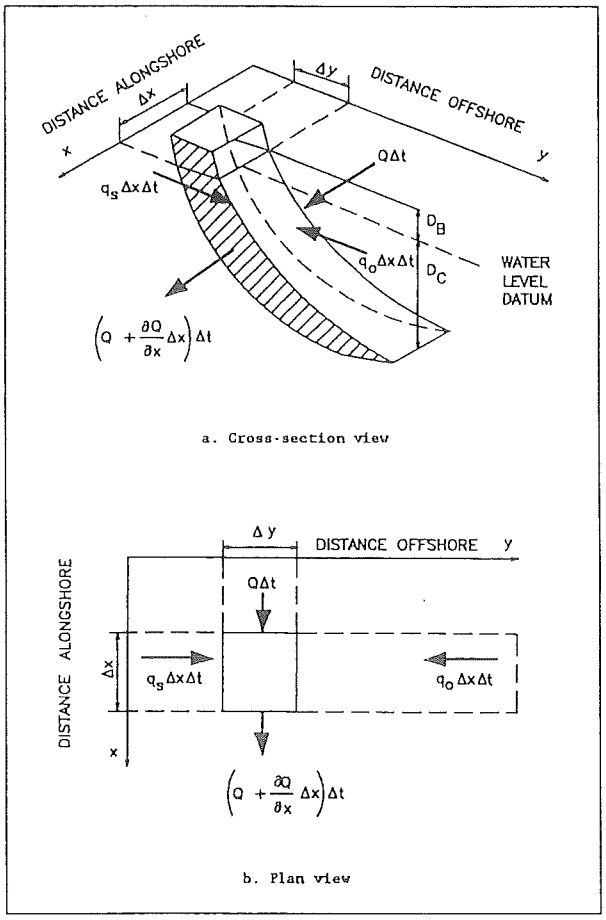


Figura 36 - Schematizzazione del litorale

Il trasporto solido longitudinale viene determinato in funzione delle caratteristiche dell'onda al largo e della conseguente onda frangente (altezza e direzione), della granulometria dei sedimenti e dell'eventuale presenza di opere costiere.
Viene altresì tenuto conto di due coefficienti di calibrazione K_1 e K_2, da determinarsi con un procedimento di "taratura" per il particolare sito oggetto di studio, che consentono di calcolare correttamente il valore del trasporto dovuto rispettivamente all'azione diretta del moto ondoso (proporzionale a $H^{2.5}$) ed alla variazione dell'altezza lungo la costa (cioè $\partial H/\partial x$, se con x viene indicato un asse localmente parallelo alla linea di riva).
La formula empirica impiegata per il calcolo del trasporto solido longitudinale è la seguente:

$$Q = \left(H_b^2 c_{gb}\right)\left[a_1 \operatorname{sen}(2\theta_{bs}) - a_2 \cos(\theta_{bs})\frac{\partial H_b}{\partial x}\right] \qquad (2)$$

dove il pedice b è riferito alla condizione di frangimento, H è l'altezza significativa dell'onda incidente, θ l'angolo di incidenza rispetto alla normale al litorale nella sezione e c_g la celerità di gruppo.
I coefficienti a_1 e a_2 sono così definiti:

$$a_1 = \frac{K_1}{16(s-1)(1-n)(1.416)^{2.5}} \qquad (3.1)$$

$$a_2 = \frac{K_2}{8(s-1)(1-n)(\tan\beta)(1.416)^{2.5}} \qquad (3.2)$$

dove s indica il rapporto tra il peso specifico del costituente solido del sedimento caratteristico della spiaggia ed il peso specifico dell'acqua marina, n la porosità del sedimento in sito e β la pendenza media del profilo trasversale della spiaggia dalla linea di riva alla profondità di chiusura.
L'angolo β viene calcolato per ciascuna mareggiata simulata nel modello, essendo funzione delle caratteristiche dell'onda incidente ed è ottenuto dalla seguente relazione:

$$\tan\beta = \left(\frac{A^3}{D_{LT0}}\right) \qquad (4)$$

dove A è il parametro semiempirico di Dean (1977) e D_{LT0} è la massima profondità interessata dal trasporto solido longitudinale, definita dalla relazione di Hallermaier (1983):

$$D_{LT0} = (2.3 - 10.9 H_S)\frac{H_S}{L_0} \qquad (5)$$

dove L_0 rappresenta la lunghezza d'onda ed H_S l'altezza significativa in acque profonde.
Il trasporto solido viene calcolato sezione per sezione, tenendo conto della direzione e dell'altezza d'onda al frangimento in ciascuna delle sezioni; tali grandezze vengono determinate attraverso moduli di calcolo interni a GENESIS, che tengono conto degli effetti di shoaling, rifrazione e diffrazione.
Il modello è altresì in grado di descrivere il comportamento del litorale in presenza di opere rigide quali protezioni di sponda, pennelli, dighe foranee e difese staccate (per queste ultime tre categorie di opere il modello è anche in grado di valutare l'interazione tra queste ed il moto ondoso incidente), oppure di interventi morbidi quali by-pass o ripascimenti.
Le condizioni al contorno imponibili agli estremi dell'area modellata possono essere di varia natura; in particolare, è possibile fissare lo spostamento nel tempo della linea di riva nelle sezioni di estremità, ovvero porre in queste un pennello di varia lunghezza e controllare così il trasporto solido nelle stesse.

8.2.1 *Andamento del trasporto solido longitudinale e valutazione del bypass*

La larghezza della zona interessata dal trasporto solido longitudinale è necessaria alla determinazione della quantità di materiale che supera l'estremità delle strutture perpendicolari alla riva, quali pennelli o moli foranei, durante una mareggiata. Dal momento che la massima concentrazione del trasporto solido avviene nella zona dei frangenti, tale larghezza è legata all'altezza dell'onda frangente.
L'algoritmo di calcolo del bypass implementato nel modello GENESIS richiede la determinazione di una grandezza chiamata "profondità del trasporto attivo longitudinale" D_{LT}, pari alla profondità di frangimento della $H_{1/10}$ (media del decimo di onde più alte). Nelle ipotesi di validità della distribuzione di Rayleigh per le altezze d'onda ed avendo assunto un indice di frangimento γ pari a 0.78 (rapporto tra altezza d'onda e profondità al frangimento), si ottiene:

$$D_{LT} = \frac{1.27}{\gamma}(H_S)_b \approx 1.6(H_S)_b \qquad (6)$$

Va osservato che la profondità del trasporto attivo è minore della profondità di chiusura D_C, salvo il caso delle mareggiate estreme.
Per la valutazione del bypass, nel caso di strutture impermeabili al trasporto solido longitudinale, viene introdotto un fattore di bypass F_{BYP}, definito come segue:

$$F_{BYP} = 1 - \frac{D_G}{D_{LT}} \qquad \text{se } D_G \le D_{LT} \qquad (7.1)$$

$$F_{BYP} = 0 \qquad \text{se } D_G \ge D_{LT} \qquad (7.2)$$

dove D_G rappresenta la profondità della testata del molo foraneo o del pennello.
F_{BYP} rappresenta la frazione di trasporto solido longitudinale nella cella sopraflutto adiacente alla struttura trasversale che è in grado di superare la struttura stessa.
D_{LT} e F_{BYP} vengono calcolati in corrispondenza di ciascuna opera trasversale, per ciascuna mareggiata simulata dal modello.

8.2.2 *Profilo trasversale del litorale*

Lo studio del profilo trasversale è necessario per la valutazione dell'andamento trasversale del trasporto solido longitudinale e quindi del bypass.
Si assume che la forma del profilo trasversale sia esprimibile tramite la semplice relazione proposta da Bruun (1954) e Dean (1977), che lega la profondità d alla distanza dalla linea di riva y:

$$d = A\, y^{\frac{2}{3}} \qquad (8)$$

dove A rappresenta un parametro semiempirico, definito da Moore (1982), funzione del diametro caratteristico d_{50} (espresso in mm e corrispondente al diametro del vaglio che trattiene il 50% in peso del materiale) del sedimento che costituisce la spiaggia attiva:

$$A = 0.41(d_{50})^{0.94} \qquad \text{se } d_{50} < 0.4 \text{ mm} \qquad (9.1)$$

$$A = 0.23(d_{50})^{0.32} \qquad \text{se } 0.4 < d_{50} < 10.0 \text{ mm} \qquad (9.2)$$

$$A = 0.23(d_{50})^{0.28} \qquad \text{se } 10.0 < d_{50} < 40.0 \text{ mm} \qquad (9.3)$$

$$A = 0.46(d_{50})^{0.11} \qquad \text{se } d_{50} > 40.0 \text{ mm} \qquad (9.4)$$

8.2.3 *Profondità di chiusura e altezza di swash*

La profondità di chiusura rappresenta la profondità limite al di sotto della quale il profilo trasversale non subisce cambiamenti significativi, nell'intervallo di tempo per cui si esegue la simulazione.
La valutazione corretta della profondità di chiusura per un dato sito è condotta sulla base dell'analisi di dati storici che documentino l'evoluzione del tempo del profilo trasversale in sezioni significative del sito in oggetto.
Qualora tali dati non siano disponibili, è possibile valutare la profondità tramite la relazione di Hallermaier (1983):

$$D_C = 1.6 \cdot H_{0,12},$$

dove $H_{0,12}$ rappresenta il valore dell'altezza significativa corrispondente ad una durata di 12 ore/anno.
Sfruttando la base dati CNR-ISDGM è stato possibile determinare tale onda e quindi la profondità di chiusura. Specificatamente tale onda ha una frequenza annua percentuale pari a:

$$fr = \frac{100 \cdot 12}{365 \cdot 24} = 0.137\%.$$

A tale proposito in Figura 37 viene rappresentata la curva di durata per il calcolo della $H_{0,12}$.
Sulla base della frequenza annua percentuale è stata valutata un' altezza d'onda a $H_{0,12}$ pari a 3.44 m. La profondità di chiusura D_C per il litorale in oggetto è risultata, di conseguenza, pari a 5.50 m; l'altezza di swash è stata stimata in D_B = 1.50 m. Di conseguenza, l'altezza complessiva della fascia attiva risulta di 7.00 m.

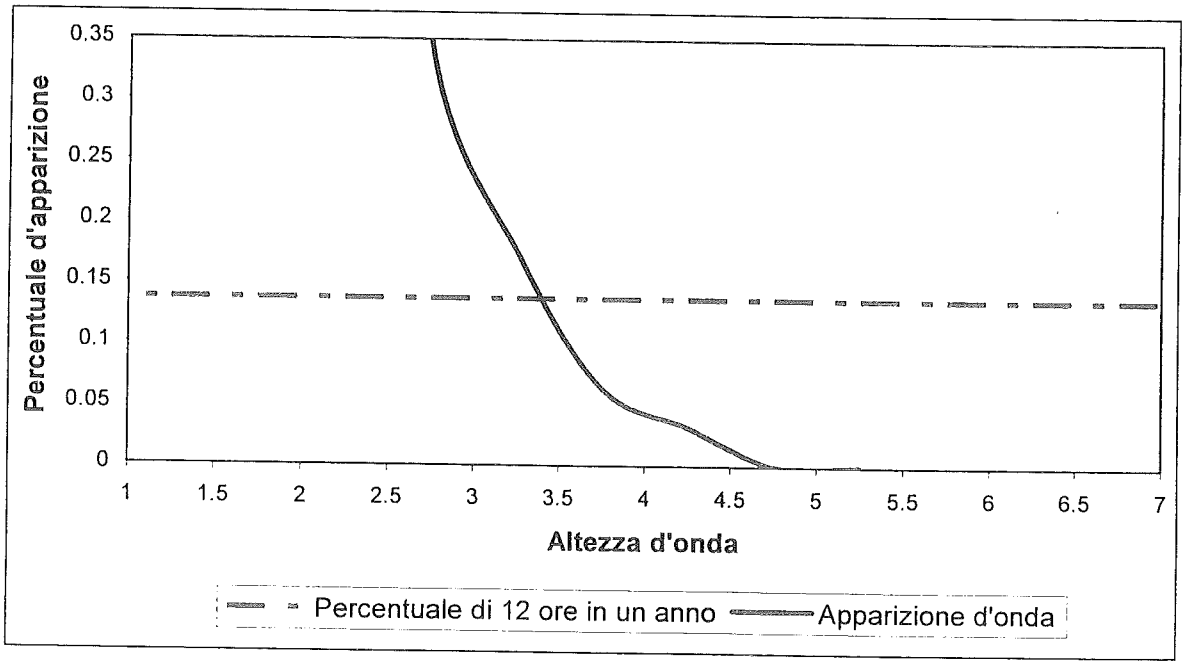


Figura 37 - Curva di durata

8.2.4 *Determinazione delle caratteristiche dell'onda al frangimento*

La determinazione delle caratteristiche dell'onda al frangimento da impiegare nelle formule 2 e 6 sono calcolate per mezzo di un modulo interno al modello GENESIS; tale modello propaga le onde a

partire dalle acque profonde fino alla profondità di frangimento, senza tenere conto dell'eventuale effetto di diffrazione di opere presenti lungo il litorale. Tale effetto viene considerato in una fase successiva, correggendo i risultati di questo primo calcolo.
L'altezza d'onda al frangimento $(H_S)_b$ è calcolata attraverso la seguente relazione:

$$(H_S)_b = K_R\, K_S\, H_{S0} \qquad (10)$$

dove K_R e K_S sono rispettivamente i coefficienti di rifrazione e di shoaling, ed H_{S0} l'altezza d'onda significativa in acque profonde.
I valori di K_R e K_S sono determinati nelle ipotesi di batimetriche parallele, di costanza del flusso di energia all'interno di ciascun tubo di flusso e di validità della legge di Snell. Nelle medesime ipotesi è possibile determinare anche la direzione di propagazione al frangimento θ_b; le relazioni che esprimono le grandezze finora citate sono le seguenti:

$$K_R = \left(\frac{\cos\theta_0}{\cos\theta_b}\right)^{\frac{1}{2}} \qquad (11)$$

$$K_S = \left(\frac{c_{g0}}{c_{gb}}\right)^{\frac{1}{2}} \qquad (12)$$

$$\theta_b = \operatorname{arcsen}\left(\frac{L_b \operatorname{sen}\theta_0}{L_0}\right) \qquad (13)$$

dove θ_0 è l'angolo di incidenza dell'onda al largo (rispetto ad una batimetrica di riferimento, il cui orientamento è ottenuto dallo smoothing e dalla traslazione della linea di riva esistente durante lo step temporale di calcolo), c_{g0} e c_{gb} rispettivamente la celerità di gruppo del treno d'onde al largo ed al frangimento, L_b ed L_0 la lunghezza d'onda al frangimento ed in acque profonde.

8.3 Dati sedimentologici

I sedimenti sono stati rappresentati nel modello con una granulometria costituita da ghiaia avente D_{50} pari a 5 mm. Tale dato è stato ricavato considerando sia i dati ricavati dall'analisi granulometrica effettuata su 5 campioni prelevati lungo il litorale in corrispondenza della linea di riva (Figura 38), sia dall'analisi di alcuni profili trasversali di spiaggia, dai quali è stato ricavato, mediante la formulazione di Dean, un valore medio di D_{50}. Dalla Figura 39 alla Figura 42 si sono riportati alcuni profili trasversali di spiaggia sovrapposti a quello teorico di Dean, col relativo parametro caratteristico "A".
Sebbene tale diametro caratteristico possa sembrare troppo elevato per rappresentare il litorale in esame, si deve far presente che il diametro adottato è quello che meglio ha consentito di rappresentare matematicamente gli esistenti profili di spiaggia nella modellazione matematica e che può essere considerato rappresentativo della granulometria della spiaggia in corrispondenza della linea di riva. A tal proposito si può ricordare che la granulometria dei sedimenti in corrispondenza della linea di riva è certamente quella più grossolana di tutto il profilo trasversale, essendo sia la spiaggia emersa che quella sommersa tipicamente caratterizzate da granulometrie inferiori.

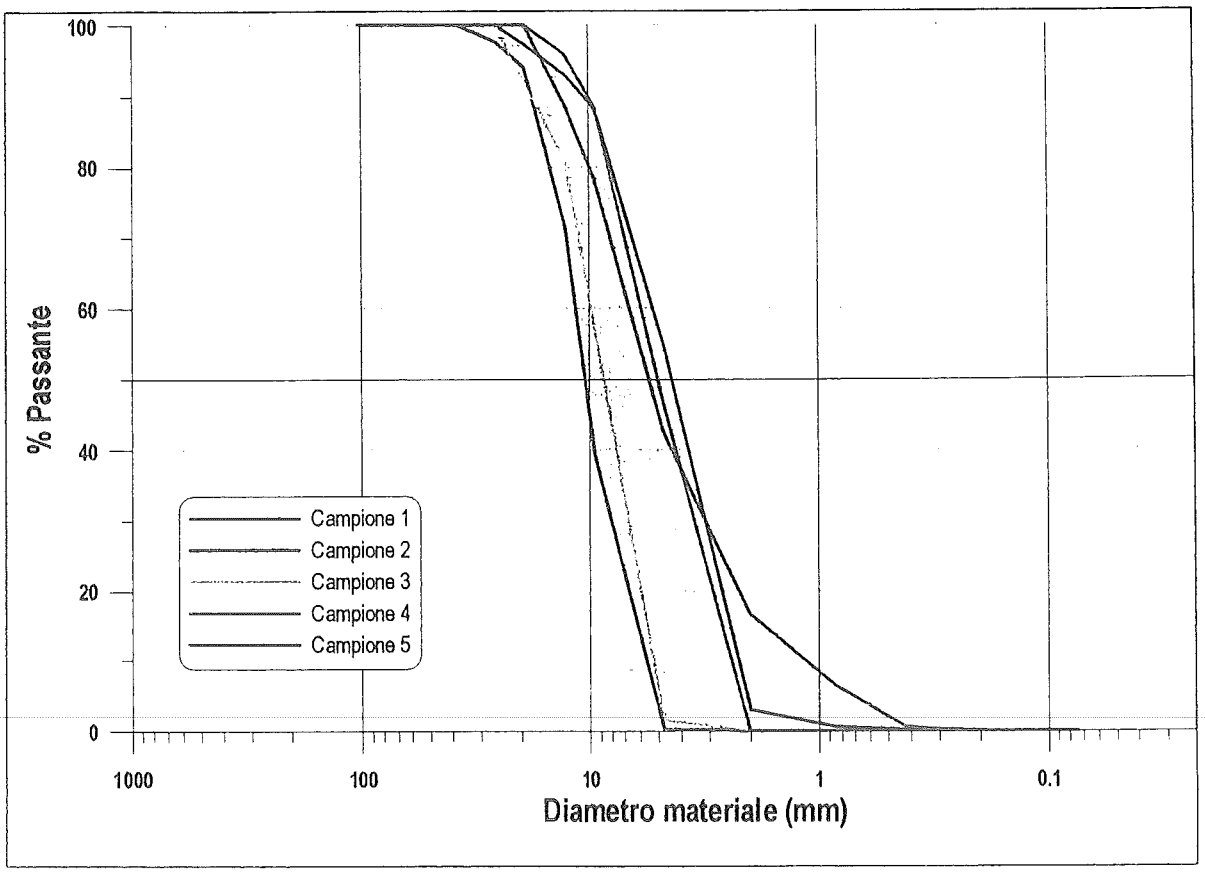


Figura 38 – Curve granulometriche

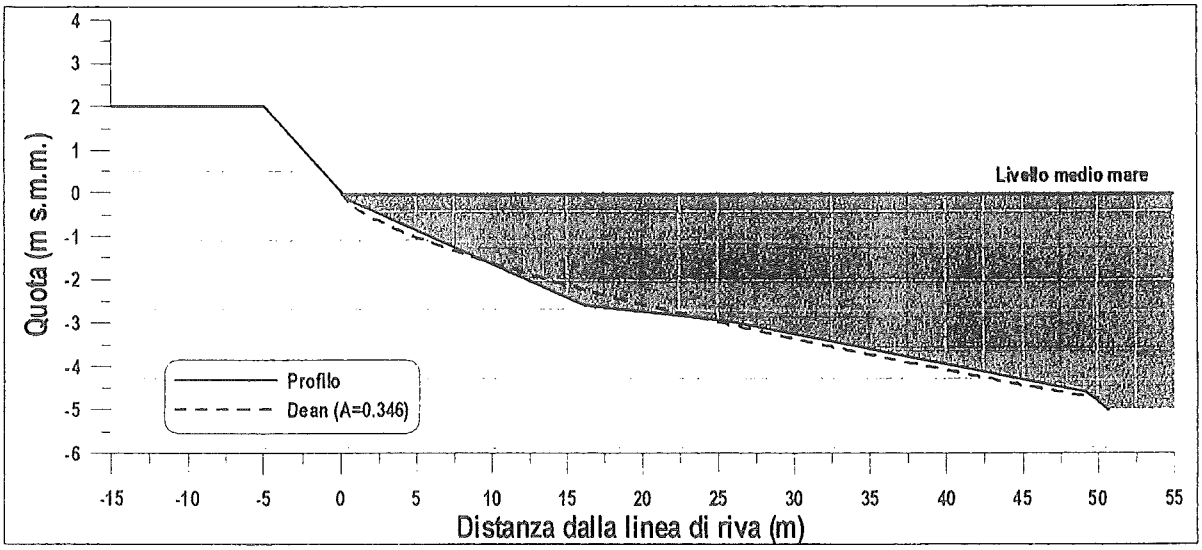


Figura 39 – Confronto profilo trasversale e profilo di Dean

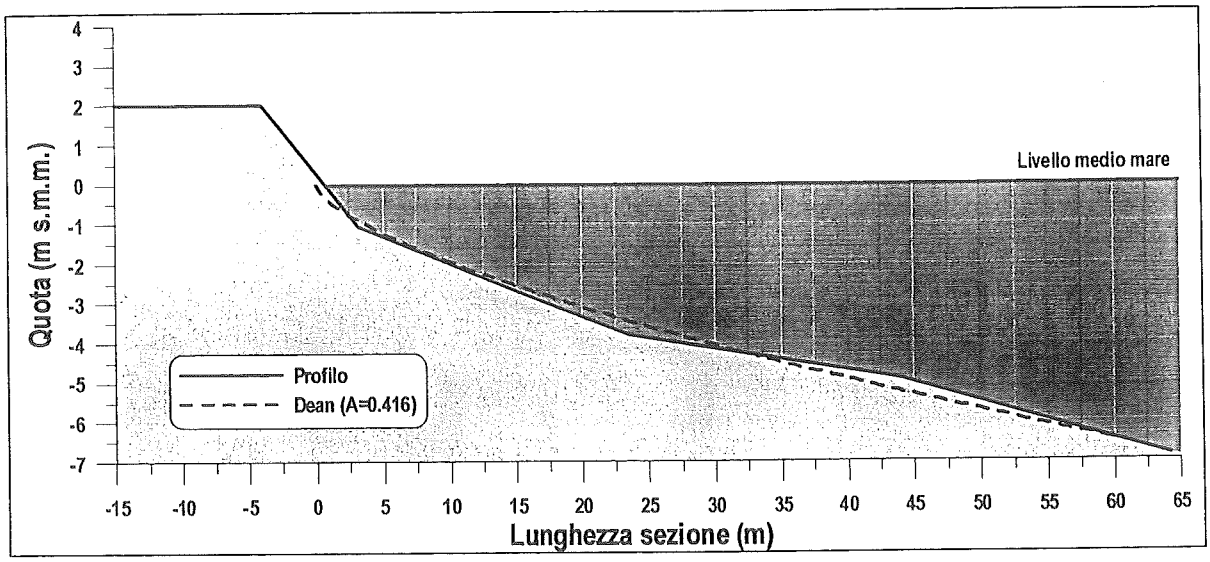


Figura 40 – Confronto profilo trasversale e profilo di Dean

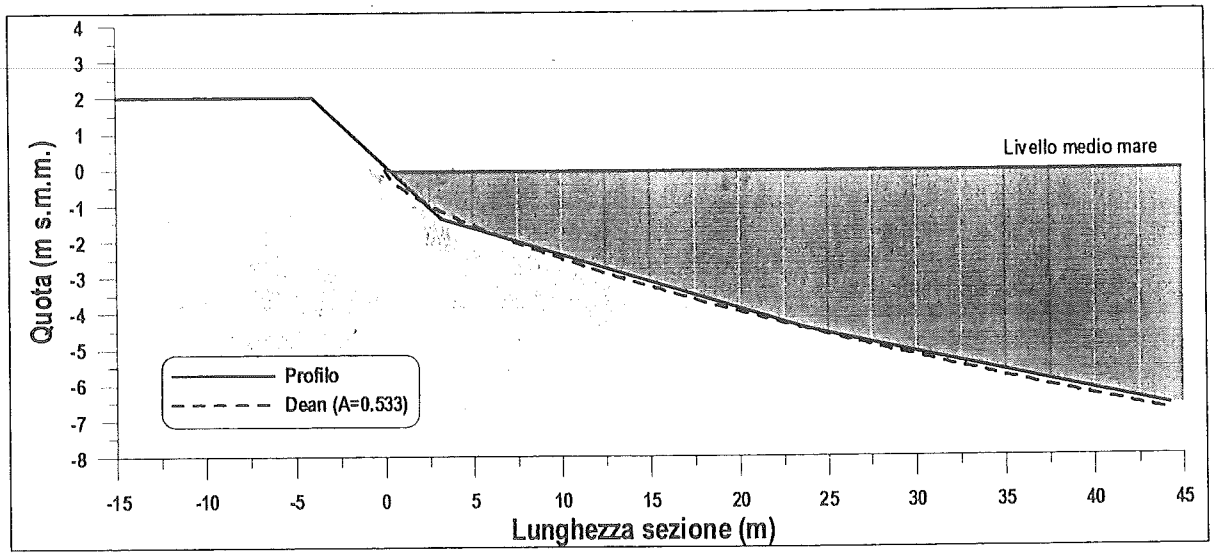


Figura 41 – Confronto profilo trasversale e profilo di Dean

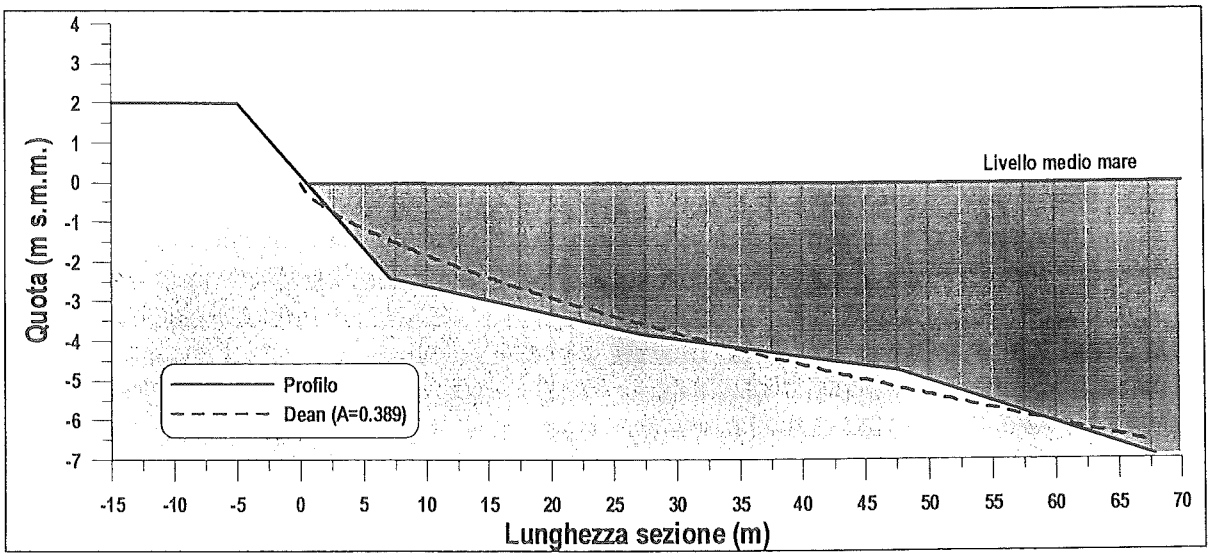


Figura 42 – Confronto profilo trasversale e profilo di Dean

8.4 Taratura

La taratura del modello consente di adattare il modello matematico alla situazione del paraggio oggetto di studio: il modello infatti interpreta la realtà fisica in maniera semplificata, tenendo conto qualitativamente dei principali fenomeni che governano l'evoluzione morfologica della costa.
I fenomeni responsabili dell'evoluzione, tuttavia, sono molteplici e la loro influenza non può essere sempre valutata in termini quantitativi.
L'operazione di taratura consente, in maniera implicita, di tenere conto di tutti i fattori non direttamente esplicitabili sotto la forma di relazioni causa-effetto. Il principale obiettivo della taratura è la determinazione dei coefficienti K_1 e K_2, che correggono la formula del CERC (1984), esprimente la relazione tra trasporto solido e flusso di energia.

8.4.1 Considerazioni preliminari

La taratura del modello è stata effettuata con riferimento al periodo 1983-2004.
La configurazione di base della costa utilizzata nella simulazione è quella rilevata del 1983. La taratura del modello consiste nel variare i parametri di calibrazione del codice di calcolo fino ad ottenere dal modello stesso la ricostruzione fedele dell'evoluzione misurata nell'intervallo temporale di taratura (cioè dal 1983 al 2004).

8.4.2 Parametri utilizzati nel modello

Il modello del tratto di costa compreso fra Molo Gaverri e Capo Noli è stato costruito suddividendo il litorale in 160 celle della larghezza di 10 m ciascuna, per un totale di 1600 m.
La scelta di tale suddivisione è dovuta alla conformazione del litorale e delle opere presenti, che ha consentito di porre gli estremi del dominio di calcolo in corrispondenza di punti notevoli dove fissare univocamente le condizioni al contorno. In particolare, entrambi gli estremi sono stati assunti come "pinned beach", ovvero come punti fissi. Durante la fase di taratura sono state tenute in considerazione le variazioni antropiche intercorse nel periodo 1983 – 2004 sul tratto di litorale esaminato e, più precisamente, gli interventi di ripascimento riassunti alla seguente Tabella 14.

Anni	Volume (m^3)
1982 - 1985	10 000
primi anni '90	14 000
2002	2 000
2003	6 500

Tabella 14 – Ripascimenti eseguiti 1983-2004

I parametri del modello sono riportati nella seguente Tabella 15. I risultati della simulazione di taratura sono riportati in dettaglio nei tabulati numerici allegati ed in forma grafica nella Tavola G1.

PARAMETRO	VALORE	U.M.
Coefficiente di calibrazione K_1	0,015	
Coefficiente di calibrazione K_2	0,000	
Numero di celle totali	160	
Dimensioni di ogni cella	10	m
Data inizio simulazione	01/01/83	
Data di fine simulazione	01/10/04	
Dimensione step temporale di calcolo	3.0	h
Profondità a cui sono riferite le onde	70	m
Profondità di chiusura	5.50	m
Altezza di swash	1.50	m
Estremo destro	Pinned Beach	
Estremo sinistro	Pinned Beach	

Tabella 15 - Parametri del modello

8.4.3 Risultati taratura

I risultati ottenuti dalla simulazione di taratura del modello sono riportati nella Figura 43 e più in dettaglio nella Tavola G1.
Nella Figura 43 sono inoltre evidenziati gli errori Δy tra la linea di riva reale e quella simulata.
Si riportano nella Figura 44 e nella Figura 45 due particolari dei risultati ottenuti dalla simulazione, per la zona Nord e Sud del tratto di litorale analizzato. L'evoluzione evidenziata in verde rappresenta la linea di riva 2003 calcolata dal modello, la linea rossa rappresenta la linea di riva misurata.

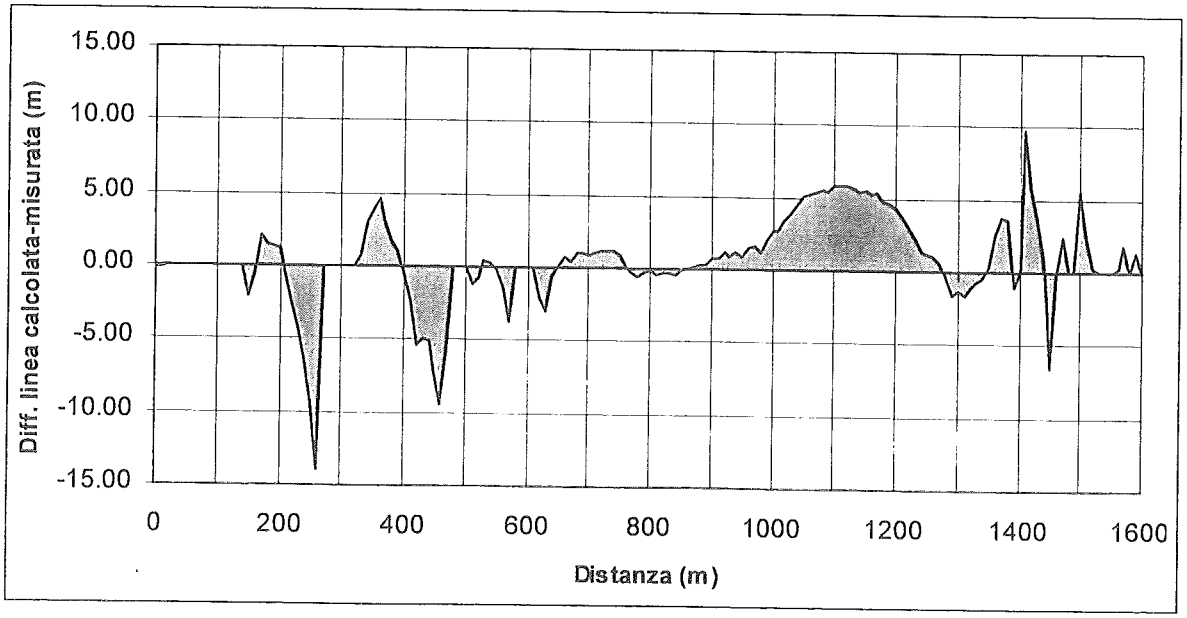


Figura 43 - Risultati taratura 1998-2003

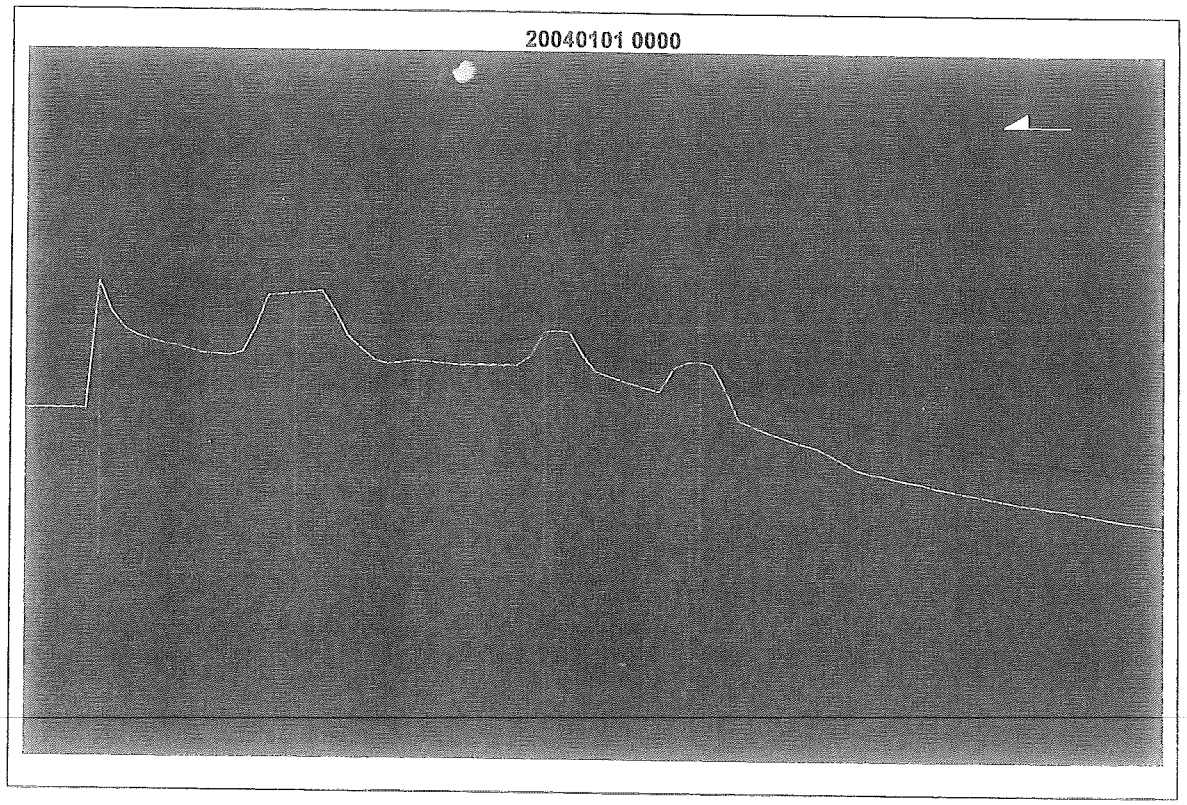


Figura 44 – Risultati taratura – tratto Nord

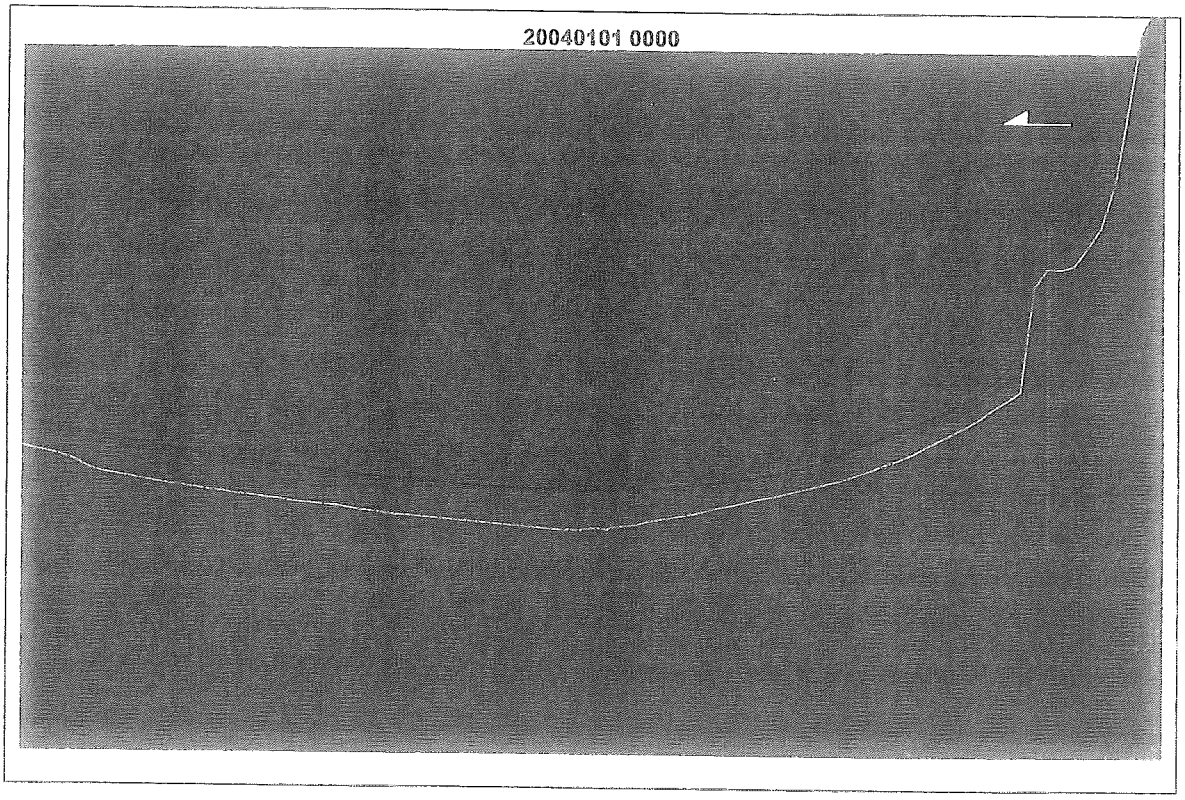


Figura 45 – Risultati taratura – tratto Sud

In Tabella 16 si riporta un confronto quantitativo tra la linea di riva 2004 reale e quella calcolata, in termini di arretramento/avanzamento medio nel periodo considerato (i valori negativi descrivono arretramenti).
Alla seguente Figura 46 si sono evidenziati risultati ottenuti in termini di trasporto solido medio annuo. I valori negativi indicano l'andamento dei sedimenti verso Nord.

		REALE	CALCOLATA	
L	Lunghezza litorale	1 600	1 600	m
ΔY/anno media	Variazione media annuale della battigia	- 0.25	- 0.22	m/anno

Tabella 16 - Confronto linea di riva 2004 reale e calcolata

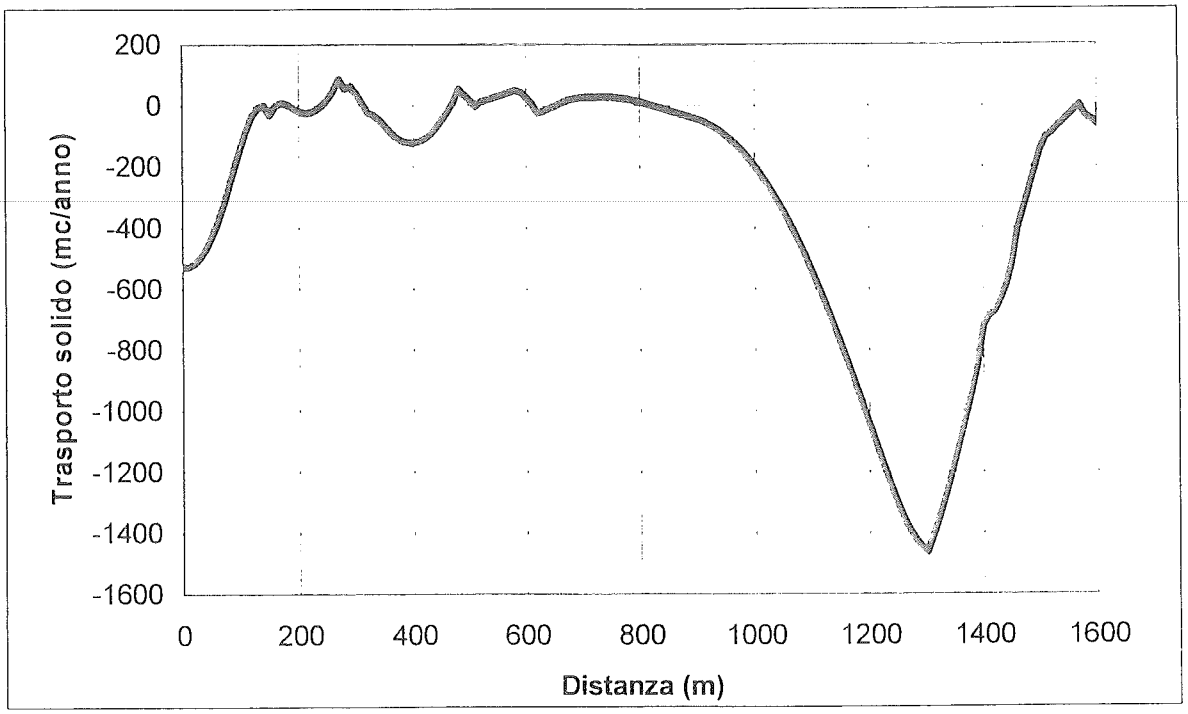


Figura 46 - Trasporto solido 1983 – 2004 (come risulta dalla simulazione di taratura)

8.5 Previsione in configurazione attuale e modificata dalle nuove opere

Per quantificare, nei limiti dei dati disponibili e della significatività del modello, la variazione della posizione della linea di riva lungo il litorale considerato è stata simulata l'evoluzione fino al 2008.
Nella simulazione sono state considerate le seguenti ipotesi:

- **IPOTESI "0"**: evoluzione in configurazione attuale senza l'inserimento di nuove opere né di nuovi interventi di ripascimento.
- **IPOTESI "1"**: consistente nella realizzazione dei seguenti interventi:

- ripascimento di 32.000 m³ tra Molo Gaverri e Molo Vescovado, per un tratto lungo circa 500 m (corrispondente ad un avanzamento teorico della linea di riva di 10m).

- **IPOTESI "2"**: consistente nella realizzazione dei seguenti interventi:
  - ripascimento di 32.000 m³ dalla Stazione di pompaggio verso Nord, per un tratto di circa 500 m (corrispondente ad un avanzamento teorico della linea di riva di 10 m).

- **IPOTESI "3"**: consistente nella realizzazione dei seguenti interventi:
  - ripascimento di 60.000 m³ da Molo Gaverri fino alla Stazione di pompaggio per un tratto di circa 1300 m (corrispondente ad un avanzamento teorico della linea di riva di 6.75 m).

Alla luce dei risultati ottenuti dall'analisi delle precedenti ipotesi, si è proposta e studiata la "configurazione finale" di progetto (**IPOTESI "4"**), consistente in:

- ripascimento di circa 14.000 m³ /anno da ripetersi per 5 anni consecutivi, nel tratto compreso tra il Molo Gaverri e la Stazione di pompaggio. I risultati di tale simulazione sono stati visualizzati per ciascun anno di calcolo;
- prolungamento dei pennelli esistenti (2° molo, molo piscina e molo Gaverri) con un tratto di circa 20 m soffolto.

L'obiettivo dello studio, quindi, è stato la valutazione dell'efficacia delle soluzioni di progetto sull'evoluzione della linea di riva, evidenziando gli effetti indotti dalla realizzazione degli interventi previsti dalle diverse soluzioni progettuali.
Nell'ipotesi "4" il tratto soffolto previsto per i pennelli è stato schematizzato mediante una lunghezza pari alla metà di quella reale, per simulare il by-pass di sedimenti oltre la struttura.
Si riportano nelle seguenti figure (dalla Figura 47 alla Figura 56) i risultati, in termini grafici ottenuti dalle simulazioni per le quattro soluzioni.

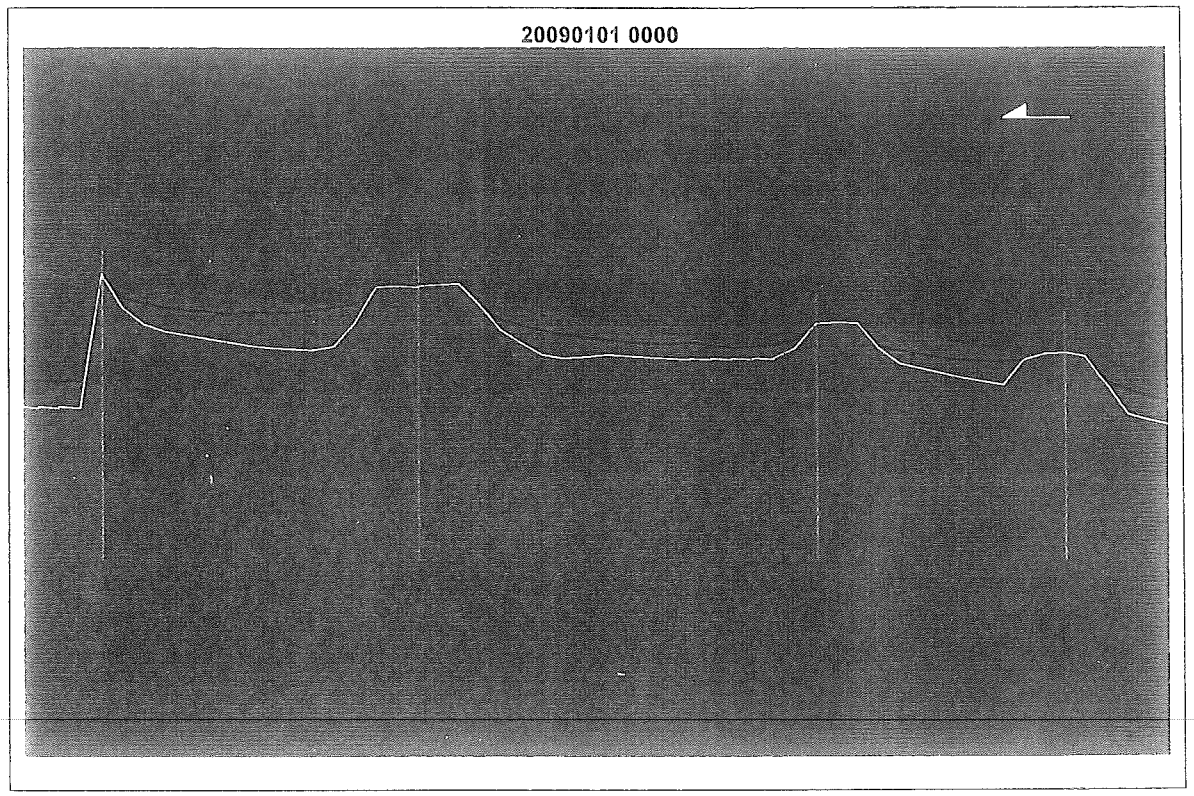


Figura 49 – Risultati evoluzione tratto Nord – ipotesi "1"

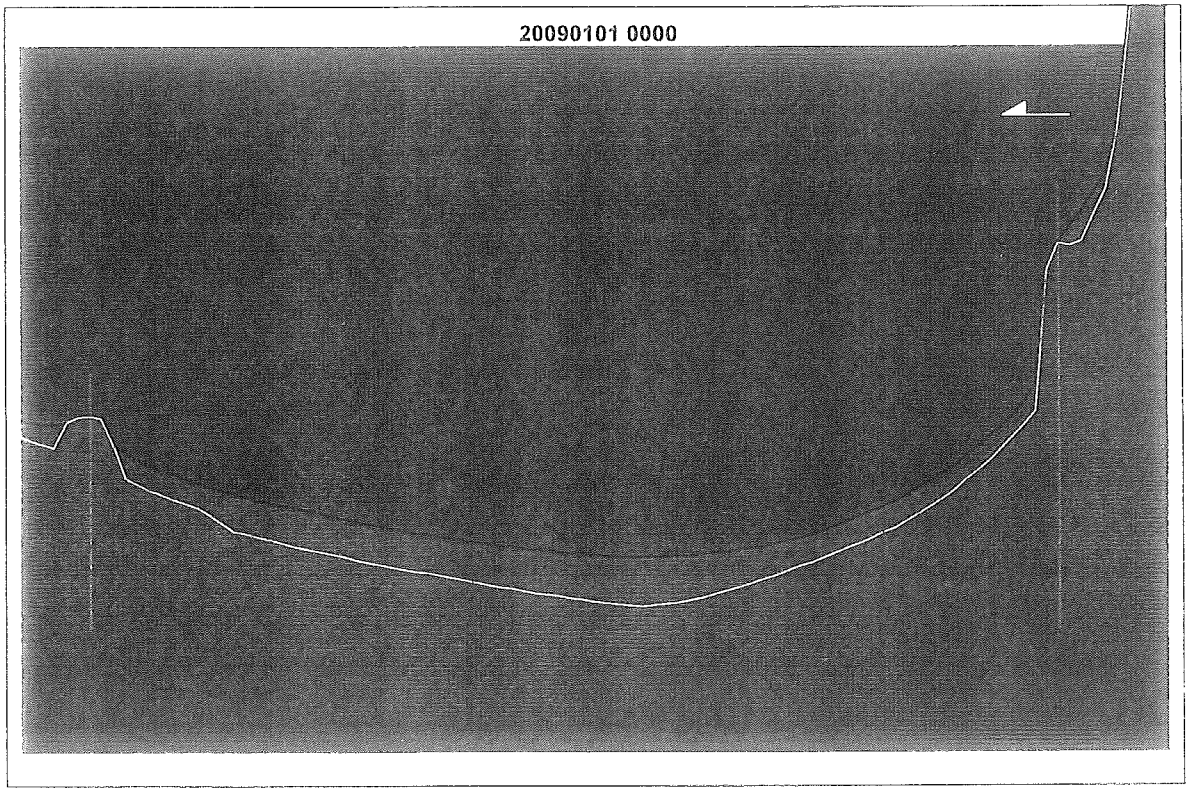


Figura 50 – Risultati evoluzione tratto Sud – ipotesi "1"

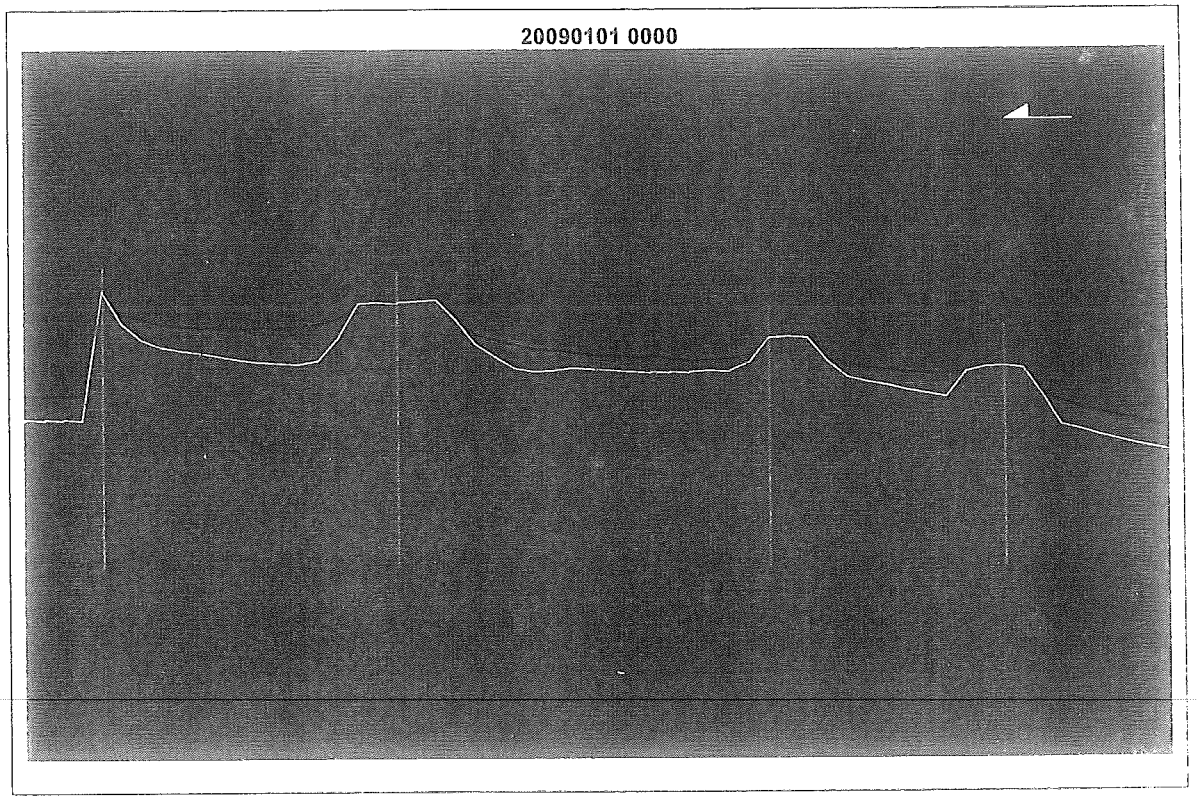


Figura 51 – Risultati evoluzione tratto Nord – ipotesi "2"

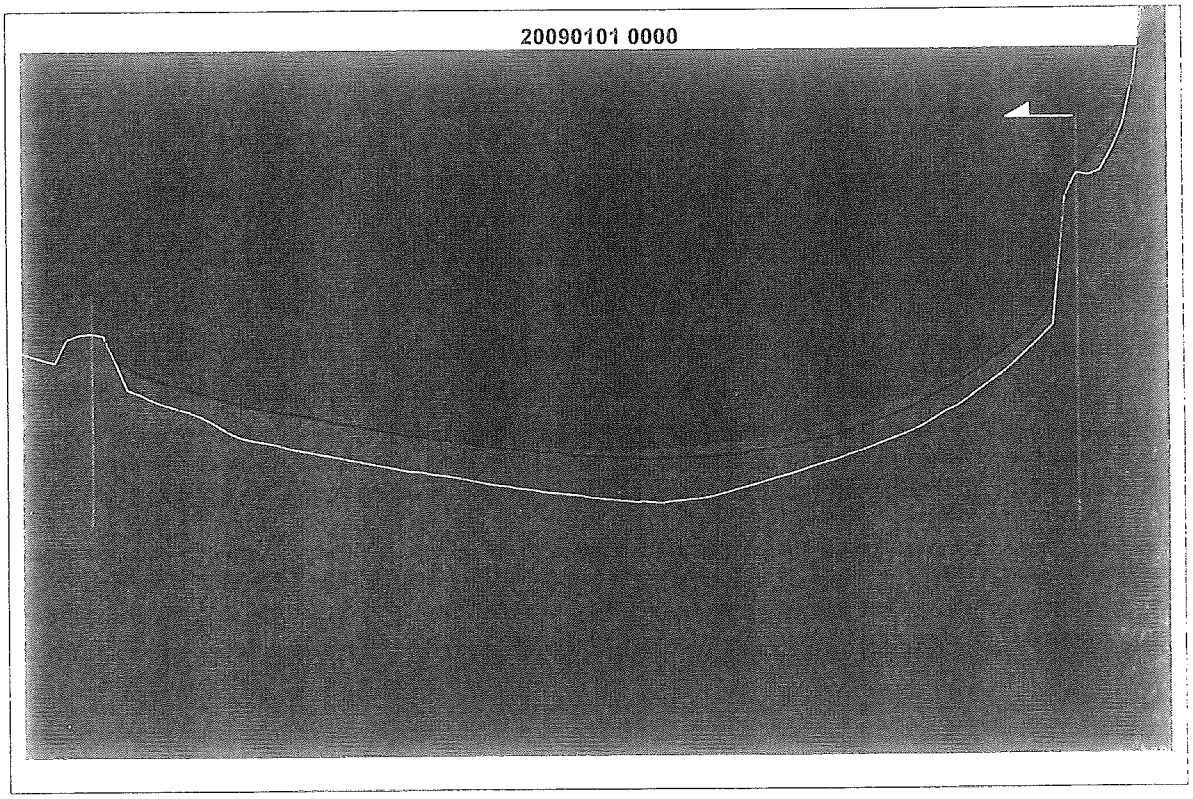


Figura 52 – Risultati evoluzione tratto Sud – ipotesi "2"

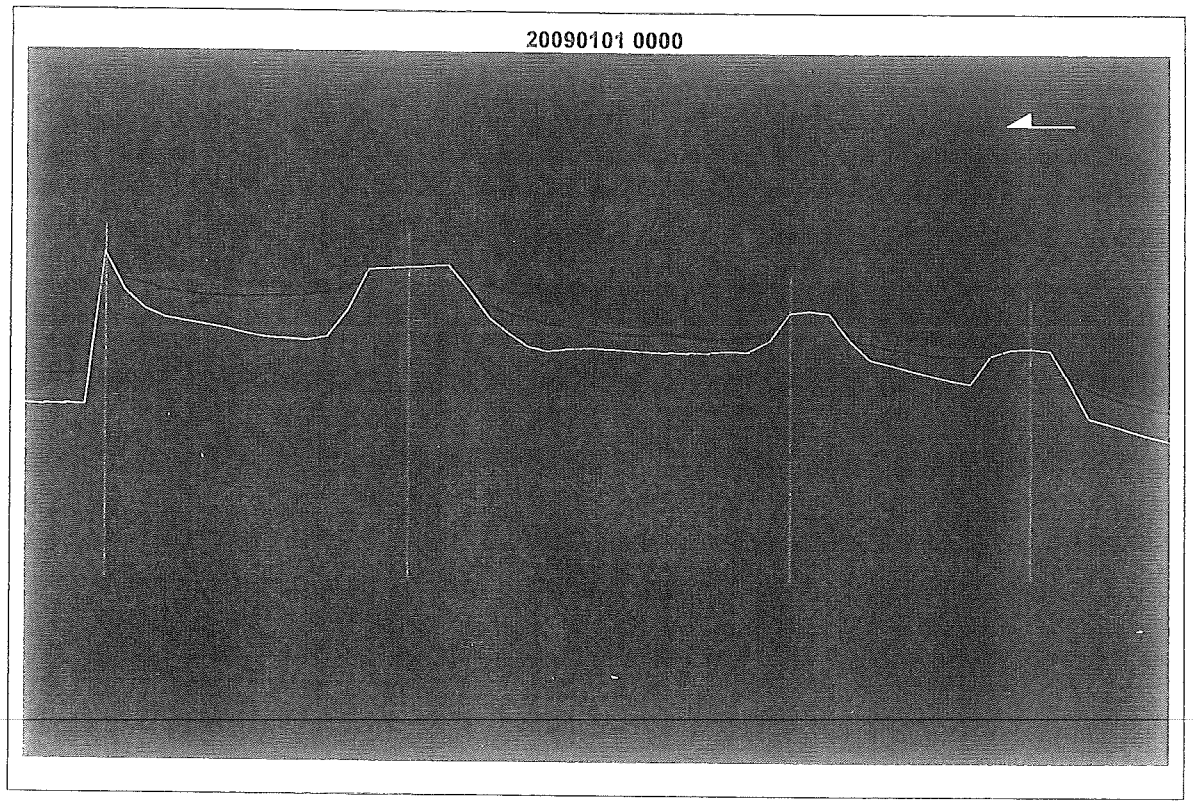


Figura 53 – Risultati evoluzione tratto Nord – ipotesi "3"

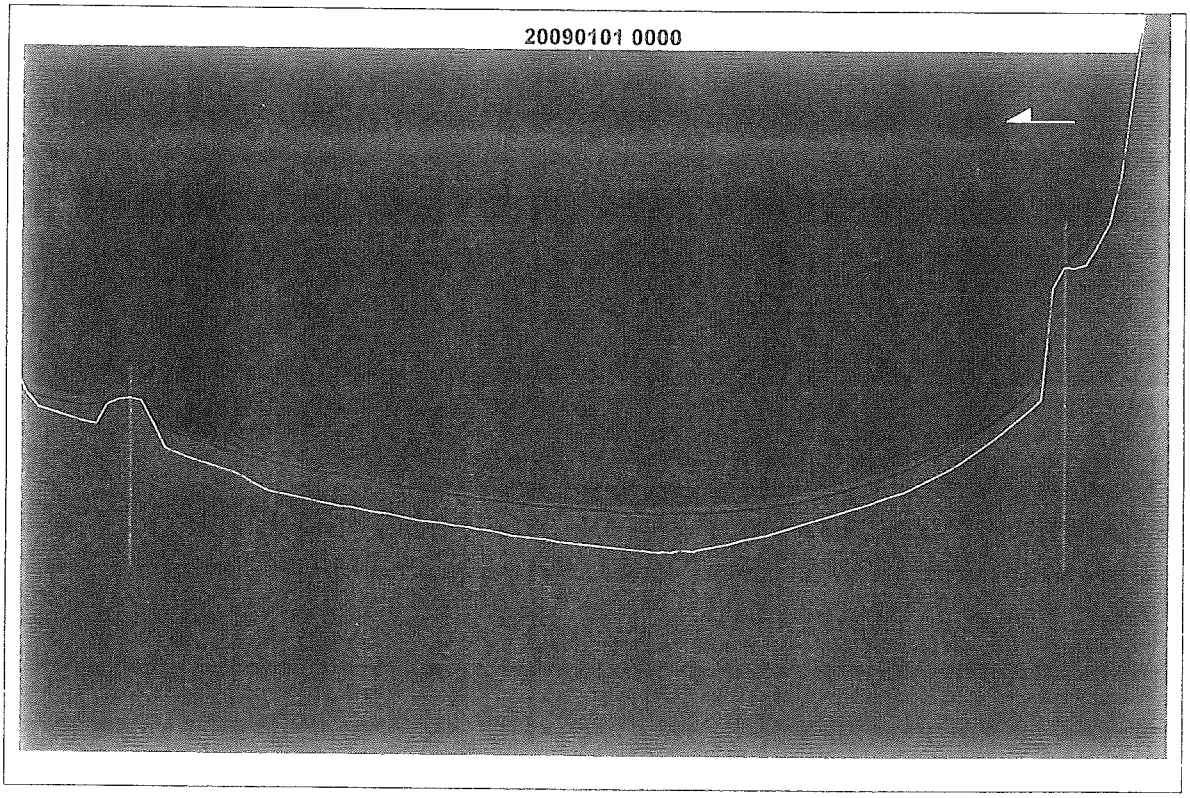


Figura 54 – Risultati evoluzione tratto Sud – ipotesi "3"

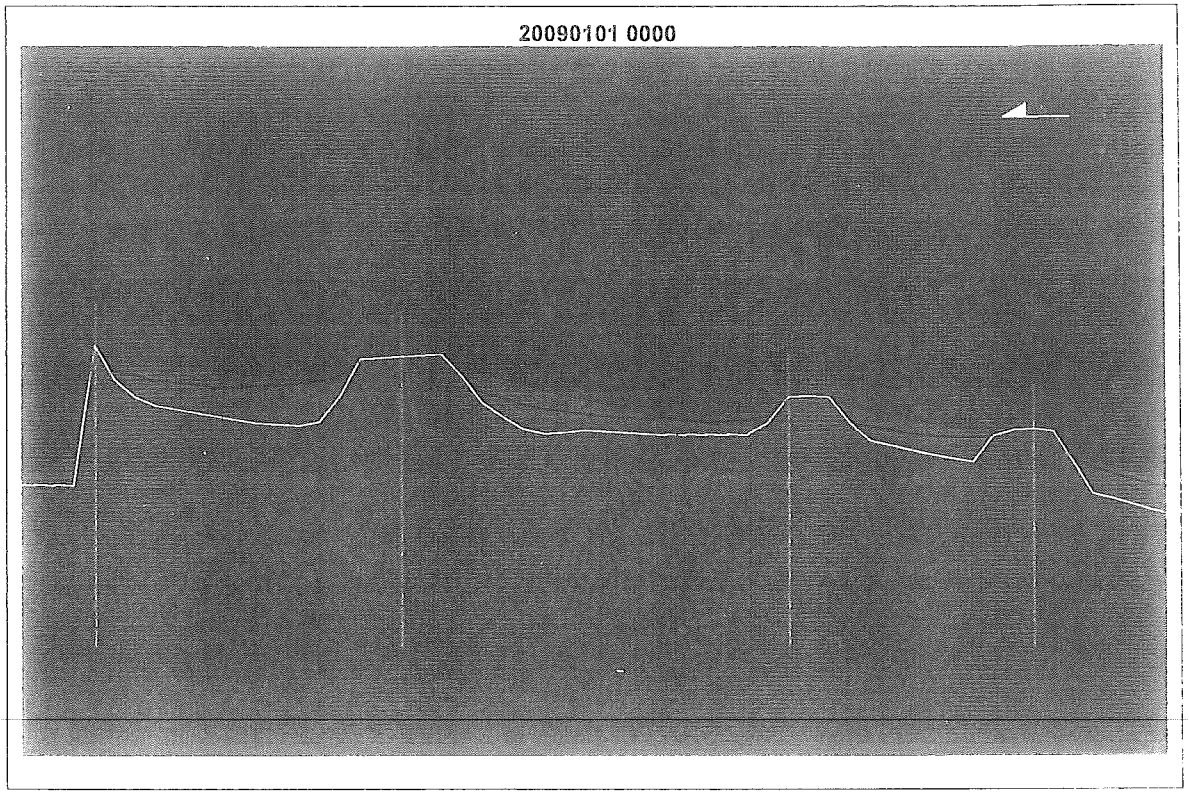


Figura 55 – Risultati evoluzione tratto Nord – ipotesi "4"

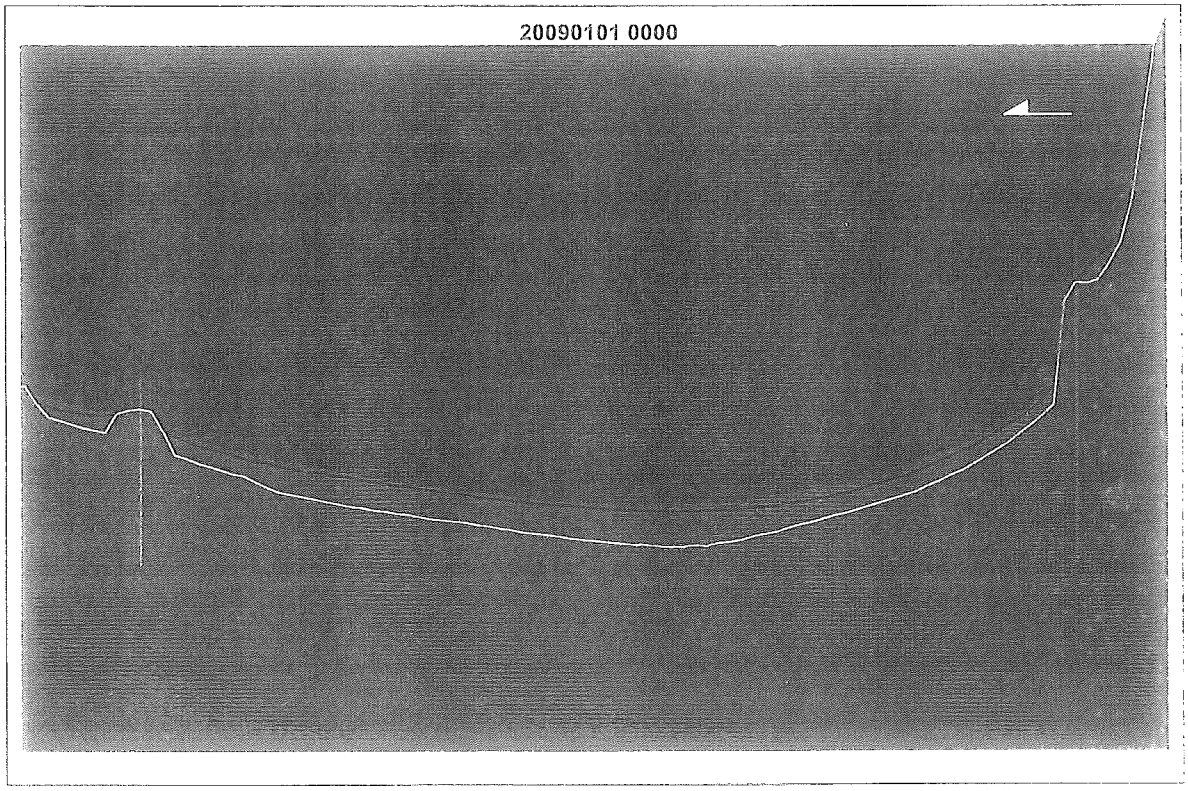


Figura 56 – Risultati evoluzione tratto Sud – ipotesi "4"

Negli elaborati grafici allegati, inoltre, si è rappresentata per quest'ultima configurazione il range di variazione della linea di riva, evidenziando il massimo e il minimo arretramento stimato della linea di riva, nei 5 anni di simulazione analizzata.

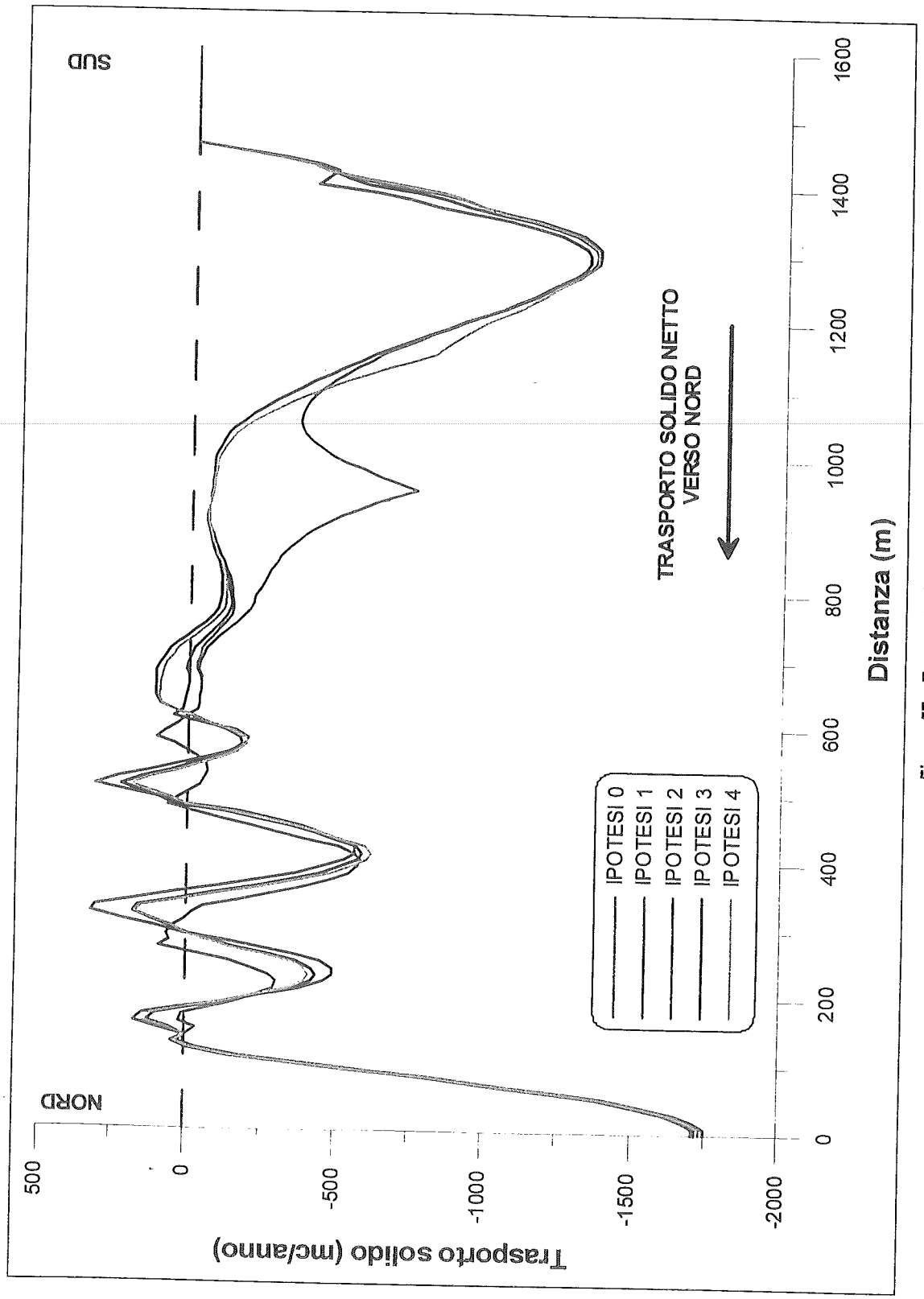


Figura 57 – Trasporto Solido

Sulla base dei risultati delle simulazioni condotte per le diverse configurazioni, si può osservare quanto segue:

- il trasporto solido litoraneo, per tutte le simulazioni effettuate, appare diretto verso Nord, a conferma dei risultati ottenuti in termini di trasporto solido potenziale (capitolo 6);
- i valori di trasporto solido litoraneo lungo il tratto di litorale considerato sono molto contenuti per tutte le configurazioni studiate; in particolare tra il molo Gaverri e il molo Vescovado si hanno picchi di valore prossimo a 500 m^3/anno, nell'area della stazione di pompaggio il trasporto solido subisce un aumento fino al valore di circa 1300 m^3/anno;
- per tutte le configurazioni analizzate l'andamento del trasporto solido appare simile, a conferma di una sostanziale stabilità del litorale oggetto di studio;
- l'evoluzione in assenza di interventi sul litorale denota una leggera rotazione in senso orario delle falcature di spiaggia comprese tra il molo Gaverri e il molo Vescovado; nel rimanente tratto di litorale si osserva una sostanziale stabilità, eccetto che per la zona immediatamente a Nord e Sud della stazione di pompaggio dove si osserva un moderato trend erosivo, ciò conferma quanto noto storicamente per questo tratto di spiaggia;
- le evoluzioni corrispondenti alle ipotesi "1", "2" e "3" fanno osservare un avanzamento della linea di riva nelle zone ove è stato previsto il ripascimento, che pare mantenersi stabile anche a 5 anni dalla sua realizzazione;
- l'ipotesi "4" di ripascimenti programmati e costanti nel corso dei 5 anni (circa 14000 m^3/anno distribuiti su tutto il litorale analizzato) appare senza dubbio positiva, facendo rilevare un avanzamento della linea di riva paragonabile a quello del ripascimento nella sola zona dei moli Gaverri-Vescovado (ipotesi "1") e un avanzamento della linea di riva superiore a tutte le altre souzioni studiate per il rimanente tratto di litorale, in particolare per la zona più "critica" della stazione di pompaggio, che sembra beneficiare maggiormente dell'intervento di ripascimento progressivo.

I risultati delle simulazioni sono riportati in forma grafica nelle allegate tavole G2 e G3.

9 CONCLUSIONI

Lo studio meteomarino del litorale di Noli ha consentito di definire anzitutto le caratteristiche delle onde "al largo", sulla base delle più recenti ed affidabili fonti di dati ondametrici.
Sulla base di tali dati di input, è stato implementato un idoneo modello matematico per studiare la trasformazione delle onde nella propagazione verso costa. I risultati delle simulazioni effettuate sono stati rappresentati graficamente in tavole grafiche di rapida interpretazione, dalle quali è possibile desumere le caratteristiche puntuali delle onde nel dominio di calcolo prescelto.
I tabulati numerici (e le tavole riportate nel corpo della relazione) consentono di quantificare in modo chiaro ed esaustivo le caratteristiche puntuali delle onde, valutate lungo 4 distinti transetti significativi.

In particolare sono state analizzate le seguenti 4 diverse ipotesi progettuali:

- IPOTESI "0": senza l'inserimento di nuove opere né di nuovi interventi di ripascimento.
- IPOTESI "1": consistente nella realizzazione di un ripascimento di 32.000 m^3 tra Molo Gaverri e Molo Vescovado, per un tratto lungo circa 500m (corrispondente ad un avanzamento teorico della linea di riva di 10m);
- IPOTESI "2": consistente nella realizzazione di un ripascimento di 32.000 m^3 dalla Stazione di pompaggio verso Nord, per un tratto di circa 500m (corrispondente ad un avanzamento teorico della linea di riva di 10 m);
- IPOTESI "3": consistente nella realizzazione di un ripascimento di 60.000 m^3 da Molo Gaverri fino alla Stazione di pompaggio per un tratto di circa 1300 m (corrispondente ad un avanzamento teorico della linea di riva di 6.75 m);
- IPOTESI "4": ripascimento di circa 14.000 m^3 /annuo da ripetersi per 5 anni consecutivi, nel tratto compreso tra il Molo Gaverri e la Stazione di pompaggio, associato al prolungamento di 3 dei pennelli esistenti.

Le simulazioni effettuate hanno dimostrato che l'ultima soluzione progettuale appare forse la più idonea, anche in considerazione del previsto prolungamento degli esistenti pennelli. Quest'ultimo intervento appare quanto mai opportuno in quanto le simulazioni effettuate hanno sottolineato che il trasporto dei sedimenti lungo riva viene incrementato dai ripascimenti artificiali; in altre parole l'apporto di sedimenti crea una situazione "meno equilibrata" e quindi il trasporto solido aumenta, cercando di ripristinare gli orientamenti pregressi. Inoltre l'avanzamento della linea di riva riduce la lunghezza efficacia degli esistenti pennelli (aumenta il by-pass oltre alle opere) e quindi suggerisce la necessità di prolungare le opere di difesa per renderle maggiormente efficaci.

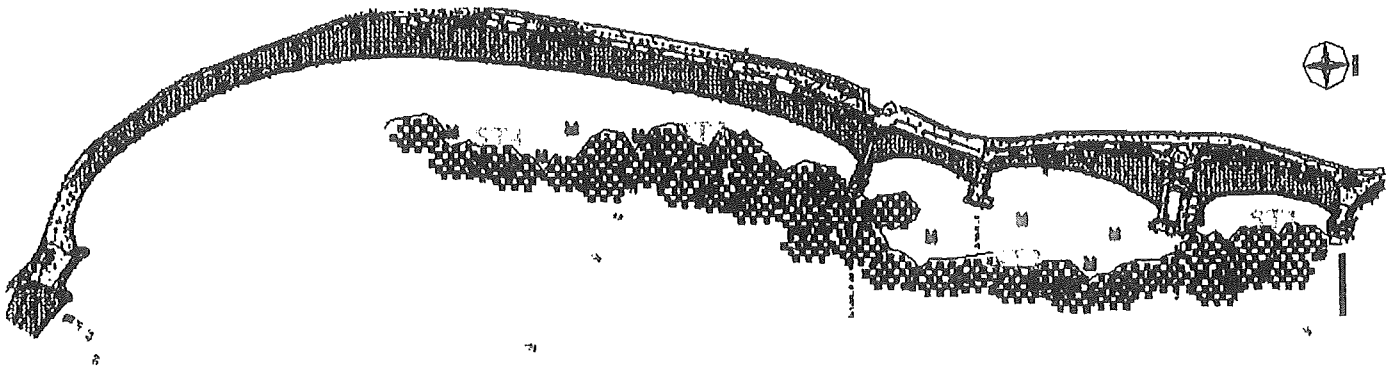
6. INDAGINI BIONATURALISTICHE

Vengono riportate nel seguito le valutazioni ed indagini realizzate dal Dott. Biol. Fulvio GARIBALDI sulle presenze di biocenosi marine nelle pertinenze del litorale e delle opere progettate.

Dott. Fulvio Garibaldi
Via Aurelia Lev. n° 57
18010 S. Stefano al Mare (IM)

Indagini e rilievi biologici sul fondale marino del Comune di Noli (SV).

Mappatura preliminare delle fanerogame marine



Luglio 2004

INTRODUZIONE

Il presente rilievo è stato condotto come studio di caratterizzazione del tratto di litorale del comune di Noli, ai fini di fornire gli strumenti necessari ad una una corretta progettazione dell'intervento di ripascimento delle spiagge di suddetto comune e di ripristino e manutenzione dei moli posti a protezione delle spiagge.

Gli interventi di ripascimento degli arenili sono ormai divenuti una costante per il litorale ligure; essi si rendono necessari per la tendenza all'erosione delle nostre coste, in parte dovuta all'azione del mare e ad elementi naturali, ma molto da addebitarsi agli sconsiderati interventi dei decenni scorsi. Questi hanno prima impedito ai sedimenti di giungere al mare, attraverso l'imbrigliamento e cementificazione dei corsi d'acqua, e poi alterato la normale dinamica costiera che garantiva una omogenea diffusione dei sedimenti (vedi costruzione di moli e pennelli perpendicolari alla linea di costa, porti, dighe frangiflutto etc.); il risultato è stato una evidente diminuzione del tasso di ripascimento naturale delle spiagge.

Quando si interviene dall'esterno sulla fascia costiera, una zona di mare in cui le interazioni tra le attività umane e l'ambiente sono inevitabili e spesso di notevole portata. occorre sempre considerare, oltre agli aspetti socioeconomici legati alla fruizione di massa della "risorsa mare" (mantenimento delle spiagge, realizzazione di approdi e altre attrezzature ricettive di carattere turistico, sfruttamento diretto delle risorse naturali da parte della pesca), il notevole interesse di questo ambiente dal punto di vista biologico (presenza di habitat di particolare pregio ed importanza naturalistica, quali ad esempio la prateria della fanerogama marina *Posidonia oceanica*).

Gli interventi di ripascimento devono comunque essere condotti nel pieno rispetto di alcune importanti regole, che rientrano in una oculata gestione della fascia costiera, per cercare di integrare le esigenze proprie delle amministrazioni comunali e dei privati, che per evidenti ragioni economiche vorrebbero avere spiagge grandi e sabbiose, con quelle di un corretto inserimento ambientale delle opere progettate.

Quasi tutto il litorale del ponente ligure, a partire generalmente da una profondità di –7m/-10m, è caratterizzato da una cintura di praterie di *P. oceanica* e *Cymodocea nodosa*, che costituiscono una notevole ricchezza dal punto di vista naturalistico; si tratta infatti non di alghe ma di fanerogame marine, cioè vere e proprie piante, con un ciclo vitale complesso, assai lente ad adattarsi alle variazioni dell'ambiente. Soprattutto *P. oceanica* è estremamente sensibile al peggioramento delle condizioni ambientali, quali ad esempio intorbidamento delle acque e infangamento dei fondali, che ne possano alterare le funzioni di sintesi clorofilliana e riproduzione, tanto che è specie protetta, inserita nell'allegato A della Convenzione di Barcellona.

E' evidente che nell'ambito di un ripascimento, una parte del materiale terrigeno utilizzato viene disperso in mare: quanto più grande sarà l'entità o la durata di questa dispersione, tanto maggiori potrebbero essere i danni arrecati all'ambiente marino. Per questi motivi si devono attentamente considerare:

a) le dimensioni del materiale utilizzato, tali da garantirne la maggior persistenza possibile nel sito, evitando che alla prima mareggiata venga tutto disperso in mare.
b) la qualità del materiale (caratteristiche mineralogiche, biologiche, chimiche) e la sua provenienza
c) di effettuare sversamenti mirati e di ridotte dimensioni per contenere l'inevitabile dispersione verso i fondali più profondi.

d) attenzione all'infangamento e all'aumento della sedimentazione nei confronti della prateria di Posidonia, che trova il suo limite superiore generalmente a non molta distanza dalla costa

Nella realizzazione di questo studio preliminare si è posta quindi la massima attenzione alla presenza di biocenosi di particolare rilievo naturalistico o paesistico, valutando principalmente la presenza nella zona di praterie delle fanerogame marine *C. nodosa* e *P. oceanica*: quest'ultima soprattutto necessita di speciali attenzioni in quanto in molte località della costa ligure appare in uno stato di regressione e sofferenza rispetto al passato, come diretta conseguenza di una cattiva gestione della fascia costiera e del territorio.

Lo schema generale seguito è stato il seguente:

1. Descrizione e mappatura delle biocenosi presenti

a) Descrizione generale del tratto di costa indagato
b) Materiali e metodi
c) Descrizione del limite superiore della prateria di posidonia ed eventuale presenza, di altre biocenosi di substrato duro o mobile di particolare pregio presenti al di fuori delle praterie di fanerogame marine.
d) Stato di conservazione della prateria lungo il limite superiore
e) Elenco delle principali specie osservate durante le operazioni di mappatura.

2. Confronto con precedenti studi o rilievi.

3. Conclusioni

1.A) DESCRIZIONE GENERALE DEL TRATTO DI COSTA INDAGATO

La costa compresa tra Capo Noli e P.ta del Vescovado è alta nella sua porzione di ponente, dominata dalla scogliera del Capo, a cui segue, procedendo verso levante, una spiaggia ampia, sabbiosa, priva di qualsiasi affioramento naturale di substrato duro. Come ormai per la maggior parte della costa ligure, si tratta di un litorale che risente fortemente dell'impatto antropico dovuto alle varie attività umane.

Quindi essa è caratterizzata da

1) la presenza della falesia rocciosa di Capo Noli a ponente.
2) La costa bassa e sabbiosa che costituisce le spiagge di Noli e che trova la sua prosecuzione nelle spiagge di Spotorno

Seguendo lo sviluppo costiero, si possono distinguere 2 zone differenziate:

a) nella zona di levante si trovano 4 pennelli, di cui il primo, molo Vescovado, chiude a levante la spiaggia principale di Noli, mentre gli altri tre (nell'ordine definiti 2° molo, Molo Piscina e molo Gaverri) che delimitano tre piccole spiagge.
b) il tratto a ponente, con un'unica ampia spiaggia che va lentamente a morire ai piedi della falesia del Capo

1.B) MATERIALI E METODI

Si è preso in esame tutto il tratto di costa che interessa più direttamente la zona dei lavori, dall'ultimo molo di levante (Molo Gaverri) fino al termine della spiaggia a ponente, ed è stato di conseguenza indagato l'antistante specchio d'acqua, limitatamente, in questa indagine preliminare, al limite superiore delle praterie di fanerogame marine (fino ad una profondità massima di –10m).

Le indagini sono state condotte in immersione con autorespiratore, seguendo il limite della prateria di posidonia, in modo che esso potesse essere messo in relazione direttamente con le profondità riscontrate al momento in acqua. Contemporaneamente sono stati condotte, su 4 stazioni, la stima della percentuale di ricoprimento del fondale e la conta dei fasci fogliari, per determinare lo stato di conservazione della prateria stessa.

La stima della densità è stata effettuata in immersione mediante la conta dei fasci fogliari in quadrati di 40cm di lato, replicati 3 volte per stazione; i risultati sono poi stati riportati alla superficie standard di 1 m^2. La prateria è stata poi inserita in una delle 6 classi generalmente accettate nella letteratura internazionale (Tabella 1).

Tabella 1. Classificazione delle praterie di fanerogame in base alla densità dei fasci fogliari

Densità /m^2	Classe
> 700 fasci/m^2	*Classe I*: prateria molto densa
700-400 fasci/m^2	*Classe II*: prateria densa
400-300 fasci/m^2	*Classe III*: prateria rada
300-150 fasci/m^2	*Classe IV*: prateria molto rada
150-50 fasci/m^2	*Classe V*: semiprateria
< 50 fasci/m^2	*Classe VI*: ciuffi isolati

Recentemente la Regione Liguria ha proposto l'applicazione di un'ulteriore classificazione delle praterie, che combina il citato metodo di Giraud con quelli proposti da Pergeant – Martini (1994) e Pergeant *et al.*, (1995), come riportato in Tabella 2. Tale metodica, citata anche nel recente "Manuale di metodologie di campionamento e studio del benthos marino mediterraneo" (Gambi e Dappiano eds, 2003) edito dalla Società Italiana di Biologia Marina, tiene conto oltre che della densità dei fasci, anche della profondità a cui i conteggi sono stati eseguiti.

	Densità della prateria (N fasci fogliari / m^2)		
Profondità (m)	Conservazione non soddisfacente	Conservazione soddisfacente	Conservazione eccezionale
0 – 3	< 550	da 550 a 900	> 900
3 – 5	< 420	da 420 a 700	> 700
5 – 7	< 330	da 330 a 600	> 600
7 – 10	< 240	da 240 a 500	> 500
10 – 14	< 160	da 160 a 400	> 400
14 – 18	< 90	da 90 a 350	> 350
18 – 23	< 30	da 30 a 280	> 280
> 23	< 10	da 10 a 200	> 200

Tabella 2. Classificazione delle praterie di *P. oceanica* che tiene conto della densità dei fasci fogliari in relazione alla profondità.

B) La valutazione del ricoprimento è stata stimata ad opera di due biologi subacquei che indipendentemente hanno fornito una stima del ricoprimento in percentuale della prateria rispetto al fondale marino. In tabella 3 viene riportata una scala di valutazione del ricoprimento, in funzione dei valori medi misurati o stimati.

Percentuale di ricoprimento		
Limite superiore	Limite inferiore	Valutazione
< 40 %	< 20 %	Debole ricoprimento
40% - 80 %	20% - 50%	Medio ricoprimento
> 80%	> 50%	Forte ricoprimento

Tabella 3. Valutazione del ricoprimento del fondale da parte della prateria di *P. oceanica*.

I rilievi sono stati condotti nel mese di luglio 2004

1.c) DESCRIZIONE DELLE CARATTERISTICHE DEL FONDALE E DELLE SUE BIOCENOSI

- Piano sopra e mediolitorale.

L'intero tratto preso in esame, come già detto nella presentazione generale della costa (1.a) è caratterizzato per la maggior parte da costa bassa, sabbiosa o ciottolosa, priva di emergenze di substrato duro, se non quelle costituite dagli ammassi di scogli utilizzati per la costruzione dei pennelli.

- Piano infralitorale

Il fondale si presenta molto ripid' lungo tutto il tratto in questione e le profondità digradano molto rapidamente, soprattutto nel tratto più a ponente della spiaggia di Noli. Infatti le batimetriche sono estremamente ravvicinate tra loro, almeno sino a quella dei –20m. Il risultato è che già a pochi metri da riva si raggiungono subito –5m e poi, subito dopo, –10m.

In seguito ai sopralluoghi effettuati in immersione, l'area indagata presenta le seguenti caratteristiche:

1) **una striscia di fondale sabbioso o ghiaioso (biocenosi delle Sabbie Fini Ben Calibrate, SFBC, a tratti, altre da definire).**
2) **piccole chiazze di *Cymodocea nodosa*, che compare in alcuni punti già a –3m di profondità, dove colonizza soprattutto tratti di "matte" morta.**
3) **una prateria di *Posidonia oceanica*, con limite superiore molto vicino alla linea di costa**
4) **assenza delle alghe alloctone *Caulerpa taxifolia* e *C. racemosa*. segnalate invece nella vicina zona di Bergeggi**
5) **l'assenza nella zona di affioramenti naturali di substrato duro (sempre limitatamente al tratto indagato, cioè sino alla profondità di –10m)**

Le risultanze dei rilievi effettuati sono riassunte nella Tavola 05, **Carta Bionomica preliminare dei fondali.**

Vediamo ora una descrizione più dettagliata delle caratteristiche del fondale: per rendere più semplice e comprensibile la spiegazione, si farà riferimento alla Tavola, suddividendola in due aree separate, che chiameremo area A, corrispondente alla spiaggia di Noli e Area B, corrispondente al tratto compreso tra i moli Vescovado e Gaverri.

Area A

Una prima fascia in alcuni punti sabbiosa è costituita dalla biocenosi delle Sabbie Fini Ben Calibrate (SFBC), mentre in altre zone potrebbero essere presenti altre biocenosi, considerando la granulometria maggiore del sedimento.

A partire da ponente e procedendo verso levante, la spiaggia è molto ripida e ad una profondità variabile tra –7 e –9m si incontra il limite superiore della prateria di posidonia, limite che in quest'area si presenta netto. Man mano che ci si sposta verso levante, il limite tende ad avanzare, fino ad essere presente ad una profondità di – 3,5m in corrispondenza del centro della spiaggia di Noli, e si mantiene a questa profondità fino al 1° molo, il molo Vescovado, che è direttamente contornato dalla prateria. Da notare che alcuni grossi cespugli si trovano anche a profondità di –3m.
Ad un aprofondità di –5-6m, sul limite della prateria si trova la presenza di C. nodosa, rada, che ha colonizzato alcuni tratti di "matte" alla base della prateria, o piccoli isolotti presenti di "matte" morta, generalmente di dimensioni ridotte.

Area B

È il tratto che verrà più direttamente interessato dalle opere progettate, soprattutto per quanto riguarda il ripristino e manutenzione dei 4 moli.

Come già visto la prateria si dispone attorno al molo Vescovado, ma poi tende ad allontanarsi verso il largo, fino ad arrivare alle batimetriche vicine ai –9, -10m nel tratto tra il 2° molo ed il molo della piscina. In corrispondenza di questo arretramento del limite superiore, si riscontra una più decisa presenza di "matte" morta, colonizzat da C. nodosa, a testimoniare un recente regresso della line del limite.
A livello del molo della piscina la prateria ritorna su profondità molto basse, tanto che dinanzi alla successiva spiaggia la si può ritrovare a partire da –4 / -4,5m. La prateria prosegue contornando il molo Gaverri, ma lasciando una certa zona di rispetto e tende poi a riportarsi molto vicino a riva nel successivo tratto di costa che durante i sopralluoghi condotti non è però sato indagato.

1.D) STATO DI CONSERVAZIONE DELLA PRATERIA

Per valutare lo stato di salute della prateria, sono stati effettuate stime della percentuale di ricoprimento del fondale e, nelle stesse aree, conteggi dei fasci fogliari, per avere una valutazione più obiettiva dello stato di conservazione della prateria stessa.
Sulla carta bionomica sono riportate le stazioni di immersione, con la relativa sigla.
La densità della prateria di posidonia varia molto a seconda del punto prescelto per l'immersione. Si è cercato di focalizzare l'attenzione su quelle zone in cui le precedenti fasi dello studio potevano lasciare delle perplessità. Nella tabella sottostante sono riportati i valori percentuali di ricoprimento nelle diverse stazioni.

Tabella 4. Percentuali di ricoprimento del fondale

Stazione	Profondità	% Ricoprimento
ST1	-4,5m	80%
ST2	-10m	75%
ST3	-5m	90%
ST4	-9m	70%

Come si può osservare, il ricoprimento del fondale è sempre piuttosto elevato in quanto il limite si presenta generalmente netto, o con grosse chiazze di posidonia.
Combinando i valori della tabella precedente con quelli ottenuti dal conteggio dei fasci, si può avere un'idea più precisa della densità e dello stato di salute della prateria (Tabella 5)

Tabella 5. Caratteristiche della prateria come si evince dai valori di densità, tenendo conto della profondità e della percentuale di ricoprimento.

Stazione	Profondità	% Ricoprimento	Numero fasci m^2	Stato di conservazione
ST1	-4,5m	80%	560	Soddisfacente
ST2	-10m	75%	320	Soddisfacente
ST3	-5m	90%	340	Soddisfacente
ST4	-9m	70%	302	Soddisfacente

Come si può osservare in tutti i casi si tratta di condizioni soddisfacenti della prateria, con valori elevati, tranne che in un punto, ST3, dove i fasci fogliari sono più rarefatti.

1.e) Elenco delle principali specie osservate durante le operazioni di mappatura.

Nella tabella seguente (tab. 6) sono elencate le specie della fauna e flora marina osservate durante le operazioni di mappatura in immersione.

Tabella 6. Elenco delle principali specie osservate

ALGHE	**ECHINODERMI**
Cystoseira sp.	**Echinoidi**
Padina pavonia	*Arbacia ligula*
Acetabularia acetabulum	*Paracentrotus lividus*
Udotea petiolata	**Asteroidi**
FANEROGAME	*Coscinasterias tenuispina*
Cymodocea nodosa	*Echinaster sepositus*
Posidonia oceanica	**Oloturoidi**
CNIDARI	*Holoturia tubulosa*
Antozoi	**PESCI**
Alicia mirabilis	*Blennidae sp.*
MOLLUSCHI	*Boops boops*
Gasteropodi	*Chromis chromis*
Haliotis lamellosa	*Coris julis*
Astrea rugosa	*Diplodus annularis*
Bolinus brandaris	*Diplodus sargus*
Nudibranchi	*Lithognathus mormyrus*
Hypselodoris valenciennesi	*Mugil sp.*
Bivalvi	*Mullus surmuletus*
Pinna nobilis	*Oblada melanura*
Cefalopodi	*Sarpa salpa*
Octopus vulgaris	*Serranus cabrilla*
CROSTACEI	*Sparus aurata*
Diogenes pugilator	*Spicara maena*
ANELLIDI	*Spicara smaris*
Policheti	*Symphodus tinca*
Sabella spallanzanii	

2) Confronto con precedenti studi o rilievi.

E' stato possibile confrontare i risultati ottenuti dal presente studio con altre ricerche svolte in precedenza sulle caratteristiche biologiche dell'area.
Per i confronti con il passato è stato presi in considerazione la mappatura delle fanerogame marine realizzata dall'ENEA e pubblicata nel volume "Atlante delle fanerogame marine della Liguria", (Bianchi e Peirano, 1995).
La mappatura condotta dall'ENEA riporta una prateria molto lontana da terra, su batimetriche decisamente superiori a quelle effettivamente riscontrate nel corso del presente studio. Nel testo tuttavia si legge di uno studio condotto da Bianchi e Sandulli, (1992) che hanno riscontrato, lungo un transetto effettuato perpendicolarmente attraverso la prateria di Noli, il limite superiore a –4m ed il limite inferiore a –21,5m, con notevole presenza di "matte" morta verso il largo

3) CONCLUSIONI

L'area presa in esame nel corso del presente studio è limitata all'esplorazione del limite superiore della prateria di *P. oceanica*. Tale limite è generalmente molto vicino alla linea di costa, sia per l'andamento particolare delle batimetriche, che sono molto ravvicinate tra loro, sia per il fatto che la *P. oceanica* si spinge fino a profondità molto basse (-3m). Questa è una caratteristica della prateria della zona, come si può facilmente riscontrare poco più a levante, subito dopo P.ta Vescovado, dove la *P. oceanica* raggiunge la riva, dando vita ad un "recif frangeant".

Nell'area indagata il limite della prateria è molto vicino alla zona degli interventi: solamente in un punto, nella parte centrale tra i due moli piscina e 2° molo, la distanza aumenta notevolmente. Qui, probabilmente a seguito di sversamenti non mirati nel passato, la prateria è notevolmente regredita, come testimoniato dalla presenza di abbondante "matte" morta.

Interventi troppo vasti ed estesi potrebbero modificare irrimediabilmente la dinamica costiera e le condizioni ambientali che hanno permesso alla prateria di mantenersi in equilibrio sino ad oggi.

In sede di progettazione e realizzazione dei lavori occorrerà tenere conto di questa vicinanza per cercare di evitare di arrecare danno alla prateria, sia indirettamente (intorbidamento delle acque, eccessiva sedimentazione, utilizzo di materiale non adatto) sia direttamente, per sovrapposizione dei manufatti sulla prateria stessa.

Soprattutto occorrerà avere un quadro molto più preciso di quello fornito da questa relazione preliminare sulla distribuzione della *P. oceanica* nelle aree a ridosso dei moli che dovranno essere ripristinati.

Bibliografia citata

Bianchi C.N., Peirano A., 1995 – Atlante delle fanerogame marine della Liguria. *Posidonia oceanica* e *Cymodocea nodosa*. ENEA, Centro Ricerche Ambiente Marino, La Spezia: 146pp.

Tunesi L., Piccione M.E., Agnesi S., 2002 – Progetto pilota di cartografia bionomica dell'ambiente marino costiero della Liguria. Proposta di un sistema informativo geografico per la gestione di cartografie bionomiche e sedimentologiche. ICRAM, 112pp.

PROGETTO PRELIMINARE GIUGNO 2004

STUDIO GAGGERO

SAVONA - Via Pia, 130R - Fax 019/8386702-Tel 019/829463-Cell 335/303133-Email Ing.gaggero@libero.it

ALL.: A

COMUNE DI NOLI

STUDIO METEOMARINO E MORFODINAMICO E PROGETTAZIONE PRELIMINARE E DEFINITIVA DEGLI INTERVENTI DI DIFESA DELLA COSTA MEDIANTE RIPASCIMENTO DELL'ARENILE DEL COMUNE DI NOLI

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

N.P. 1277

Dott. Geol. Roberto GARBARINO

Dott. Ing. Paolo GAGGERO

NP 1277

COMUNE DI NOLI

(Provincia di Savona)

STUDIO METEOMARINO E MORFODINAMICO E PROGETTAZIONE PRELIMINARE E DEFINITIVA DEGLI INTERVENTI DI DIFESA DELLA COSTA MEDIANTE RIPASCIMENTO DELL'ARENILE DEL COMUNE DI NOLI

All. A: RELAZIONE ILLUSTRATIVA

GIUGNO 2004

Dott. Geol. Roberto GARBARINO
Dott. Ing. Paolo GAGGERO

INDICE

ALLEGATI

A) RELAZIONE ILLUSTRATIVA (il presente elaborato)

1. premessa
2. cenni storici sull'evoluzione del litorale di Noli ed esame delle sue condizioni attuali
3. descrizione delle operazioni di studio
4. proposta progettuale
5. costo dell'opera
6. cronoprogramma

B) RELAZIONE TECNICA E STUDIO DI PREFATTIBILITÀ AMBIENTALE

C) CALCOLO SOMMARIO DELLE SPESE

TAVOLE

1 – INQUADRAMENTO DEL PIANO DELLA COSTA

2 – RILIEVO DEI FONDALI

3 – RILIEVO DELLE SPIAGGE EMERSE

4 – PLANIMETRIA DI INTERVENTO

5 – CARTA BIONOMICA PRELIMINARE DEI FONDALI

1. PREMESSA

L'Amministrazione del Comune di NOLI ha affidato ai sottoscritti professioni l'incarico di redigere gli studi e gli atti relativi a "**STUDIO METEOMARINO E MORFODINAMICO E PROGETTAZIONE PRELIMINARE E DEFINITIVA DEGLI INTERVENTI DI DIFESA DELLA COSTA MEDIANTE RIPASCIMENTO DELL'ARENILE DEL COMUNE DI NOLI**".

La presente relazione e gli atti allegati costituiscono il progetto preliminare da sottoporre preventivamente a procedura di screening prima di intervenire con un progetto stralcio definitivo.

2. CENNI STORICI SULL'EVOLUZIONE DEL LITORALE DI NOLI ED ESAME DELLE SUE CONDIZIONI ATTUALI

Il litorale di Noli, procedendo da ponente verso levante, si estende dalla galleria del Malpasso, ove confina con il litorale di Finale Ligure, sino alla foce del Rio Torbora, al confine con il Comune di Spotorno. Oggetto specifico del presente studio è il tratto pressoché antistante l'abitato compreso tra la stazione di pompaggio ed il IV molo.

La storia recente della spiaggia di Noli, analogamente a quella di altre spiagge liguri, inizia a partire dal Pleistocene sup. (circa 30.000 anni) quando con il termine dell'ultima glaciazione (Wurm III e IV) si ha una trasgessione causata da un innalzamento del livello marino fino oltre 100m rispetto al livello glaciale precedente.
La paleogeografia costiera del territorio di Noli era caratterizzata dalla presenza di una marcata insenatura imbutiforme svasata verso mare orograficamente delimitata dai promontori del Castello a levante e di Capo Noli a ponente nonché dai primi contrafforti dei retrostanti rilievi già modellati da precedenti ingressioni marine come testimoniato dai numerosi terrazzi d'erosione marina posti a quota compresa tra +30 e +50m rispetto al livello marino attuale e verosimilmente databili all'interstadiale Mindel (500.000 anni).
A N del promontorio del Castello (Chiariventi) la costa era rocciosa diritta così come quella del versante di Panen- S.Michele con ripide falesie direttamente esposte a mare.

L'azione di degradazione operata dagli agenti atmosferici, agevolata dall'elevato grado di fratturazione dei litotipi presenti, e l'elevata acclività del territorio determinarono disponibilità di materiale detritico destinato ad essere trasportato dai corsi d'acqua del retrostante bacino il cui grado evolutivo era di tipo giovanile e pertanto piuttosto erosivo.
La deposizione del carico alluvionale dei torrenti Noli, Acquaviva e Mazzeno andò a determinare un primo embrione di arenile che dalla foce degli stessi,

originariamente molto interna al golfo, determinò un graduale riempimento del seno originario con migrazione della linea di costa verso mare aperto. In tale fase iniziale le spiagge erano pertanto pressoché assenti e limitate agli apparati fociali mentre risultavano del tutto predominanti le falesie attive.
A seguito del riempimento di tali aree, la linea di riva avanzò gradualmente fino ad esporsi gradualmente al trasporto marino verso N. Iniziò in tal senso il superamento dei capi in occasione delle mareggiate più violente e i materiali che sfuggivano al golfo, sia in conseguenza dell'andamento abbastanza lineare della costa, sia per la sua esposizione tangenziale rispetto al moto ondoso dominante, venivano rapidamente trasportati verso levante, comportando quindi, con il tempo, un accrescimento della linea di riva dell'arenile di Spotorno.

In seguito all'aumento della popolazione e dello sviluppo dell'agricoltura e connesso disboscamento, fu favorito l'apporto di materiale solido da parte dei torrenti locali e la spiaggia progredì costantemente, sebbene con lentezza, alimentata anche in minima parte dai trasporti da ponente, fino a raggiungere una posizione simile all'attuale alla fine del 1700 sebbene i tratti compresi tra Capo Noli e la foce del Rio Noli ed il litorale tra la punta del Castello, fino quasi alla foce del torrente Crovetto, rimanessero invece pressoché prive di spiaggia.
Nei primi anni del 1800 si realizzò la nuova Aurelia che, in corrispondenza dell'abitato di Noli, fu impostata direttamente sulla spiaggia che, all'epoca, giungeva sino alle case affacciate sull'attuale C.so Italia; dal riscontro delle mappe napoleoniche, si può rilevare che la spiaggia non superasse i 30 m d'ampiezza.
La costruzione della sede ferroviaria (1860), ed in particolare la realizzazione dei rilevati e delle opere d'arte, comportò il prelievo d'ingenti quantità di inerti, sia dagli alvei che direttamente dalle spiagge, con conseguente diretta ripercussione negativa sul bilancio delle stesse.
Nel 1897, al fine di contrastare tale tendenza all'arretramento, il Comune di Noli appaltò la costruzione di un pennello (I Molo) di lunghezza iniziale pari a circa 60m e successivamente ulteriormente prolungato, avente lo scopo di

accentuare l'appoggio naturale ai sedimenti rappresentato dalla Punta del Vescovado.
Tale opera, grazie soprattutto agli ingenti sversamenti a mare dei detriti di estrazione delle cave di quarzite e calcari, in attività fino verso la fine degli anni '50, ebbe l'effetto di stabilizzare il profilo garantendone un equilibrio che, all'analisi storica, si è sempre rilevato efficace.
Verso la fine degli anni '50, con la chiusura delle attività estrattive e l'ulteriore allargamento della Via Aurelia a spese della spiaggia per una larghezza di 7-10m, tale equilibrio venne a mancare con conseguente marcata tendenza all'arretramento degli arenili stessi.
Per tale motivo nel 1960 fu costruita una piazzola in c.a. presso Capo Noli (tutt'ora esistente) dalla quale venivano saltuariamente smaltiti a mare, con finalità di ripascimento, materiali detritici provenienti da scavi e sfridi di demolizione; tale fonte di alimentazione venne però a cessare nel 1970 a seguito dell'interferenza di tali operazioni con il sempre maggior traffico veicolare sull'Aurelia; per tale ragione venne individuata una zona di sversamento in corrispondenza della Colonia Cantore/Stazione pompaggio dalla quale, sempre nel 1970, furono smaltiti materiali sabbiosi per approssimativi 4-5.000mc provenienti dagli sbancamenti per la realizzazione della centrale ENEL di Vado Ligure.
Nel 1972 venne realizzata, sempre a Capo Noli, una galleria per la fognatura comunale che fornì quantità stimabili in circa 1.500mc di ottimo materiale di risulta che, unitamente ai circa 2.000mc di materiale di fortuna rimossi dal piede dell'accumulo alla base della piazzola Aurelia, vennero smaltiti a mare.
Tali interventi di ripascimento produssero un marcato avanzamento dell'arenile di tutta la porzione di estremo ponente della spiaggia, compresa tra Capo Noli e la piazzola della stazione di pompaggio, e assicurato l'equilibrio tra quest'ultimo ed il pennello del Vescovado, più volte prolungato, nonchè l'attuale falcatura dell'arco di arenile stesso.

Sempre a partire dagli anni '60, da parte di privati, venne intrapresa l'iniziativa di realizzare una spiaggia artificiale nel tratto compreso tra la Punta del Castello e lo Scoglio Gaverri, zona da sempre pressoché priva di arenile. Mediante la costruzione di tre moli (2°Molo, Piscina e Gaverri) ed al

versamento di ingenti quantità di materiali di fortuna, fu possibile realizzare una successione di spiagge su un fronte di quasi 500m che in quest'ultimo quarantennio, anche in assenza di saltuari interventi di ripascimento artificiale, si sono dimostrate sufficientemente stabili nonostante la sistematica tendenza all'arretramento legata all'usura ed alla mancanza di apporti.
A levante del Molo Gaverri la costa rimase invece priva di spiaggia fino alla discarica Nereo, realizzata a partire dal 1958 in località Chiariventi con materiali locali di fortuna e successivamente di quantitativi anche importanti di sabbione proveniente dagli scavi per la centrale Enel di Vado Ligure, che alimentò il tratto di spiaggia verso Spotorno.

Tra la fine degli anni '70 - inizio anni '80 iniziò a manifestarsi una marcata tendenza all'arretramento di tutto l'arco centrale di arenile che indusse (1982-85) allo smaltimento a mare nella zona di capo Noli e subordinatamente della Colonia Cantore di ingenti quantitativi di materiali, stimati pari a circa 10.000mc tendenzialmente a granulometria grossolana, recuperati dalla dismissione e recupero urbanistico delle aree FFSS interne al nucleo abitato di Noli.
In particolare nella zona di estremo ponente vennero realizzati tre moletti con funzione di filtro successivamente colmati dal sedimento con rifalcatura della linea di riva fino al piazzale antistante la stazione di pompaggio protetto con una scogliera aderente.

Nei primi anni 90 venne realizzato un ulteriore ripascimento utilizzando il materiale di pulizia dell'alveo del torrente Quiliano: circa 2.000 vennero versati nella spiaggetta, all'epoca pressoché scomparsa, compresa tra il molo del Vescovado ed il 2° molo, circa 8.000mc da capo Noli e circa 12.000 mc dal piazzale della stazione di pompaggio e Colonia Cantore.
Il risultato di tali interventi di sversamento degli anni '80 e '90, per complessivi 30-35.000mc, è stato decisamente positivo con un temporaneo avanzamento di alcuni metri della linea di riva nella porzione di ponente dell'arenile ed una condizione di sostanziale equilibrio in quella centrale direttamente appoggiata al 1° molo.

A partire dagli anni 2000 diviene evidente un generale arretramento della linea di riva particolarmente accentuato nelle porzioni di ponente della falcata principale (tratto Stazione di pompaggio – Bagni Ondina) e delle spiagge artificiali di levante (bagni Hilton – Mediterranee).

Nella primavera del 2002 vennero sversati circa 1.200mc di sabbie fini alluvionali in corrispondenza dei bagni Hilton e circa 800mc di sabbia ghiaiosa di litologia monogeneticamente quarzitica in corrispondenza della stazione di pompaggio. I risultati qualitativi a livello spiaggia di quest'ultimo modesto intervento, di tipo sperimentale, hanno indotto al riutilizzo dei materiali di risulta degli scavi connessi all'Accordo di Programma che si sono tradotti in un ulteriore sversamento nella primavera-autunno 2003 di circa 6-7.000 mc di sabbia e ghiaia (D50=5mm) generata per frantumazione di roccia quarzitica.

A distanza di circa un anno da tale sversamento è rilevabile un avanzamento di 3-5m della linea di riva per i primi 300m a levante della zona di sversamento con innalzamento del profilo di spiaggia emersa (zona centrale) di circa 0,5m.

3. ASSETTO ATTUALE DELL'ARENILE DI NOLI

Per una verifica qualitativa della tendenza evolutiva degli ultimi 20anni, periodo successivo agli ultimi interventi significativi di sversamento a mare di materiale, è stato eseguito un confronto tra la situazione attuale e quella considerabile come originaria testimoniata dalle foto aree del 1979, attraverso la situazione intermedia rappresentata dal volo 1993-95, con locali confronti con immagini di ripresa terrestre di varia origine.

Per una valutazione della variazione della linea di costa sempre negli ultimi 20anni è stato inoltre eseguito un confronto tra il rilievo della spiaggia emersa e sommersa redatto dallo Studio Volta di Savona nell'ambito del *Quadro programmatico di riassetto del golfo* del 1977, peraltro in ottimo accordo con le foto del 1979, con un dettagliato rilievo planoaltimetrico dell'arenile comunale (spiaggia emersa), eseguito nel 1999-2000 nell'ambito del *Progetto di Piano Particolareggiato degli arenili comunali* successivamente aggiornato con misure puntuali.

Preliminarmente a qualsiasi considerazione di natura morfologico-evolutiva sull'arenile del Comune di Noli è necessario sottolineare come tale arenile sia allo stato attuale da ritenersi *artificiale* sia in considerazione dell'assenza di apporti naturali d'entità significativa che in relazione agli interventi dei decenni scorsi sopra descritti.

Per un miglior inquadramento del quadro evolutivo dell'arenile di Noli sono stati individuati i seguenti paraggi considerati come singole sottounità fisiografiche:

Paraggio 1: tra Capo Noli e la stazione di pompaggio

Paraggio 2: tra la stazione di pompaggio ed il pennello del Vescovado

Paraggio 3: tra il pennello del Vescovado ed il 2°molo

Paraggio 4: tra il 2° molo e la piscina Nirvana

Paraggio 5: tra la piscina Nirvana ed il pennello di Gaverri

Paraggio 1: Capo Noli - stazione di pompaggio

Il confronto tra le immagini del 1979 e del 1993, il rilievo 1999-2000 e le misure attuali evidenzia un marcato e costante avanzamento della linea di riva, per complessivi 8-10m rispetto al 1979, con formazione di piccole stabili spiaggette ben falcate appoggiate ai moletti filtro ed un'ampia spiaggia, appoggiata contro il piazzale della stazione di pompaggio, antistante l'Hotel Capo Noli. Tale situazione appare direttamente riconducibile ai successivi sversamenti che hanno garantito una sufficiente continuità di alimentazione.

Paraggio 2: stazione di pompaggio - pennello del Vescovado

Il confronto tra le immagini del 1979 e del 1993-95 evidenzia un leggero aumento dell'arenile quantificabile in circa 5-8m nella porzione di ponente, 3-5m in quella centrale e circa 5m in quella di estremo levante. Viceversa il confronto con il rilievo 1999-2000 ha manifestato un marcato arretramento, mediamente quantificabile in circa 10m, rispetto al 1993 e circa 6-8m rispetto al 1979 e rilievo 1977 e, successivamente agli sversamenti del 2002-2003, un avanzamento di 3-5 m della linea di riva per i primi 300m a levante della zona di sversamento con innalzamento del profilo di spiaggia emersa (zona centrale) di circa 0,5 m.

Ciò in linea generale testimonia una marcata tendenza all'arretramento di tutto il paraggio, non sufficientemente alimentato, ed in particolare della sua porzione di ponente dove, la spiaggetta antistante la Colonia Cantore prima degli ultimi sversamenti, era pressoché scomparsa e sostituita da una sottile striscia di ciottolame mentre, per gli adiacenti bagni Sci Nautico e Letizia, era riconoscibile un arretramento rispetto alla linea di costa originaria di circa 8m con abbassamento del profilo di spiaggia emersa stimato pari a circa 0,6-0,8m.

La porzione centrale, compresa tra i Bagni Ondina e Anita, allo stato attuale risulta arretrata di circa 3m rispetto al profilo base del 1979 con apprezzabile abbassamento del profilo.

Quella a levante, nel tratto compreso tra i Bagni Anita ed il Pennello del Vescovado, fatto salvo un piccolo tratto immediatamente a ridosso del pennello stesso interessato da sversamenti non mobilizzati, oltre ad un leggero arretramento di circa 3m con basculamento dell'arenile sostenuto dal molo, è manifesto un evidente abbassamento (circa 0,5m) del profilo della spiaggia emersa associato ad un aumento della dimensioni delle classi granulometriche maggiori.

Paraggio 3: tra il pennello del Vescovado ed il 2°molo

L'evoluzione di tale piccolo paraggio appare strettamente condizionata dallo sversamento dei primi anni '90. In particolare tale ripascimento ha comportato un avanzamento della linea di riva di circa 5m rispetto al riferimento del 1979.

Allo stato attuale è riconoscibile un arretramento di circa 3m, sempre rispetto alla linea del 1979, con basculamento della falcata e accumulo dei sedimenti grossolani verso levante e fini verso ponente e, nella porzione centrale, abbassamento del profilo della spiaggia con esposizione delle fondazioni del muro di sostegno del soprastante piazzale Rosselli.

Paraggio 4: tra il 2° molo e la piscina Nirvana

Tale paraggio, realizzato artificialmente negli anni '60-'70, risente in modo marcato dell'assenza di una alimentazione naturale non supportata, nei decenni scorsi, da una sufficiente costante alimentazione artificiale.

In particolare, nonostante il modesto ripascimento del 2002, è tutt'ora possibile riconoscere, a partire dai rilievi del '77-'79, un costante arretramento della linea di riva con massimi dell'ordine dei 10m, immediatamente sottoflutto al 2°molo (bagni Hilton), circa 8 in corrispondenza della porzione centrale (rotonda Nirvana) e circa 3m sopraflutto al molo della piscina; tali arretramenti sono associati ad un abbassamento del profilo della spiaggia emersa di circa 0,5-0,7m e ad un leggero basculamento della falcata verso levante.

Paraggio 5: tra la piscina Nirvana ed il pennello di Gaverri

La situazione di tale paraggio è assai simile a quella del precedente con un arretramento costante e pressoché uniforme dal 1977-79 ad oggi, per complessivi 6-7 m; anche qui è riconoscibile un abbassamento del profilo della spiaggia emersa di circa 0, 5m.

3. DESCRIZIONE DELLE OPERAZIONI DI STUDIO

Come previsto dal disciplinare di incarico e dal programma operativo concordato tra Comune e REGIONE, lo studio si è articolato su alcuni cardini fondamentali:

- indagine sedimentologica del litorale
- indagine lito-geomorfologica delle fonti disponibili di materiali per ripascimento
- analisi idraulico-marittima del sito di intervento
- analisi di più opzioni di intervento mediante modellazione matematica
- individuazione della soluzione ottimale
- stima dei costi di intervento

4. PROPOSTA PROGETTUALE

Sulla base dei rilievi geomorfologico e bionaturalistici, nonché delle elaborazioni matematiche, idraulico-marittime ed particolare dello scenario definito "ipotesi 4", nonché alla luce dei precedenti favorevoli esiti delle esperienze di ripascimento degli anni 2002-2003, il progetto propone i seguenti interventi su programma pluriennale (5 anni):

I) versamenti annuali di materiale sciolto di idonee caratteristiche granulometriche e chimico fisiche attuate mediante il mantenimento del fronte di alimentazione del paraggio principale (stazione pompaggio, individuato dal PTC della Costa) od apertura di alcuni (in grafico preliminare 4) pennelli imbonitori temporanei.

Il materiale derivato da uno o più punti tra quelli individuati nello studio (non si esclude evidentemente materiale derivato da lavori contemporanei agli interventi, purché di adeguata qualità e compatibilità) dovrà avere come caratteristica principale una granulometria differenziata in funzione delle caratteristiche puntuali di ciascun tratto di spiaggia.

Indicativamente, facendo riferimento alla suddivisione in sottoparaggi riportata in altro paragrafo, e cioè:

A) stazione pompaggio – pennello del Vescovado
B) pennello Vescovado – 2* molo
C) 2° molo – molo piscina
D) d) molo – piscina – pennello Gaverri

e segnalando che nel tratto tra la stazione di pompaggio, e Villa Pisapia ed altre verso Capo Noli, saranno possibili ed opportuni interventi di tipo manutentivo non compresi nel presente progetto di carattere strutturarle (rimozione ciottolamte, pulizia moletti filtro), le granulometrie da adottarsi saranno comprese tra D_{50} 2 e D_{50} 15

mm (mediamente, poiché il modello GENESIS non ammette diversificazione longitudinale nel materiale di apporto, è stato adottato nei calcoli di verifica D_{50} 5 mm). I quantitativi annuali (dimensionati in rapporto al valore D_{50} 6 mm che corrisponde a valori teorici dell'avanzamento di spiaggia indicato nella trattazione del modello) sono pari a mc 14.000.

II) risagomatura con addolcimento delle pendenze (individuato come prolungamento nel modello per evidenti motivi geometrici) dei pennelli:

- 2° molo
- molo piscina
- molo Gaverri

Nel caso del molo Gaverri, il progetto definitivo si farà carico di verificare l'eventuale opportunità di un prolungamento (pur modesto 15-20%) anche suffolto, con la finalità di consolidare la funzione di pennello terminale del sistema litoraneo della spiaggia di Noli.

Nel caso del molo piscina, oltre alla induzione degli effetti di riflessione, l'intervento tende al consolidamento di una precaria stabilità dell'insieme.

Nel caso del 2° molo, si vuole eliminare il sensibile effetto riflettente e di concentrazione dell'energia attivata dalla particolare forma a martello e delle pareti verticali cementizie o subverticali lapidee; l'addolcimento delle forme e delle pendenze consentirà inoltre di minimizzare la attuale marcata diffrazione attorno alla testata levante che in oggi determina una erosione generalizzata nelle pertinenze del pennello stesso.

5. COSTO DELL'OPERA

La proposta progettuale riportata nei grafici e descritta al punto 4 del presente elaborato comporta una spesa globale stimata in € 3.200.000,00 così ripartite:

A	SOMME PER LAVORI (compreso sicurezza)			
	lavori (soggetti al ribasso)			
	A1 ripascimento (quinquennio)	€	1.557.500	
	A2 risagomatura moli Gaverri, piscina, 2° molo	€	787.500	
		SOMMANO		€ 2.345.000,00
B	SOMME A DISPOSIZIONE DELLA AMMINISTRAZIONE			
	1 spese di gestione tecnica	€	250.000,00	
	2 IVA 20% su lavori	€	469.000,00	
	3 iva 20% sulle spese tecniche	€	50.000,00	
	4 imprevisti ed arrotondamenti	€	86.000,00	
		SOMMANO		€ 855.000,00
		TOTALE		€ 3.200.000,00