



COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA (PROVINCIA DI MESSINA)

PORTO TURISTICO

PROGETTO PRELIMINARE

VISTO:
CON RIFERIMENTO AL PROPRIO VOTO

000066	26 LUG 2012
--------	-------------

REGIONE SICILIANA
ASSESSORATO TERRITORIO ED AMBIENTE
CONSIGLIO REGIONALE DELL'URBANISTICA



STUDIO DELL'EVOLUZIONE DEL LITORALE

COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA
Provincia di Messina

Copia Conforme

all'originale adottato/approvato con la delibera D. C.C.

n° 03 del 24-01-09 e allegato a parte integrante dell'atto.

S. Stefano di Camastra, li 30-03-2009

Il Segretario Generale

Dott. Andrea GAGLIO



IL CAPO DELL'AREA TECNICA
"4ª e 5ª Area Funzionale"
(Arch. F. La Monica)

Studio Mallandrino S.r.l

IL RUP
[Signature]



COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA (ME)

PORTO TURISTICO

PROGETTO PRELIMINARE

STUDIO DELL'EVOLUZIONE DEL LITORALE

INDICE

1. STUDIO DELL' EVOLUZIONE DEL LITORALE	2
1.1 GENERALITA'	2
1.2 CARATTERISTICHE DELL'UNITA' FISIOGRAFICA.....	3
1.3 CARATTERIZZAZIONE GRANULOMETRICA	6
1.4 IL CLIMA ONDOSO NEL PARAGGIO DEL PORTO DI S. STEFANO DI CAMASTRA.....	10
1.5 EVOLUZIONE RECENTE DEL LITORALE	13
1.6 IL MODELLO AD UNA LINEA "GENESIS"	14
1.6.1 CALIBRAZIONE E ACCETTAZIONE DEL MODELLO	18
1.6.2 SIMULAZIONI.....	20
1.7 CONCLUSIONI.....	21

1. STUDIO DELL' EVOLUZIONE DEL LITORALE

1.1 GENERALITA'

La linea di costa è soggetta a continue variazioni che possono attuarsi sia in tempi lunghi sia nel volgere di un solo anno, o anche di una stagione o ancor meno nel corso di una mareggiata, che può iniziare e concludersi nel corso di una giornata.

L'equilibrio costiero risulta governato da diversi fattori ed è stato definito nel corso dei secoli dalla natura. Ai fattori naturali negli ultimi due secoli si è sommato il contributo antropico. L'arretramento della linea di riva, in un sistema prettamente naturale, è attribuibile ad un deficit nel bilancio dei sedimenti nella unità fisiografica chiusa; per definizione la linea di riva arretra allorché il materiale solido in uscita dall'unità fisiografica è in quantità maggiori rispetto agli apporti solidi entranti.

Le piogge, il vento, l'azione d'attacco del moto ondoso, delle correnti e delle maree, sono possibili cause naturali della modellazione costiera. Le piogge ed il vento portano materiale solido verso la costa, le prime erodendo i bacini imbriferi, il secondo, con azione assai più lenta, modellando i rilievi.

Nella dinamica attuale dei litorali un ruolo determinante è svolto dall'azione dell'uomo che intervenendo sia sull'ambiente costiero, sia sull'ambiente circostante, ha apportato profonde modifiche. L'azione diretta dell'uomo sulle coste è individuabile nei porti, nelle strutture di protezione della costa, quali le barriere frangiflutti. Tali strutture se ben progettate e opportunamente realizzate si armonizzano con la costa, con il suo naturale status. L'azione indiretta dell'uomo sulle coste è una questione assai più complicata della prima. L'uso agricolo del territorio, la sistemazione idraulica dei corsi d'acqua, lo sbarramento di questi ultimi hanno delle ripercussioni forti sull'equilibrio naturale costiero. Un'errata gestione dei corsi d'acqua, un indiscriminato asporto di materiale dal letto dei fiumi o la costruzione di una diga per finalità energetiche ed agricole causano una diminuzione di apporto solido al mare innescando processi erosivi.

La costa in esame è caratterizzata da ampi tratti sabbiosi-ghiaiosi e ciottolosi, intramezzate da promontori rocciosi. E' noto che se si guarda ad orizzonti temporali brevi, i tratti rocciosi sono pressoché stabili. L'attenzione va, quindi, concentrata sulle spiagge. Per studiare l'evoluzione in tempi lunghi della conformazione costiera si è fatto ricorso ad un opportuno modello di simulazione delle variazioni a lungo termine della linea di riva

prodotte dal trasporto solido longitudinale. Il modello adottato consente di tener conto oltre che dell'azione del moto ondoso anche degli eventuali interventi antropici, quali ad esempio, il ripascimento artificiale, la costruzione di porti, la realizzazione di barriere frangiflutti, ecc..

L'applicazione del modello ha richiesto la preliminare conoscenza della composizione granulometrica del tratto di litorale oggetto di indagine e del clima ondoso nel paraggio in esame. Nei successivi paragrafi è esposta la metodologia usata per lo studio dell'evoluzione del litorale.

1.2 CARATTERISTICHE DELL'UNITÀ FISIOGRAFICA

Il comune di Santo Stefano di Camastra ricade all'interno dell'Unità fisiografica n. 19 da Capo Cefalù a Capo d'Orlando. Tale Unità si sviluppa da ovest verso est, dal porto di Cefalù fino a Capo d'Orlando, per una lunghezza totale di circa 75,6 km e ricade lungo il litorale settentrionale tirrenico della Sicilia, comprendendo territori appartenenti sia alla provincia di Palermo che alla provincia di Messina.

Da Capo Cefalù al porto di S. Agata di Militello la costa è caratterizzata dalla presenza di punte, capi e foci torrentizie di corsi d'acqua alimentatori. L'Unità costiera, in realtà, potrebbe essere suddivisa in due "sottounità fisiografiche": infatti la realizzazione del molo foraneo portuale di S. Agata di Militello ha contribuito ad arrestare, in questi ultimi anni, gran parte del flusso di sedimenti proveniente da ovest, per cui tale elemento può essere considerato un ulteriore limite di "sottounità fisiografica". Il rimanente tratto di costa, fino a Capo d'Orlando rappresenta una microcella omogenea di sedimenti: non vi sono grossi scambi di materiale tra il porto di S. Agata di Militello e Capo d'Orlando, quest'ultimo rappresenta quindi il limite orientale dell'Unità fisiografica, con l'intercettazione di quel poco materiale in circolo in questa sottounità.

Il tratto tirrenico occidentale, dal punto di vista geologico, è caratterizzato prevalentemente da affioramenti di termini calcarei, arenacei, conglomeratici e argillosi appartenenti alle falde tettoniche dei Monti Nebrodi e delle Madonie, dotati di caratteristiche geomeccaniche diverse.

L'aspetto geomorfologico di tale tratto di costa è caratterizzato da versanti con pendenza da debole a media, dalle forme arrotondate e con ampie vallate solcate da fiumare, mentre scarpate e gradini di faglia, o comunque pendenze più accentuate si riscontrano in

corrispondenza di termini litologici più resistenti, appartenenti alle formazioni calcaree mesozoiche e alle formazioni flyschoidi terziarie numidiche.

L'apporto solido di torrenti e fiumare, notevole per quantità e per dimensione dei clasti, favorito anche dall'evoluzione tettonica, ha portato alla formazione di un'ampia fascia costiera, che tuttavia negli ultimi decenni risulta assottigliata in molti tratti ove per cause antropiche o morfologiche l'erosione risulta maggiore.

Gli elementi morfo-idrografici che caratterizzano l'Unità sono:

- un'ampia pianura costiera sub-pianeggiante di natura alluvionale caratterizzata dalla presenza di grossi apparati fociali di torrenti e fiumare;
- una zona retrostante di raccordo alle catene montuose interessata da vari ordini di terrazzi fluviali e incisa da valli e vallecicole poco profonde;
- tratti di litorale con spiagge strette e in forte erosione, limitate dai rilievi collinari retrostanti;
- promontori rocciosi a falesie o a costa rocciosa bassa e frastagliata (Cefalù, Capo Raisigerbi, Castel di Tusa, Capo d'Orlando).

Nella prima parte dell'Unità costiera (dalla fiumara Pollina a S. Agata di Militello) le spiagge sono caratterizzate da sedimenti prevalentemente ghiaiosi e ciottolosi con elementi di grossa pezzatura, in questa zona infatti si riscontrano i materiali più grossolani di tutta la costa tirrenica, e sono intervallate da alti promontori rocciosi o da tratti di scogliera bassa: Capo Cefalù, Capo Raisigerbi, Castel di Tusa. Procedendo verso est fino a Capo d'Orlando le granulometrie si riducono e le spiagge presentano anche frazioni sabbiose e sabbiose grossolane. Tuttavia, la frazione ghiaiosa risulta essere prevalente o esclusivamente presente rispetto alla frazione sabbiosa. Le spiagge sommerse sono costituite, a partire dalla linea di riva, da materiali grossolani che via via diventano medio-grossi procedendo verso il largo, fino a diventare sabbie.

Per quanto riguarda l'idrografia, nel tratto di litorale in esame si individuano da ovest verso est alcune grosse fiumare e torrenti, con bacini idrografici di ampia superficie, quali, la Fiumara Pollina, i Torrenti di Tusa, S. Stefano, Caronia, Furiano e Inganno, la Fiumara Rosmarino e di Zappulla. Questi importanti corsi d'acqua risultano intervallati da valloni secondari: Vallone S. Angelo, Nacchio, Cannizza, della Piana, Maccarone, Ortora, Canneto, e da torrenti minori quali il Malpertugio, il Buzza, il Favara e il Platana. Gli alvei presentano il tipico aspetto delle fiumare: corsi d'acqua a carattere stagionale, con portate significative nei mesi invernali e in occasione di intense precipitazioni, e ridotte durante i

mesi estivi. L'Unità Fisiografica in esame presenta da ovest verso est varie tipologie costiere riconducibili a tratti di costa bassa rocciosa e/o alta a falesie, costituite da promontori talvolta a picco sul mare, inframezzati da spiaggette ciottolose talvolta strette (fig. 1.1), e verso est a spiagge di foce di fiumara, più ampie ed a granulometria più sottile (fig. 1.2).

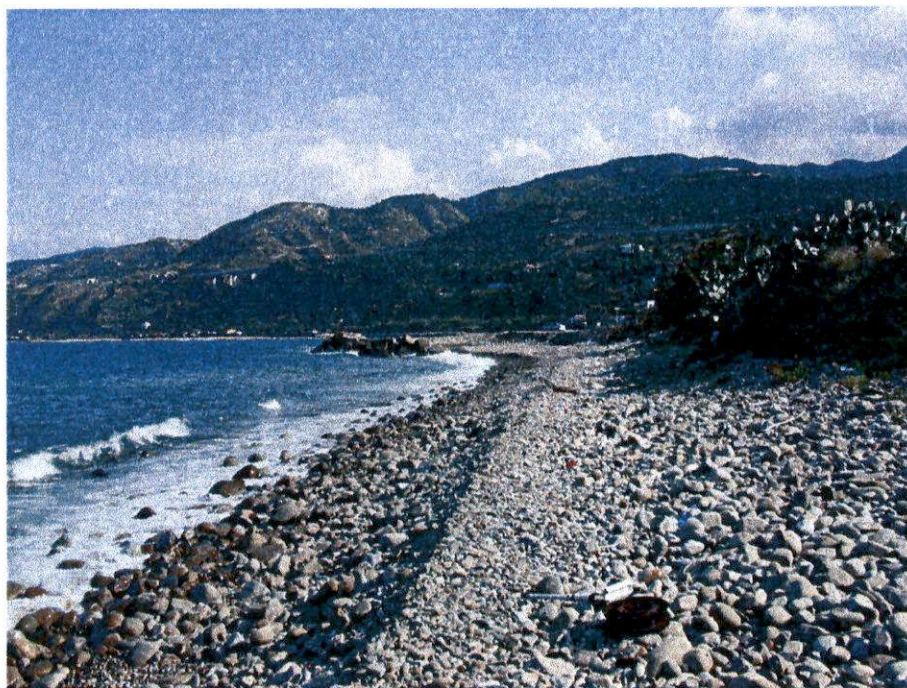


Fig. 1.1

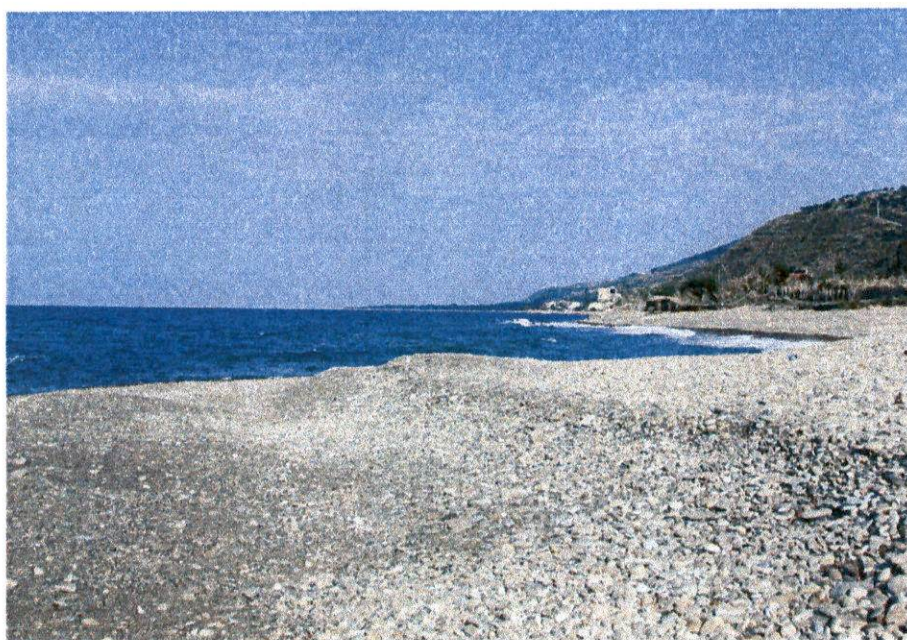


Fig. 1.2

I promontori rocciosi, non sempre stabili, presentano spesso fenomeni di dissesto. Le falesie presentano pareti caratterizzate da porzioni rocciose fratturate in blocchi di varia misura, talvolta immersi in una matrice sabbioso-argillosa molto alterata, che favorisce il loro distacco con fenomeni di crollo.

Molteplici sono state le cause, tutte riconducibili all'intensificarsi dell'urbanizzazione a partire dagli anni '60 fino ad oggi: lo sviluppo dei centri abitati costieri con la progressiva occupazione di quella fascia di territorio contigua alla spiaggia fino alla linea di duna, il crescente fabbisogno di inerti per l'edilizia e per le grandi infrastrutture pubbliche prelevato soprattutto dai letti delle fiumare, le grandi opere di regimazioni idrauliche degli anni '70 e '80 con la realizzazione di argini in calcestruzzo e serie continue di briglie, la posa in opera dei grossi rilevati stradale e ferroviario in prossimità delle spiagge e a ridosso del litorale ed interventi di difesa non appropriati (fig. 1.3).



Fig. 1.3

1.3 CARATTERIZZAZIONE GRANULOMETRICA

Al fine di caratterizzare il litorale oggetto di indagine è stato necessario procedere al campionamento del materiale che costituisce la spiaggia emersa e sommersa. Nel

compiere tale operazione si è cercato di garantire la rappresentatività dei campioni presi in esame.

Da una prima osservazione del litorale si evince che la granulometria del materiale è pressoché costante e, quindi, sono stati prelevati solo 4 campioni ritenuti validi a rappresentare l'intero tratto esaminato. In figura 1.4 è riportata una planimetria in cui sono indicati i punti dei prelievi dei campioni.

I campioni prelevati sono stati sottoposti, presso il laboratorio autorizzato "Geolab" di Carini, a prove di identificazione consistenti nella descrizione macroscopica e nell'analisi granulometrica.

La dimensione dei grani è stata determinata mediante setacciatura ad umido dei 4 campioni (figg. 1.5 – 1.8), secondo quanto previsto dalle norme ASTM D 422.



Fig. 1.4 – Ubicazione dei campioni prelevati

La quantità di materiale utilizzato è stata determinata in base alle dimensioni massime dei grani. La composizione granulometrica della frazione fine è stata determinata, con il metodo dell'aerometro, sul passante allo staccio n. 200 della serie ASTM; il materiale utilizzato è stato preliminarmente mantenuto a bagno con agente disperdente per 24 h.

Nell'analisi per stacciatura il campione viene vagliato con uno staccio a maglie quadrate di lato noto e si assume come diametro dei grani la lunghezza del lato delle maglie dello staccio utilizzato.

In base alle percentuali delle varie frazioni i campioni sono stati classificati secondo quanto previsto dalle normative A.G.I. (1977).



Fig. 1.5- Campione n. 1



Fig. 1.6 – Campione n. 2



Fig. 1.7 – Campione n. 3



Fig. 1.8 – Campione n. 4

Sulla base dei dati ricavati, per ogni campione è stata disegnata la curva granulometrica cumulativa, riportando sull'asse delle ordinate la percentuale di materiale passato ad ogni setaccio e sull'asse delle ascisse il diametro in scala logaritmica.

Il criterio adottato per la definizione dei vari campioni si basa sulla percentuale della classe granulometrica più rappresentata: se essa è maggiore del 50% il nome della classe è anche quello del campione; se la percentuale della classe più rappresentata è inferiore al 50% allora il nome del campione è quello delle due classi granulometriche più rappresentate.

Si riportano in appendice l'analisi granulometrica relativi ai quattro campioni prelevati.

È opportuno sottolineare che si è riscontrato un diametro caratteristico dei grani D_{60} , grandezza necessaria in fase di modellazione, variabile dal valore di 14.6 mm a 21.7 mm, per i primi tre campioni, e pari a 1.5 mm per il quarto campione. Pertanto, il litorale in oggetto è costituito da ghiaia.

1.4 IL CLIMA ONDOSO NEL PARAGGIO DEL PORTO DI S. STEFANO DI CAMASTRA

Al fine della modellazione matematica dell'evoluzione della linea di riva nel paraggio del porto di S. Stefano di Camastra è fondamentale la conoscenza del regime ondamentico. Supponendo infatti la scarsa influenza delle correnti litoranee nei processi di evoluzione, sono proprio le onde che rivestono il ruolo di principale attore nei meccanismi evolutivi.

Per giungere alla conoscenza del clima ondoso nel paraggio in esame si fa riferimento ai dati rilevati a largo dall'ondametro di Capo Gallo, appartenente alla rete ondamentica nazionale (RON).

La distanza geografica tra la boa e il paraggio in esame non è di certo esigua, tuttavia la corrispondenza tra i fetches geografici nei due luoghi considerati consente di assimilare i due climi ondosi.

I dati rilevati dalla boa di Capo Gallo sono disponibili dal 1 gennaio 2004 ad oggi.

Di seguito si riporta in figura 1.9 un grafico polare in cui viene illustrato il clima ondoso rilevato nella detta stazione. Per quanto prima affermato, tale clima deve intendersi valido al largo del paraggio.

Per completezza, in tabella 1.1, viene riportato il clima ondoso in termini numerici.

Dall'analisi del grafico e della tabella risulta evidente come i marosi più frequenti e quelli più intensi provengano dal IV quadrante.

L'indagine che si deve condurre non è finalizzata a conoscere le condizioni di una determinata situazione perché in tal caso sarebbe stato assolutamente necessario che il periodo di campionamento comprendesse proprio l'evento desiderato, ma, viceversa, nella fattispecie deve determinarsi il clima e questo prescinde, ovviamente dal momento di inizio e di fine dell'intervallo di osservazione. I risultati, pertanto, hanno un valore generale di applicabilità.

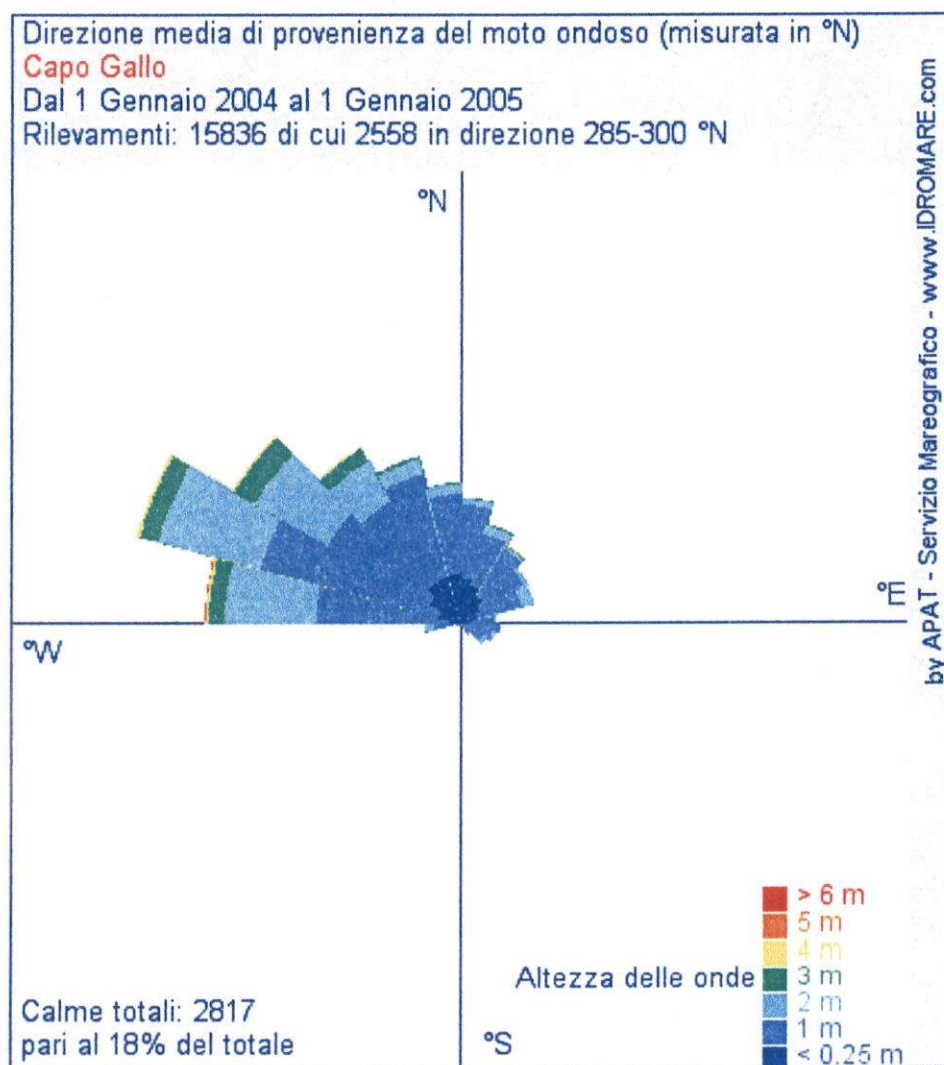


Figura 1.9 – Clima ondoso

Tabella 1.1: Rilevamenti dal 1 Gennaio 2004 al 1 Gennaio 2005 per la Stazione di Capo Gallo
Sull'ordinata l'altezza significativa spettrale del moto ondoso, sull'ascissa il parametro Direzione media di provenienza del moto ondoso (misurata in °N). I rilevamenti sono su base trioraria

Rilevamenti: attesi 2928, mancanti -12908 (-82% attesi), Calme totali ($\leq 0,25$ m): 1007 (19% Rilevamenti effettivi)

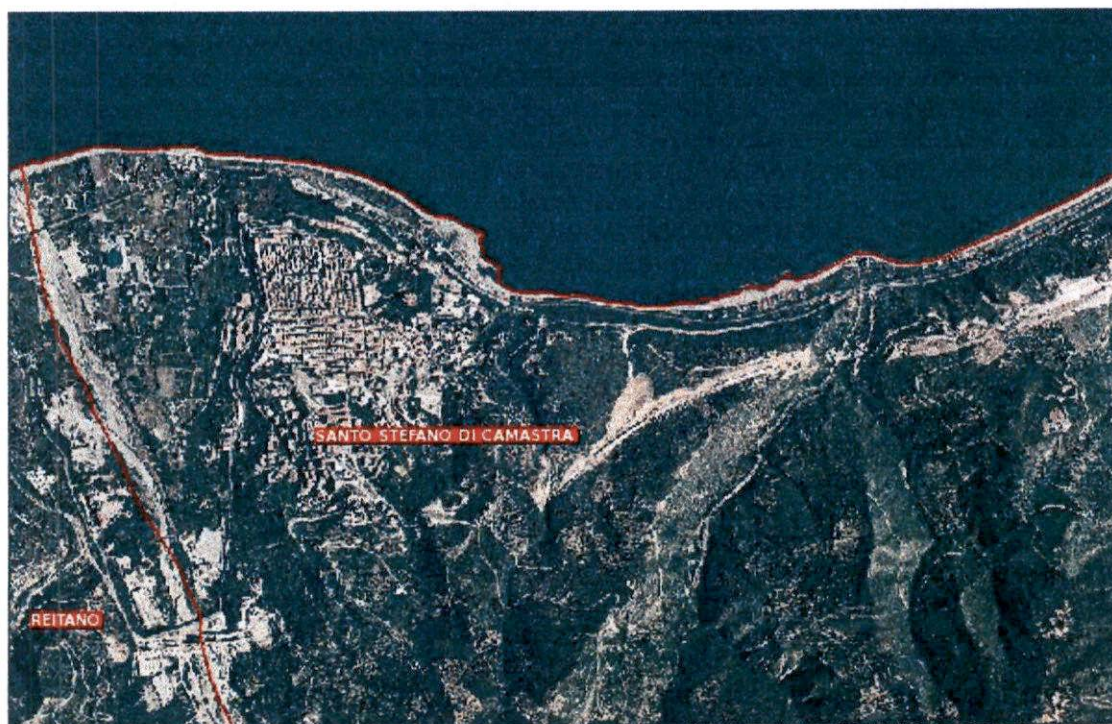
°N	15	10	45	60	75	90	105	120	115	150	165	180	195	210	225	240	255	270	285	100	115	110	145	160	TOT
m																									
$\leq 9,5$																	1					1			2
$\leq 9,0$																									0
$\leq 8,5$																						1			1
$\leq 8,0$					1																1				1
$\leq 7,5$					1																		1		1
$\leq 7,0$																								1	1
$\leq 6,5$																						1			1
$\leq 6,0$																				1	1	1	1		4
$\leq 5,5$																				5	6	2			11
$\leq 5,0$			1														1		1	5	4	1		1	16
$\leq 4,5$	1																		11	2		4	1		19
$\leq 4,0$			1							1					1	1	1		12	8	5	11	1		46
$\leq 3,5$		1	11	1					1	1	1	2		1			1		17	25	19	6	5		94
$\leq 3,0$	5	6	10			1				1							1	1	24	50	59	16	8	2	204
$\leq 2,5$	11	11	2		4					1	1		1			1		11	97	100	126	81	24	9	485
$\leq 2,0$	21	10	1	1	10	5			1			1		1		1	2	10	215	104	264	116	15	18	1120
$\leq 1,5$	17	44	25	17	82	19	17	26	12	4	1	1		1		5	4	11	465	501	176	222	91	66	2089
$\leq 1,0$	195	146	190	200	164	60	121	144	121	57	18	11	22	18	25	22	25	119	728	946	571	284	269	212	4694
$\leq 0,5$	142	242	222	186	189	124	114	60	46	11	11	4	2	1	2	6	15	48	286	451	110	417	517	178	4010
$\leq 0,25$	147	107	229	175	116	67	61	44	16	12	7	1	2	6	4	5	5	12	85	158	250	114	160	182	1007
TOT.	959	789	698	600	587	276	111	274	222	108	41	24	27	10	12	41	56	292	1961	2558	2014	1542	1117	1069	15810

1.5 EVOLUZIONE RECENTE DEL LITORALE

Al fine di analizzare l'evoluzione recente del tratto di litorale in esame si riportano di seguito l'ortofoto del 2000 e una immagine satellitare del 2006.

Davanti alla spiaggia di S. Stefano di Camastra sono state realizzate due scogliere frangiflutti emerse e inclinate, orientate con asse avente direzione ortogonale ai moti ondosi provenienti dal IV quadrante. Queste, per effetti diffrattivi hanno determinato la formazione di tomboli ed il loro progressivo allargamento fino alla ricostituzione della spiaggia a tergo.

Così come evidenziato in figura 1.11 dal confronto tra la linea rossa relativa all'anno 2000 e la linea di costa del 2006 ripresa da satellite, nel tratto di litorale in esame non si sono verificate notevoli variazioni.



Scala corrente: 1:17'667
Coordinate (m): 2465528 / 4208931

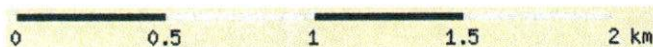


Figura 1.10 - Ortofoto del 2000 (Fonte: www.cartosicilia.it, powered by CartoWEB)



Scala corrente: 1:17'667
Coordinate (m): 2462823 / 4208476

0 0.5 1 1.5 2 km

Figura 1.11 - Immagine del satellite MODIS del 2006 (Fonte: www.cartosicilia.it, powered by CartoWEB)

1.6 IL MODELLO AD UNA LINEA “GENESIS”

La simulazione dell'evoluzione del litorale in prossimità del porto di Santo Stefano di Camastra verrà condotta avvalendosi del supporto del modello GENESIS.

Il modello GENESIS simula le variazioni a lungo termine della linea di riva prodotte dal trasporto solido longitudinale. Esso ha anche la capacità di tenere in conto, oltre che della forzante esercitata dal moto ondoso, azioni antropiche quali, ad esempio, il ripascimento artificiale, la costruzione di porti, la realizzazione di pennelli e barriere frangiflutti.

Il termine “GENESIS” è un acronimo di **GEN**ERalized model for **SI**mulating Shoreline change (modello generalizzato per simulare i cambiamenti della linea di costa) ed è stato coniato da Hanson che, nel 1987, ha sviluppato l'omonimo modello all'interno di un progetto di ricerca in collaborazione con l'Università svedese di Lund, il Coastal

Engineering Research Center (CERC) e la US Army Engineer Waterways Experiment Station.

Le ipotesi di base per l'applicazione del modello sono:

- Il profilo della linea di costa mantiene le stesse caratteristiche anche dopo i cambiamenti provocati dalle mareggiate. (traslazione rigida);
- Il materiale è trasportato solo lungo la costa per effetto del frangimento dell'onda non parallela alla linea di riva;
- L'indagine è effettuata sulla base di fenomeni evolutivi a lungo termine;
- La struttura dettagliata della circolazione costiera viene trascurata;
- Il trasporto di materiale è condizionato essenzialmente dalla componente longitudinale del clima ondoso.

E' ovvio che il modello, essendo la rappresentazione di un processo estremamente complesso, ha diverse limitazioni; non è ad esempio contemplato il trasporto di materiale causato dalle correnti marine, dal vento, o da altri fattori. Questo quindi vuol dire che è possibile applicare il modello solamente nel caso in cui il clima ondoso sia il meccanismo predominante.

Nonostante le sue numerose limitazioni, il modello risulta tra i più utilizzati al mondo per la simulazione dei processi evolutivi dei litorali.

Per l'applicazione del modello si prende in considerazione un sistema di coordinate Cartesiane con origine arbitraria, purché l'asse delle ascisse (x) sia orientato parallelamente alla direzione della costa e quello delle ordinate (y) è orientato ortogonalmente all'asse x e diretto verso il mare. L'intero litorale viene discretizzato secondo linee parallele all'asse Y (sezioni trasversali della linea di riva) poste ad interasse costate ΔX che nel caso in esame si è posto pari a 20 m, delimitando così delle celle di calcolo, ove la posizione della linea di riva è definita in funzione del suo valore medio nella cella, l'altezza della fascia di litorale "attiva", ovvero quella coinvolta nel fenomeno evolutivo, è data dalla somma della profondità di chiusura, DC , (lato mare) e dell'altezza di swash "berma", DB , (lato terra).

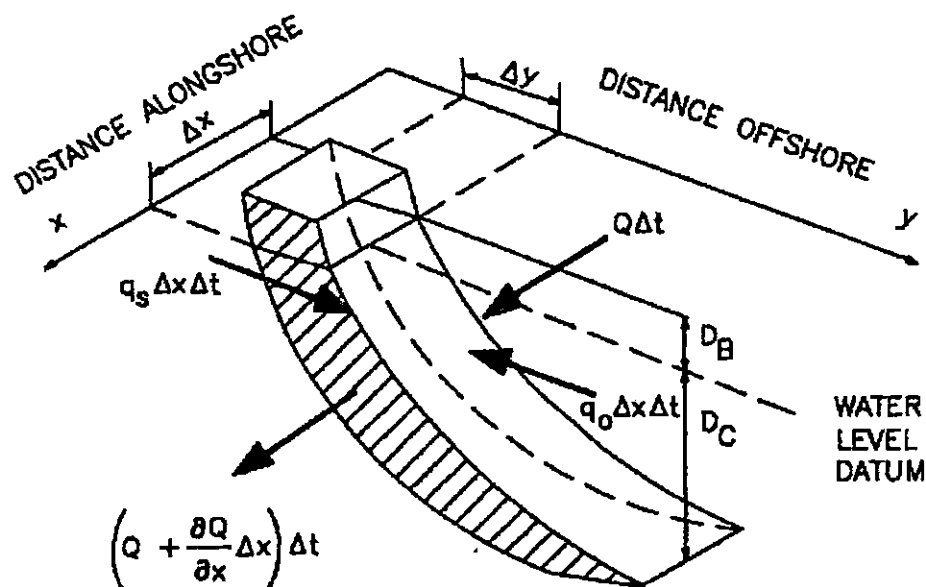


Figura 1.12 - Schematizzazione delle condizioni di bilancio solido secondo il modello one-line

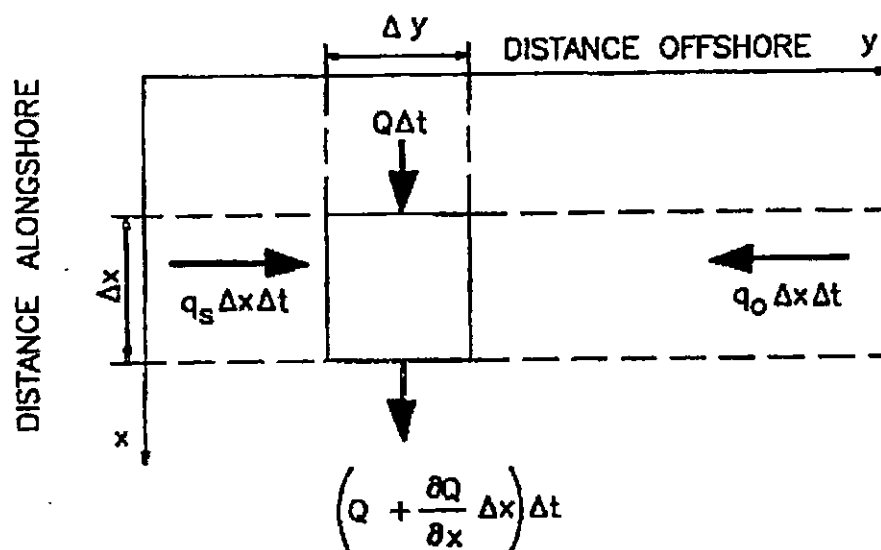


Figura 1.13 - Cella per il calcolo del bilancio solido con il modello one-line

La variazione in volume della sezione , $\Delta V = \Delta x \Delta y (D_B + D_C)$, è determinata dall'ammontare netto di sabbia che entra o esce dalla sezione dai suoi quattro lati. Un

contributo alla variazione di volume deriva se c'è una differenza nella quantità di sabbia trasportata lungo la linea di riva ai lati laterali della sezione e il volume associato è $\Delta Q \Delta t = (\delta Q / \delta x) \Delta x \Delta t$.

Un altro contributo può derivare dalla componente trasversale del trasporto solido che si aggiunge o sottrae al volume di sabbia per unità di lunghezza di spiaggia, esprimibile tramite la relazione :

$$q = q_s + q_0$$

dove q_s si riferisce alla quantità lato terra e q_0 alla quantità lato mare. A questo è associata una variazione di volume pari a $\Delta x \Delta t \Delta q$.

Sommando i contributi e associandoli al volume si ottiene :

$$\Delta V = \Delta x \Delta y (D_B + D_C) = (\delta Q / \delta x) \Delta x \Delta t + q \Delta x \Delta t$$

Combinando i termini e facendo poi il limite per $\Delta t \rightarrow 0$ si ottiene l'equazione che regola la posizione della linea di costa:

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

Per potere risolvere l'equazione, bisogna conoscere la posizione della linea di riva iniziale, le condizioni al contorno ed i valori di Q , q , D_B e D_C .

La formula utilizzata nel GENESIS per stimare il trasporto solido sotto costa, generato dall'energia trasmessa tramite il frangimento dell'onda è:

$$Q = (H^2 C_g)_b \cdot \left[a_1 \cdot \sin 2\theta_{bs} - a_2 \cdot \cos \theta_{bs} \cdot \frac{\partial H}{\partial x} \right]_b$$

in cui:

- H rappresenta l'altezza d'onda al frangimento
- C_g è la celerità di gruppo data dalla teoria lineare d'onda di Airy

- b è un coefficiente che denota le condizioni di frangimento dell'onda frangente
- θ_{bs} è invece l'angolo formato tra la linea di riva e la direzione d'incidenza dell'onda
- a_1 ed a_2 sono invece dei parametri monodimensionali che dipendono dalla densità dell'acqua di mare ($\rho = 1,01 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$), dalla densità della sabbia (ρ_s), dalla porosità della sabbia (p) e da coefficienti empirici utilizzati come parametri di calibrazione.

1.6.1 CALIBRAZIONE E ACCETTAZIONE DEL MODELLO

Per la taratura del modello, detta anche calibrazione, sono state prese in considerazione 2 linee di riva tratte, la prima, dall'ortofoto del 2000 e, la seconda, da una immagine satellitare del 2006. Entrambe le immagini sono state georiferite e digitalizzate. Le linee di riva sono state discretizzate con un intervallo spaziale di 50 m. Il confronto delle due linee di riva è riportato appresso. In magenta la linea del 2000 e in blu quella del 2006.



Figura 1.14 – Evoluzione storica della linea di riva

I dati ondametrici presi in considerazione sono, come detto, quelli rilevati dalla boa di Capo Gallo (paragrafo 1.4). Si rimarca ancora una volta il concetto di identità tra le onde al largo di S. Stefano di Camastra e quelle rilevate a Capo Gallo.

I contorni del dominio di calcolo sono aperti in modo tale da consentire lo scambio di sedimenti con l'esterno.

La calibrazione è stata affrontata per via iterativa e ha condotto al calcolo dei tre coefficienti del modello: due, denominati di trasporto longitudinale (k_1 , k_2) e uno relativo alla trasformazione ondosa. La bontà di tale fase è dimostrata dalla coincidenza tra la linea di riva calcolata dal modello nel 1999 (final shoreline) e quella realmente verificatasi nel 1999 (measured shoreline).

Dal punto di vista numerico la bontà della calibrazione è supportata dall'azzerarsi della funzione obiettivo interna a GENESIS.

Si riportano di seguito alcune grandezze salienti utilizzate in calibrazione:

- Asse Y rivolto verso 315°N
- Diametro medio dei grani pari a 14.6 mm
- Altezza media di swash berma (D_B) rispetto al livello del mare pari a 2.0 m
- Profondità di chiusura (D_C) pari a 5 m.
- Contorni del dominio di calcolo aperti
- Coefficiente di trasporto sottocosta k_1 : 0,2
- Coefficiente di trasporto sottocosta k_2 : 0,5
- Clima ondoso ricavato dalla boa ondometrica di Capo Gallo (2004-2005)

L'output del modello, per quanto concerne la calibrazione, è riportato in figura 1.15. In nero viene riportata la linea del 2000, in magenta la linea del 2006, mentre in rosso è visualizzato l'output del modello numerico. La corrispondenza tra la linea di riva simulata dal modello e quella realmente verificatasi nel 2006 fornisce un primo orientamento. Le differenze riscontrate sono attribuibili alle semplificazioni proprie del modello, prima fra tutte l'adozione di uno schema monodimensionale, mentre in realtà i fenomeni che portano all'evoluzione della linea di riva sono fortemente tridimensionali. Ciononostante, il modello è in grado di stimare qualitativamente il fenomeno con ottima approssimazione. In ragione di tale concordanza si ritiene che il modello calibrato sia in grado di poter correttamente stimare le tendenze future nell'evoluzione del litorale in studio.

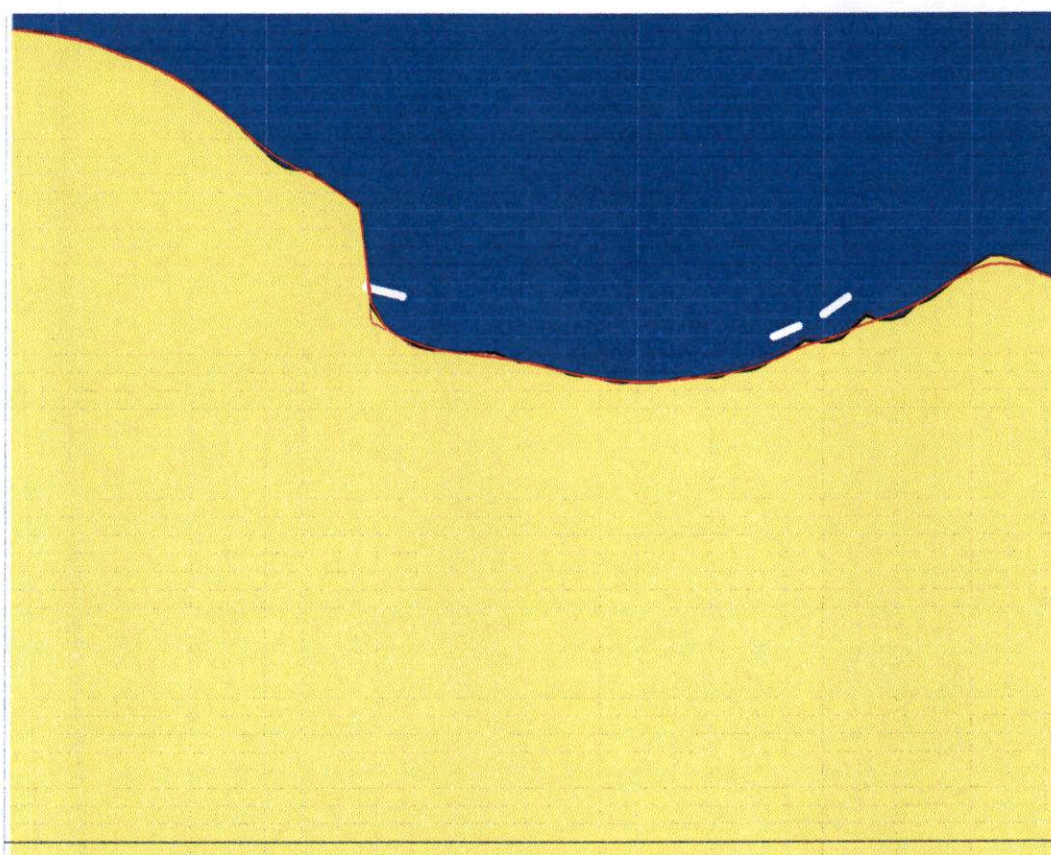


Figura 1.15 - Calibrazione del modello

1.6.2 SIMULAZIONI

Nelle simulazioni si intende fornire un modello della realtà per valutare e prevedere lo svolgersi dinamico di una serie di eventi susseguenti all'imposizione di certe condizioni. Nello specifico si vuole utilizzare GENESIS per investigare sulla posizione della linea di riva in prossimità del porto di S. Stefano di Camastra.

Le simulazioni, sono state effettuate per un periodo di 20 anni, con intervalli (step) di tre ore.

Lo scenario che si mette in evidenza è l'evoluzione di riva nella zona in esame, partendo dal 2006 fino al 2026.

La linea di riva iniziale considerata è quella del 2006.

È stata effettuata una simulazione in cui si suppone la costruzione del porto turistico come previsto in progetto. In figura 1.16 viene riportato l'output del modello GENESIS. In giallo è riportata la sagoma di progetto, mentre in rosso è visualizzata la linea di riva prevista dal modello.

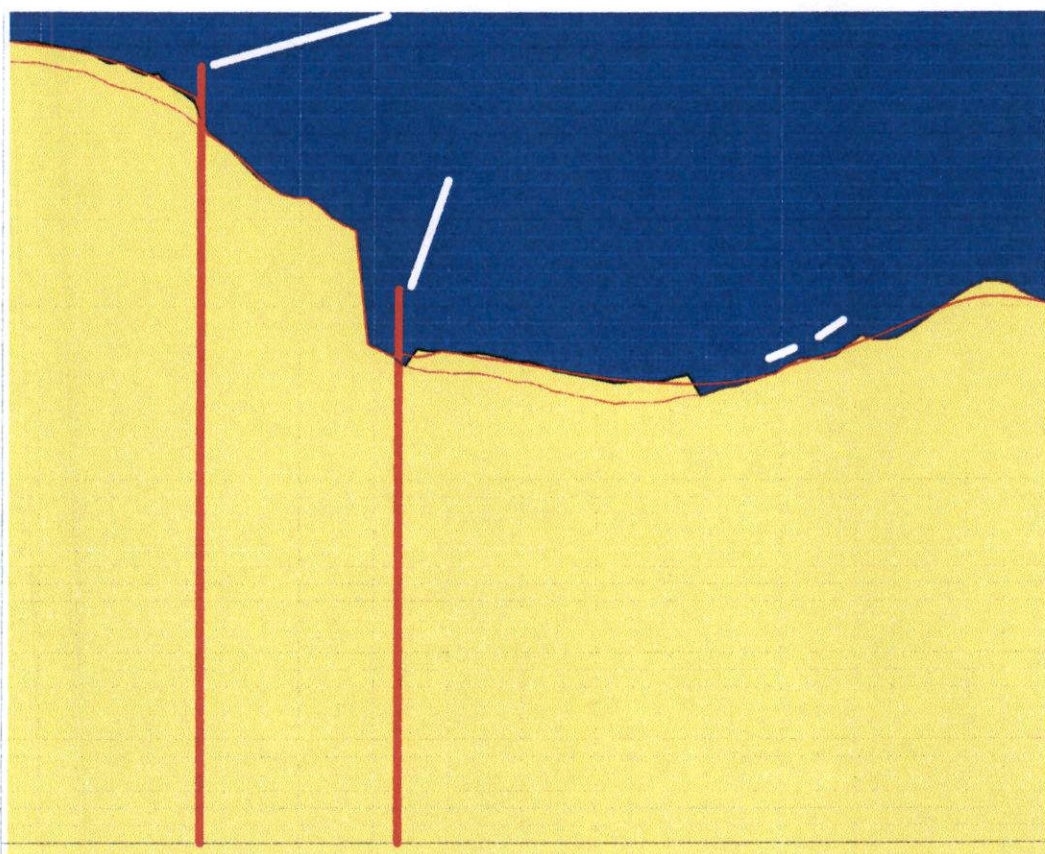


Figura 1.16 -In giallo la linea attuale, in rosso la linea di riva prevista a 20 anni

Si osservi come il modello non prevede una sostanziale modifica della sagoma originale. Il risultato di tali simulazioni, viste le approssimazioni derivanti dalla fase di calibrazione, debbono intendersi di carattere qualitativo. Pur tuttavia, si può affermare che la realizzazione del porto non provoca variazioni della linea di costa.

1.7 CONCLUSIONI

È stato calibrato il modello matematico GENESIS per simulare l'evoluzione del litorale di S. Stefano di Camastra. Il modello è in grado di descrivere, almeno in termini qualitativi, i fenomeni di erosione e di accumulo verificatisi nel corso degli ultimi sei anni nel litorale in esame.

Il modello è stato poi utilizzato per prevedere l'evoluzione della sagoma di progetto. Osservata la stabilità della linea di riva proposta non si prevede la costruzione di opere di difesa della costa.

L'analisi condotta mostra che l'inserimento della struttura portuale, anche in relazione alla natura del materiale costituente il litorale, non induce variazioni sostanziali della linea di riva, né sulla costa occidentale, né su quella orientale. Si ritiene, confortati dai risultati del modello matematico GENESIS, che la struttura in oggetto non avrà effetti significativi sul litorale circostante.

Se di effetti si deve parlare, questi debbono ritenersi positivi: infatti le simulazioni effettuate con GENESIS mostrano come la realizzazione del porto, realizzando una protezione della spiaggia a tergo della diga di sottoflutto dai marosi più frequenti ed aggressivi provenienti dal IV quadrante, comporti una protezione dal fenomeno dell'erosione della spiaggia stessa.

APPENDICE: ANALISI GRANULOMETRICHE



ANALISI GRANULOMETRICA

AGI - "Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio" - 1994

Verbale di accettazione n. GEO 0320 del 20/06/2008

Data inizio prova 20/06/08

Richiesta di prova
 sottoscritta da Studio Mallandrino s.r.l.
 Via Trapani n°15
 Palermo

Lavoro Porto di Santo Stefano di Carnastra

Campioni consegnati al laboratorio dal sig. Sergio Di Majo

Sigla campione

P1 del 16/10/2006

Data prelievo 16/10/06

Campionamento eseguito da non fornito

Procedura di campionamento non fornito

Classe di qualità del campione non fornito

Contenitore sacchetto in plastica

Chiusura contenitore nastro adesivo

Forma campione materiale sciolto

Lunghezza campione cm -----

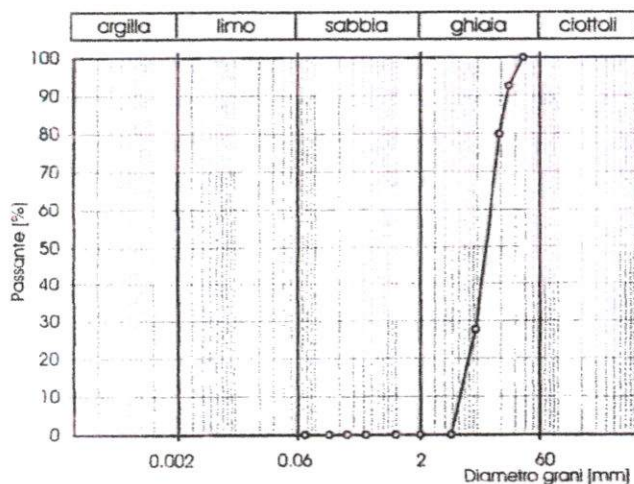
Diametro campione cm -----

Condizioni campione all'estrazione rimaneggiato

Peso campione secco iniziale g 2062.70

Analisi per setacciatura ad umido

Aperture vagli [mm]	parziale [g]	Trattenuto parziale [%]	cumulativo [%]	Passante cumulativo [%]
100	0.00	0.0	0.0	100.0
75	0.00	0.0	0.0	100.0
37.5	0.00	0.0	0.0	100.0
25	153.00	7.4	7.4	92.6
19	261.10	12.7	20.1	79.9
9.5	1078.80	52.3	72.4	27.6
4.75	569.70	27.6	100.0	0.0
2	0.02	0.0	100.0	0.0
1	0.01	0.0	100.0	0.0
0.425	0.02	0.0	100.0	0.0
0.25	0.01	0.0	100.0	0.0
0.15	0.00	0.0	100.0	0.0
0.075	0.00	0.0	100.0	0.0



Coefficienti granulometrici

D ₁₀	mm	6.1
D ₃₀	mm	9.8
D ₆₀	mm	14.6
Coefficiente di uniformità		2.4
Coefficiente di curvatura		1.1

Frazioni granulometriche

Argilla	%	0.0
Limo	%	0.0
Sabbia	%	0.0
Ghiaia	%	100.0
Ciottoli	%	0.0

Classificazione A.G.I.

ghiaia

Lo sperimentatore
 Dott. Michele Pusateri

Direttore del laboratorio geotecnico
 Dott. Angelo Mulone

ANALISI GRANULOMETRICA

AGI - "Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio" - 1994

Verbale di accettazione n. GEO 0320 del 20/06/2008

Data inizio prova 20/06/08

Richiesta di prova
sottoscritta da Studio Mallandino s.r.l.
Via Trapani n°15
Palermo

Lavoro Porto di Santo Stefano di Camastra

Campioni consegnati al laboratorio dal sig. Sergio Di Maio

Sigla campione

P2 del 16/10/2006

Data prelievo 16/10/06

Campionamento eseguito da non fornito

Procedura di campionamento non fornito

Classe di qualità del campione non fornito

Contenitore sacchetto in plastica

Chiusura contenitore nastro adesivo

Forma campione materiale sciolto

Lunghezza campione cm

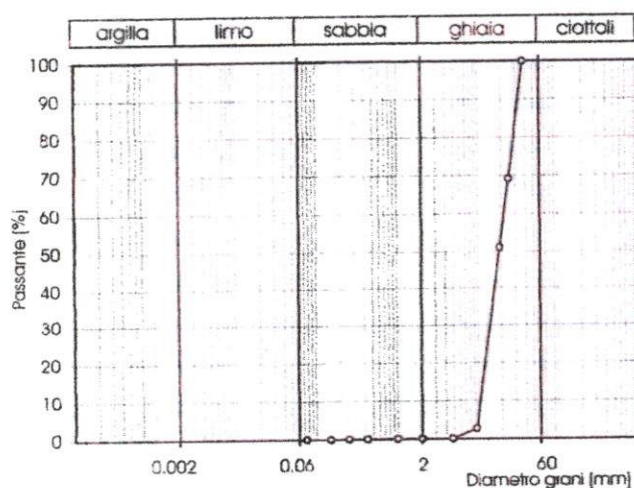
Diametro campione cm

Condizioni campione all'estrazione rimaneggiato

Peso campione secco iniziale g 1637.40

Analisi per setacciatura ad umido

Aperture vagli [mm]	Trattenuto			Passante cumulativo [%]
	parziale [g]	parziale [%]	cumulativo [%]	
100	0.00	0.0	0.0	100.0
75	0.00	0.0	0.0	100.0
37.5	0.00	0.0	0.0	100.0
25	504.60	30.8	30.8	69.2
19	295.10	18.0	48.8	51.2
9.5	794.50	48.5	97.4	2.6
4.75	41.80	2.6	99.9	0.1
2	0.70	0.0	100.0	0.0
1	0.01	0.0	100.0	0.0
0.425	0.01	0.0	100.0	0.0
0.25	0.01	0.0	100.0	0.0
0.15	0.01	0.0	100.0	0.0
0.075	0.01	0.0	100.0	0.0



Coefficienti granulometrici

D ₁₀	mm	10.6
D ₃₀	mm	14.0
D ₆₀	mm	21.7
Coefficiente di uniformità		2.1
Coefficiente di curvatura		0.9

Frazioni granulometriche

Argilla	%	0.0
Limo	%	0.0
Sabbia	%	0.0
Ghiaia	%	100.0
Ciottoli	%	0.0

Classificazione A.G.I.

ghiaia

Lo sperimentatore
Dott. Michele Pusateri

Direttore del laboratorio geotecnico
Dott. Angelo Mulone



GeoLab è un laboratorio
di prove geotecniche
e geotecniche in
cassa, in scala di
prova di prova
GEO LAB S.p.A.

ANALISI GRANULOMETRICA

AGI - "Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio" - 1994

Verbale di accettazione n. GEO 0320 del 20/06/2008

Data inizio prova 20/06/08

Richiesta di prova
sottoscritta da

Studio Mallandrino s.r.l.
Via Trapani n°15
Palermo

Lavoro

Porto di Santo Stefano di Camastra

Campioni consegnati al laboratorio dal sig. Sergio Di Majo

Sigla campione

P3 del 16/10/2006

Data prelievo 16/10/06

Campionamento eseguito da

non fornito

Procedura di campionamento

non fornito

Classe di qualità del campione

non fornito

Contenitore

sacchetto in plastica

Chiusura contenitore

nastro adesivo

Forma campione

materiale sciolto

Lunghezza campione cm

Diametro campione cm

Condizioni campione all'estrusione

rimaneggiato

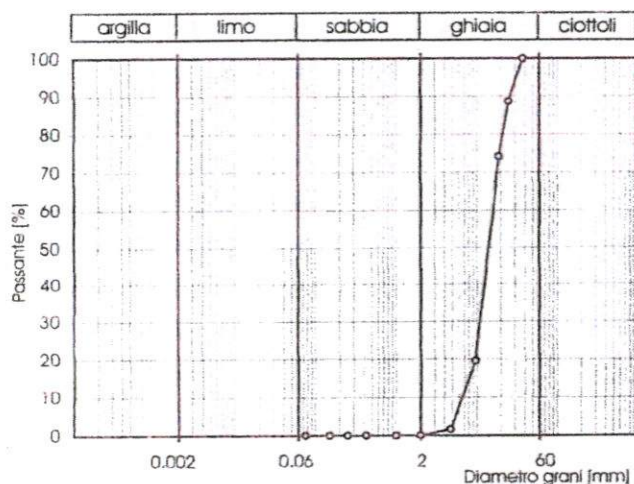
Peso campione secco iniziale

g

2127.00

Analisi per setacciatura ad umido

Aperture vagli [mm]	parziale [g]	parziale [%]	cumulativo [%]	Passante cumulativo [%]
100	0.00	0.0	0.0	100.0
75	0.00	0.0	0.0	100.0
37.5	0.00	0.0	0.0	100.0
25	241.40	11.3	11.3	88.7
19	307.30	14.4	25.8	74.2
9.5	1164.00	54.7	80.5	19.5
4.75	379.50	17.8	98.4	1.6
2	34.30	1.6	100.0	0.0
1	0.05	0.0	100.0	0.0
0.425	0.01	0.0	100.0	0.0
0.25	0.01	0.0	100.0	0.0
0.15	0.02	0.0	100.0	0.0
0.075	0.01	0.0	100.0	0.0



Coefficienti granulometrici

D ₁₀	mm	6.6
D ₃₀	mm	10.9
D ₆₀	mm	15.9
Coefficiente di uniformità		2.4
Coefficiente di curvatura		1.1

Frazioni granulometriche

Argilla	%	0.0
Limo	%	0.0
Sabbia	%	0.0
Ghiaia	%	100.0
Ciottoli	%	0.0

Classificazione A.G.I.

ghiaia

Lo sperimentatore
Dott. Michele Pusateri

Direttore del laboratorio geotecnico
Dott. Angelo Muone



1. GEO LAE S.p.A. è una società a partecipazione paritetica (geotecnici e ingegneri) costituita in Italia nel 1994. Sede: Via S. Stefano 10, 00187 Roma, Tel. 06/4781111, Fax 06/4781112, E-mail: info@geolae.it

ANALISI GRANULOMETRICA

AGI - "Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio" - 1994

Verbale di accettazione n. GEO 0320 del 20/06/2008

Data inizio prova 20/06/08

Richiesta di prova
sottoscritta da

Studio Mallandrino s.r.l.
Via Trapani n°15
Palermo

Lavoro

Porto di Santo Stefano di Camastra

Campioni consegnati al laboratorio dal sig. Sergio Di Maio

Sigla campione

P4 del 16/10/2006

Data prelievo 16/10/06

Campionamento eseguito da

non fornito

Procedura di campionamento

non fornito

Classe di qualità del campione

non fornito

Contentore

sacchetto in plastica

Chiusura contentore

nastro adesivo

Forma campione

materiale sciolto

Lunghezza campione cm

Diametro campione cm

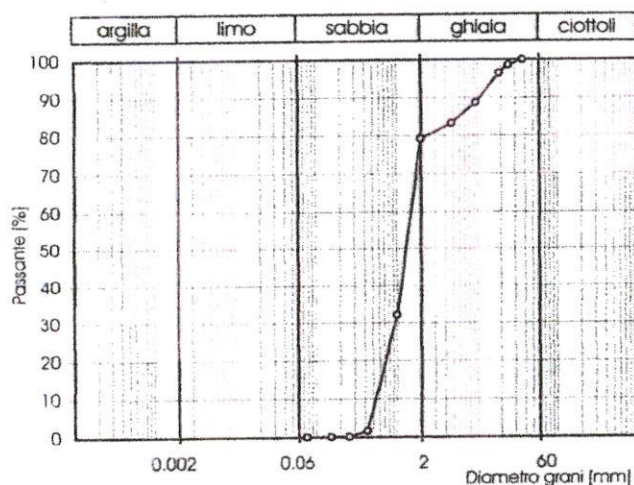
Condizioni campione all'estrazione

rimaneggiato

Peso campione secco iniziale g 2394.60

Analisi per setacciatura ad umido

Aperture vagli (mm)	Trattenuto		Passante cumulativo [%]
	parziale [g]	parziale [%]	
100	0.00	0.0	100.0
75	0.00	0.0	100.0
37.5	0.00	0.0	100.0
25	33.40	1.4	98.6
19	51.10	2.1	96.5
9.5	186.30	7.8	88.7
4.75	129.20	5.4	83.3
2	97.60	4.1	79.2
1	1128.80	47.1	32.1
0.425	730.10	30.5	1.6
0.25	35.10	1.5	0.1
0.15	1.70	0.1	0.1
0.075	0.30	0.0	0.0



Coefficienti granulometrici

D ₁₀	mm	0.5
D ₃₀	mm	0.9
D ₆₀	mm	1.5
Coefficiente di uniformità		2.8
Coefficiente di curvatura		1.1

Frazioni granulometriche

Argilla	%	0.0
Limo	%	0.0
Sabbia	%	79.2
Ghiaia	%	20.8
Ciottoli	%	0.0

Classificazione A.G.I.

sabbia ghiaiosa

Lo sperimentatore
Dott. Michele Pusateri

Direttore del laboratorio geotecnico
Dott. Angelo Mulone