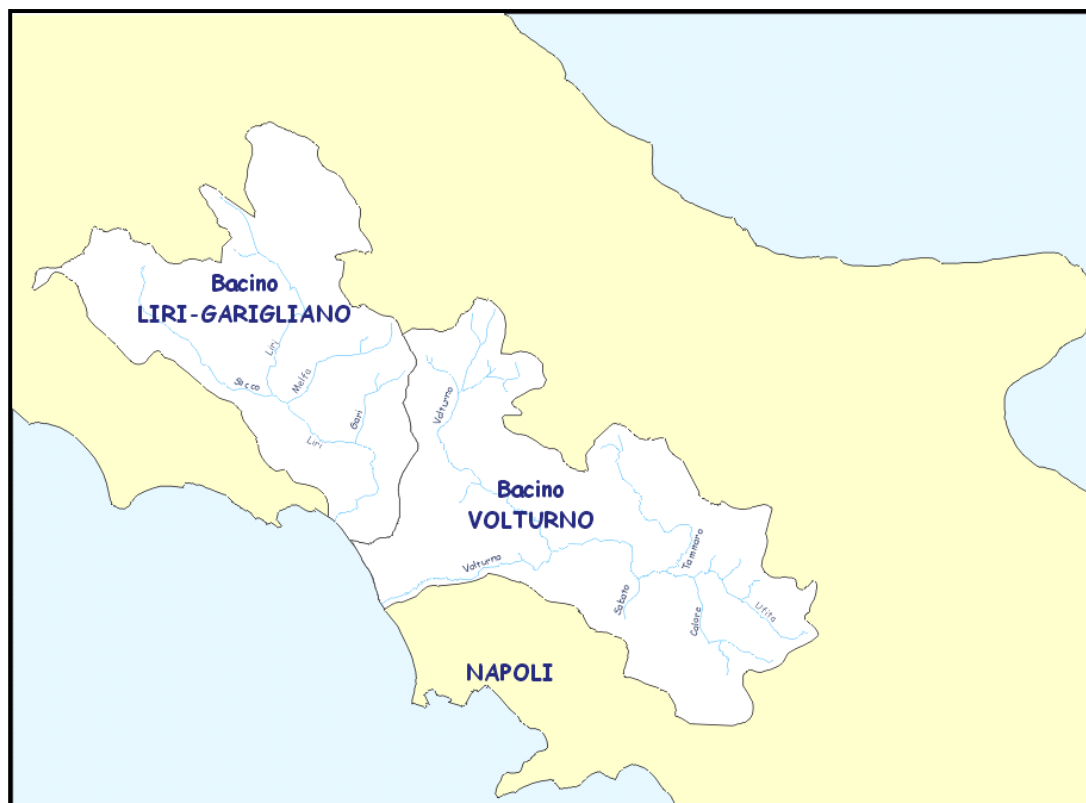




*Autorità di Bacino*  
*dei Fiumi Liri - Garigliano e Volturno*

---



**PIANO STRALCIO EROSIONE COSTIERA  
LITORALE DOMITIO**

*D.Lgs. n. 152 del 03 aprile 2006*  
*D.Lgs. n. 284 del 08 novembre 2006*  
*L. n. 183 del 19 maggio 1989*

**RELAZIONE TECNICA**

luglio 2012





*Autorità di Bacino*  
*dei Fiumi Liri - Garigliano e Volturno*

---

INDICE

0. PREMESSA.....	1
1. VALUTAZIONE DELLE CONDIZIONI DI PERICOLOSITA' .....	1
1.1 INONDABILITÀ DEL LITORALE PER EFFETTO DELLA MAREGGIATA CENTENNALE (F1).....	3
1.1.1 <i>Analisi degli eventi estremi sottocosta</i> .....	3
1.1.2 <i>Valutazione dell'inondabilità costiera</i> .....	9
1.2 EVOLUZIONE DELLA LINEA DI RIVA A 20 ANNI .....	21
1.3 VALUTAZIONE DELLE AREE POTENZIALMENTE INTERESSATE DA FENOMENI EROSIVI IN CASO DI MAREGGIATA INTENSA CINQUANTENNALE .....	27





# *Autorità di Bacino*

## *dei Fiumi Liri - Garigliano e Volturno*

---

### **0. PREMESSA**

L'attività è finalizzata alla realizzazione dell'elaborato che, in scala 1:5,000, illustra la perimetrazione della **pericolosità idraulica del litorale**, intesa come combinazione di vari aspetti legati sia all'erosione sia alla inondabilità da mareggiata.

Più precisamente la realizzazione della carta della pericolosità idraulica per il litorale Domitio è stata effettuata tenendo conto dei risultati dello studio della **inondabilità del litorale** dovuta a fenomeni di mareggiata intensa centennale, dell'**evoluzione a lungo termine (20 anni) della linea di riva**, nonché dell'individuazione delle **aree potenzialmente interessate da fenomeni erosivi per mareggiata intensa cinquantennale**.

L'attività si configura come una sintesi di aspetti geomorfologici ed idraulico-costieri e si basa, pertanto, sui risultati ottenuti dalle due macro-attività di studio condotte da questa Autorità di Bacino inerenti lo "Studio geologico e geomorfologico" e lo "Studio del clima ondoso, del trasporto solido fluviale e costiero, dell'evoluzione delle foci e della linea di costa".

Gli elaborati cartografici sono stati redatti in ambiente ArcGIS, al fine di consentire, attraverso la georeferenziazione dei tematismi nelle coordinate di riferimento dell'Autorità di Bacino (UTM33 ED50), un confronto di dettaglio con rilievi futuri, a supporto di un adeguato monitoraggio dell'evoluzione morfologica della linea di costa.

### **1. VALUTAZIONE DELLE CONDIZIONI DI PERICOLOSITA'**

La pericolosità idraulica a cui è soggetto il litorale Domitio è stata valutata combinando opportunamente diversi aspetti che caratterizzano l'azione del mare sulla costa. Sono stati studiati separatamente i seguenti fenomeni:

- F1 - inondabilità del litorale per effetto dell'azione del moto ondoso (set-up e run-up) in caso di mareggiata caratterizzata da un tempo di ritorno T pari a 100 anni.
- F2 - evoluzione della linea di riva a 20 anni, strettamente connessa alla distribuzione del trasporto *long-shore*.
- F3 - Valutazione delle aree potenzialmente interessate da fenomeni erosivi in caso di mareggiata intensa, caratterizzata da un tempo di ritorno T pari a 50 anni. Tale tipologia di fenomeno erosivo è strettamente connessa alla distribuzione del trasporto *cross-shore*.

La combinazione di tali aspetti ha permesso l'individuazione di tre diverse aree caratterizzate da decrescente livello di pericolosità (P3, P2, P1): l'**area a pericolosità P3** è compresa tra la linea di riva e la più interna (la più estesa verso terra) tra le linee rappresentative rispettivamente dell'evoluzione della costa a 20 anni (F2) e delle aree potenzialmente interessate da fenomeni erosivi in caso di mareggiata intensa (F3)

Laddove la simulazione dell'evoluzione della costa a 20 anni abbia evidenziato la tendenza all'erosione, è definita un'**area a pericolosità P2**, che individua le zone potenzialmente interessate



# *Autorità di Bacino*

## *dei Fiumi Liri - Garigliano e Volturno*

---

da fenomeni erosivi in caso di mareggiata intensa (F3) valutate basandosi non sulla posizione della linea di riva attuale ma sulla previsione della stessa a 20 anni (F2).

Ove l'area inondata per effetto dell'azione del moto ondoso (set-up e run-up) in caso di mareggiata caratterizzata da un tempo di ritorno T pari a 100 anni (F1), risulti più estesa verso terra rispetto alle aree a pericolosità P3 e P2, è definita un'ulteriore **area a pericolosità P1**.

La velocità dei processi in atto, unitamente al grado di incertezza legato all'applicazione da un lato dei modelli di evoluzione longitudinale e trasversale della costa e dall'altro delle formule per la valutazione del setup e del runup dell'onda, hanno suggerito la necessità di individuare un'ulteriore **fascia di attenzione**, denominata "A", estesa per 50 m verso terra a partire dalla più interna delle linee precedentemente descritte. A tale fascia non è assegnato alcun livello di pericolosità. Si rimanda alla fase della stesura delle normative di piano la scelta di introdurre o meno prescrizioni o vincoli anche a questa fascia di territorio.

Uno stralcio della carta della pericolosità è illustrato in Figura 1. Il tratto in esame è in erosione a lungo termine (da cui la presenza della fascia P2) e presenta una area inondata da mareggiata centennale assai estesa (da cui la presenza della fascia P1).



# *Autorità di Bacino*

## *dei Fiumi Liri - Garigliano e Volturno*

---

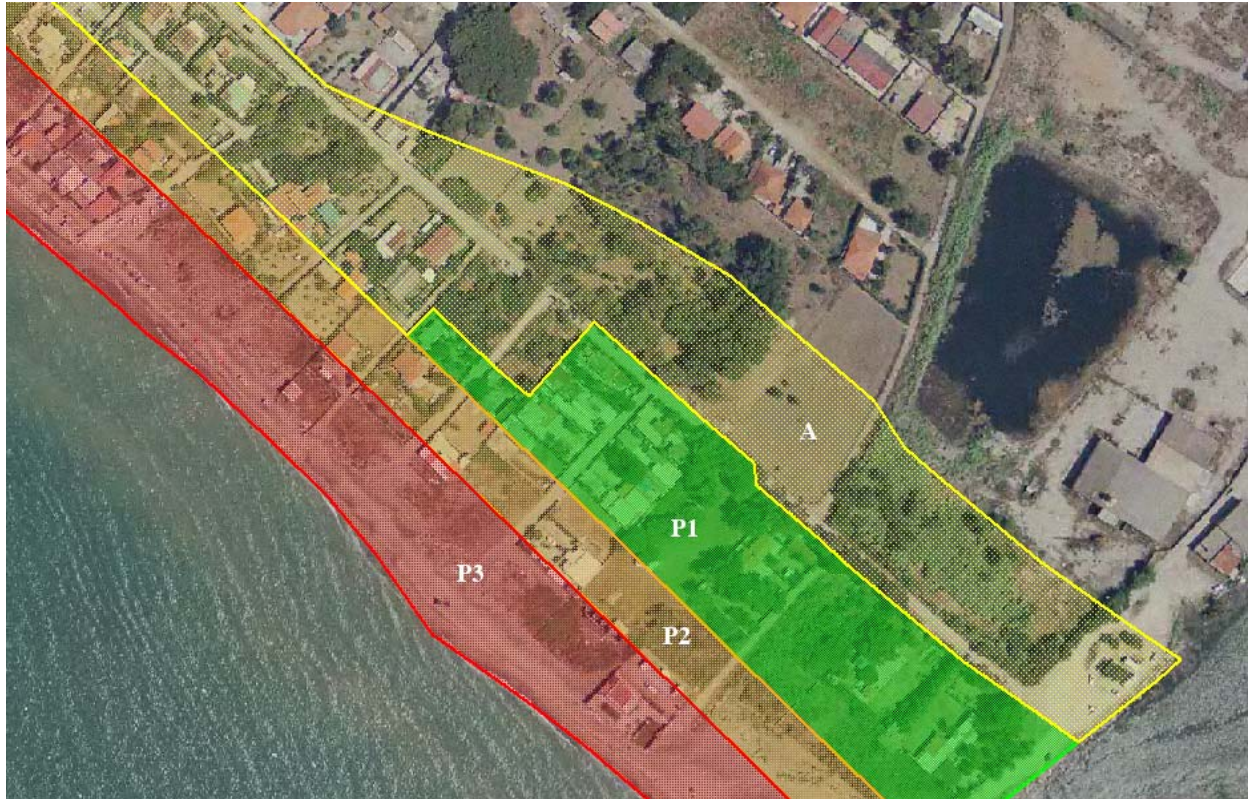


Figura 1: Stralcio della carta della pericolosità in prossimità di foce Garigliano nel Comune di Minturno

Nei paragrafi che seguono viene riportata la metodologia seguita per la modellazione dei fenomeni sopra indicati come F1, F2 ed F3.

### **1.1 Inondabilità del litorale per effetto della mareggiata centennale (F1)**

#### *1.1.1 Analisi degli eventi estremi sottocosta*

La pericolosità idraulica del tratto di costa in termini di inondabilità da fenomeni di mareggiata è stata valutata tenendo conto dei risultati dello “Studio del clima ondoso, del trasporto solido fluviale e costiero, dell’evoluzione delle foci e della linea di costa”, inerenti, in particolare, l’analisi degli eventi ondosi estremi sottocosta; tale analisi è stata effettuata con la metodologia di seguito sinteticamente illustrata.

A partire dai dati registrati alla boa ondometrica di Ponza per gli anni 1989-2007, è stato predisposto un modello di trasformazione dell’onda dal largo a sottocosta. Il modello in questione, **MIKE 21 SW**, è un modello bidimensionale con schema risolutivo ai volumi finiti in grado di simulare i principali fenomeni fisici collegati alla trasformazione dell’onda verso la costa quali la



# *Autorità di Bacino dei Fiumi Liri - Garigliano e Volturno*

rifrazione, lo shoaling, l'attrito con il fondo ed il frangimento. Ove necessario, il modello può tenere in considerazione anche fenomeni più complessi quali la diffrazione e la riflessione semplice.

Mediante l'utilizzo del modello è stato possibile ricostruire sottocosta l'intera serie temporale delle onde registrate a Ponza. Le serie temporali risultanti dal modello di trasformazione dell'onda in termini di altezza d'onda, direzione e periodo sottocosta sono state estratte in 5 punti, posti alla profondità di 30 m circa (Figura 2).

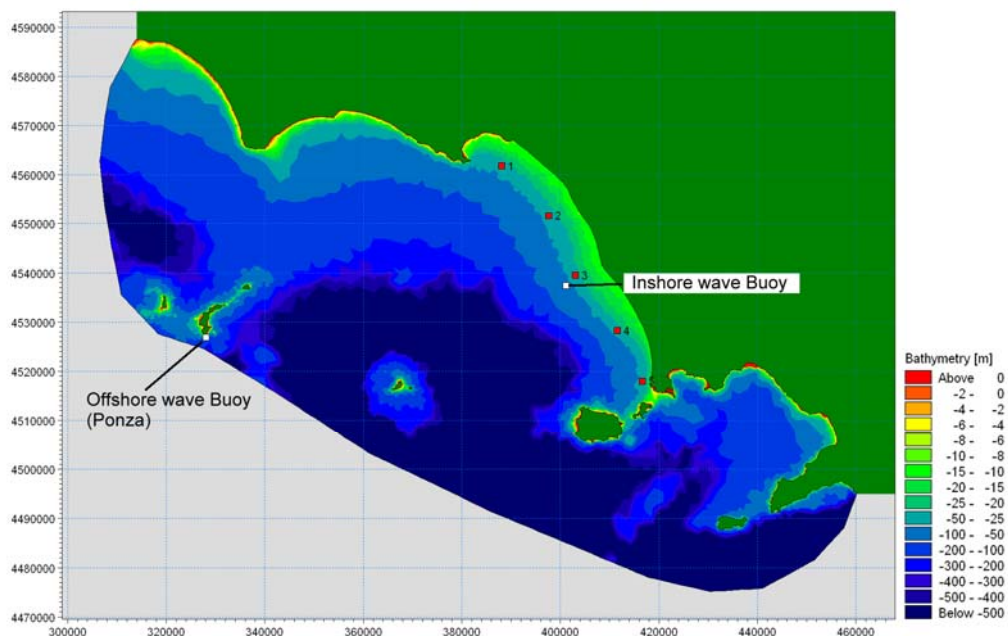


Figura 2: Rappresentazione del dominio di calcolo del modello di trasformazione dell'onda dal largo a sottocosta, del posizionamento delle boe di Ponza e Castelvolturmo (quadrati bianchi) e dei punti di estrazione del clima ondoso sottocosta (quadrati rossi).

L'intero tratto di costa è stato pertanto suddiviso in tratti considerati omogenei dal punto di vista del clima ondoso di riferimento (cfr. Figura 3).

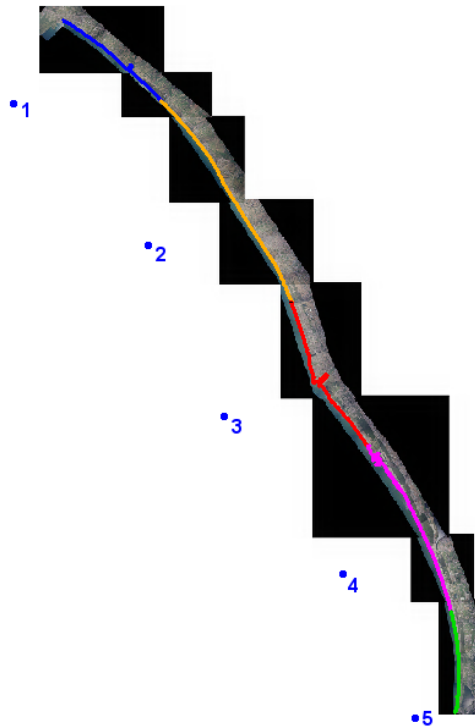




# *Autorità di Bacino*

## *dei Fiumi Liri - Garigliano e Volturno*

---



*Figura 3: Rappresentazione della suddivisione del litorale domitio in tratti considerati omogenei dal punto di vista del clima ondoso di riferimento*

Per i siti per quali è stato estratto il clima ondoso sottocosta è stata ripetuta la procedura, già descritta per la boa di Ponza, finalizzata alla stima degli eventi ondosi estremi. L'analisi, anche in questo caso, è stata condotta dapprima aggregando i singoli "record" di dati estratti nei 5 punti di interesse individuando gli "eventi di mareggiata". In seguito si è quindi proceduto all'applicazione del cosiddetto metodo POT (Peak Over Threshold) per estrarre dalla lunga lista degli eventi di mareggiata non un solo valore annuo in termini di altezza d'onda, direzione e periodo ma una serie di valori il cui numero è variabile di anno in anno a seconda del clima ondoso dell'anno specifico.

I valori di soglia adottati nell'analisi sono stati individuati in modo da ottenere un numero di eventi quanto più possibile simile per i 5 siti di estrazione e, nell'ambito di ciascun sito di estrazione, per le differenti direzioni di provenienza dell'onda considerate nell'analisi. Nel caso dei 5 siti sottocosta infatti, l'analisi degli eventi estremi "omnidirezionale" è stata estesa in modo da riuscire a differenziare la distribuzione di probabilità associata agli eventi estremi per i settori di provenienza più significativi. Tale analisi direzionale può risultare assai utile a supporto della progettazione di strutture costiere per le quali risulta importante non soltanto l'individuazione dell'altezza d'onda di progetto ma anche della direzione dell'onda secondo cui dimensionare il manufatto.

Una volta selezionate le mareggiate (identificate con l'altezza d'onda significativa massima registrata e la direzione di provenienza ad essa associata) che concorrono alla statistica degli eventi



# Autorità di Bacino dei Fiumi Liri - Garigliano e Volturno

estremi, la regolarizzazione statistica è stata effettuata utilizzando il modulo EVA - Extreme Values Analysis del DHI.

Nelle successive Figure 4, 5, 6, 7 e 8 per ciascun sito omogeneo, sono riportati in forma grafica e tabellare i risultati dell'analisi omnidirezionale, utilizzati per lo studio dell'inodabilità in oggetto.

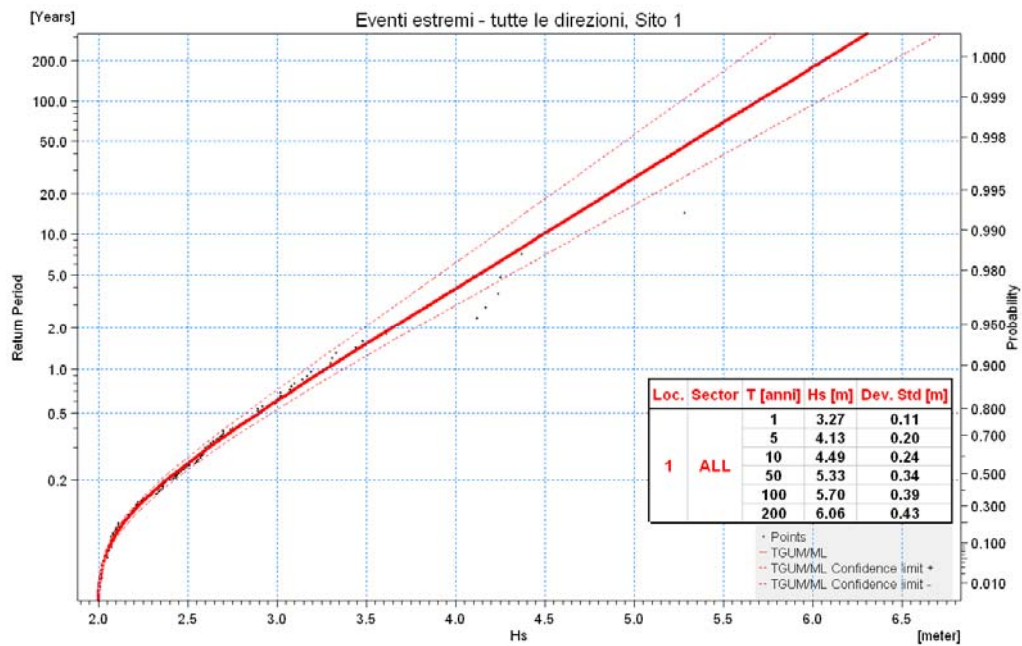


Figura 4: Analisi degli eventi estremi per il sito 1 - Omnidirezionale.



# Autorità di Bacino dei Fiumi Liri - Garigliano e Volturno

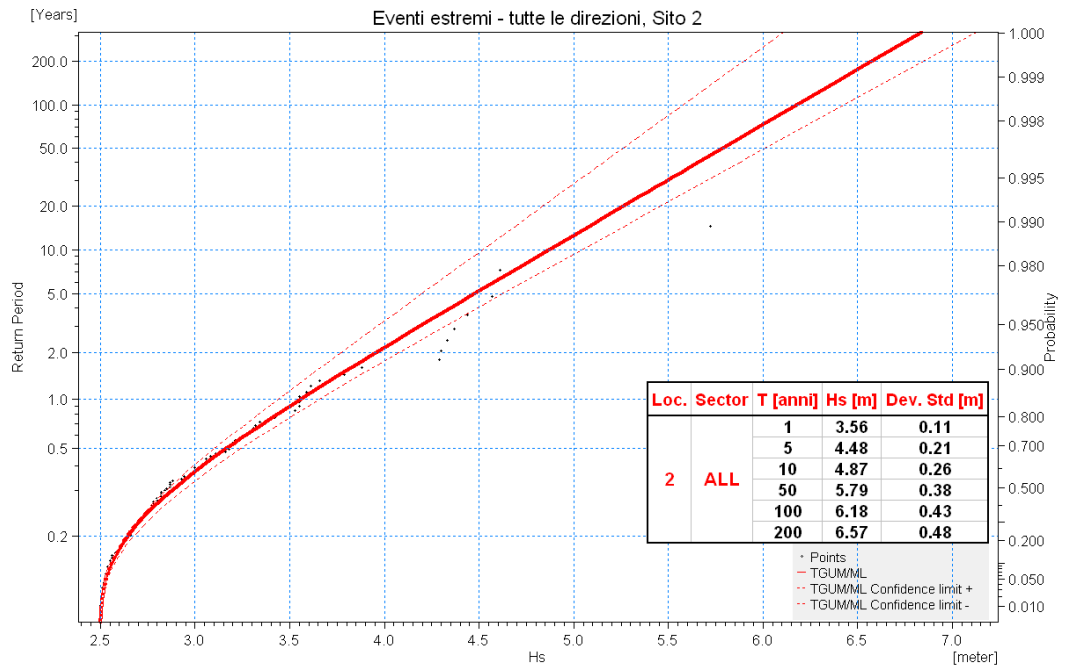


Figura 5: Analisi degli eventi estremi per il sito 2 - Omnidirezionale.

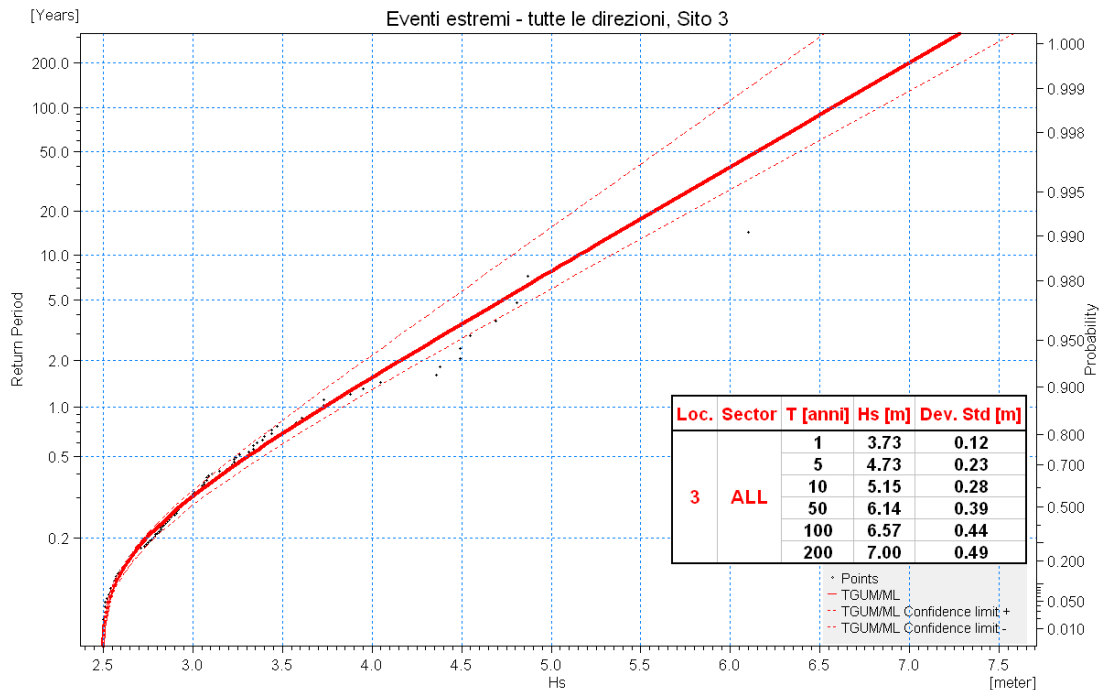


Figura 6: Analisi degli eventi estremi per il sito 3 - Omnidirezionale.



# Autorità di Bacino dei Fiumi Liri - Garigliano e Volturno

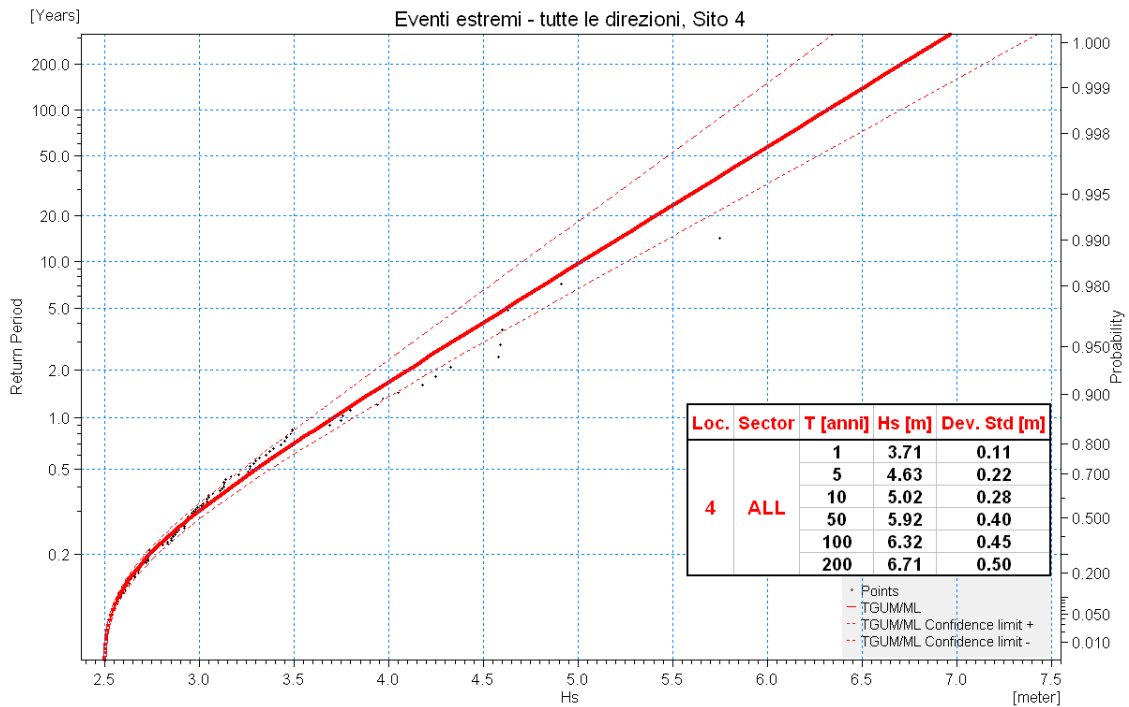


Figura 7: Analisi degli eventi estremi per il sito 4 - Omnidirezionale.

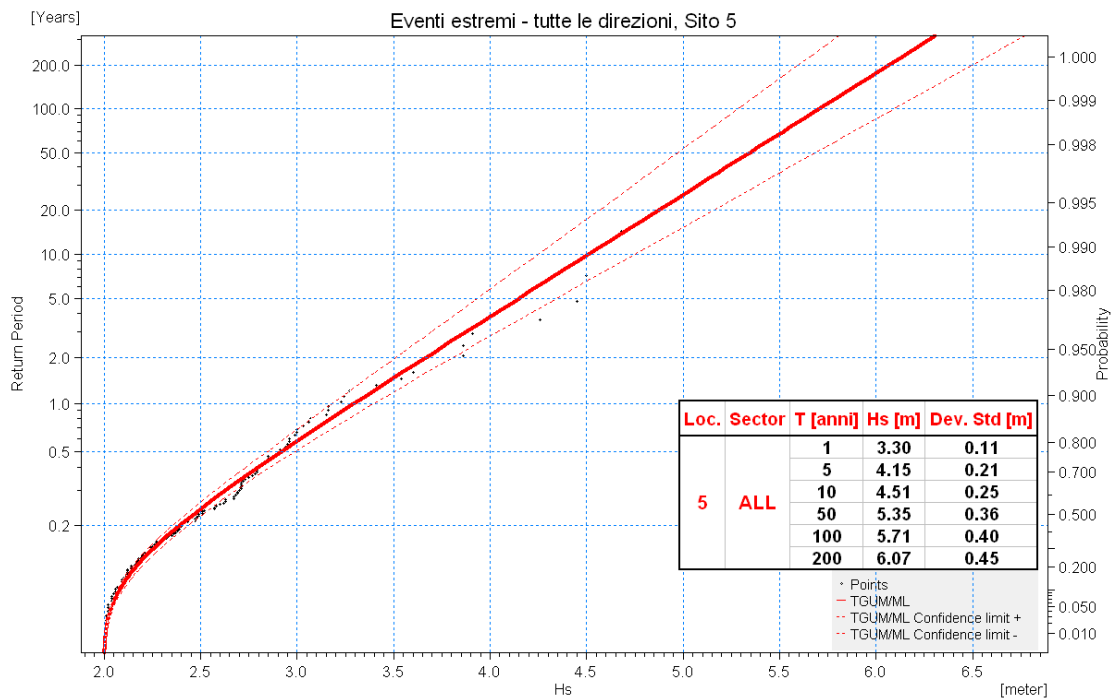


Figura 8: Analisi degli eventi estremi per il sito 5 - Omnidirezionale.



# *Autorità di Bacino*

## *dei Fiumi Liri - Garigliano e Volturno*

---

### 1.1.2 Valutazione dell'inondabilità costiera

Le componenti del livello marino che entrano in gioco per la valutazione dell'inondabilità costiera sono generalmente riconducibili alle seguenti:

- marea astronomica;
- wave set-up;
- wave run-up.

La componente dovuta alla marea astronomica, che per il litorale domitio presenta una ampiezza massima nell'ordine dei 30 cm, non è stata considerata significativa nella valutazione dei livelli estremi della superficie marina. Molto più significativi per il raggiungimento di livelli estremi lungo il litorale domitio risultano il cosiddetto wave setup ed il wave run-up, il cui calcolo è affidato all'applicazione di modelli numerici complessi o, in alternativa, all'utilizzo di formule reperibili in letteratura. L'applicazione di tali formule, che generalmente forniscono i valori di wave setup e wave run-up a partire dalle condizioni di altezza e lunghezza d'onda al largo e dal valore di pendenza locale della spiaggia, porta frequentemente a risultati anche molto diversi in funzione di quale formulazione venga prescelta. Nell'ambito del presente studio si è pertanto scelto di utilizzare due diverse formulazioni per la valutazione sia del wave setup, sia del wave run-up.

La prima formulazione presa in considerazione per la valutazione dei livelli di wave set-up e di wave run-up fa riferimento al recente documento redatto dai tecnici del FEMA (Federal Emergency Management Agency) “*Guidelines and Specifications for Flood Hazard Mapping Partners [January 2005]*” e diffusamente utilizzato dal DHI Water-Environment-Health anche nel caso di studi costieri in Europa.

Nell'ambito di tale studio vengono fornite indicazioni sul calcolo del massimo wave setup associato a ciascuna onda, che viene espresso in funzione dell'altezza d'onda al frangimento  $H_b$  secondo la seguente espressione

$$\eta_{\max} = 0.232 \cdot H_b$$

Considerando cautelativamente l'altezza d'onda al frangimento  $H_b$  pari a 1.2 volte l'altezza d'onda  $H_0$  ricavata dal modello alla profondità di 30 metri per i 5 siti considerati, è stato possibile calcolare il wave setup associato a ciascuna onda presente nella serie temporale di onde trasferite da Ponza al largo del litorale domitio.

Il calcolo del wave runup  $R_{2\%}$  (ovvero il livello di runup superato dal solo 2% delle onde incidenti, valore considerato sufficientemente cautelativo per lo scopo prefissato) è invece stato effettuato utilizzando la seguente formula suggerita nel documento FEMA sopra citato:



# *Autorità di Bacino*

## *dei Fiumi Liri - Garigliano e Volturno*

---

$$R_{2\%} = 0.6 \cdot \frac{m}{\sqrt{\frac{H_0}{L_0}}} \cdot H_0$$

dove:

- $m$  pendenza della spiaggia (qui considerata come la pendenza del profilo compreso tra le isolinee “-2” e “+2”);
- $H_0$  Altezza d’onda al largo (qui considerata come l’altezza d’onda alla profondità di -30m);
- $L_0$  Lunghezza d’onda al largo, calcolata come  $L_0 = \frac{g}{2\pi} \cdot T^2$  dove T è il periodo di picco dell’onda ricavato dai risultati del modello MIKE 21 SW.

La dipendenza del runup dalla pendenza della spiaggia ha reso necessaria un’ulteriore suddivisione dei tratti di litorale in 16 sottozone a pendenza costante, illustrate in figura 9. La pendenza, calcolata sulla distanza che intercorre tra la isolinea -2 e la isolinea +2, è risultata generalmente compresa tra un minimo di 1:40 ed un massimo di 1:20.

Successivamente, si è proceduto ad applicare una formulazione diversa da quella prima descritta sia per il calcolo del wave setup, sia per il calcolo del wave runup. In particolare, il valore della sopraelevazione del livello del medio mare in prossimità della linea di costa dovuta al frangimento (setup) è stato calcolato mediante la seguente relazione di Longuet-Higgins:

$$S_{up} = 0.19H_s - 0.54 \frac{H_s^{3/2}}{g^{1/2}T_s}$$

dove:

- $S_{up}$  = set-up;
- $H_s$  = altezza d’onda significativa incidente;
- $T_s$  = periodo d’onda significativo;
- $g$  = accelerazione di gravità

Il nuovo calcolo del wave runup è stato invece basato su una formulazione empirica (formula di Hunt) che, a partire dai valori noti della pendenza media della spiaggia, dell’altezza d’onda significativa incidente e della lunghezza d’onda di largo, consente di determinare il valore del runup, R, rispetto al livello medio mare:

$$R = H_s \frac{tg\beta}{(H_s / L_0)^{1/2}}$$



# *Autorità di Bacino*

## *dei Fiumi Liri - Garigliano e Volturno*

---

dove:

$H_s$  = altezza d'onda significativa incidente;

$tg \beta$  = pendenza media della spiaggia;

$L_0$  = lunghezza d'onda di largo

Il wave setup ed il wave runup calcolati secondo i due metodi sopra riportati sono stati successivamente sommati per ciascun "record" di onde presenti nella serie temporale.

Ad ogni record di onda sono stati pertanto associati due possibili valori di innalzamento complessivo, derivanti dall'applicazione delle due differenti metodologie. Cautelativamente, a ciascun record di onda è stato attribuito il valore di innalzamento complessivo massimo ottenuto dall'applicazione dei due metodi sopra descritti.

Costruita così la serie storica di innalzamento complessivo della superficie marina associata a ciascun record di onda, è stato possibile, per ognuna delle diverse classi di pendenza della spiaggia presenti, effettuare un'analisi statistica degli eventi estremi utilizzando il metodo dei picchi sopra soglia. La soglia di livello è stata imposta variabile da sito a sito ed anche in funzione della pendenza della spiaggia in modo da avere un numero totale di "eventi sopra soglia" paragonabile per tutti i tratti di litorale esaminati.



# Autorità di Bacino

## dei Fiumi Liri - Garigliano e Volturno

---

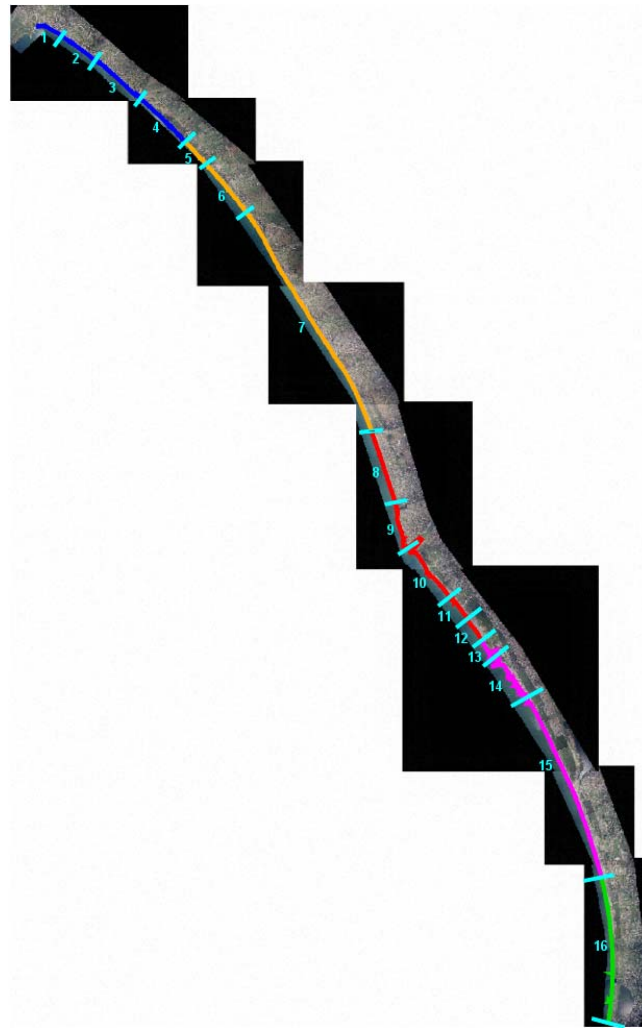


Figura 9: Rappresentazione della suddivisione del litorale domitio in classi a pendenza costante. I colori mediante i quali è rappresentata la linea di costa fanno riferimento alla suddivisione del litorale in tratti caratterizzati da clima onduoso omogeneo.

Di seguito (figg. 10-25) viene riportata, per ciascuno dei 16 tratti a pendenza costante secondo i quali è stato suddiviso il litorale, la sintesi dei risultati dell'analisi degli eventi estremi sia in forma grafica, con la rappresentazione della curva probabilistica ottenuta (è sempre stata utilizzata la funzione *Truncated Gumbel*), sia in forma tabellare, con l'indicazione del valore di innalzamento complessivo per una serie di tempi di ritorno prescelti.





# Autorità di Bacino dei Fiumi Liri - Garigliano e Volturno

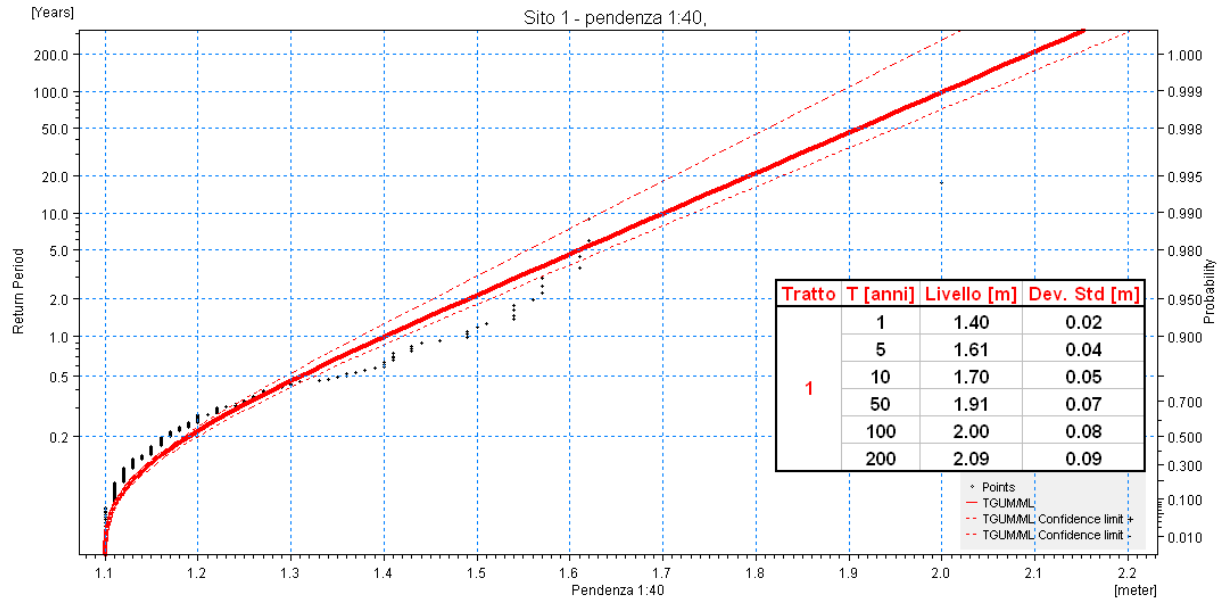


Figura 10: Analisi degli eventi estremi - sito 1, tratto 1, pendenza 1:40.

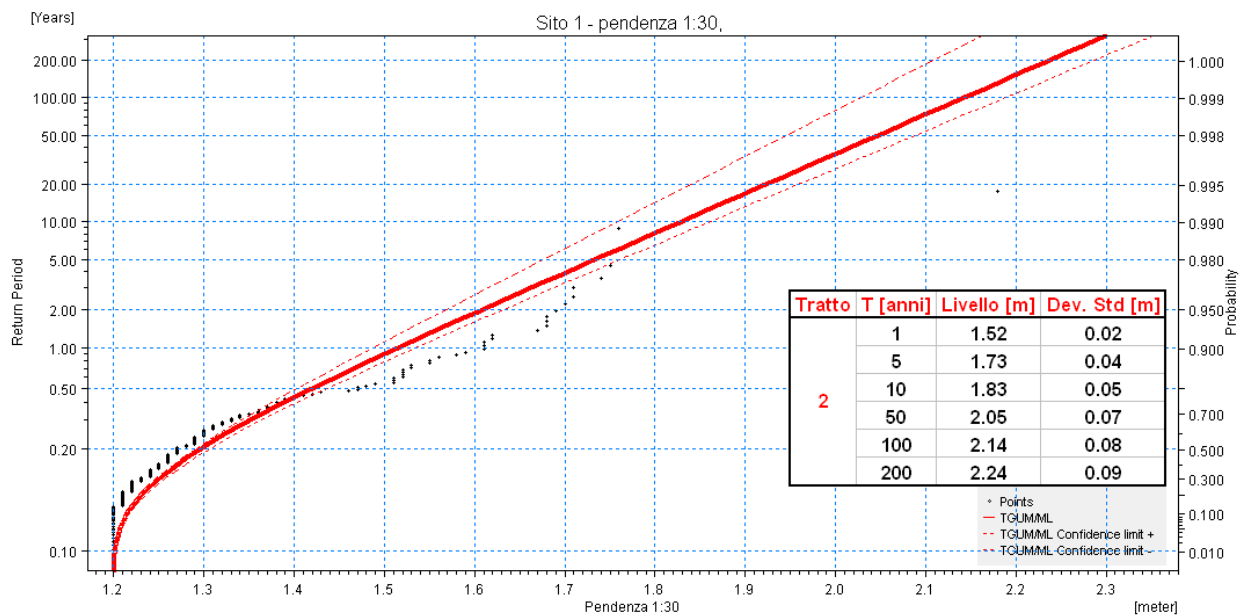


Figura 11: Analisi degli eventi estremi - sito 1, tratto 2, pendenza 1:30.



# Autorità di Bacino dei Fiumi Liri - Garigliano e Volturno

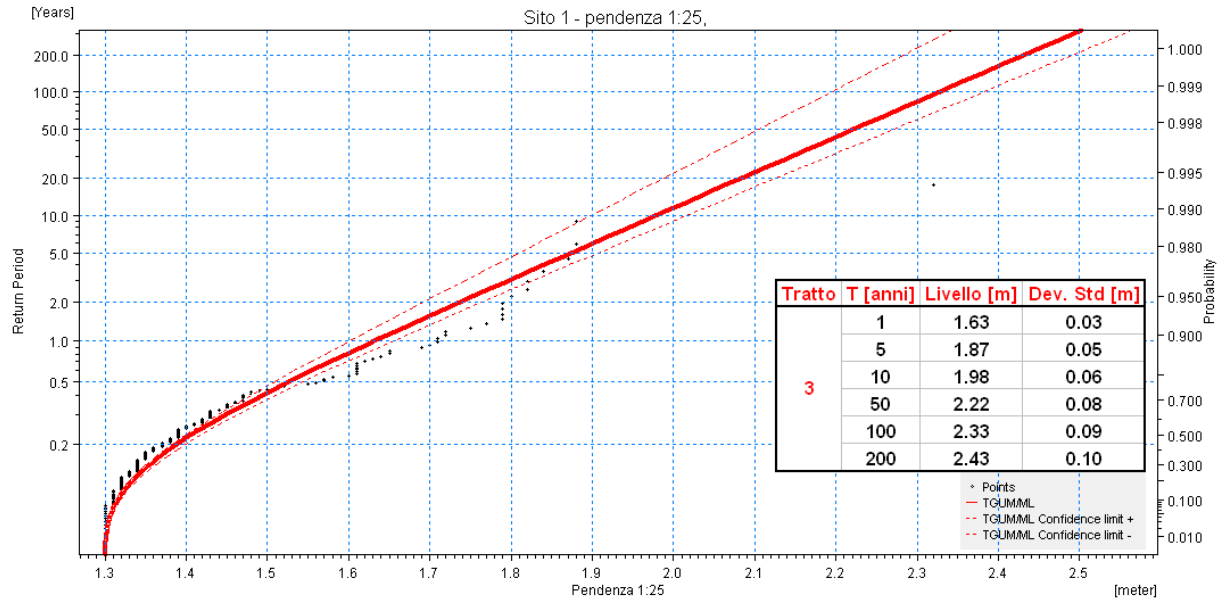


Figura 12: Analisi degli eventi estremi - sito 1, tratto 3, pendenza 1:25

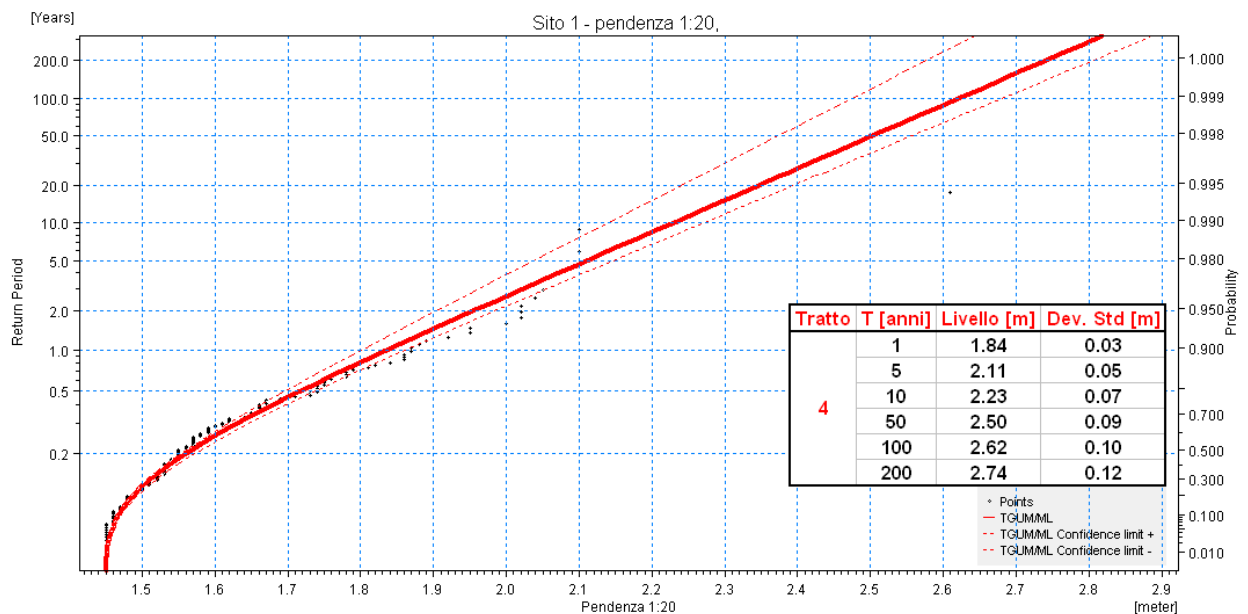


Figura 13: Analisi degli eventi estremi - sito 1, tratto 4, pendenza 1:20.



# Autorità di Bacino dei Fiumi Liri - Garigliano e Volturno

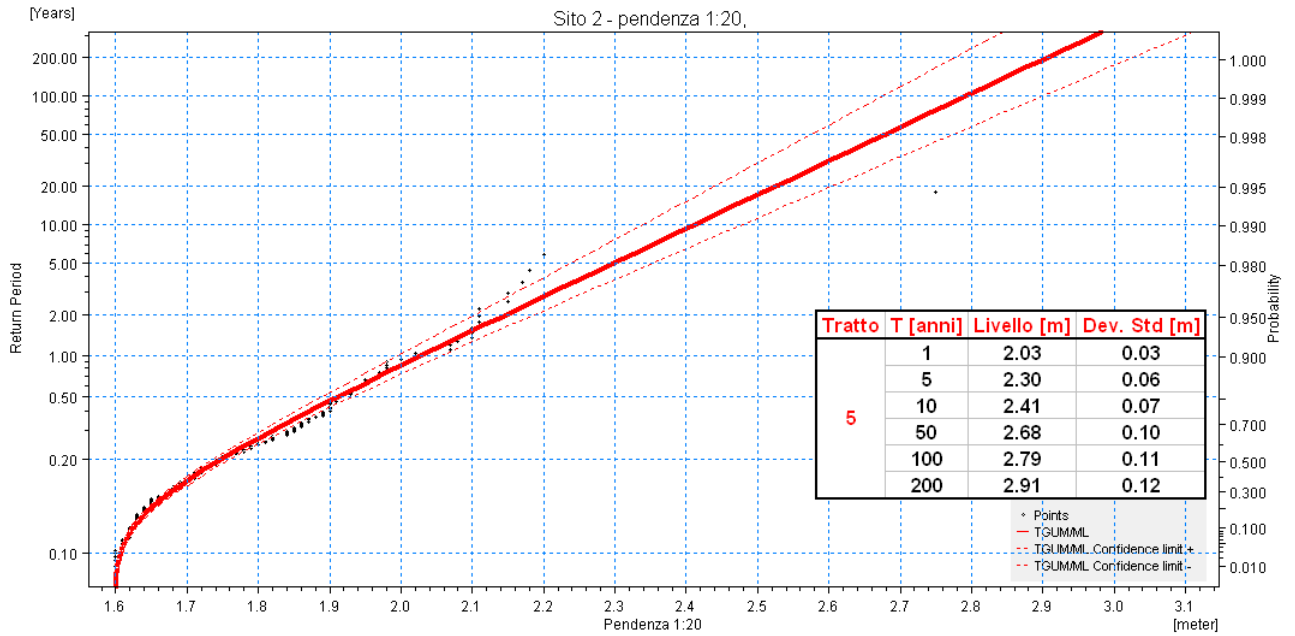


Figura 14: Analisi degli eventi estremi - sito 2, tratto 5, pendenza 1:20.

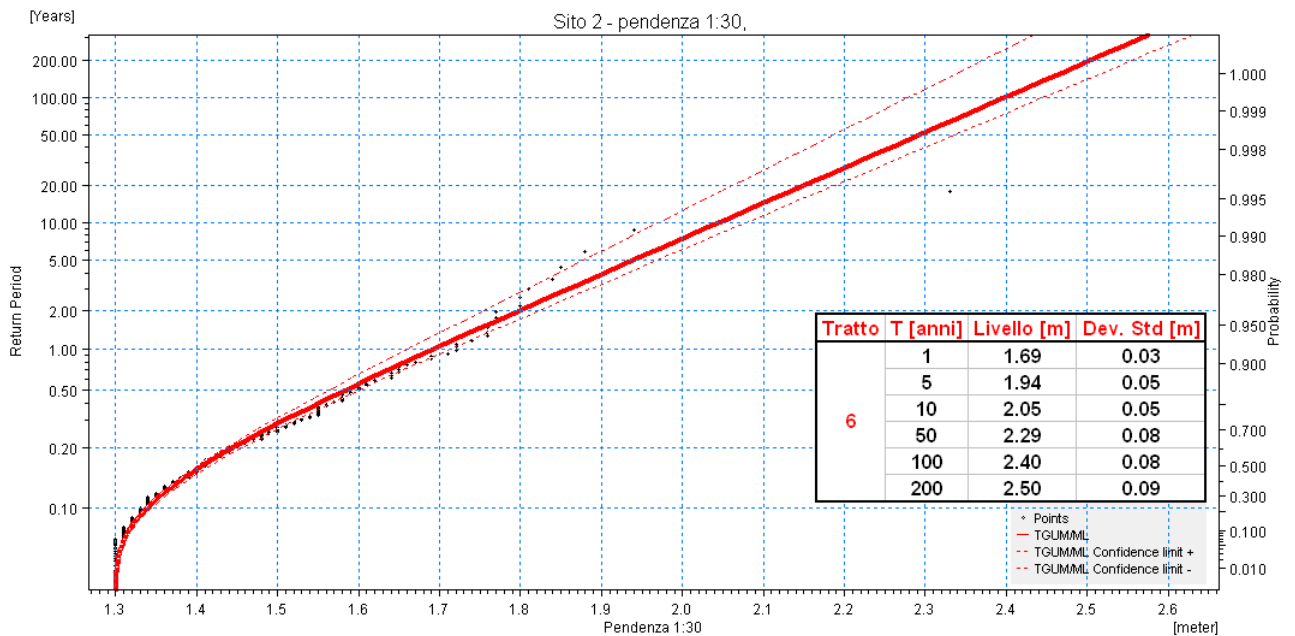


Figura 15: - Analisi degli eventi estremi - sito 2, tratto 6, pendenza 1:30.



# Autorità di Bacino dei Fiumi Liri - Garigliano e Volturno

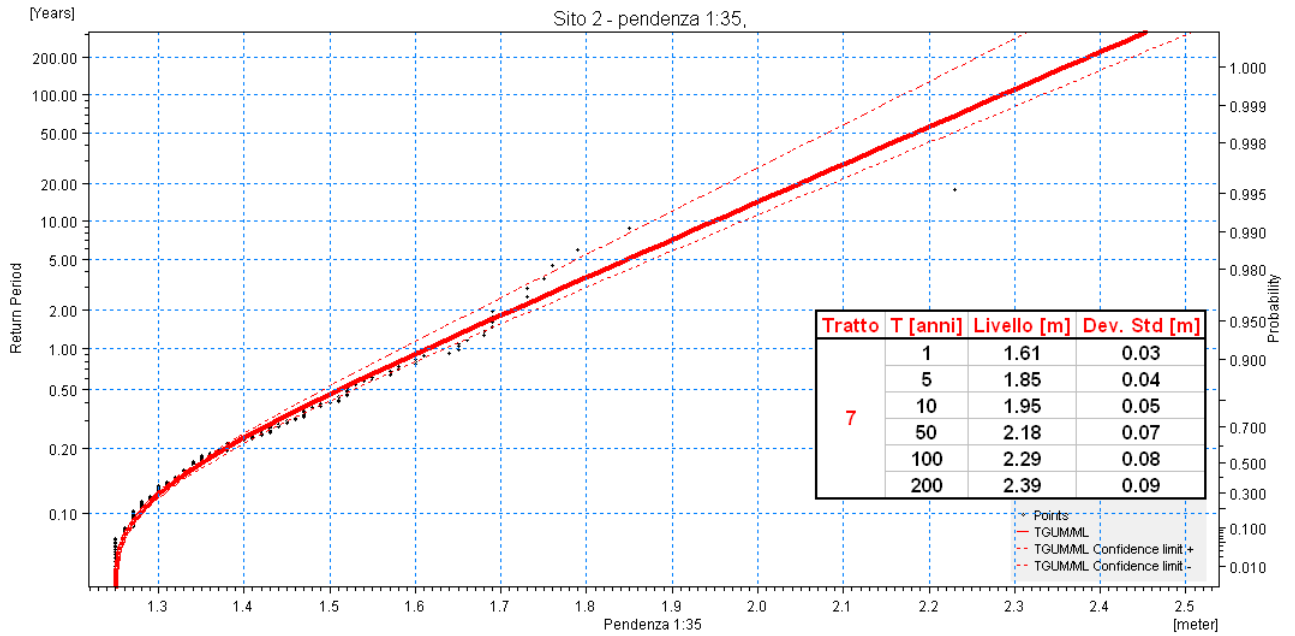


Figura 16: Analisi degli eventi estremi - sito 2, tratto 7, pendenza 1:35.

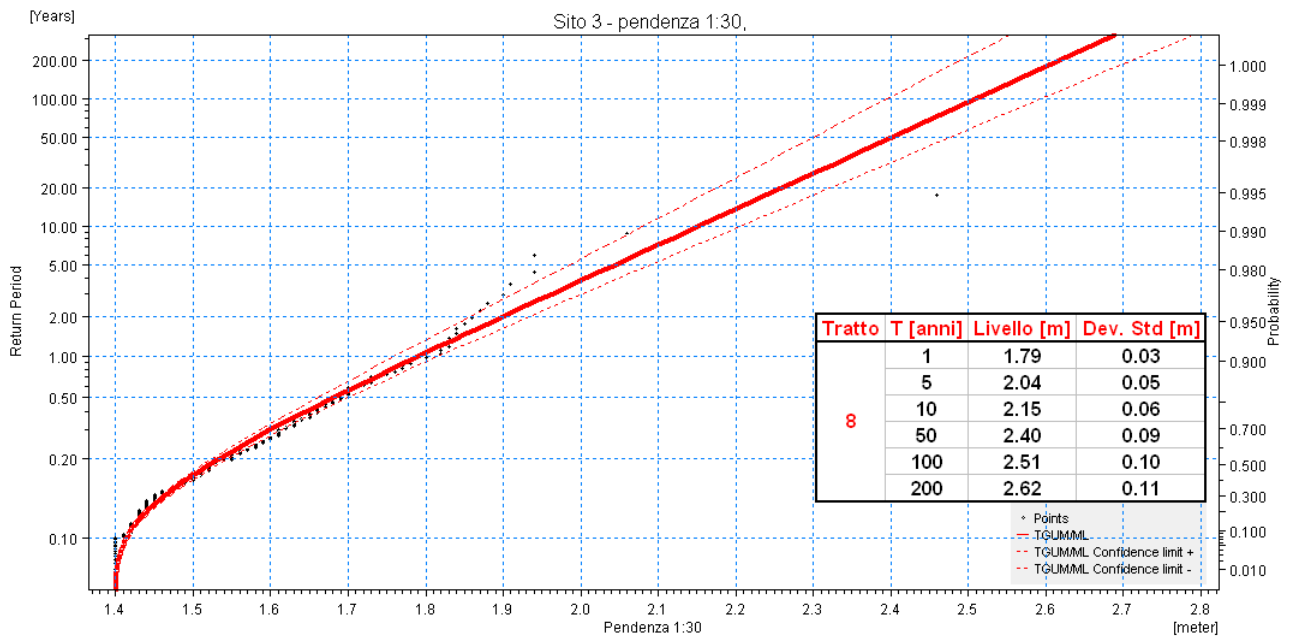


Figura 17: Analisi degli eventi estremi - sito 3, tratto 8, pendenza 1:30.



# Autorità di Bacino dei Fiumi Liri - Garigliano e Volturno

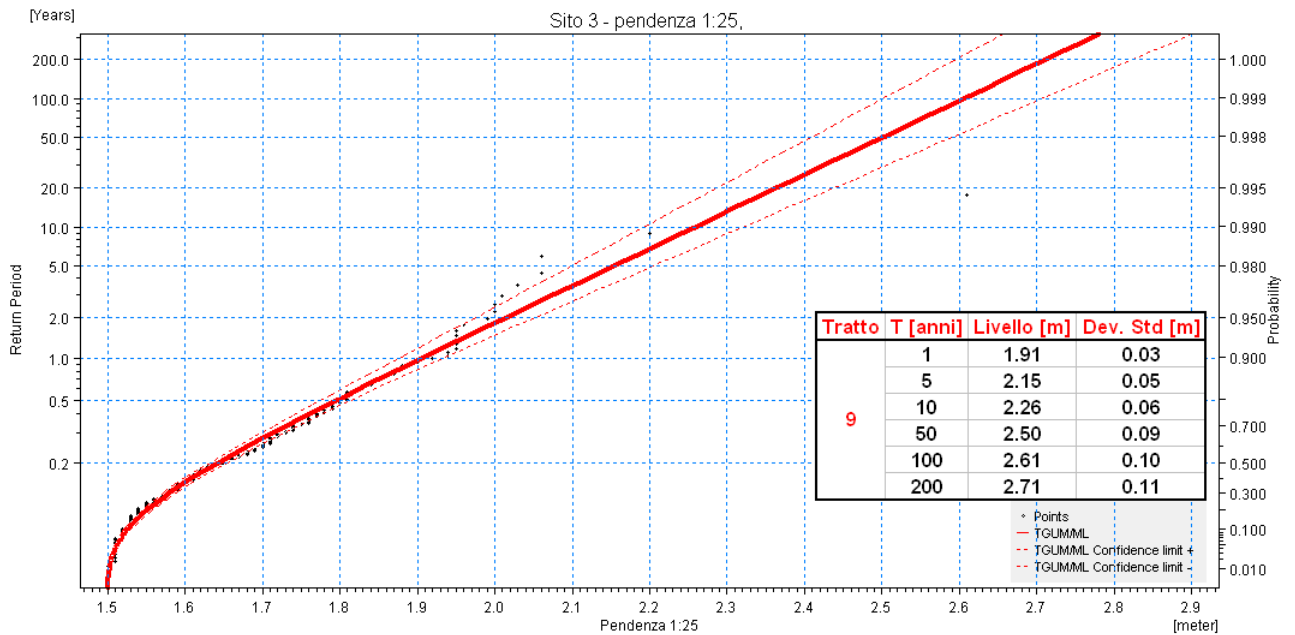


Figura 18: Analisi degli eventi estremi - sito 3, tratto 9, pendenza 1:25.

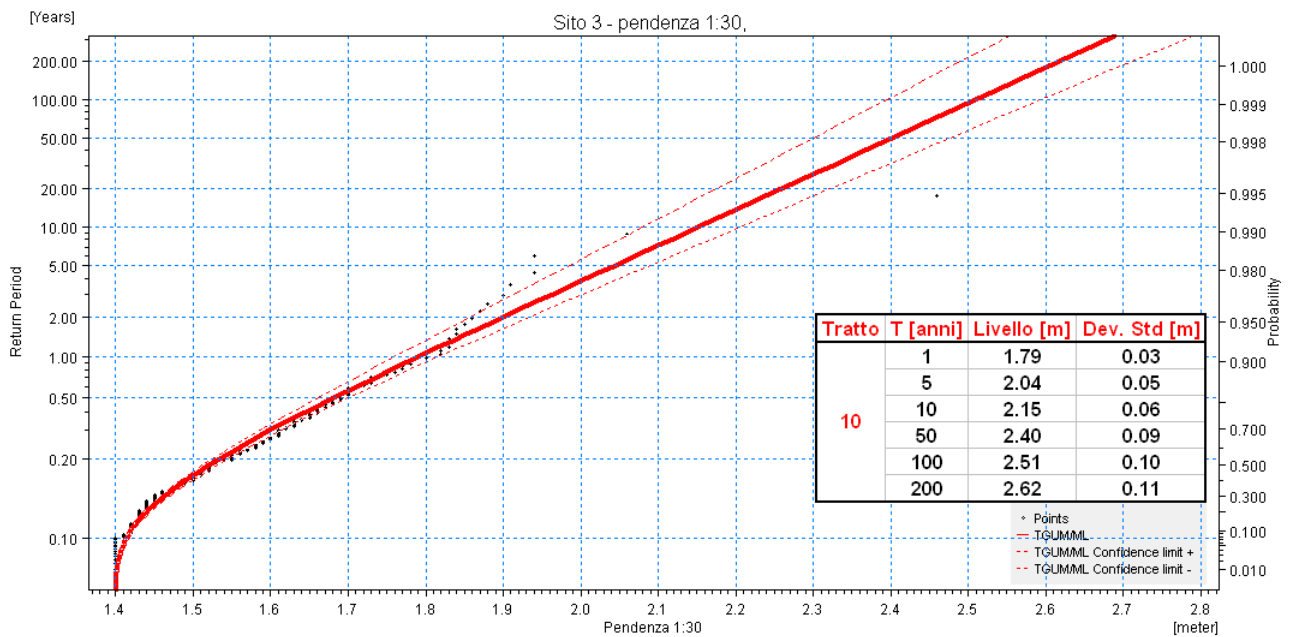


Figura 19: Analisi degli eventi estremi - sito 3, tratto 10, pendenza 1:30.



# Autorità di Bacino dei Fiumi Liri - Garigliano e Volturno

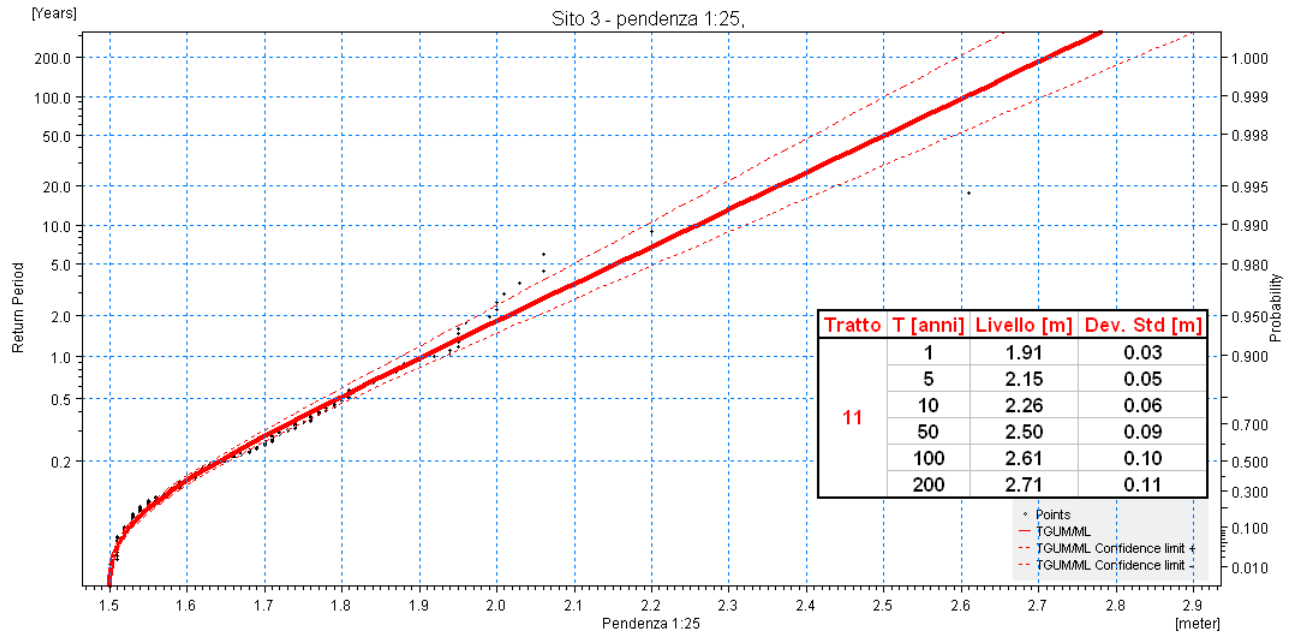


Figura 20: Analisi degli eventi estremi - sito 3, tratto 11, pendenza 1:25.

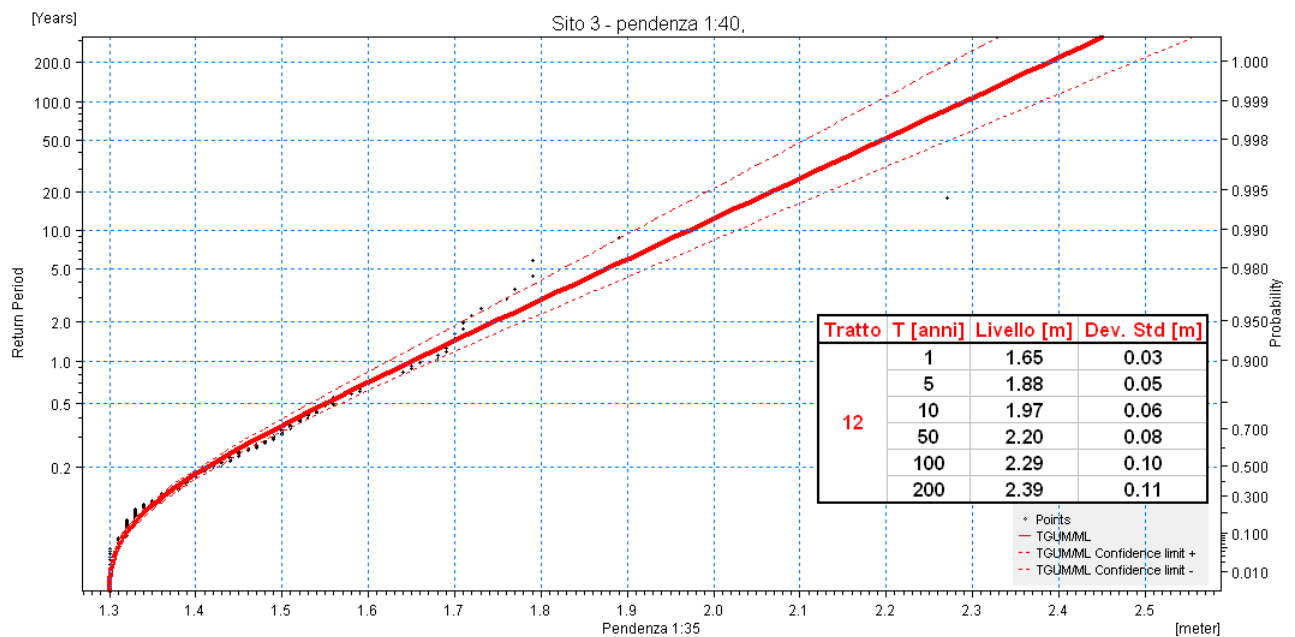


Figura 21: Analisi degli eventi estremi - sito 3, tratto 12, pendenza 1:40.



# Autorità di Bacino dei Fiumi Liri - Garigliano e Volturno

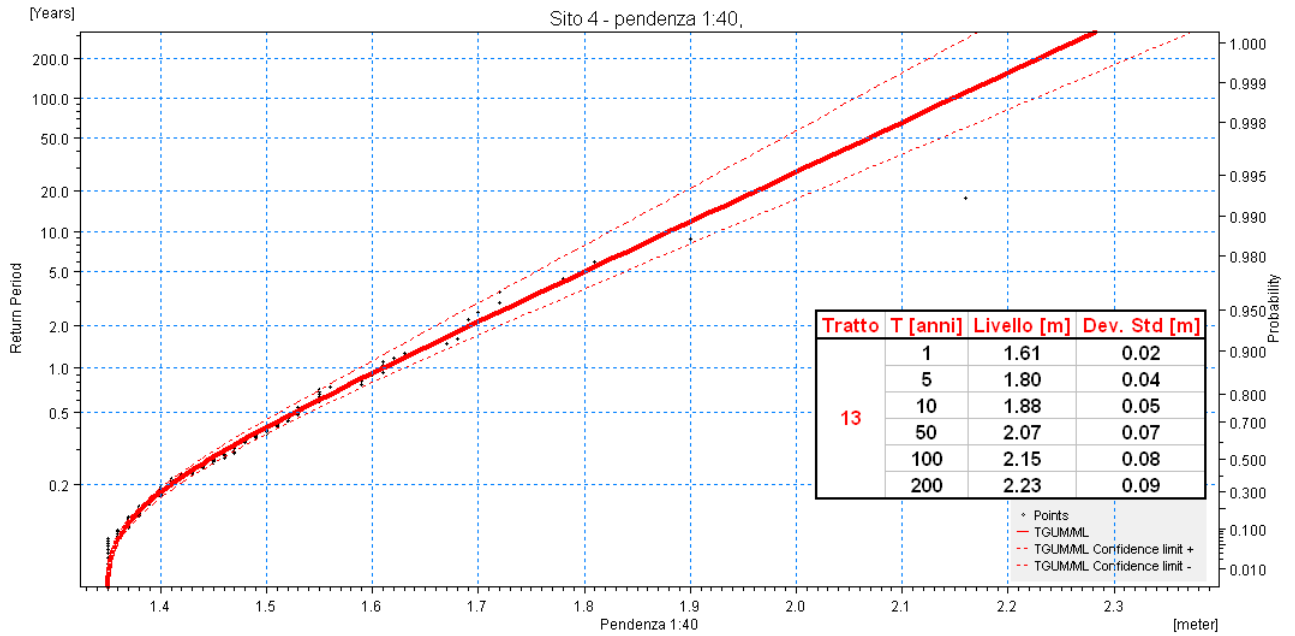


Figura 22: Analisi degli eventi estremi - sito 4, tratto 13, pendenza 1:40.

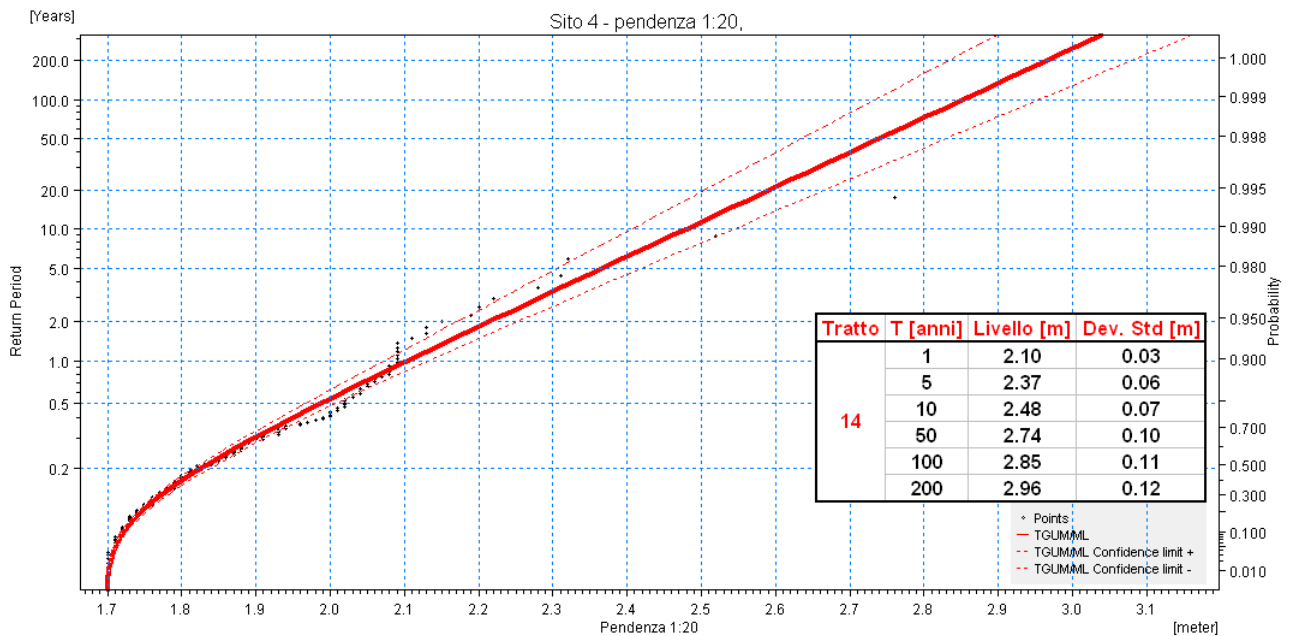


Figura 23: Analisi degli eventi estremi - sito 4, tratto 14, pendenza 1:20.



# Autorità di Bacino dei Fiumi Liri - Garigliano e Volturno

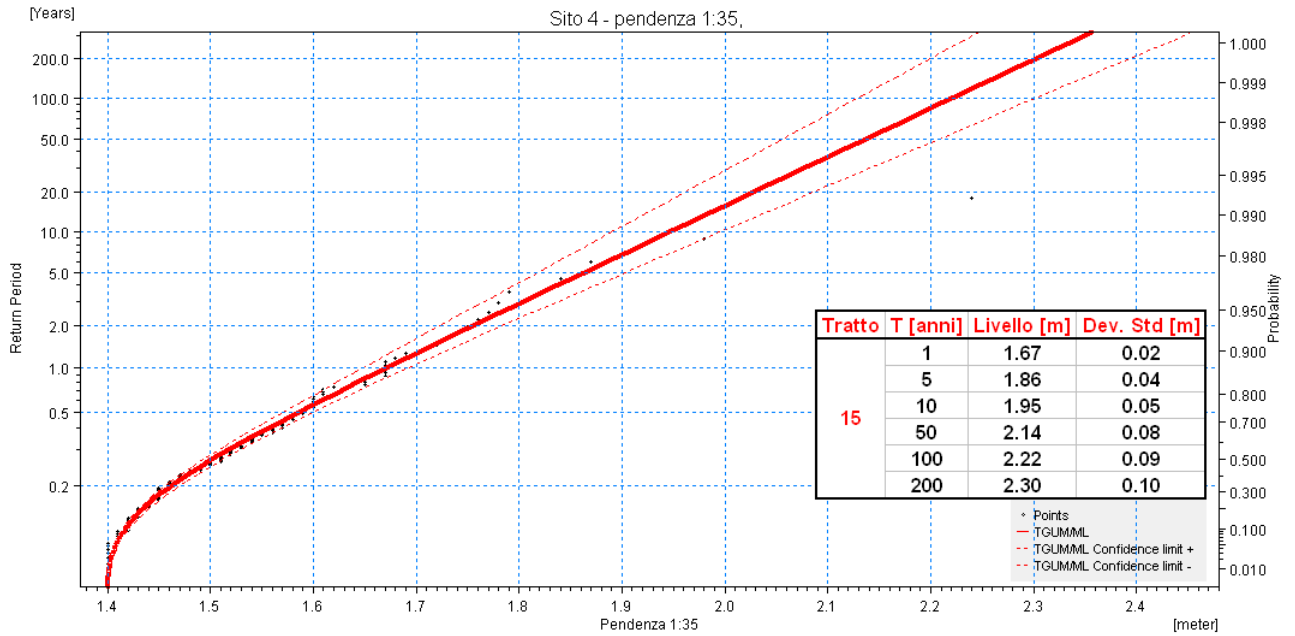


Figura 24: Analisi degli eventi estremi - sito 4, tratto 15, pendenza 1:35.

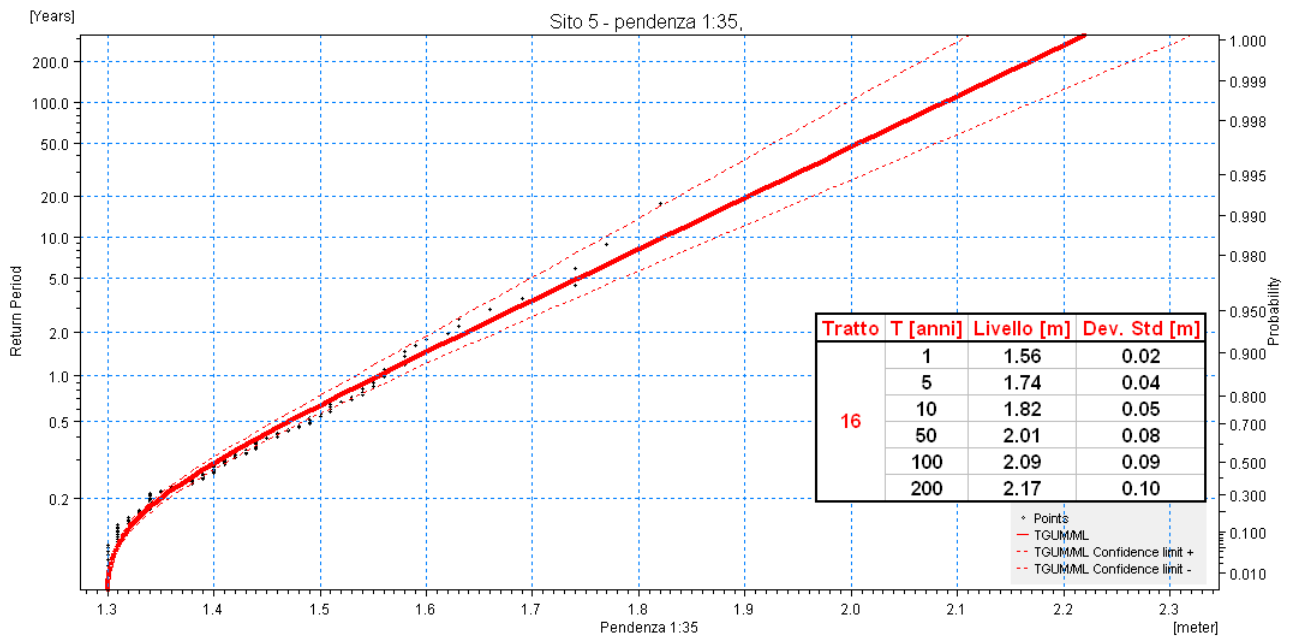


Figura 25: Analisi degli eventi estremi - sito 5, tratto 15, pendenza 1:35.





# *Autorità di Bacino*

## *dei Fiumi Liri - Garigliano e Volturno*

---

Sulla base dei risultati sopra esposti è stato possibile procedere alla mappatura delle aree inondate da wave setup e wave runup in funzione del tempo di ritorno scelto. In apposita cartografia sono indicate le aree inondate da mareggiate con periodo di ritorno  $T=100$  anni.

In Figura 26 viene riportata, a titolo di esempio, la mappatura dell'area inondata con tempo di ritorno  $T=100$  anni per un tratto di litorale Domitio.



*Figura 26: Rappresentazione dell'area inondabile dalla combinazione di wave setup e di wave runup per tempo di ritorno  $T=100$  anni.*

### **1.2 Evoluzione della linea di riva a 20 anni**

La pericolosità idraulica del tratto di costa in termini di erosione a lungo termine è stata anche essa valutata nell'ambito dell'attività "Studio del clima ondoso, del trasporto solido fluviale e costiero, dell'evoluzione delle foci e della linea di costa". Si riporta pertanto di seguito, in via sintetica, la procedura e le considerazioni già descritte nell'ambito dell'elaborato sopra citato.

Al fine di simulare l'evoluzione planimetrica a scala pluriennale della linea di riva, è stato implementato su tutto il tratto di litorale Domitio oggetto di studio il modello del tipo "ad una linea" **LITLINE**, modulo del pacchetto LITPACK del DHI. Tale modello permette di tenere in conto gli apporti solidi fluviali e risulta particolarmente affidabile nella valutazione dell'evoluzione



# *Autorità di Bacino*

## *dei Fiumi Liri - Garigliano e Volturno*

---

planimetrica di tratti di litorale in cui siano presenti strutture quali pennelli trasversali e/o barriere distaccate, emerse o sommerse. Il modulo LITLINE è in grado di aggiornare ad ogni step di calcolo la configurazione della linea di costa, permettendo la corretta riproduzione della variazione del trasporto solido con il tempo, dovuta alla diversa curvatura della linea di spiaggia. In LITLINE, il calcolo in prossimità delle strutture viene effettuato in modo da tenere conto degli effetti di diffrazione del moto ondoso determinati dalle strutture stesse. L'effetto di by-pass locale delle correnti litoranee (intorno alle strutture costiere) presenta caratteristiche prettamente bi-dimensionali.

La calibrazione del modello è stata effettuata simulando l'evoluzione planimetrica progressiva del litorale, sulla base delle effettive variazioni assunte dalla linea di costa negli anni. In particolare, è stata utilizzata come riferimento l'analisi della variazione della posizione della linea di riva nel periodo 1997-2007. Tale periodo è stato considerato il più affidabile e come tale scelto per la procedura di calibrazione del modello in quanto le linee di riva derivano da rilievi e non dall'interpretazione delle immagini satellitari, il cui grado di accuratezza è affetto dalla limitata risoluzione delle immagini di partenza.

Per comodità di consultazione, si riporta in Figura 27 il grafico relativo all'evoluzione della linea di riva derivante dal confronto dei rilievi 1997 - 2007, usato come riferimento per la procedura di calibrazione del modello.



Figura 27: Variazioni osservate della linea di riva in metri annui 1975-1990 e 1997-2007



# Autorità di Bacino dei Fiumi Liri - Garigliano e Volturno

Il clima ondoso di riferimento al modello è stato considerato variabile lungo il tratto di costa in funzione dei risultati del modello di trasformazione del moto ondoso dal largo a sottocosta e delle relative estrazioni locali nei 5 punti illustrati in figura 28.

Il clima ondoso al quale sono soggetti i tratti di costa compresi tra i punti illustrati in Figura 28 è rappresentato dall'interpolazione lineare dei valori di altezza d'onda, periodo e direzione di provenienza per ciascuno degli eventi facenti parte del set di dati utilizzato dal modello.

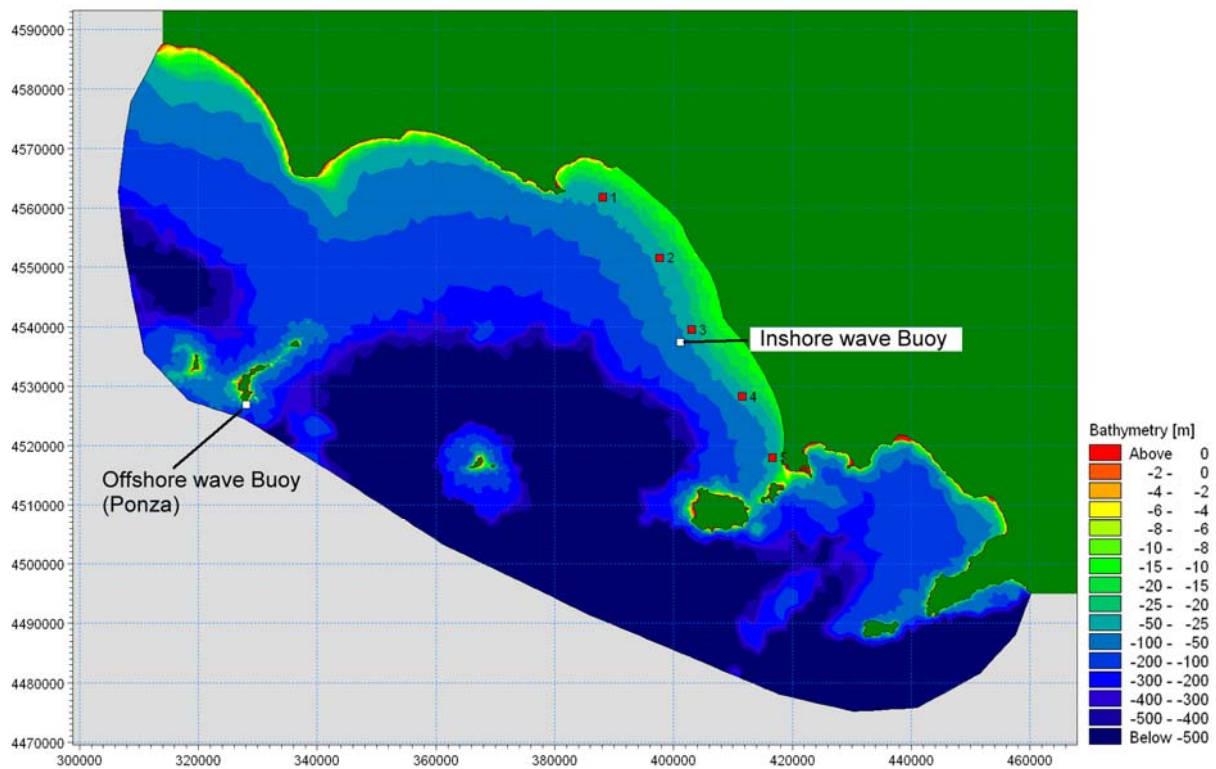


Figura 28: Rappresentazione dei punti di estrazione del clima ondoso sottocosta (quadrati rossi) utilizzati in input al modello LITLINE.

La granulometria dei sedimenti è stata ricavata sulla base dei risultati ottenuti dalla campagna specifica effettuata nell'ambito del presente lavoro. Le caratteristiche dei sedimenti, in termini di granulometria media  $d_{50}$  ed in termini di rapporto  $\sqrt{\frac{d_{84}}{d_{16}}}$ , il cosiddetto "sediment grading", rappresentativo della variabilità della curva granulometrica, sono state introdotte su ciascun profilo trasversale utilizzato nell'analisi modellistica, interpolando spazialmente i valori in assenza di informazioni fornite dalla campagna di analisi sedimentologica.



# *Autorità di Bacino*

## *dei Fiumi Liri - Garigliano e Volturno*

Nella Figura 29 è rappresentato un esempio di set-up di LITPACK per la situazione esistente. La linea marrone rappresenta la cosiddetta “baseline”. Il posizionamento della linea di costa in LITPACK è calcolato come distanza da questa “baseline”. L’orientazione della baseline è stata scelta in modo da garantire che l’angolo formato tra la linea di costa e la baseline stessa risulti prevalentemente inferiore ai 30°, condizione che, se non soddisfatta, avrebbe determinato la necessità di dividere il modello del litorale Domitio in due o più sotto-modelli. L’origine della baseline, in coordinate UTM 33 - ED50, è posizionata a (424449.4, 4521513.9).

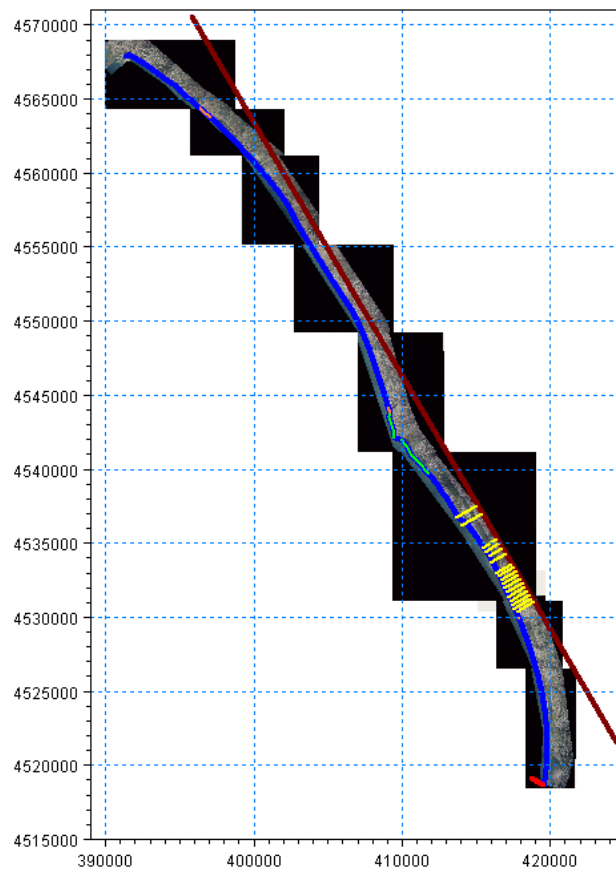


Figura 29: Esempio di set-up del modello LITLINE per il litorale Domitio.

Il modello di evoluzione della linea di riva ventennale, opportunamente calibrato sulla evoluzione storica recente (ultimi 10 anni) ha evidenziato lungo il litorale Domitio un alternarsi di tratti di costa tendenzialmente stabili, di tratti di costa in moderato accrescimento e di altri tratti in erosione, anche consistente.

A partire da Nord, si osserva nel comune di Minturno una tendenza alla stabilità nel tratto di costa oggetto del recente ripascimento, a nord del promontorio di Monte d’Argento, stabilità garantita dalla presenza dei pennelli trasversali posti a protezione dell’intervento di ripascimento stesso,



# *Autorità di Bacino*

## *dei Fiumi Liri - Garigliano e Volturno*

---

mentre per il tratto a sud del promontorio e fino a foce Garigliano si può osservare una prosecuzione della tendenza all'erosione già oggi in atto, progressivamente più marcata procedendo verso la foce del Garigliano, con arretramenti che a 20 anni possono arrivare a superare i 40 m rispetto alla attuale linea di riva.

La tendenza all'erosione, anche se decisamente più moderata (arretramento massimo previsto a 20 anni non superiore ai 20 m) si osserva anche nel tratto immediatamente a sud della foce del fiume Garigliano, nel comune di Sessa Aurunca, per circa 2 km a sud della foce stessa. Il rimanente tratto di costa che interessa il comune di Sessa Aurunca si presenta invece stabile o con tendenza al leggero avanzamento, se si eccettua un breve tratto di poche centinaia di metri al confine con il comune di Mondragone.

Tendenza alla stabilità o al leggero avanzamento a lungo termine si riscontra anche in tutto il tratto di litorale che interessa il comune di Cellole.

Il tratto di costa che ricade nel comune di Mondragone si presenta generalmente stabile o in avanzamento, tanto più marcato (20m di avanzamento previsti a 20 anni) quanto più ci si avvicina alla foce del Canale Agnena. L'unico breve tratto di litorale (poche centinaia di metri) con tendenza all'erosione si ritrova all'estremità settentrionale dell'abitato di Mondragone

Il comune di Castelvolturmo è quello che ha risentito maggiormente della progressiva drastica diminuzione dell'apporto di sedimenti da parte del fiume Volturno. La realizzazione delle due scogliere sommerse in sponda sinistra ed in sponda destra, se da un lato hanno permesso la relativa stabilizzazione dei tratti di litorale a tergo delle scogliere stesse, hanno incrementato i processi erosivi già in atto nei tratti limitrofi. In particolare, il tratto di litorale presso la foce dello scolmatore "Lavapiatti" ed i 2 km circa a nord dello stesso, presentano una tendenza all'accentuazione dell'erosione già in atto, con arretramenti previsti a 20 anni fino a 30 m rispetto alla linea di riva attuale. A sud della lunga scogliera sommersa posta in sponda sinistra del fiume Volturno, la tendenza all'erosione risulta ancora più marcata. La lunghezza prevista del tratto in erosione è pari a circa 1,5 km, con arretramento della linea di riva che localmente arriva a superare i 60 m.

La tendenza evolutiva della linea di riva si inverte in prossimità della foce del Canale Regi Lagni. In assenza di interventi di rimozione periodica del materiale accumulato, l'avanzamento della linea di riva in prossimità del molo di sovraflutto della Darsena San Bartolomeo proseguirà, seppure con velocità ridotte rispetto al passato, fino a determinare progradazioni dell'ordine delle decine di metri.

La realizzazione della Darsena San Bartolomeo ha determinato, a partire dai primi anni '70 (Figura 30), una diffusa erosione nel tratto a sud dell'infrastruttura stessa. La realizzazione progressiva di pennelli trasversali a partire dagli anni '80, se da un lato ha stabilizzato il litorale nel tratto



## *Autorità di Bacino dei Fiumi Liri - Garigliano e Volturno*

interessato dall'intervento di difesa, dall'altro ha spostato progressivamente verso sud l'erosione, ad oggi assai marcata in prossimità di Ischitella.

L'erosione in questo tratto, esteso per circa 3 km, procedendo verso sud dall'ultimo dei pennelli trasversali esistenti, e prevista a 20 anni nell'ordine dei 30-40 m in prossimità di Ischitella, è stata accelerata drammaticamente dall'intensa mareggiata occorsa nel mese di Dicembre 2007, che ha determinato localmente una significativa erosione della duna a tergo della spiaggia (foto in Figura 31).

A sud di questo tratto e fino a Torregaveta la costa si presenta sostanzialmente stabile, sia nel recente passato sia come tendenza evolutiva per i prossimi 20 anni.

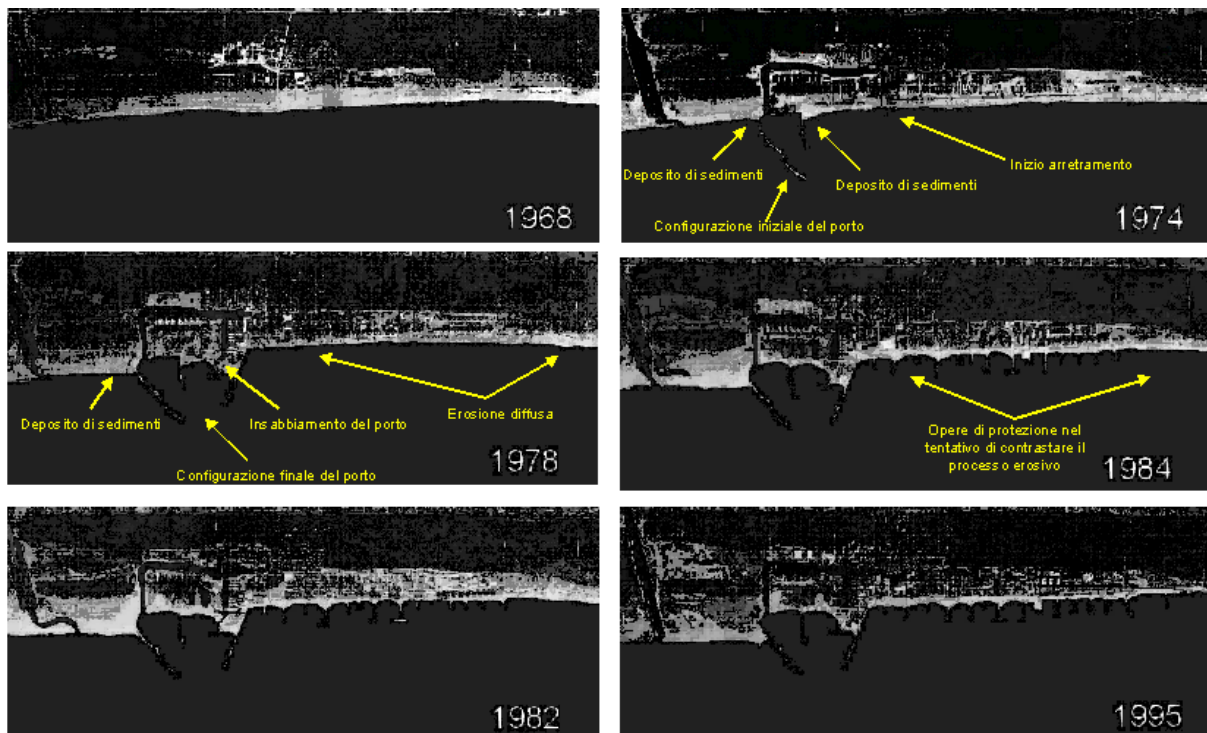


Figura 30: Evoluzione storica della linea di riva e delle opere a sud della foce del Canale Regi Lagni.



# *Autorità di Bacino*

## *dei Fiumi Liri - Garigliano e Volturno*

---



Figura 31: Erosione della duna a tergo della spiaggia di Ischitella, mareggiata 7/12/07 - dati FIBA.

### **1.3 Valutazione delle aree potenzialmente interessate da fenomeni erosivi in caso di mareggiata intensa cinquantennale**

Per la valutazione delle aree potenzialmente interessate da fenomeni erosivi in caso di mareggiata intensa, è stato utilizzato il modello di evoluzione trasversale del profilo di costa **LITPROF** del DHI. Tale modello simula le variazioni batimetriche del fondale, determinate dall'azione sia del trasporto *cross-shore* sia del trasporto *long-shore*, che avvengono in seguito all'azione del moto ondoso. Il modello è particolarmente adatto alla simulazione dell'evoluzione del profilo alla scala temporale tipica delle mareggiate intense (ore o giorni).

I profili per i quali è stata valutata l'evoluzione trasversale sono i 16 profili già illustrati nell'ambito del calcolo dell'inondabilità da mareggiata intensa (Figura 9).

In analogia con quanto riportato nel paragrafo 2.1 del presente elaborato, dal punto di vista del clima ondoso di riferimento si è fatto riferimento ai 5 tratti considerati omogenei (Figura 3). Per ciascun tratto è stata quindi individuata una mareggiata di riferimento, caratterizzata da altezza d'onda di picco pari all'altezza d'onda cinquantennale relativa al tratto omogeneo, direzione pari alla direzione associata all'altezza d'onda massima per il tratto e durata e forma della mareggiata analoghe a quelle occorse nel mese di Dicembre 1999 in concomitanza con l'intensa perturbazione denominata "Lothar". Il periodo, variabile di poco in funzione delle diverse mareggiate considerate, è stato assunto costante per tutti gli eventi e pari a  $T_p = 9.0$  s. Le caratteristiche delle mareggiate di riferimento sono riportate in tabella 1.



# *Autorità di Bacino*

## *dei Fiumi Liri - Garigliano e Volturno*

---

Per ciascun profilo trasversale è stato simulato l'effetto della mareggiata di riferimento sulla batimetria, stimando l'arretramento massimo della linea di riva a seguito della fase più intensa della mareggiata. Si riporta a titolo di esempio in Figura 32 l'evoluzione trasversale del profilo 1 a seguito della mareggiata cinquantennale. Il termine **ds** indica l'arretramento previsto per la linea di riva. In Tabella 1 è inoltre riportato l'arretramento previsto per tutti e sedici i profili trasversali tipo considerati.

<b>Profilo</b>	<b>Tratto omogeneo</b>	<b>Hs [m]</b>	<b>MWD [°N]</b>	<b>Tp [s]</b>	<b>ds [m]</b>
1	1	5.33	225	9.0	27
2	1	5.33	225	9.0	22
3	1	5.33	225	9.0	26
4	1	5.33	225	9.0	19
5	2	5.79	225	9.0	28
6	2	5.79	225	9.0	32
7	2	5.79	225	9.0	21
8	3	6.14	225	9.0	37
9	3	6.14	225	9.0	28
10	3	6.14	225	9.0	22
11	3	6.14	225	9.0	35
12	3	6.14	225	9.0	37
13	4	5.92	225	9.0	34
14	4	5.92	225	9.0	28
15	4	5.92	225	9.0	35
16	5	5.35	270	9.0	32

*Tabella 1: Mareggiate di riferimento ed arretramenti simulati.*





# Autorità di Bacino dei Fiumi Liri - Garigliano e Volturno

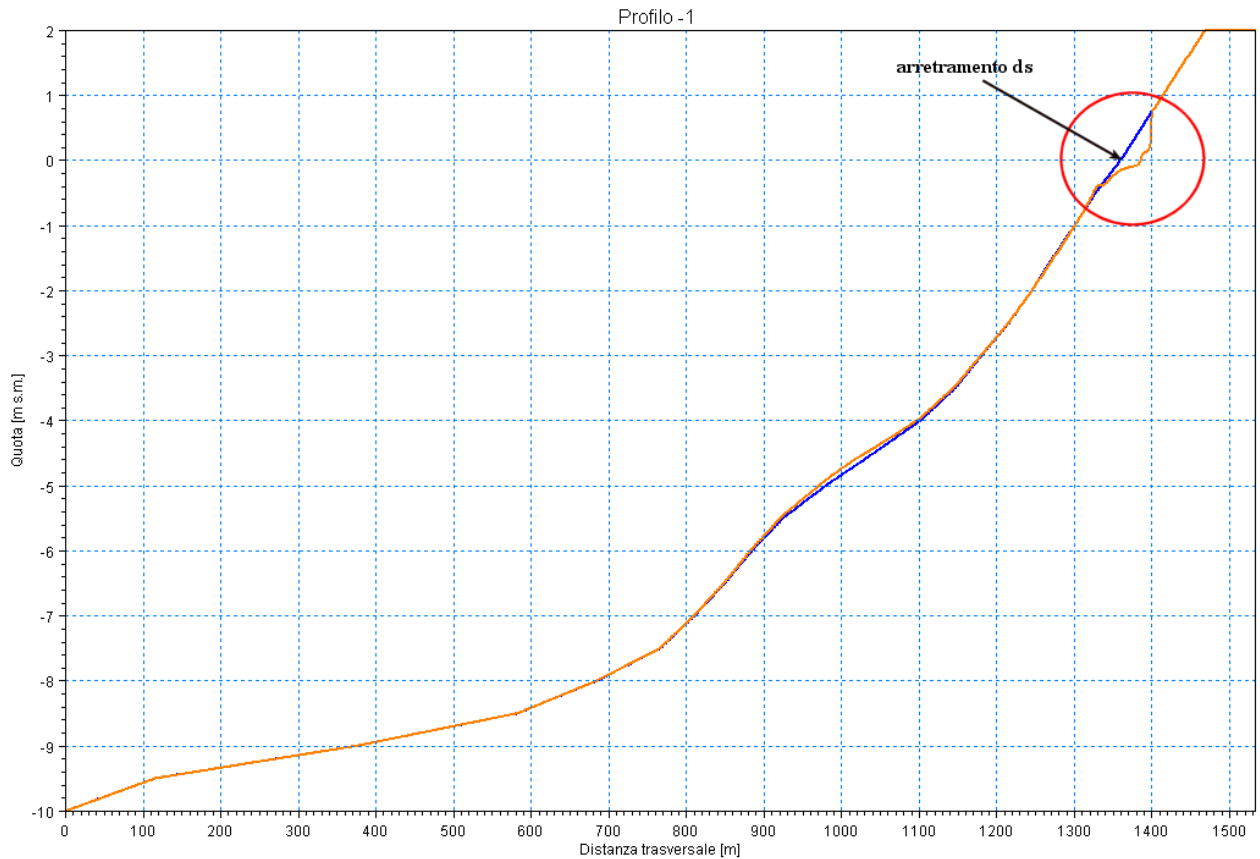


Figura 32: Evoluzione del profilo trasversale n°1 a seguito della mareggiata cinquantennale. In blu il profilo originario, in arancio quello a seguito della mareggiata.