



Stazione Appaltante
Regione Siciliana
Comune di S. Stefano di Camastra
Provincia di Messina



Procedura aperta ex art. 183 commi 1-14 d.lgs. 50/2016 s.m.i. per l'affidamento in project financing della concessione di lavori pubblici avente per oggetto la progettazione definitiva ed esecutiva, l'esecuzione dei lavori per la REALIZZAZIONE DEL PORTO TURISTICO E DELLE OPERE CONNESSE NEL COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA nonché della loro gestione economico-finanziaria

C.I.G.67535662F8

C.U.P.H21H07000030003

PROGETTO DEFINITIVO

IDVIP (3844) Istruttoria V.I.A. - Richiesta di integrazioni

prot. n. m_amte.DVA.REGISTRO UFFICIALE.u.0006689.20-03-2018

Concessionario individuato



Rappresentante legale: Cono Bruno

Via Campidoglio, 70 98076 Sant'Agata di Militello (ME)

Progettista indicato



Dott. Ing. Paolo Turbolente

Via Ajaccio, 14
00198 Roma



Amministratore Unico:
Prof. Ing. Vincenzo Cataliotti
Direttori tecnici:
Arch. Sebastiano Provenzano
Prof. Ing. Antonio Cataliotti
Via Vittorio Emanuele, 492
90134 Palermo

Titolo elaborato

STUDIO DELL'EVOLUZIONE DEL LITORALE

Elaborato

A.2233.17 | PD | R

INT 05c

Rev. 1

Scala

Data

Aprile 2018



COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

Affidamento in project financing della concessione dei lavori pubblici relativa a:
Realizzazione del Porto Turistico e delle Opere Connesse nel Comune di Santo Stefano di Camastra

INDICE

1. PREMESSE.....	2
2. METODOLOGIA GENERALE DI LAVORO	2
3. APPLICAZIONE DEL MODELLO DI MORFODINAMICA LONGITUDINALE "GENESIS"	5
3.1 Descrizione del modello GENESIS	7
3.2 Discretizzazione della linea di riva e definizione delle condizioni al contorno.....	8
3.3 Calibrazione del modello	12
3.4 Previsione dell'evoluzione della linea di riva	20
4. SINTESI DEI RISULTATI	44
5. CONCLUSIONI	45



COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

Affidamento in project financing della concessione dei lavori pubblici relativa a:
Realizzazione del Porto Turistico e delle Opere Connesse nel Comune di Santo Stefano di Camastra

1. PREMESSE

Nell'ambito della redazione del progetto definitivo del porto turistico di S. Stefano di Camastra (ME) sono state eseguite le modellazioni numeriche atte ad analizzare l'impatto della presenza delle opere portuali sulla dinamica del litorale. Durante la procedura di Verifica di Impatto Ambientale il Ministero dell'Ambiente della Tutela del Territorio e del Mare ha richiesto *“una migliore rappresentazione delle modalità di deposizione e bilanci degli apporti solidi complessivi (da bacini idrogradici e da trasporto litoraneo)”* che ha comportato la produzione di un apposito elaborato contenente, per l'appunto, una migliore rappresentazione della ricostruzione dell'evoluzione della linea di riva tra il 1988 e il 2012 riportata nello Studio del Trasporto solido Litoraneo (STL).

E' stato poi reputato opportuno integrare lo Studio dell'Evoluzione del Litorale (SEL) con la valutazione della condizione della costa a seguito dell'adozione di un impianto di by pass, mitigazione necessaria per garantire il flusso dei sedimenti lungo la costa successivamente alla realizzazione del porto turistico di Santo Stefano di Camastra.

Inoltre, ai fini di una maggiore tutela e garanzia ambientale, lo SEL è stato esteso rispetto all'impostazione originaria ad un ulteriore tratto di costa ad est del porto turistico, andando così ad interessare nel complesso circa 8,5 km di costa compresa tra il torrente Santo Stefano e il torrente Caronia, rispettivamente il primo ad ovest, il secondo ad est del porto turistico

Per la redazione dello studio la società Acquatecno S.r.l. si è avvalsa della collaborazione dalla Modiferr s.r.l. di Roma

2. METODOLOGIA GENERALE DI LAVORO

Nell'ingegneria costiera con il termine morfodinamico si intende l'evoluzione spazio-temporale della morfologia della spiaggia o anche di una forma morfologica della spiaggia quale la linea di riva, il profilo trasversale, la barra sottomarina, un apparato di foce di un corso d'acqua, ecc.

Le opere esterne portuali previste per la realizzazione del porto sono rappresentate da una diga di sopraflutto di circa 600 m di lunghezza, che raggiunge fondali di circa 8,0 m di profondità, e da una diga di sottoflutto di circa 600 m di lunghezza che raggiunge fondali di circa 7,0 m di profondità. La diga di sopraflutto è munita di un pennello di intercettazione del sedimento di circa 40 m di lunghezza che raggiunge fondali di circa 4,5 m di profondità.

Nella configurazione di progetto la diga di sopraflutto, nella parte radicata a terra lunga circa 160 m, è orientata secondo la direzione di levante. La scogliera dalla diga di sopraflutto si orienta poi per una lunghezza di circa 250 m secondo la direzione di 65°N, infine la testata della diga lunga circa 180 m è



COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

Affidamento in project financing della concessione dei lavori pubblici relativa a:
Realizzazione del Porto Turistico e delle Opere Connesse nel Comune di Santo Stefano di Camastra

orientata nuovamente secondo la direzione di levante. La diga di sottoflutto nella parte di radicamento a terra lunga circa 340 m è orientata secondo la direzione di 28°N. La testata della diga, lunga circa 250 m, è orientata secondo la direzione di 300°N. A protezione della viabilità di accesso al porto è prevista a ovest la realizzazione di una scogliera radente di circa 350 m di lunghezza e ad est la realizzazione di una seconda scogliera radente di circa 500 m di lunghezza.

La configurazione delle opere esterne portuali deve rispondere alla duplice esigenza di proteggere il bacino portuale dall'agitazione ondosa e di evitare l'insabbiamento dell'imboccatura portuale ad opera del trasporto solido litoraneo. La presenza della diga di sopraflutto, che si spinge oltre la profondità di chiusura, determina l'intercettazione del trasporto solido litoraneo di ponente e la sua sedimentazione ad ovest della diga stessa. In corrispondenza dell'imboccatura portuale si riconosce la presenza di uno specchio d'acqua posto a riparo rispetto al moto ondoso di ponente. Tale zona è di potenziale sedimentazione del materiale di fondo che nel tempo, a seguito dell'avanzamento della linea di riva, potrebbe sorpassare la testata del molo di sopraflutto spinto dalla corrente longitudinale. Infine il trasporto solido litoraneo essendo intercettato dalla diga di sopraflutto del porto potrebbe determinare fenomeni erosivi lungo le spiagge poste ad est del porto. Scopo del presente rapporto è quello di **valutare l'entità dei fenomeni di sedimentazione ad est del porto e di quelli erosivi ad est e di dimensionare l'impianto di by-pass per la mitigazione sia dei fenomeni di insabbiamento del porto che di quelli di erosione delle spiagge ad est del porto.**

Il porto è situato in destra idraulica della foce del torrente di S. Stefano posta circa 1.150 m ad occidente e in sinistra idraulica della foce del vallone Tudisca-Pecoraro, Ad oriente a circa 1.150 m di distanza dal porto è presente la foce del Vallone Ortora, a circa 2,0 km dal porto è presente la foce del Vallone Petraria, a circa 2,8 km dal porto è presente la foce del Vallone Canneto ed infine a circa 6,7 km è presente la foce del Torrente Caronia.

Le opere esterne portuali non modificano le condizioni di deflusso della foce del torrente di S. Stefano né a breve termine quelle del vallone Ortora, ma potrebbero produrre effetti a medio-lungo termine sul fondale e sulla dinamica longitudinale delle spiagge limitrofe, come detto in precedenza. Gli effetti prodotti dalla presenza delle opere portuali tra la foce del torrente S. Stefano e quella del torrente Caronia sono stati studiati nel presente documento.

Si possono individuare le tre fasi fondamentali di uno studio rivolto alla comprensione dei fenomeni che governano la modifica dei fondali:

- idrodinamica;
- trasporto solido iniziale;
- morfodinamica.



COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

Affidamento in project financing della concessione dei lavori pubblici relativa a:
Realizzazione del Porto Turistico e delle Opere Connesse nel Comune di Santo Stefano di Camastra

E' importante sottolineare che il passaggio dal trasporto solido iniziale alla morfodinamica costituisce tuttora una delle frontiere della ricerca che opera nel settore. Una delle principali difficoltà che si incontrano nello studio della morfodinamica dei fondali è causata dall'elevato grado di non linearità dei processi fisici coinvolti. Conseguentemente errori nella definizione dei dati di base o delle condizioni al contorno possono portare nel tempo ad una progressiva divergenza della soluzione calcolata da quella reale.

E' evidente che la riproduzione completa su modello, matematico o fisico, dei processi legati alla morfodinamica dei fondali richiede quindi una completa descrizione dell'idrodinamica, delle proprietà del materiale di fondo e dei fenomeni di interazione tra matrice fluida e solida.

Lo studio del trasporto solido costiero risulta particolarmente complesso in quanto complessa è l'idrodinamica che lo governa. Infatti, il moto oscillatorio delle particelle fluide, indotto dalle onde di superficie, risulta accoppiato alla turbolenza e alla circolazione generale indotta dalle onde frangenti che presenta una struttura spiccatamente tridimensionale. Tuttavia, allo scopo di pervenire ad una stima quantitativa delle variazioni del fondo marino, si è soliti suddividere il trasporto solido costiero in due componenti principali individuate sulla base delle direzioni dominanti assunte dal trasporto stesso:

- trasporto solido trasversale alla linea di battigia (*cross-shore*);
- trasporto solido longitudinale parallelo alla linea di battigia (*longshore*).

Il trasporto solido trasversale è causato principalmente dalla corrente di ritorno indotta dal moto ondoso frangente, mentre il trasporto solido longitudinale è causato dalla corrente longitudinale indotta dalle onde frangenti.

Il trasporto solido trasversale è la principale causa dei fenomeni evolutivi a **breve** termine (ore-giorni) e produce prevalentemente variazioni locali dei fondali influenzando in modo secondario sull'evoluzione a lungo termine.

Il trasporto solido longitudinale influisce in modo prevalente sull'evoluzione a **medio** termine (anni) e **lungo** termine (secoli) della morfologia di un litorale.

Tuttavia occorre sempre ricordare che ambedue le modalità di trasporto solido (trasversale e longitudinale) sono in realtà contemporaneamente presenti su un litorale e che il trasporto solido trasversale può dar luogo, in alcuni casi, alla perdita definitiva di materiale verso il largo. Comunque, nonostante l'approssimazione introdotta, questo tipo di schematizzazione, se ben applicata, dà luogo, nella maggior parte dei casi, a corrette valutazioni dei fenomeni evolutivi di un litorale.

Da un punto di vista applicativo la stima del trasporto solido longitudinale risulta più semplice rispetto alla stima del trasporto trasversale.

La complessa interazione tra i sedimenti e il fluido è causata, oltre che dalla turbolenza e dal moto oscillatorio delle particelle idriche, anche da altri fattori quali ad esempio le variazioni del livello medio



COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

Affidamento in project financing della concessione dei lavori pubblici relativa a:
Realizzazione del Porto Turistico e delle Opere Connesse nel Comune di Santo Stefano di Camastra

marino, la pendenza locale del fondale che influisce sulla stabilità dei sedimenti e la diversa granulometria presente nel sedimento che costituisce la spiaggia.

Allo scopo di valutare la tendenza evolutiva di una regione costiera, è necessario quantificare lo scambio dei sedimenti tra la regione di interesse e il resto del litorale (bilancio dei sedimenti - sediment budget). Lo studio del bilancio solido longitudinale avvenuto negli ultimi decenni, lungo il tratto meridionale dell'unità fisiografica a cui appartiene il sito oggetto del progetto in esame, è riportato nello studio del trasporto solido litoraneo allegato (STL) e costituisce la base per lo studio morfodinamico a medio-lungo termine.

Per la valutazione dell'evoluzione a medio-lungo termine (10 anni) si è applicato il modello matematico longitudinale *GENESIS*, sviluppato dal "Coastal Engineering Reserch Center" dell' "US Army Corps of Engineers". Il modello *GENESIS* ha consentito di prevedere l'evoluzione della linea di riva lungo il litorale compreso tra la foce del torrente S. Stefano e la foce del torrente Caronia nello scenario attuale e in quello di progetto. In particolare nel presente rapporto è riportata la previsione dell'evoluzione della linea di riva dei seguenti scenari:

1. evoluzione del litorale compreso tra la foce del torrente S. Stefano e la foce del Torrente Caronia nei prossimi 10 anni in assenza di nuove opere (scenario attuale);
2. evoluzione del litorale compreso tra la foce del torrente S. Stefano e la foce del Torrente Caronia nei prossimi 10 anni in presenza delle opere esterne del porto turistico di S. Stefano di Camastra;
3. evoluzione del litorale compreso tra la foce del torrente S. Stefano e la foce del Torrente Caronia nei prossimi 10 anni in presenza delle opere esterne del porto turistico di S. Stefano di Camastra e di un impianto di by-pass di circa 30.000 m³/anno.

3. APPLICAZIONE DEL MODELLO DI MORFODINAMICA LONGITUDINALE "GENESIS"

Il Porto turistico di S. Stefano di Camastra oggetto di studio ricade nel tratto di litorale con uno sviluppo costiero di circa 8,5 km compreso tra la foce del torrente S. Stefano e la foce del torrente Caronia. Il litorale è posto nella parte orientale dell'unità fisiografica che termina in corrispondenza del molo di S. Agata da Militello (vedi lo studio STL allegato).

L'estensione della spiaggia influenzata dalla presenza delle opere esterne portuali non è nota a priori, ma dipende da diversi fattori come: l'intervallo temporale considerato, l'entità del trasporto solido longitudinale nelle due direzioni, le dimensioni delle opere, la presenza di foci di corsi d'acqua ecc. Una volta implementato il modello morfodinamico, al fine di verificare la correttezza



COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

Affidamento in project financing della concessione dei lavori pubblici relativa a:
Realizzazione del Porto Turistico e delle Opere Connesse nel Comune di Santo Stefano di Camastra

delle previsioni, è necessario e sufficiente che alle due estremità l'evoluzione della linea di riva e il valore del trasporto solido netto in presenza ed in assenza delle opere di progetto siano identici.

Nello studio del trasporto solido allegato è stato riconosciuto che il tratto di litorale in esame presenta un trasporto solido netto diretto verso est. Ai fini della previsione a medio-lungo termine (10 anni) è risultato sufficiente limitare le verifiche con il modello matematico al tratto compreso tra la foce del torrente S. Stefano, posto subito ad ovest del porto di progetto, e la foce del torrente Caronia, posto circa 8,0 km ad est del porto.

Le verifiche morfodinamiche a medio-lungo termine (10 anni) vengono attualmente effettuate con modelli monodimensionali detti "ad una linea". Questi ultimi si applicano bene lungo le spiagge pressoché rettilinee in cui si può scegliere un asse del modello con orientamento quasi parallelo alla linea di riva. Nel caso in esame il litorale compreso tra la foce del torrente S. Stefano ed il porto di S. Stefano di Camastra e il litorale di circa 600 m ad est del porto risultano abbastanza allineati con un asse rettilineo avente direzione di 90° N (direzione normale all'asse verso il mare 0°N) anche se le spiagge poste ad occidente del porto sono ubicate circa 400 m a nord rispetto a quelle poste ad oriente.

Le spiagge più ad est rispetto al porto di S. Stefano di Camastra fino alla foce del vallone Petraria si discostano da tale asse di circa 25°, mentre le spiagge comprese tra la foce del vallone Petraria e quella del torrente Caronia si discostano da tale asse di circa 36°.

In tali condizioni l'applicazione dei modelli "ad una linea" risulta affidabile dal punto di vista qualitativo su tutto il tratto di litorale investigato ed affidabile anche dal punto di vista quantitativo tra la foce del torrente S. Stefano e la foce del Vallone Petraria se il valore del trasporto solido netto alle estremità occidentale del modello (condizione al contorno sinistra), stimato mediante misure indirette, fosse confermato durante la fase di monitoraggio.

L'apporto solido del torrente S. Stefano e quello del torrente Caronia sono insiti nel valore della portata solida longitudinale della condizione al contorno e sono introdotti nel modello mediante la condizione al contorno, essendo tali corsi d'acqua posti al limite del modello.

Pertanto l'applicazione del modello "ad una linea" GENESIS con l'asse "x" orientato secondo la direzione di 90° N consente di prevedere l'evoluzione morfologica del litorale fino alla foce del torrente Caronia e di individuare l'estensione del litorale posto ad est del porto influenzato dalla presenza delle opere portuali in progetto. Le forzanti meteomarine sono state determinate in base a



COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

Affidamento in project financing della concessione dei lavori pubblici relativa a:
Realizzazione del Porto Turistico e delle Opere Connesse nel Comune di Santo Stefano di Camastra

quanto riportato nello "Studio meteomarinò" allegato. Le condizioni al contorno, costituite dalla granulometria del sedimento e dal valore della portata solida netta agli estremi del modello, sono state determinate in base a quanto riportato nello "Studio del Trasporto Solido" allegato attraverso dati indiretti. È importante sottolineare che per rendere attendibili anche dal punto di vista quantitativo i risultati del modello è necessario effettuare un monitoraggio in corso e post opera come meglio precisato in seguito.

3.1 Descrizione del modello GENESIS

GENESIS è un modello di spiaggia "ad una linea" sviluppato dal "Coastal Engineering Reserch Center" dell' "US Army Corps of Engineers" e consente di simulare l'evoluzione della fascia costiera attraverso la modellazione delle modifiche planimetriche, nel tempo, della sola linea di riva. Per la descrizione dettagliata del modello si rimanda ai manuali scientifici del CERC.

Il modello trae la sua origine dai principi teorici degli studi di dinamica costiera condotti da Pelnard-Considère¹ e può essere applicato ad aree costiere ove le fenomenologie di morfodinamica evolvono sotto le seguenti ipotesi:

- il litorale presenta un profilo di equilibrio, rispetto al piano trasversale alla linea di riva, che mantiene la sua forma, muovendosi parallelamente a se stesso, al manifestarsi sia di fenomeni di erosione sia di accrescimento della fascia costiera;
- il trasporto solido litoraneo è indotto essenzialmente dall'azione delle correnti connesse alle onde di superficie, mentre può ritenersi trascurabile l'effetto delle correnti di marea o di correnti collegate all'azione diretta del vento;
- il flusso solido si realizza essenzialmente in senso longitudinale alla linea di riva e rimane confinato entro una fascia costiera (fascia "attiva"), alle cui estremità di "riva" (foreshore) e "largo" (offshore) il flusso solido può ritenersi trascurabile;
- la portata Q del flusso solido longitudinale è funzione del contenuto energetico (proporzionale ad H_b^2) e dell'angolo α di incidenza delle onde frangenti lungo il litorale;

¹ Essai de théorie de l'évolution des formes de rivages en plages de sable et de galets. 4th Journées de l'Hydraulique, Les Energies de la Mer, Question III, Rapport No.1, 1956



COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

Affidamento in project financing della concessione dei lavori pubblici relativa a:
Realizzazione del Porto Turistico e delle Opere Connesse nel Comune di Santo Stefano di Camastra

- i possibili scambi di materiale solido tra la fascia attiva e l'esterno sono di tipo puntuale (foci fluviali; canyons sottomarini) in termini di portata solida entrante od uscente. Possono essere comunque considerati perdite o apporti diffusi.

Sulla base di queste ipotesi è possibile modellare la complessa dinamica di un litorale sabbioso, imponendo e risolvendo, alle differenze finite, l'equazione di continuità del volume di sabbia associata al flusso di materiale sabbioso relativo alla sola componente litoranea. Ovviamente, il modello matematico GENESIS consente di simulare in maniera soddisfacente l'evoluzione del litorale previa definizione accurata delle condizioni al contorno.

Una di queste condizioni è costituita dal clima meteomarinico al largo, ovvero alla sequenza di onde rappresentative delle condizioni di esposizione medio-climatiche del sito in esame (forzanti di moto ondoso). Propagandosi verso "riva" su fondali via decrescenti, le onde subiscono una serie di trasformazioni geometriche e perdite d'energia sino a frangere lungo il litorale innescando ed alimentando i fenomeni di trasporto litoraneo. Il modello di calcolo GENESIS è in grado di simulare, note le condizioni al largo (espresse in funzione di altezza d'onda significative H_s periodi di picco T_p e direzioni di provenienza α) i fenomeni di propagazione verso riva (rifrazione e shoaling) sino al frangimento, tenendo conto anche del fenomeno della diffrazione di eventuali ostacoli emergenti e/o sommersi.

Altra condizione al contorno è costituita dal valore della portata solida netta agli estremi dell'area simulata.

3.2 Discretizzazione della linea di riva e definizione delle condizioni al contorno

Il tratto di litorale simulato si estende fra la foce del torrente S. Stefano e la foce del Torrente Caronia, per una lunghezza di circa 7,5 km lungo l'asse di riferimento (lo sviluppo della spiaggia lungo il litorale non essendo la costa rettilinea e parallela all'asse del modello risulta invece di 8,5 km).

Il tratto di costa è stato discretizzato con 780 sezioni tracciate ortogonalmente rispetto all'asse del modello. Le sezioni sono state tracciate ad interasse di 10 m uniformemente lungo l'asse di riferimento.

CONDIZIONI DI ESTREMITÀ



COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

Affidamento in project financing della concessione dei lavori pubblici relativa a:
Realizzazione del Porto Turistico e delle Opere Connesse nel Comune di Santo Stefano di Camastra

Le condizioni al contorno nel modello GENESIS possono essere espresse in termini di portata solida longitudinale od in termini di variazione della posizione della linea di riva. Nel caso in esame, avendo considerato una porzione dell'unità fisiografica si è imposta la condizione di invarianza della posizione della linea di riva sia in corrispondenza della foce del torrente S. Stefano (punto di estremità occidentale del modello) che in corrispondenza della foce del torrente Caronia (punto di estremità orientale del modello).

APPORTI SOLIDI TRASVERSALI

Sulla base dello studio STL allegato si è considerato un apporto solido medio annuo di :

- di circa 2.100 m³/anno del vallone Ortora;
- di circa 600 m³/anno del vallone Petraria;
- di circa 2.300 m³/anno del vallone Canneto.

L'apporto solido del torrente S. Stefano e quello del torrente Caronia sono insiti nel valore della portata solida longitudinale della condizione al contorno. In particolare ad ovest della foce del torrente S. Stefano il valore del trasporto solido longitudinale sarà pari al valore della portata solida longitudinale della condizione al contorno meno l'apporto solido proveniente dal torrente e ad est della foce del torrente Caronia invece sarà pari al valore della portata solida longitudinale della condizione al contorno più l'apporto solido proveniente dal torrente, avendo riconosciuto una direzione prevalente del trasporto solido netto diretto verso est.

DIAMETRO MEDIO DEI SEDIMENTI

Il modello di calcolo per descrivere la mobilità del sedimento, utilizza:

- il peso specifico immerso, assunto pari a 1,15 t/m³;
- un coefficiente di taratura.

Nel caso di spiagge a granulometria non uniforme il coefficiente di taratura viene fatto variare in funzione del diametro medio D₅₀ del sedimento. Nel modello in esame si è considerata una distribuzione uniforme del diametro medio del sedimento lungo tutta la spiaggia esaminata.

Il coefficiente di taratura è stato dimensionato in modo da poter riprodurre il trasporto solido litoraneo netto stimato nello studio STL allegato.

Il modello di calcolo per descrivere la forma del profilo trasversale di spiaggia utilizza l'espressione di Dean ($h=Ay^{2/3}$) dove A è un coefficiente funzione di un diametro medio D₅₀.



COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

Affidamento in project financing della concessione dei lavori pubblici relativa a:
Realizzazione del Porto Turistico e delle Opere Connesse nel Comune di Santo Stefano di Camastra

Come evidenziato nello studio STL l'andamento medio del profilo trasversale di spiaggia fino alla profondità di chiusura è ben rappresentato da un profilo di Dean tracciato mediamente:

- con un valore del $D_{50}=0,36$ mm.

Tali valori del D_{50} sono stati adottati nelle simulazioni per la spiaggia in esame.

ALTEZZA DEL PROFILO DI SPIAGGIA

Il modello di calcolo considera spostamenti rigidi del profilo trasversale di spiaggia tra la profondità di chiusura e l'altezza limite di swash. La profondità di chiusura è stata considerata pari 7,0 m, mentre l'altezza limite di swash è stata considerata pari a 2.0m (vedi lo studio STL allegato). In definitiva l'altezza del profilo di spiaggia ai fini del bilancio sedimentario è stata considerata pari a 9,0 m.

OPERE A MARE

Il modello di calcolo è in grado di simulare:

1. pennelli trasversali, che influenzano per diffrazione i fenomeni di propagazione del moto ondoso fino al frangimento ed intercettano parte della "deriva" (drift) longitudinale del trasporto solido;
2. barriere frangiflutti distaccate dalla linea di riva, che modificano per diffrazione le condizioni di propagazione del moto ondoso nella zona ridossata, determinando un differente campo di trasporto solido;
3. opere di tipo misto, combinando le opere di discontinuità trasversali e longitudinali;
4. opere radenti alla linea di riva, che rappresentano una condizione di inerodibilità della costa;
5. barriere sommerse, che modificano per trasmissione le condizioni di propagazione del moto ondoso nella zona ridossata determinando un differente campo di trasporto solido.

Il molo di sopraflutto di progetto è stato descritto mediante una scogliera radente munita di un pennello trasversale di intercettazione e una scogliera frangiflutti distaccata. Il molo di sottoflutto è stato descritto mediante un pennello trasversale ed una scogliera frangiflutti distaccata.

Le scogliere radenti poste ad ovest e ad est del porto mediante scogliere radenti.

CLIMA ONDAMETRICO



COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

Affidamento in project financing della concessione dei lavori pubblici relativa a:
Realizzazione del Porto Turistico e delle Opere Connesse nel Comune di Santo Stefano di Camastra

L'evoluzione del litorale è stata riprodotta tenendo conto del moto ondoso incidente. Le onde utilizzate sono quelle ricavate nello "Studio meteomarinò" allegato. In particolare sono stati utilizzate le onde morfologiche equivalenti determinate alla profondità di -100 m al largo di S. Stefano di Camastra nel periodo 2004-2013, riportate in Tabella 1. Per ogni settore di provenienza nelle simulazioni sono state utilizzate onde equivalenti di durata non superiore a 225 ore.

Tabella 1 – Punto P0 (-100,0 m s.l.m.) – Onde morfologiche equivalenti

Periodo 2004-2013

<i>n</i>	<i>durata</i> <i>mesi</i>	<i>H_e</i> <i>(m)</i>	<i>T_e</i> <i>(s)</i>	<i>a</i> <i>(°N)</i>
1	0.200	1.02	5.02	270.00
2	0.243	1.09	5.46	280.00
3	0.273	1.08	5.74	290.00
4	0.251	1.06	5.86	300.00
5	0.185	1.10	5.93	310.00
6	0.239	1.01	5.76	320.00
7	0.147	1.10	5.89	330.00
8	0.188	1.18	5.97	340.00
9	0.172	1.01	5.30	350.00
10	0.135	1.07	5.46	0.00
11	0.132	0.96	5.15	10.00
12	0.117	0.92	4.89	20.00
13	0.078	1.00	4.94	30.00
14	0.074	0.85	4.52	40.00
15	0.052	0.87	4.52	50.00
16	0.033	0.74	3.99	60.00
17	0.017	0.55	3.28	70.00
18	0.012	0.55	3.07	80.00
19	0.011	0.52	2.82	90.00
20	0.243	1.09	5.46	280.00
21	0.273	1.08	5.74	290.00
22	0.251	1.06	5.86	300.00
23	0.185	1.10	5.93	310.00
24	0.239	1.01	5.76	320.00
25	0.147	1.10	5.89	330.00
26	0.243	1.09	5.46	280.00
27	0.273	1.08	5.74	290.00
28	0.251	1.06	5.86	300.00
29	0.185	1.10	5.93	310.00



COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

Affidamento in project financing della concessione dei lavori pubblici relativa a:
Realizzazione del Porto Turistico e delle Opere Connesse nel Comune di Santo Stefano di Camastra

3.3 Calibrazione del modello

Per una previsione attendibile dell'evoluzione futura della linea di riva è necessaria una preliminare calibrazione del modello sulla base dei dati storici a disposizione.

In fase di calibrazione è stata simulata l'evoluzione della linea di riva avvenuta tra il 2006 ed il 2012 tra la foce del torrente S. Stefano e la foce del torrente Caronia, determinando i valori dei **coefficienti di movimentazione del materiale** che meglio riproducono l'evoluzione storica della linea di riva con i valori del trasporto solido netto determinato per lo stesso periodo nello studio STL allegato.

Dopo una serie di tentativi, eseguiti modificando i parametri di calibrazione del modello al fine di ottenere il migliore adattamento della linea di riva calcolata con quella misurata ed il trasporto solido netto determinato per il periodo 2006÷2012 nello studio STL allegato, si è pervenuti ai risultati riportati nella Figura 2. Nella figura è evidenziata la posizione della foce del torrente S. Stefano, di quella del Vallone Ortora, di quella del vallone Petraria, di quella del vallone Canneto e di quella del Torrente Caronia. Dalla Figura 2 si evince che la linea di riva al termine della simulazione secondo il modello (linea rossa) risulta in buon accordo con quella rilevata nel 2012 (linea blu). Infatti lo scarto quadratico medio tra la curva teorica e quella misurata raggiunge i 6,5 m (1.1 m/anno) per il tratto di 3,8 km di spiaggia tra la foce del torrente Santo Stefano e la foce del Vallone Petraria, approssimazione maggiore con valori di 3,7 m (0,6 m/anno) è stata raggiunta per la spiaggia di circa 2,0 km ad est della foce del Vallone Petraira (progressive 3.800÷5.800) e per la spiaggia di circa 1,7 km ad ovest della foce del Torrente Tudisca (progressive 5.800÷7.500) con valori dello scarto quadratico medio di 4,1 m (0,7 m/anno).

Più in dettaglio lo scarto quadratico medio tra la curva teorica e quella misurata raggiunge i 6,5 m (1.1 m/anno) per la spiaggia compresa tra la foce del torrente S. Stefano e la sezione più occidentale del previsto Porto di S. Stefano di Camastra (progressive 0÷1160), mentre approssimazioni maggiori sono state raggiunte per la spiaggia ad oriente del previsto Porto di S. Stefano di Camastra (progressive 1160÷1740) e approssimazione minore per quella in corrispondenza del previsto Porto di S. Stefano di Camastra (progressive 1740÷3800) in cui la spiaggia risulta poco parallela all'asse del modello.

L'errore medio, l'errore massimo positivo e negativo e l'errore quadratico medio per i singoli tratti sopra descritti sono sintetizzati nella Tabella 2.



COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

Affidamento in project financing della concessione dei lavori pubblici relativa a:
Realizzazione del Porto Turistico e delle Opere Connesse nel Comune di Santo Stefano di Camastra

La posizione della spiaggia calcolata rispetto a quella dell'aerofoto del 2012 risulta mediamente spostata verso mare di circa 4,5 m lungo la spiaggia ad ovest del previsto Porto di S. Stefano di Camastra, mentre risulta mediamente spostata verso terra di circa 2,1 m lungo la spiaggia in corrispondenza del previsto Porto di S. Stefano di Camastra, di circa 0,8 m verso il mare lungo la spiaggia tra il Porto di S. Stefano di Camastra e la foce del Vallone Petraria e di circa 2,6÷2,3 m verso il mare tra la foce del Vallone Petraria e la foce del Torrente Caronia.

I valori massimi degli errori verso il mare (+) sono dell'ordine dei 12 m mentre quelli verso terra (-) sono dell'ordine dei 9 m se si escludono i valori calcolati lungo l'asse delle y nella zona centrale dove l'asse del modello è poco parallelo alla linea di riva.

Tenuto conto che:

- le linee di costa sono state desunte da aerofoto in scala al 10.000 per cui lo spessore del pennino (0,3mm) comporta errori di 3,0 m sulla valutazione della linea di riva;
- il modello di calcolo dovrà essere utilizzato per determinare gli effetti del porto turistico sulle spiagge limitrofe dove l'asse del modello risulta abbastanza parallelo alla linea di riva;
- nelle sezioni di spiaggia in corrispondenza delle opere portuali in progetto non si prevede movimento di materiale a medio termine in quanto i moli raggiungono la profondità della fascia attiva;

i risultati della simulazione eseguita per la riproduzione delle modifiche morfodinamiche del litorale avvenute tra il 2006 ed il 2012 nelle spiagge limitrofe al porto turistico in progetto sono più che soddisfacenti.

La Figura 2 evidenzia comunque come il modello sovrastimi gli avanzamenti della linea di riva nel tratto di circa 600 m a est della foce del torrente Santo Stefano.

Nella Figura 1 è riportato l'andamento nel tempo del trasporto solido netto costiero calcolato dal modello tra il 2006 ed il 2012. Nella figura le portate positive indicano una risultante del trasporto solido litoraneo da ovest verso est concorde con il verso positivo dell'asse del modello.

In base al moto ondoso incidente considerato, alle condizioni al contorno ed al valore del coefficiente di movimentazione del materiale è stato calcolato:

- un trasporto solido netto diretto verso est lungo tutto il tratto di litorale;
- un valore del trasporto solido netto massimo in prossimità della foce del torrente S. Stefano di circa 60.000 m³/anno;



COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

Affidamento in project financing della concessione dei lavori pubblici relativa a:
Realizzazione del Porto Turistico e delle Opere Connesse nel Comune di Santo Stefano di Camastra

- un valore minimo del trasporto solido netto di circa 45.000 m³/anno in corrispondenza della scogliera radente a protezione della ferrovia posta ad est del previsto porto turistico di S. Stefano di Camastra;
- un valore massimo del trasporto solido netto circa 250 m ad est della foce del vallone Petraria di circa 50.000 m³/anno;
- un valore minimo del trasporto solido netto alla foce del vallone Petraria di circa 48.000 m³/anno;
- un valore massimo del trasporto solido netto circa 250 m ad est della foce del torrente Caronia di circa 65.000 m³/anno;
- un valore del trasporto solido netto in prossimità della foce del torrente Caronia di circa 60.000 m³/anno;

La Figura 1 evidenzia come il trasporto solido netto sia in ottimo accordo con quanto determinato nello studio STL allegato per lo stesso periodo di riferimento.

Tabella 2 – Errore medio, Errore massimo +/- ed errore quadratico medio tra la linea misurata e quella calcolata per tratti di costa – fase di calibrazione 2006÷2012 (valori in metri)

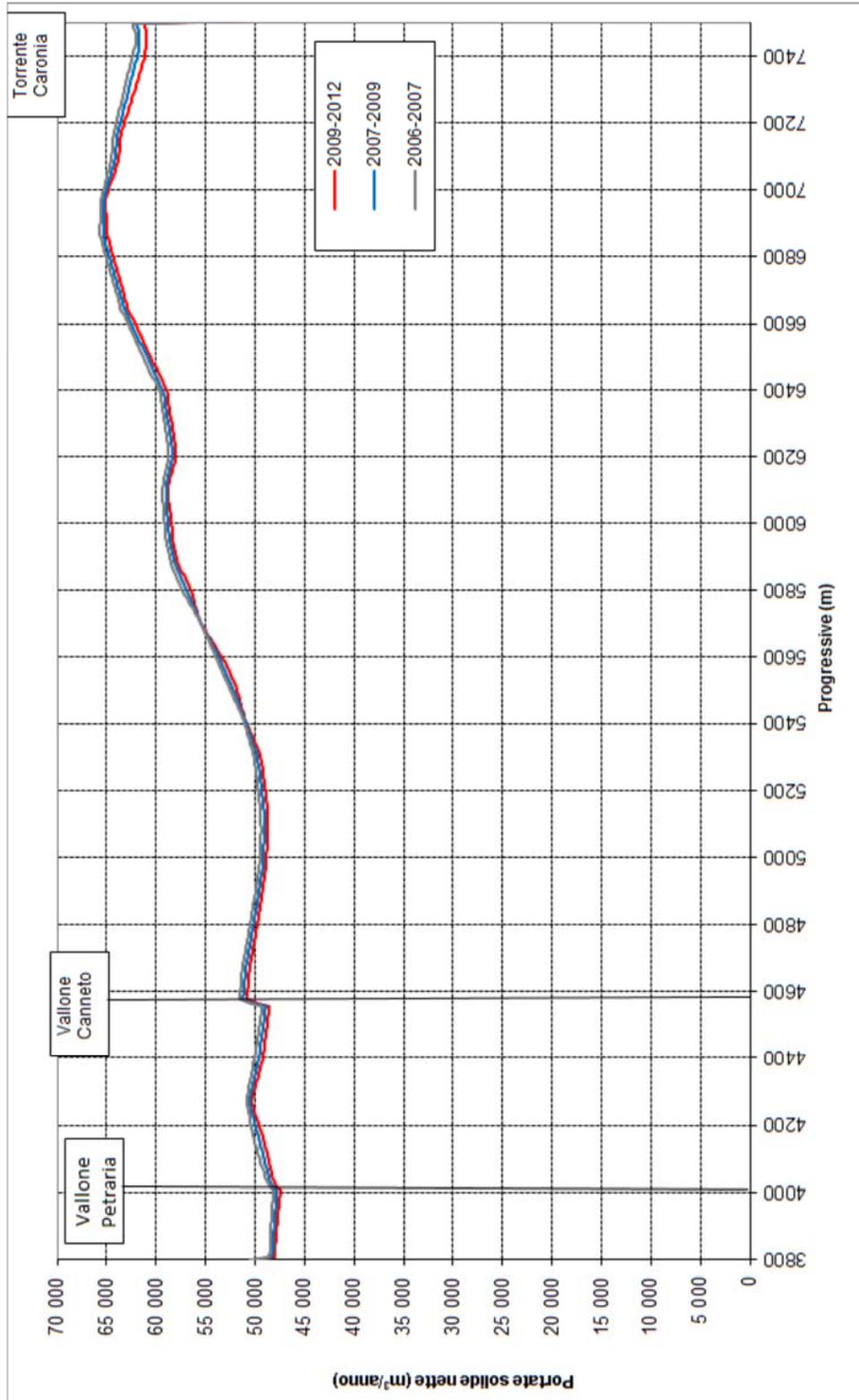
sezione	0-117	117-175	175-380	0-380	380-580	580-780
progr.	0-1160	1160-1740	1740-3800	0-3800	3800-5800	5800-7490
Media	4.46	-2.15	0.82	1.31	2.65	2.34
Max	15.11	22.37	10.91	22.37	10.25	11.21
Min	-8.49	-67.85	-7.45	-67.85	-5.29	-7.55
sqm	6.58	12.08	3.73	6.45	3.68	4.07
sqm annuale	1.10	2.01	0.62	1.07	0.61	0.68



COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

Affidamento in project financing della concessione dei lavori pubblici relativa a:
Realizzazione del Porto Turistico e delle Opere Connesse nel Comune di Santo Stefano di Camastra

Figura 1 – Andamento delle portate solide nette calcolata dal modello GENESIS - Calibrazione del modello 2006-2012

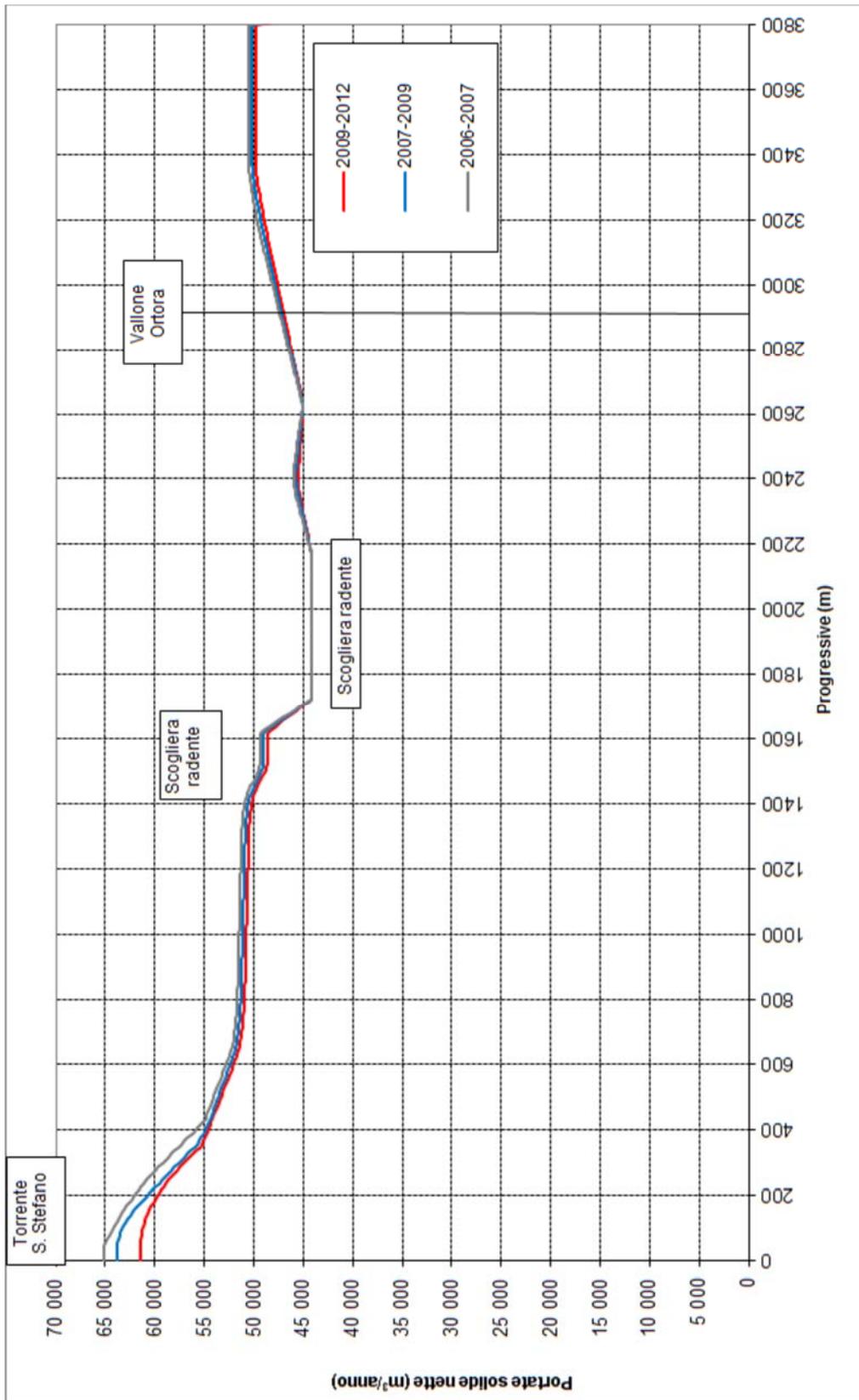


PROGETTO DEFINITIVO
STUDIO DELL'EVOLUZIONE DEL LITORALE



COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

Affidamento in project financing della concessione dei lavori pubblici relativa a:
Realizzazione del Porto Turistico e delle Opere Connesse nel Comune di Santo Stefano di Camastra



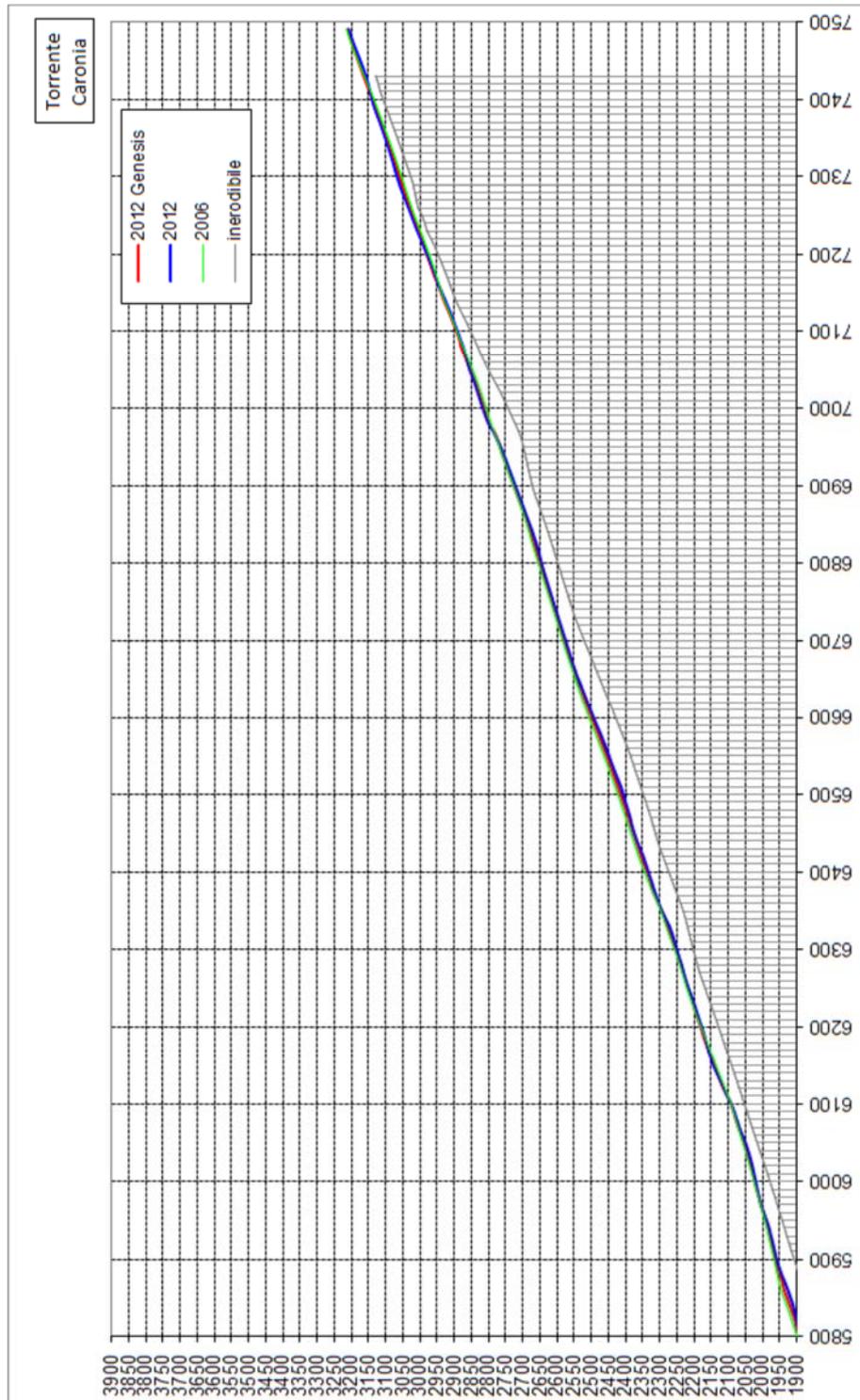
PROGETTO DEFINITIVO
STUDIO DELL'EVOLUZIONE DEL LITORALE



COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

Affidamento in project financing della concessione dei lavori pubblici relativa a:
Realizzazione del Porto Turistico e delle Opere Connesse nel Comune di Santo Stefano di Camastra

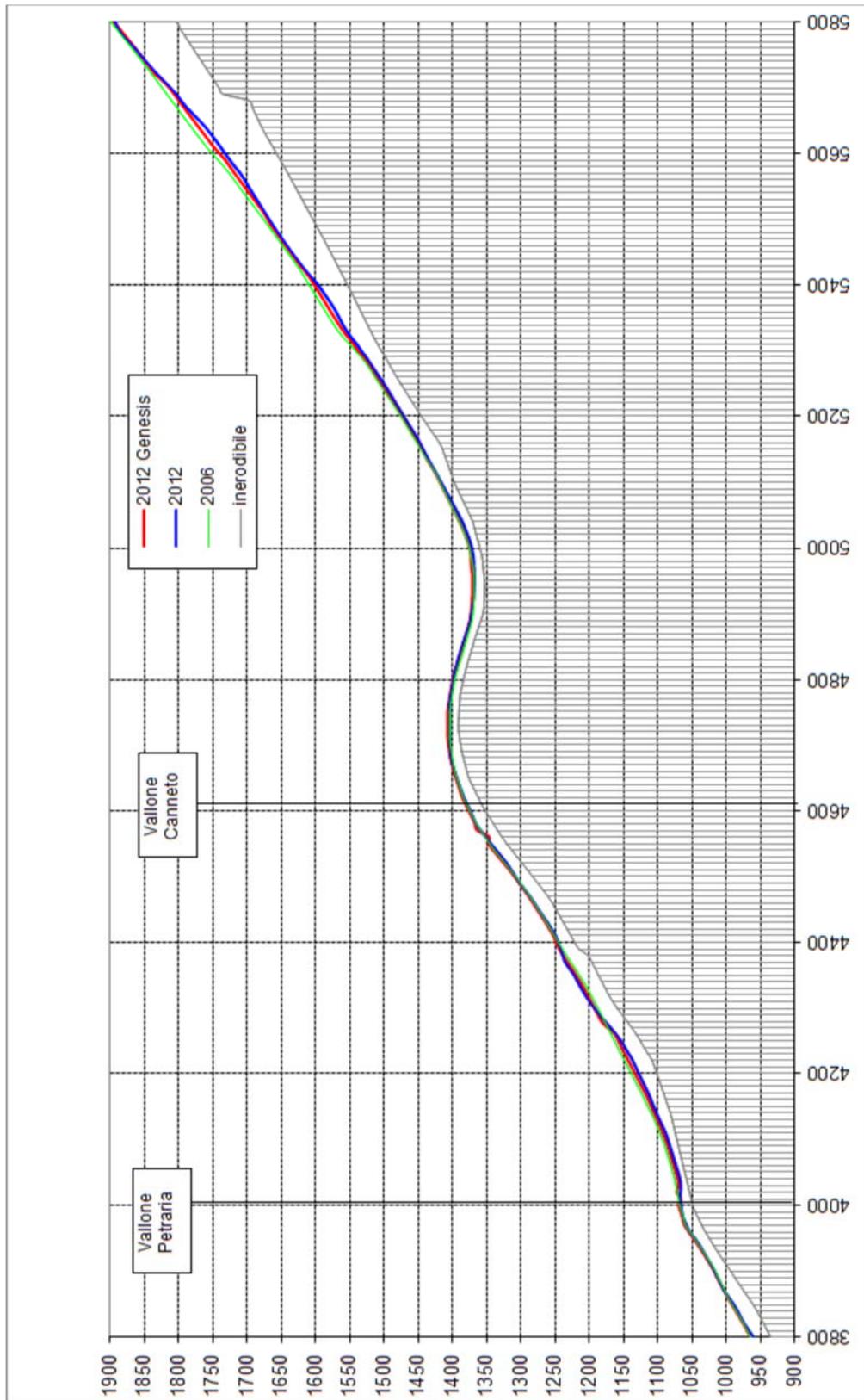
Figura 2- Calibrazione - evoluzione 2006-2012





COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

Affidamento in project financing della concessione dei lavori pubblici relativa a:
Realizzazione del Porto Turistico e delle Opere Connesse nel Comune di Santo Stefano di Camastra

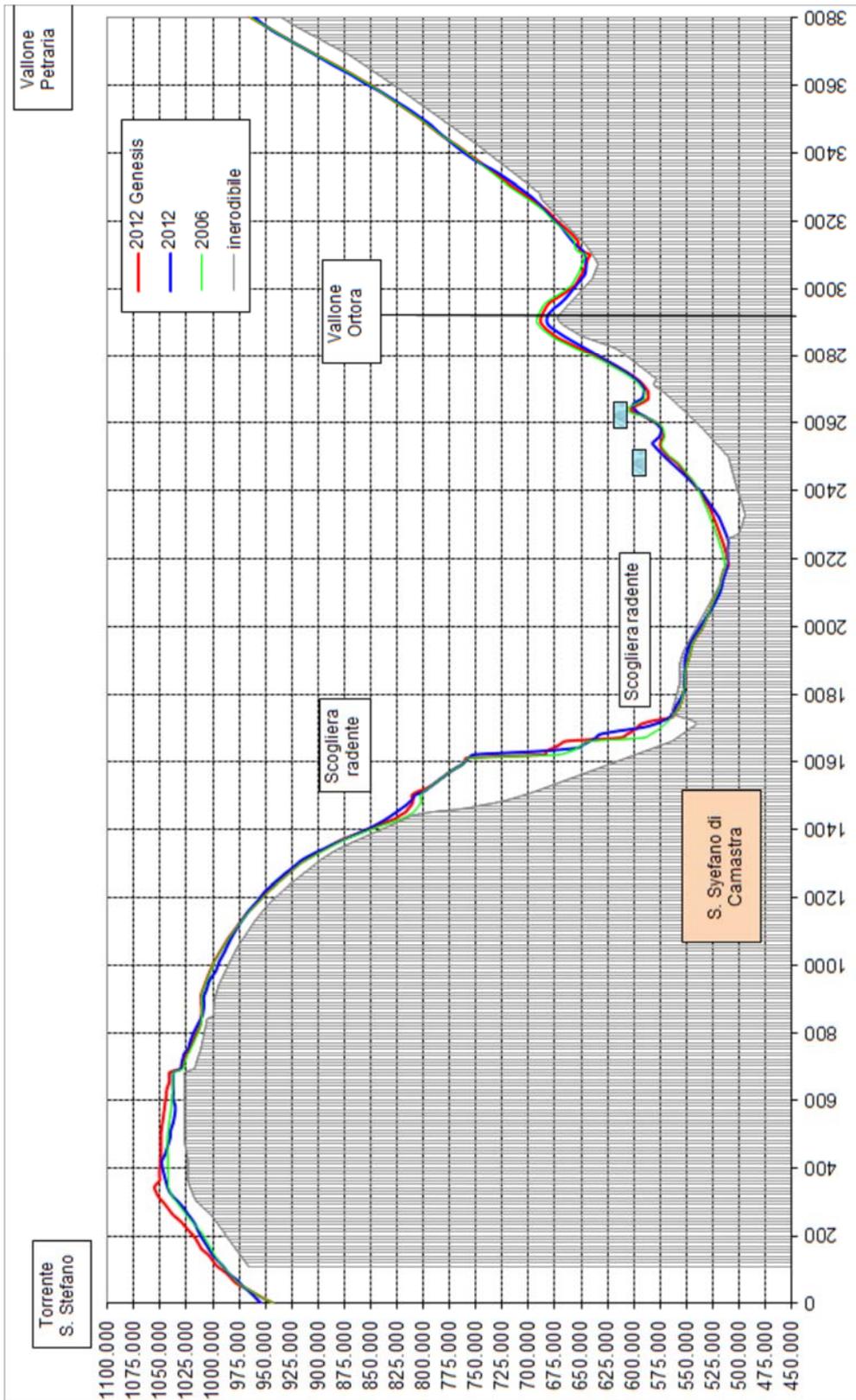


PROGETTO DEFINITIVO
STUDIO DELL'EVOLUZIONE DEL LITORALE



COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

Affidamento in project financing della concessione dei lavori pubblici relativa a:
Realizzazione del Porto Turistico e delle Opere Connesse nel Comune di Santo Stefano di Camastra



PROGETTO DEFINITIVO
STUDIO DELL'EVOLUZIONE DEL LITORALE



COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

Affidamento in project financing della concessione dei lavori pubblici relativa a:
Realizzazione del Porto Turistico e delle Opere Connesse nel Comune di Santo Stefano di Camastra

3.4 Previsione dell'evoluzione della linea di riva

La seconda fase dell'applicazione del modello GENESIS ha avuto per obiettivo la previsione dell'evoluzione della linea di riva nei 10 anni futuri, nello scenario attuale, in quello con il porto turistico in progetto in assenza ed in presenza di un by-pass mitigativo, mantenendo i valori dei parametri di taratura individuati in fase di calibrazione. Per quanto riguarda la linea di riva iniziale si fatto riferimento alla linea di riva del 2012 dell'aerofoto del portale cartografico del Ministero dell'Ambiente del Territorio e del Mare, in quanto la linea di riva del rilievo disponibile risale al 2010. Si fa presente che **il trasporto solido di seguito stimato è teorico o, in altre parole, potenziale: solo il monitoraggio della linea di costa che verrà effettuato fin dall'avvio dei lavori di costruzione del porto, consentirà di conoscere il valore del trasporto solido effettivo.**

1. Il risultato della previsione delle modifiche morfologiche del litorale nello scenario attuale è riportato in scala distorta nella Figura 6, nella quale sono riportate le linee di riva dopo 1, 2, 4, 6, 8 e 10 anni. Nella Figura 3 è riportato l'andamento del trasporto solido costiero dopo 1, 2, 4, 6, 8 e 10 anni. Anche in questo caso i flussi positivi si intendono diretti nel verso concorde con l'asse del modello.

Nella situazione attuale per i prossimi 10 anni si prevedono le seguenti tendenze evolutive:

- la spiaggia ad est della foce del torrente Santo Stefano per un tratto di circa 700 m subirà degli avanzamenti con valori da valutare successivamente con il monitoraggio continuo in corso d'opera e negli anni a seguire;
- la spiaggia di Santo Stefano di Camastra fino alla scogliera radente a protezione della ferrovia risulterà sostanzialmente stabile, in particolare nel tratto sono presenti due scogliere insabbiate, la linea di riva in corrispondenza della scogliera occidentale rimarrà sostanzialmente stabile mentre quella della scogliera orientale proseguirà ad avanzare soprattutto ad est nella zona di sottoflutto;
- la spiaggia ad est della scogliera radente a protezione della ferrovia risulterà sostanzialmente stabile fino alla foce del vallone Petraria, anche la foce del vallone Ortora risulterà stabile con un leggero arretramento nella parte orientale;
- la spiaggia tra la foce del Vallone Petraria e la foce del Vallone Canneto risulterà sostanzialmente stabile con piccoli arretramenti nel primo tratto di 300 m ad est della foce del Vallone Petraria e piccoli avanzamenti nel successivo tratto di 100 m;



COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

Affidamento in project financing della concessione dei lavori pubblici relativa a:
Realizzazione del Porto Turistico e delle Opere Connesse nel Comune di Santo Stefano di Camastra

- la spiaggia tra la foce del Vallone Canneto foce e la foce del torrente Caronia risulterà sostanzialmente stabile con piccoli avanzamenti nella parte orientale della foce del Vallone Canneto, piccoli arretramenti nel tratto di 600 m posto circa 700 m ad est della foce del Vallone Canneto e piccoli avanzamenti nel tratto di 300 m ad occidente della foce del torrente;
- il trasporto solido netto risulterà diretto verso est lungo tutto il tratto di litorale;
- il valore del trasporto solido teorico risulterà massimo in prossimità della foce del torrente S. Stefano pari a circa 60.000 m³/anno;
- lungo la spiaggia di S. Stefano di Camastra il trasporto solido teorico netto risulterà costante pari a circa 50.000 m³/anno;
- **il valore del trasporto solido teorico netto risulterà minimo in corrispondenza della scogliera radente a protezione della ferrovia con valori di circa 30.000 m³/anno calcolati in ragione dei volumi di sabbia disponibili e al netto delle dispersioni verso i fondali più profondi;**
- il valore del trasporto solido teorico netto risulterà poi crescente verso est raggiungendo un valore massimo circa 250 m ad est della foce del vallone Petraria, con valori teorici di circa 50.000 m³/anno, mantenendo tali valori fino a circa 400 m ed est della foce del Vallone Canneto;
- il valore del trasporto solido teorico netto risulterà poi crescente verso est raggiungendo un valore massimo circa 250 m ad est della foce del Torrente Caronia, con valori teorici di circa 65.000 m³/anno;
- il valore del trasporto solido teorico netto in corrispondenza della foce del torrente Caronia, estremità orientale del modello, risulterà avere valori teorici di circa 60.000 m³/anno;
- i valori del trasporto solido reale saranno valutati nel corso del monitoraggio a partire dalla realizzazione del pennello di intercettazione del sedimento previsto in progetto.

2. Il risultato della previsione delle modifiche morfologiche del litorale in presenza del Porto turistico di S. Stefano di Camastra è riportato in scala distorta nella Figura 7, e in scala naturale nella Figura 9 e nella Figura 10, nelle quali sono riportate le linee di riva dopo 1, 2, 4, 6, 8 e 10 anni. Nella Figura 4 è riportato l'andamento del trasporto solido costiero dopo 1, 2, 4, 6, 8 e 10



COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

Affidamento in project financing della concessione dei lavori pubblici relativa a:
Realizzazione del Porto Turistico e delle Opere Connesse nel Comune di Santo Stefano di Camastra

anni Anche in questo caso i flussi positivi si intendono diretti nel verso concorde con l'asse del modello. Nello scenario di progetto con il Porto turistico è previsto un pennello di intercettazione del sedimento. Tale pennello posto sulla scogliera di radicamento del molo di sopraflutto a circa 1350 m dalla foce del torrente S. Stefano raggiungerà fondali di circa 4,5 m di profondità. Nello scenario di progetto in assenza di ulteriori interventi si prevedono per i prossimi 10 anni le seguenti tendenze evolutive:

- la spiaggia ad est della foce del torrente Santo Stefano per un tratto di circa 500 m subirà degli avanzamenti con valori che saranno valutati nel corso del monitoraggio;
- la spiaggia ad ovest del porto turistico di Santo Stefano di Camastra avanzerà fino alla testata del pennello e tenderà ad allinearsi secondo la direzione ortogonale alla direzione nord, con avanzamenti che saranno valutati con il monitoraggio sia in fase di costruzione che in esercizio. Negli anni successivi la spiaggia ad ovest del porto turistico di Santo Stefano di Camastra proseguirà ad avanzare parallelamente per un tratto di circa 700 m;
- la spiaggia ad est della scogliera radente a protezione della ferrovia risulterà in erosione per un tratto di circa 300 m malgrado la protezione offerta da due scogliere distaccate esistenti;
- la spiaggia ad est delle due scogliere distaccate fino a circa 400 a ad est della foce del vallone Ortora risulterà in erosione, ma con fenomeni meno intensi di quelli del tratto precedente;
- la spiaggia ad est della foce del vallone Ortora fino alla foce del Vallone Canneto risulterà in erosione, ma con fenomeni meno intensi di quelli del tratto precedente;
- la spiaggia tra la foce del Vallone Canneto foce e la foce del torrente Caronia risulterà in erosione come il tratto precedente per un tratto di circa 800 m ed est della foce del Vallone Canneto, più ad oriente risulterà stabile con piccoli avanzamenti nel tratto di 300 m ad occidente della foce del torrente;
- il trasporto solido teorico netto risulterà diretto verso est tra la foce del torrente Santo Stefano e il porto turistico di S. Stefano di Camastra;
- il trasporto solido teorico netto risulterà nullo tra il molo di sopraflutto ed il molo di sottoflutto del porto turistico e lungo la scogliera radente a difesa della linea ferroviaria;
- il trasporto solido teorico netto risulterà diretto verso est tra la scogliera radente a difesa della linea ferroviaria e la foce del torrente Caronia;



COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

Affidamento in project financing della concessione dei lavori pubblici relativa a:
Realizzazione del Porto Turistico e delle Opere Connesse nel Comune di Santo Stefano di Camastra

- il trasporto solido teorico netto assumerà valori analoghi a quelli determinati in assenza del porto circa 800 m a est della foce del torrente Canneto.

3. Il risultato della previsione delle modifiche morfologiche del litorale in presenza del Porto turistico di S. Stefano di Camastra e di un impianto di by-pass con un quantitativo di circa 30.000 m³/anno è riportato in scala distorta nella Figura 8, e in scala naturale nella Figura 11 e nella Figura 12, nelle quali sono riportate le linee di riva dopo 1, 2, 4, 6, 8 e 10 anni. Nella Figura 5 è riportato l'andamento del trasporto solido costiero dopo 1, 2, 4, 6, 8 e 10 anni. Anche in questo caso i flussi positivi si intendono diretti nel verso concorde con l'asse del modello. Nello scenario di progetto con il Porto turistico e impianto di by-pass è previsto il prelievo in corrispondenza dell'area ad ovest del pennello di intercettazione del sedimento e lo sversamento tramite condotta fissa a valle della scogliera radente ad est del porto. Cautelativamente nell'applicazione del modello si è considerato che l'impianto di by-pass sia realizzato un anno dopo la realizzazione delle opere esterne del porto.

Nello scenario di progetto con impianto di by-pass funzionante con un quantitativo di circa 30.000 m³/anno si prevedono per i prossimi 10 anni le seguenti tendenze evolutive:

- la spiaggia ad est della foce del torrente Santo Stefano per un tratto di circa 500 m subirà degli avanzamenti con valori che saranno valutati nel corso del monitoraggio;
- la spiaggia ad ovest del porto turistico di Santo Stefano di Camastra per un tratto di circa 400 m subirà degli avanzamenti che saranno valutati con il monitoraggio sia in fase di costruzione che in esercizio; nella zona sopraflutto del pennello di intercettazione (*sand trapping*) il materiale intercettato annualmente viene dragato verso le spiagge ad est della scogliera radente a protezione della ferrovia, che risulta in tal modo stabile nel tempo;
- la spiaggia ad est della scogliera radente a protezione della ferrovia risulterà sostanzialmente stabile fino alla foce del vallone Petraria, anche la foce del vallone Ortora risulterà stabile con un leggero arretramento nella parte orientale;
- la spiaggia tra la foce del Vallone Petraria e la foce del Vallone Canneto risulterà sostanzialmente stabile con piccoli arretramenti nel primo tratto di 300 m ad est della foce del Vallone Petraria e piccoli avanzamenti nel successivo tratto di 100 m;



COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

Affidamento in project financing della concessione dei lavori pubblici relativa a:
Realizzazione del Porto Turistico e delle Opere Connesse nel Comune di Santo Stefano di Camastra

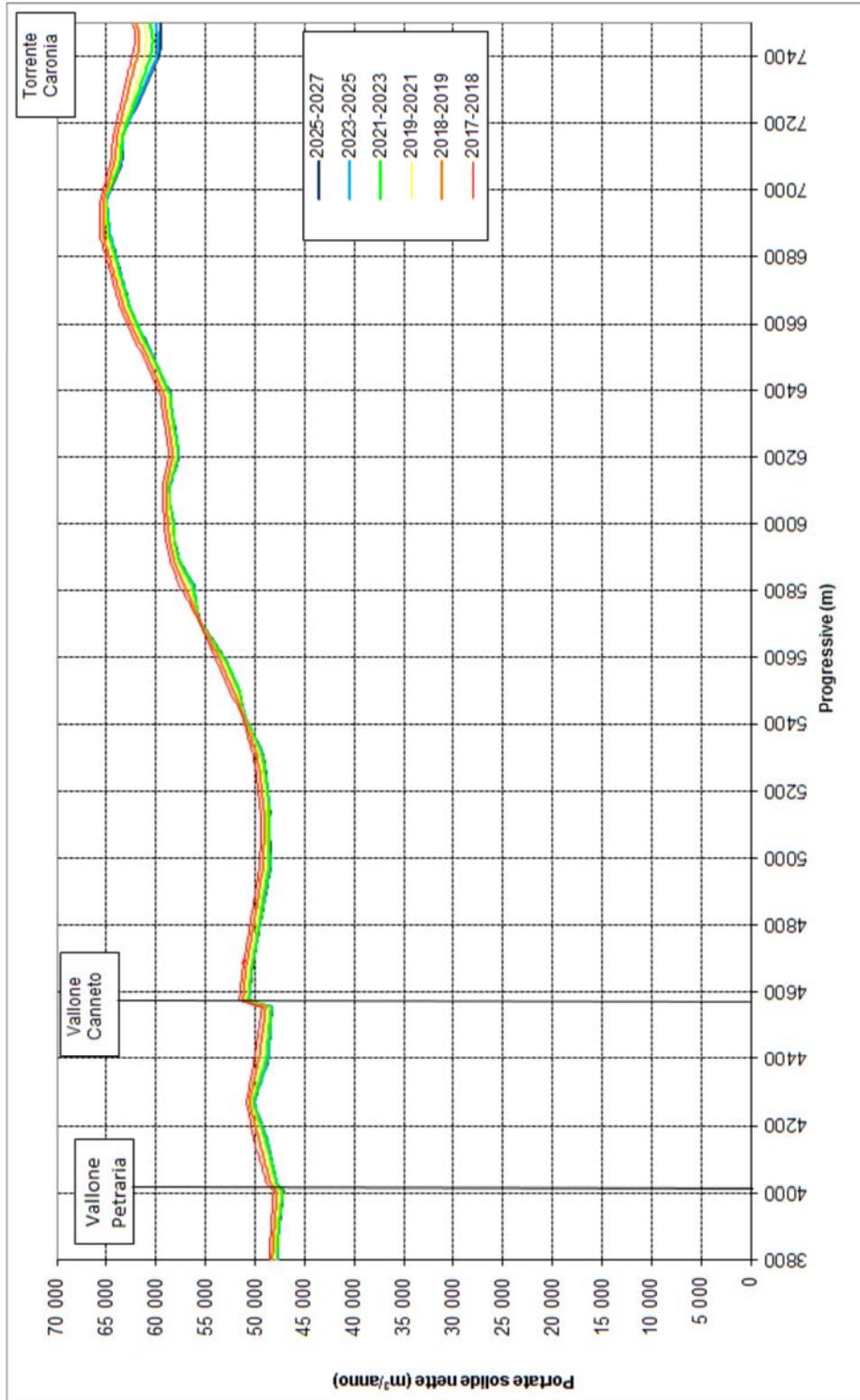
- la spiaggia tra la foce del Vallone Canneto foce e la foce del torrente Caronia risulterà sostanzialmente stabile con piccoli avanzamenti nella parte orientale della foce del Vallone Canneto, piccoli arretramenti nel tratto di 600 m posto circa 700 m ad est della foce del Vallone Canneto e piccoli avanzamenti nel tratto di 300 m ad occidente della foce del torrente;
- il trasporto solido teorico netto risulterà diretto verso est tra la foce del torrente Santo Stefano e il porto turistico di S. Stefano di Camastra;
- il trasporto solido teorico netto dovuto al moto ondoso risulterà nullo tra il molo di sopraflutto ed il molo di sottoflutto del porto turistico e lungo la scogliera radente a difesa della linea ferroviaria;
- il trasporto solido teorico netto risulterà diretto verso est tra la scogliera radente a difesa della linea ferroviaria e la foce del torrente Caronia;
- il trasporto solido teorico netto assumerà valori analoghi a quelli determinati in assenza del porto a est della scogliera radente a protezione della ferrovia



COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

Affidamento in project financing della concessione dei lavori pubblici relativa a:
Realizzazione del Porto Turistico e delle Opere Connesse nel Comune di Santo Stefano di Camastra

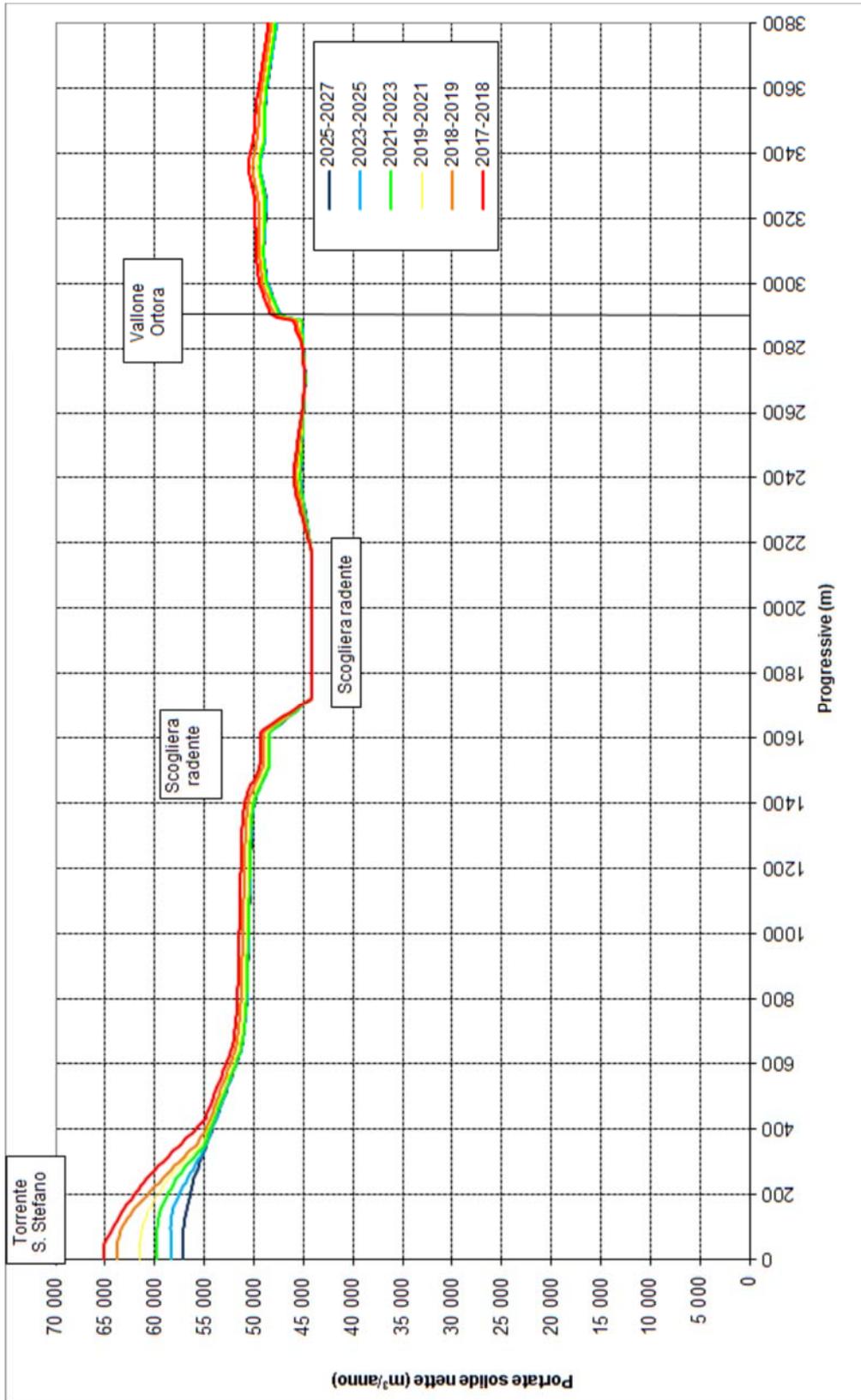
Figura 3 – Andamento delle portate solide nette calcolata dal modello GENESIS – scenario attuale





COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

Affidamento in project financing della concessione dei lavori pubblici relativa a:
Realizzazione del Porto Turistico e delle Opere Connesse nel Comune di Santo Stefano di Camastra



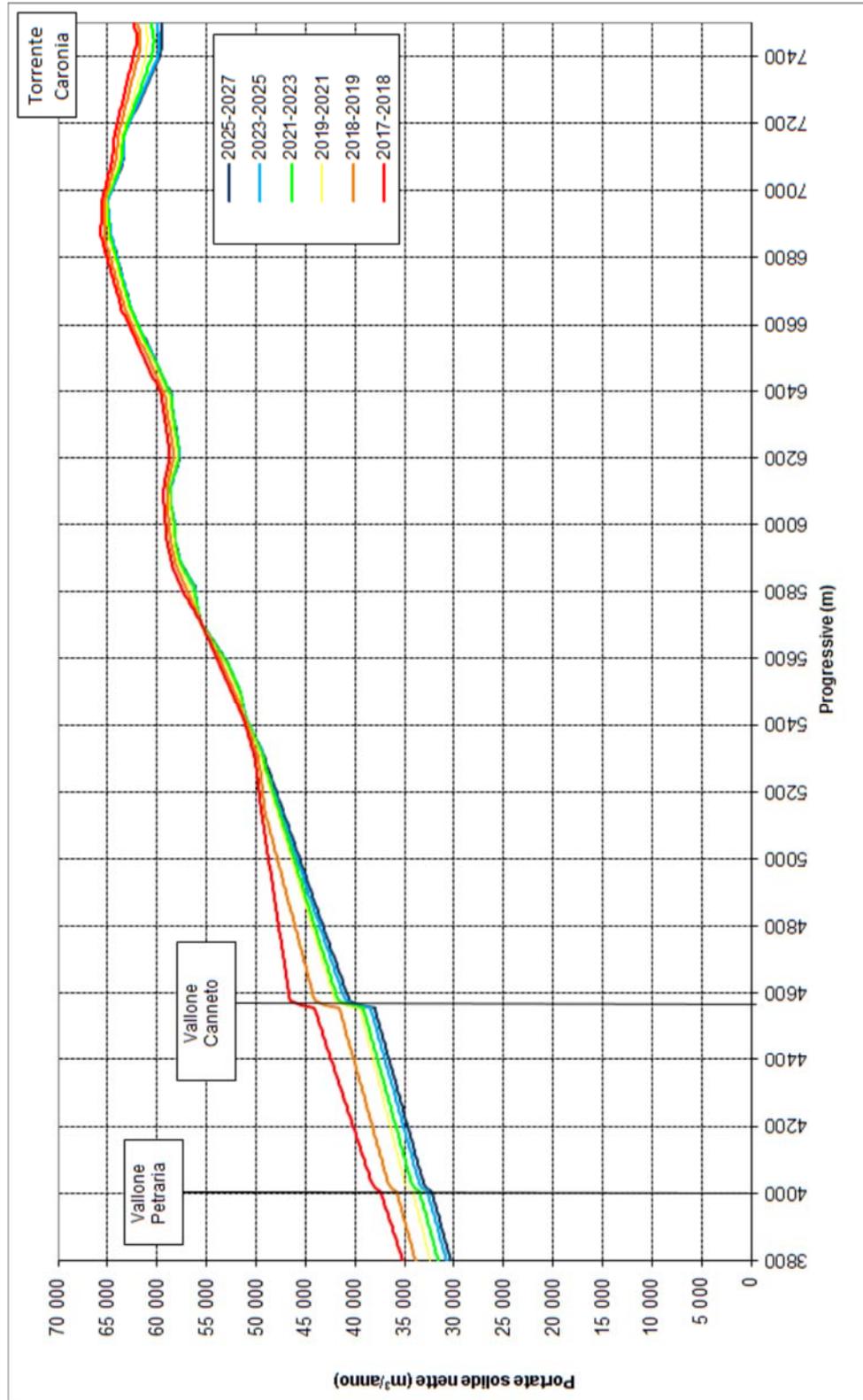
PROGETTO DEFINITIVO
STUDIO DELL'EVOLUZIONE DEL LITORALE



COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

Affidamento in project financing della concessione dei lavori pubblici relativa a:
Realizzazione del Porto Turistico e delle Opere Connesse nel Comune di Santo Stefano di Camastra

Figura 4 – Andamento delle portate solide nette calcolata dal modello GENESIS – scenario con il porto turistico

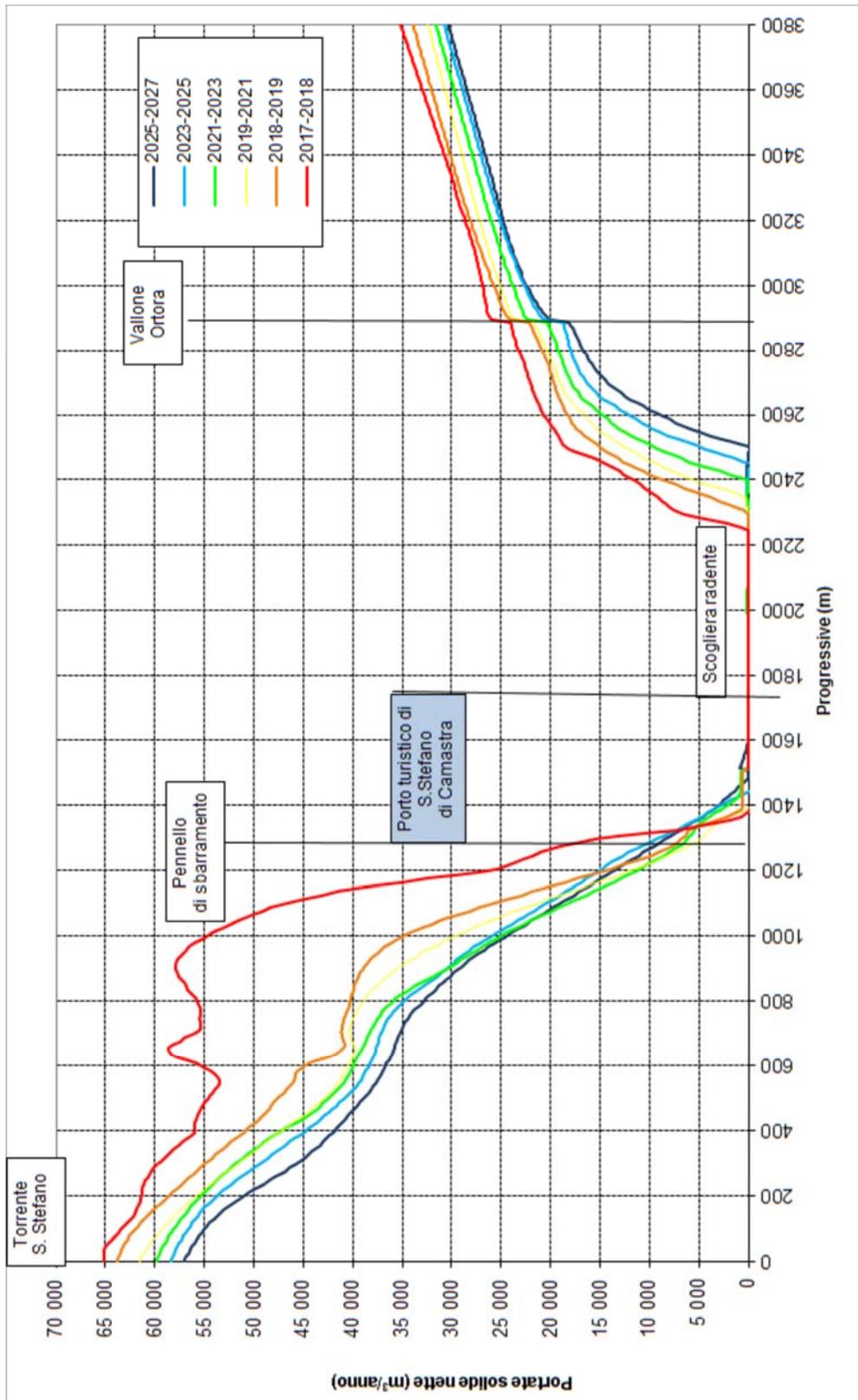


PROGETTO DEFINITIVO
STUDIO DELL'EVOLUZIONE DEL LITORALE



COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

Affidamento in project financing della concessione dei lavori pubblici relativa a:
Realizzazione del Porto Turistico e delle Opere Connesse nel Comune di Santo Stefano di Camastra



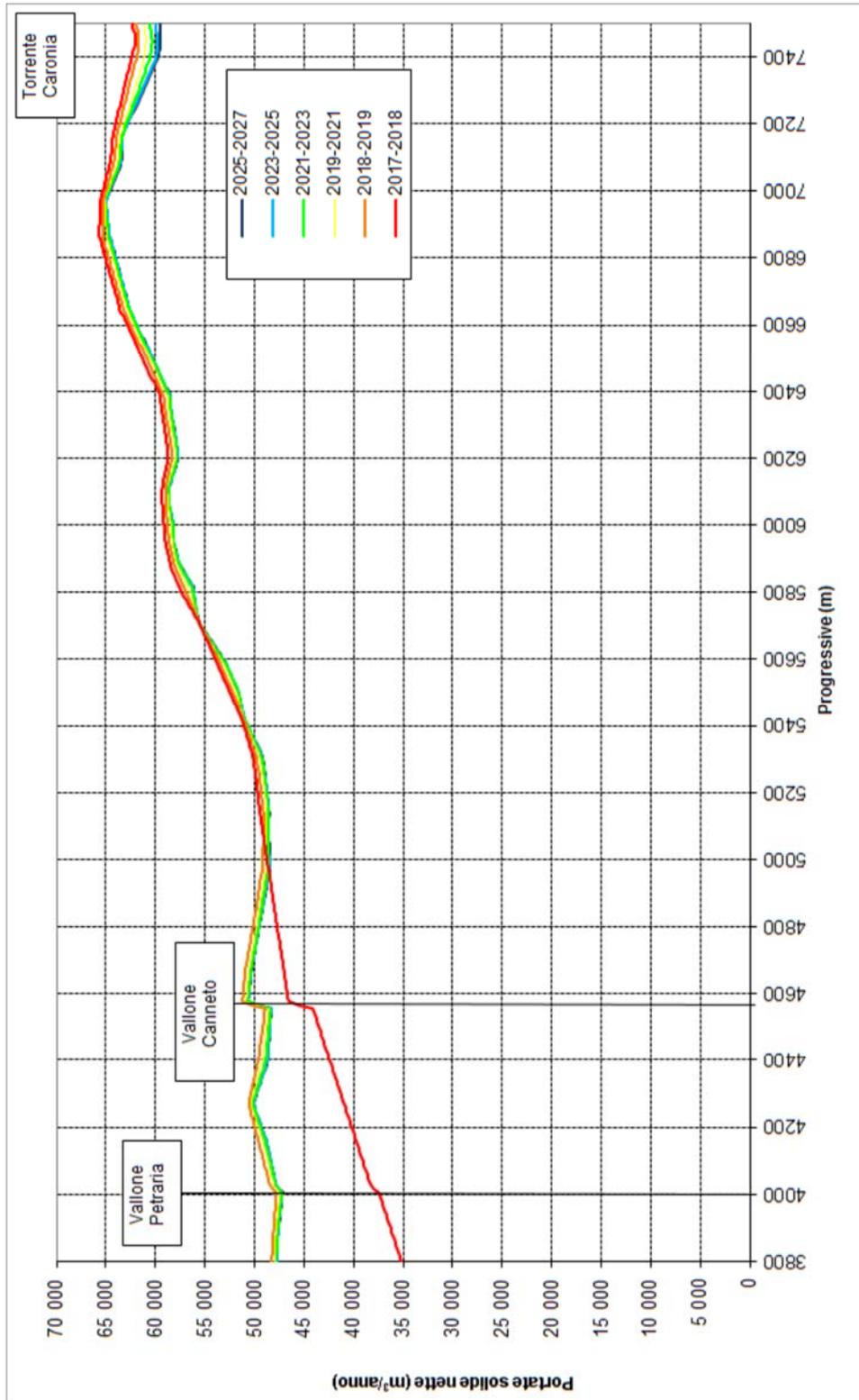
PROGETTO DEFINITIVO
STUDIO DELL'EVOLUZIONE DEL LITORALE



COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

Affidamento in project financing della concessione dei lavori pubblici relativa a:
Realizzazione del Porto Turistico e delle Opere Connesse nel Comune di Santo Stefano di Camastra

Figura 5 – Andamento delle portate solide nette calcolata dal modello GENESIS – scenario con il porto turistico e bay-pass di **44.000 m³/anno**.

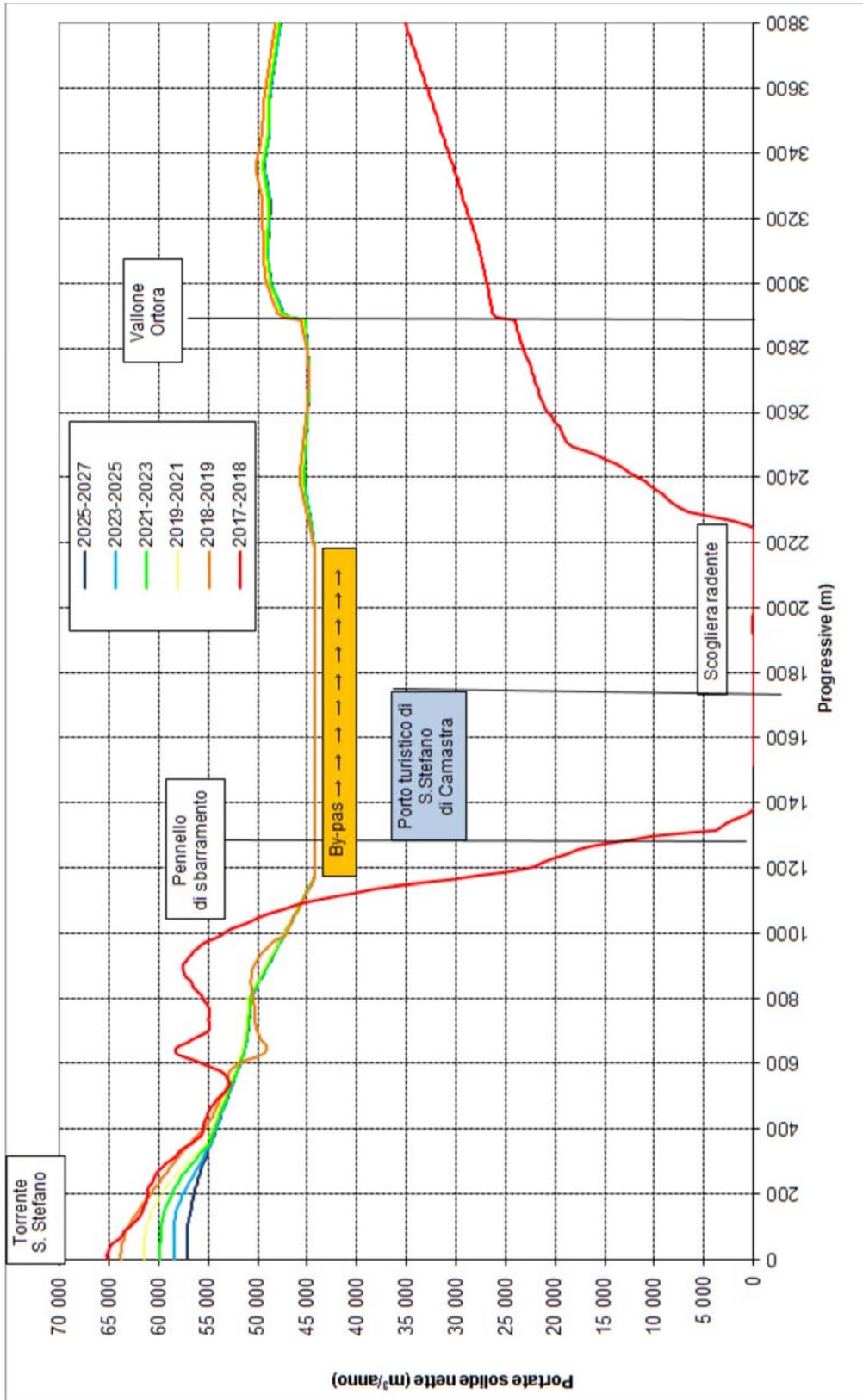


PROGETTO DEFINITIVO
STUDIO DELL'EVOLUZIONE DEL LITORALE



COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

Affidamento in project financing della concessione dei lavori pubblici relativa a:
Realizzazione del Porto Turistico e delle Opere Connesse nel Comune di Santo Stefano di Camastra



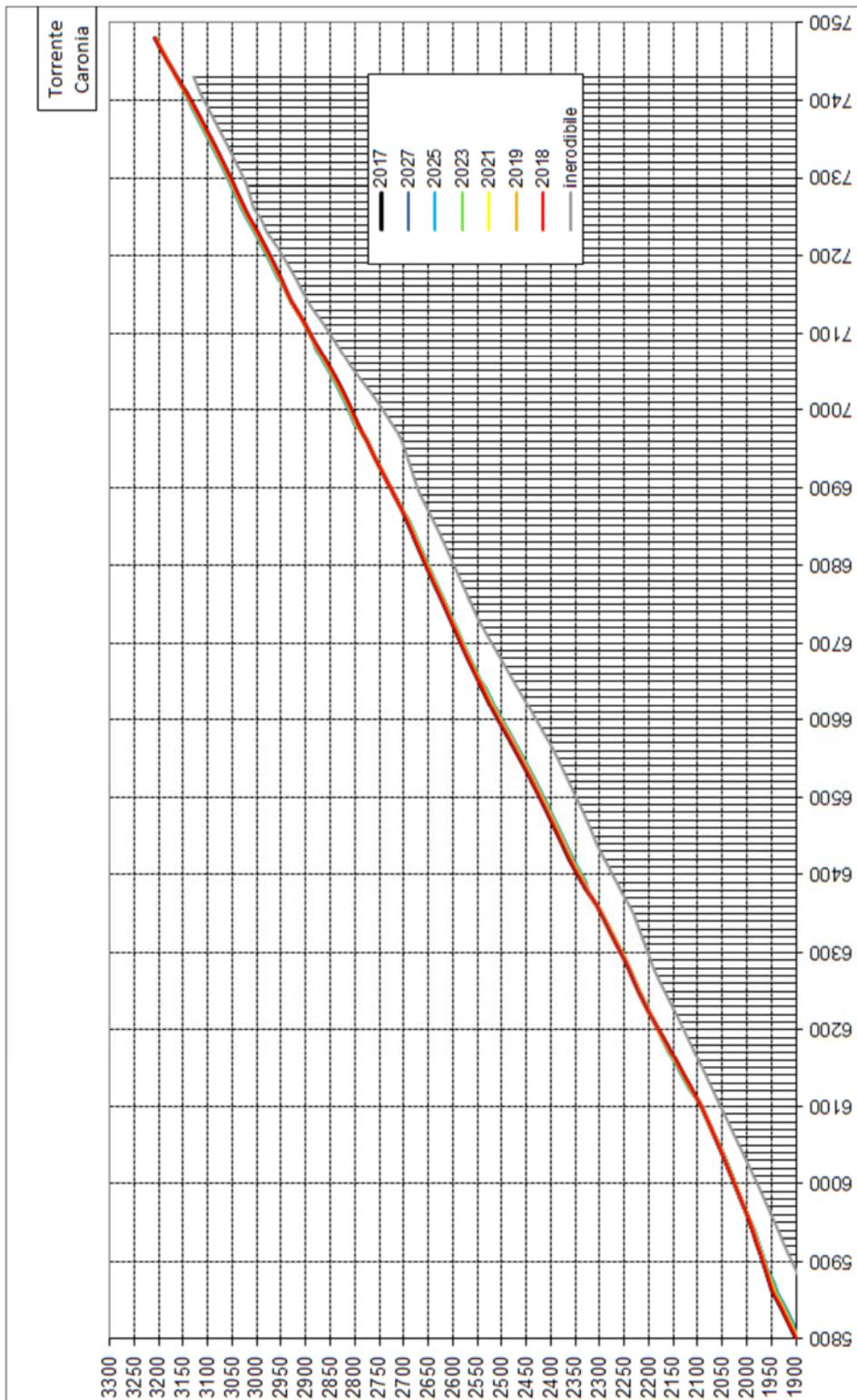
PROGETTO DEFINITIVO
STUDIO DELL'EVOLUZIONE DEL LITORALE



COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

Affidamento in project financing della concessione dei lavori pubblici relativa a:
Realizzazione del Porto Turistico e delle Opere Connesse nel Comune di Santo Stefano di Camastra

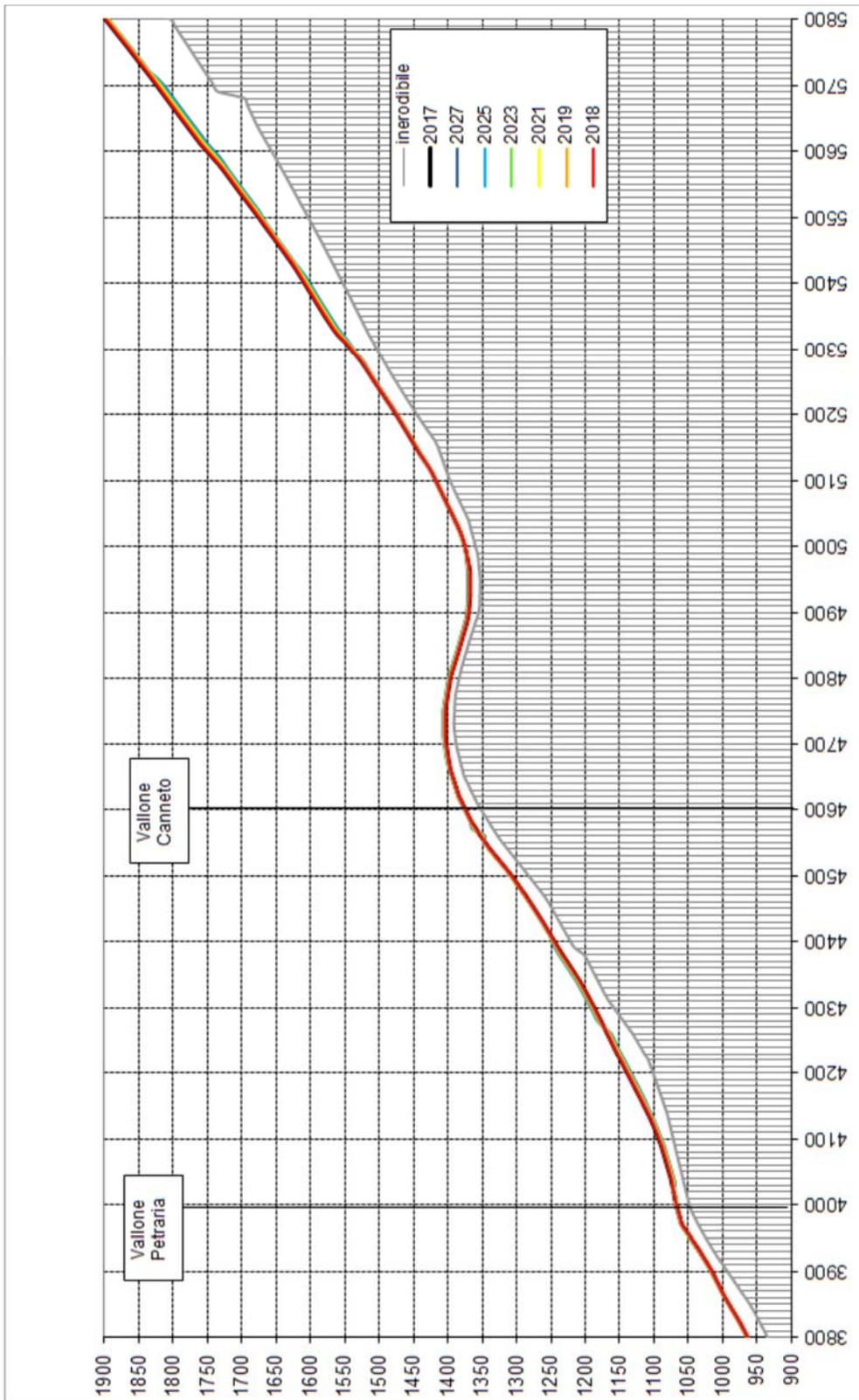
Figura 6 - Previsione evoluzione linea di riva, scenario attuale





COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

Affidamento in project financing della concessione dei lavori pubblici relativa a:
Realizzazione del Porto Turistico e delle Opere Connesse nel Comune di Santo Stefano di Camastra

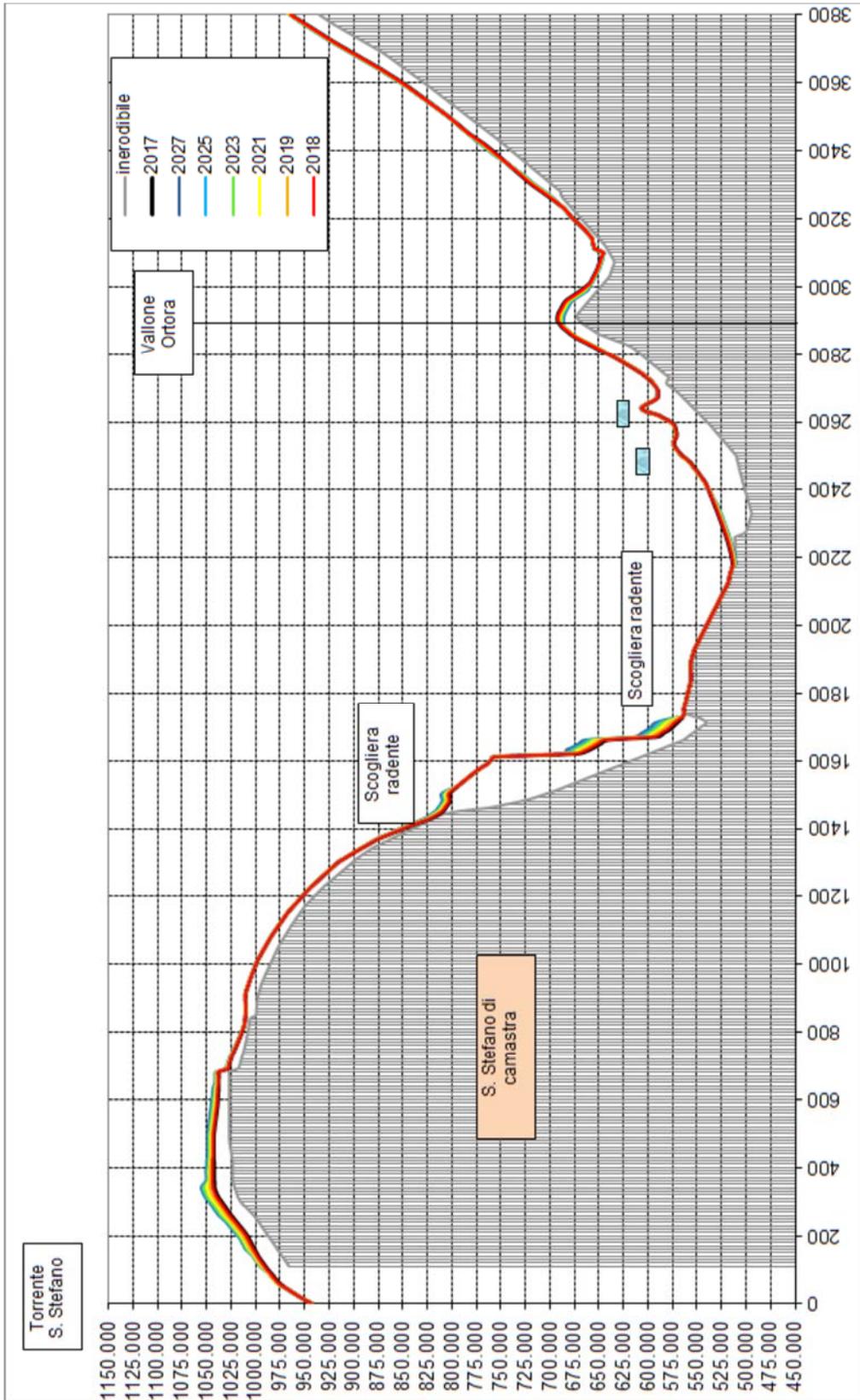


PROGETTO DEFINITIVO
STUDIO DELL'EVOLUZIONE DEL LITORALE



COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

Affidamento in project financing della concessione dei lavori pubblici relativa a:
Realizzazione del Porto Turistico e delle Opere Connesse nel Comune di Santo Stefano di Camastra



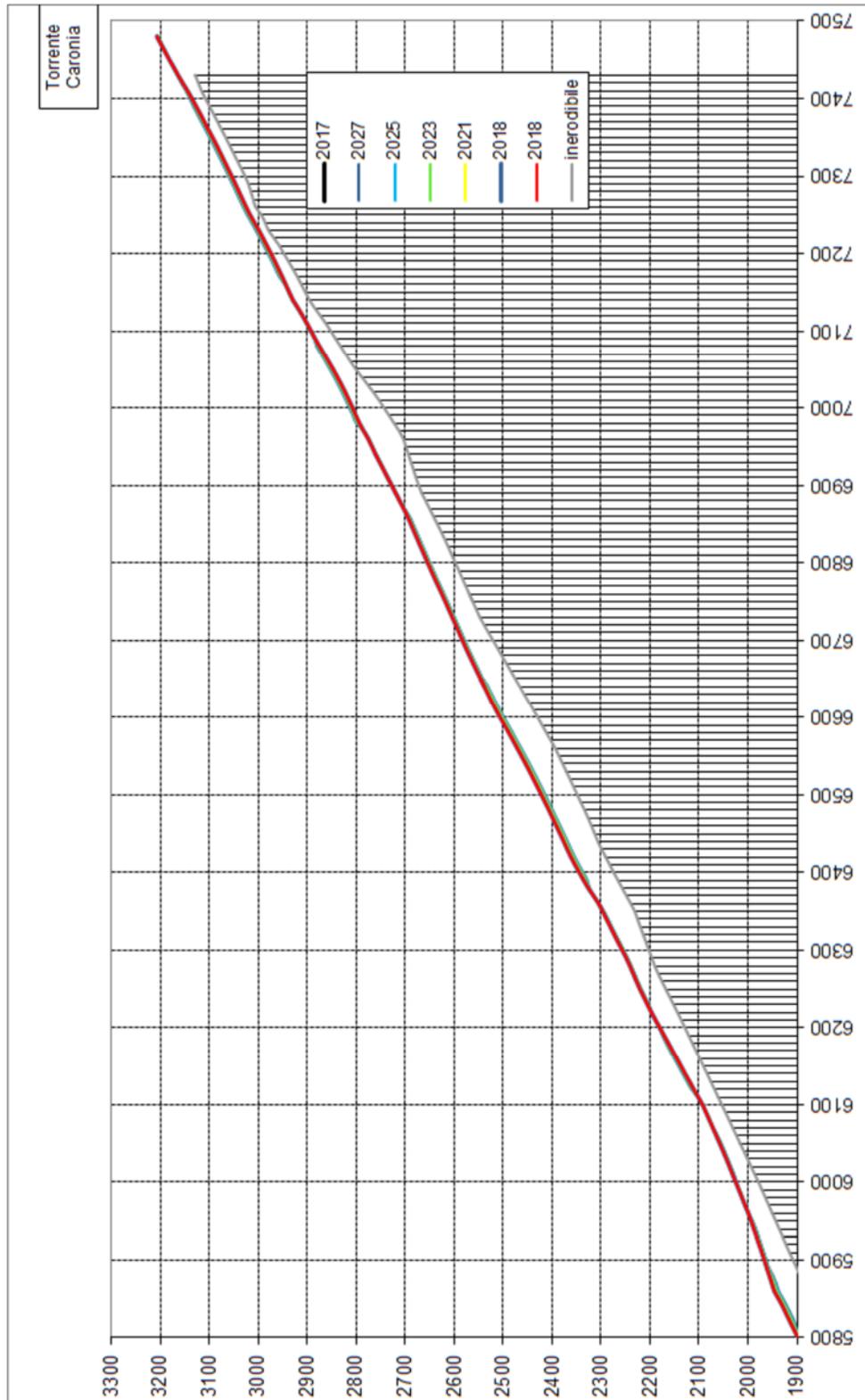
PROGETTO DEFINITIVO
STUDIO DELL'EVOLUZIONE DEL LITORALE



COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

Affidamento in project financing della concessione dei lavori pubblici relativa a:
Realizzazione del Porto Turistico e delle Opere Connesse nel Comune di Santo Stefano di Camastra

Figura 7 – Previsione evoluzione linea di riva, scenario con il porto turistico

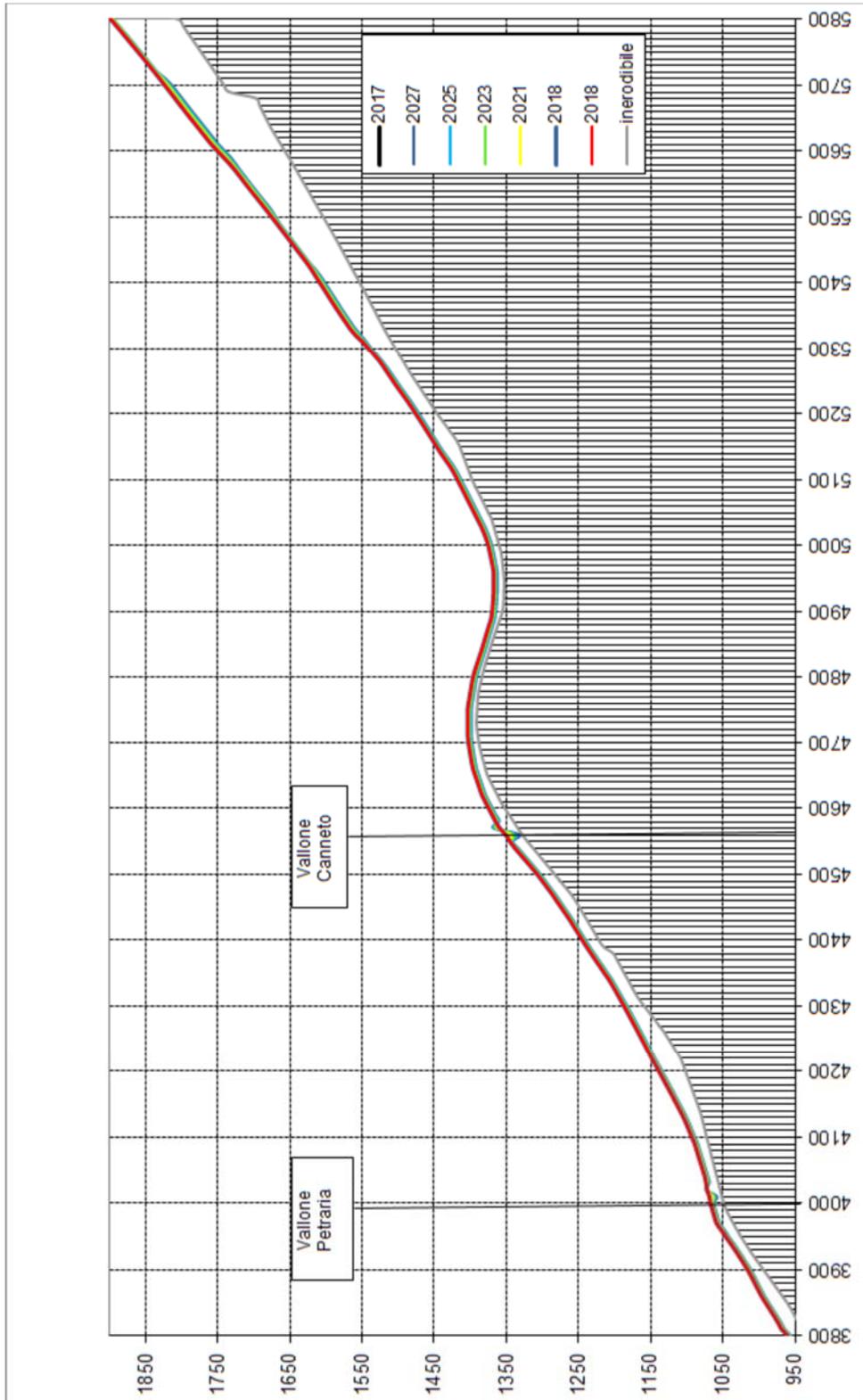


PROGETTO DEFINITIVO
STUDIO DELL'EVOLUZIONE DEL LITORALE



COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

Affidamento in project financing della concessione dei lavori pubblici relativa a:
Realizzazione del Porto Turistico e delle Opere Connesse nel Comune di Santo Stefano di Camastra

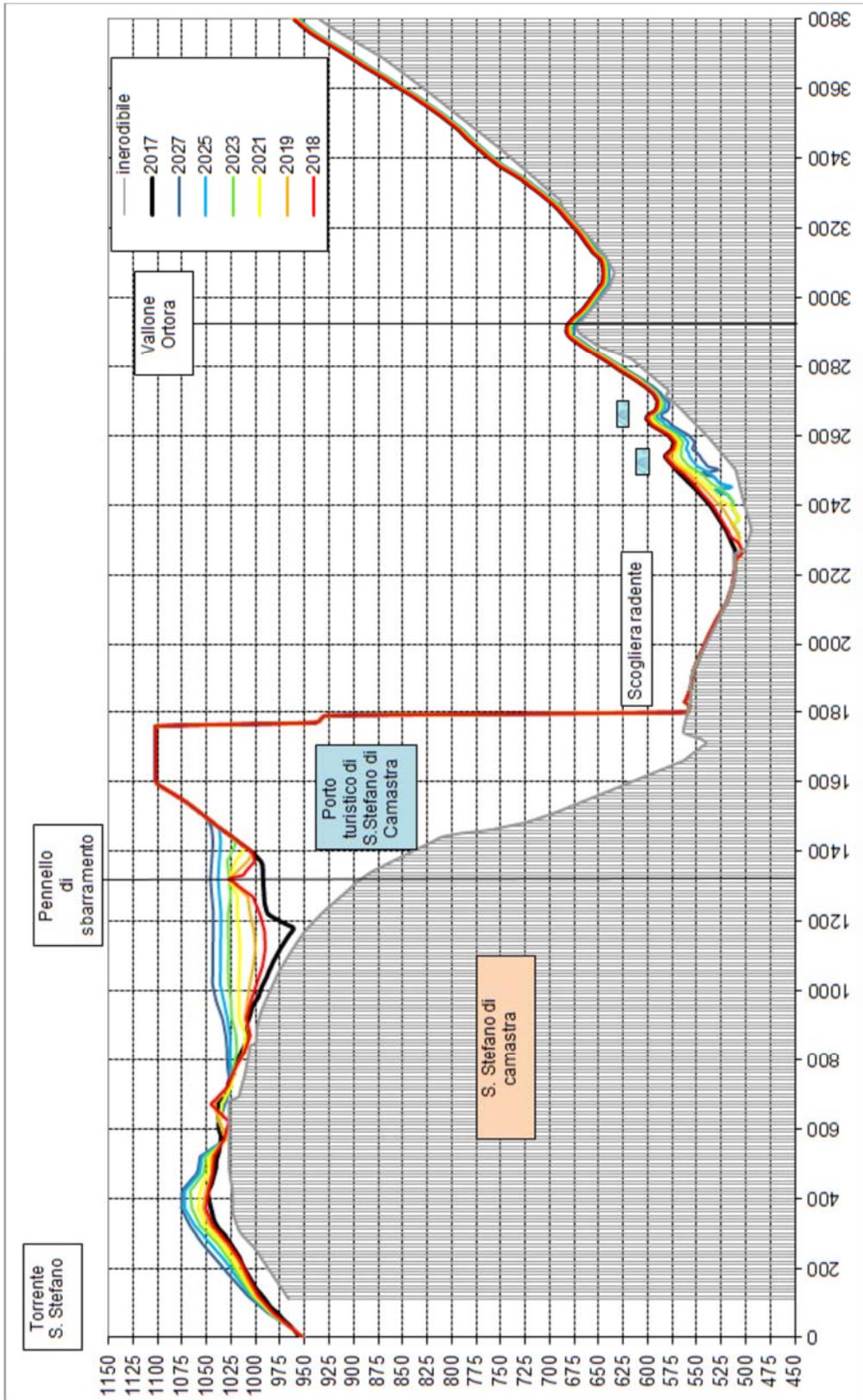


**PROGETTO DEFINITIVO
STUDIO DELL'EVOLUZIONE DEL LITORALE**



COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

Affidamento in project financing della concessione dei lavori pubblici relativa a:
Realizzazione del Porto Turistico e delle Opere Connesse nel Comune di Santo Stefano di Camastra



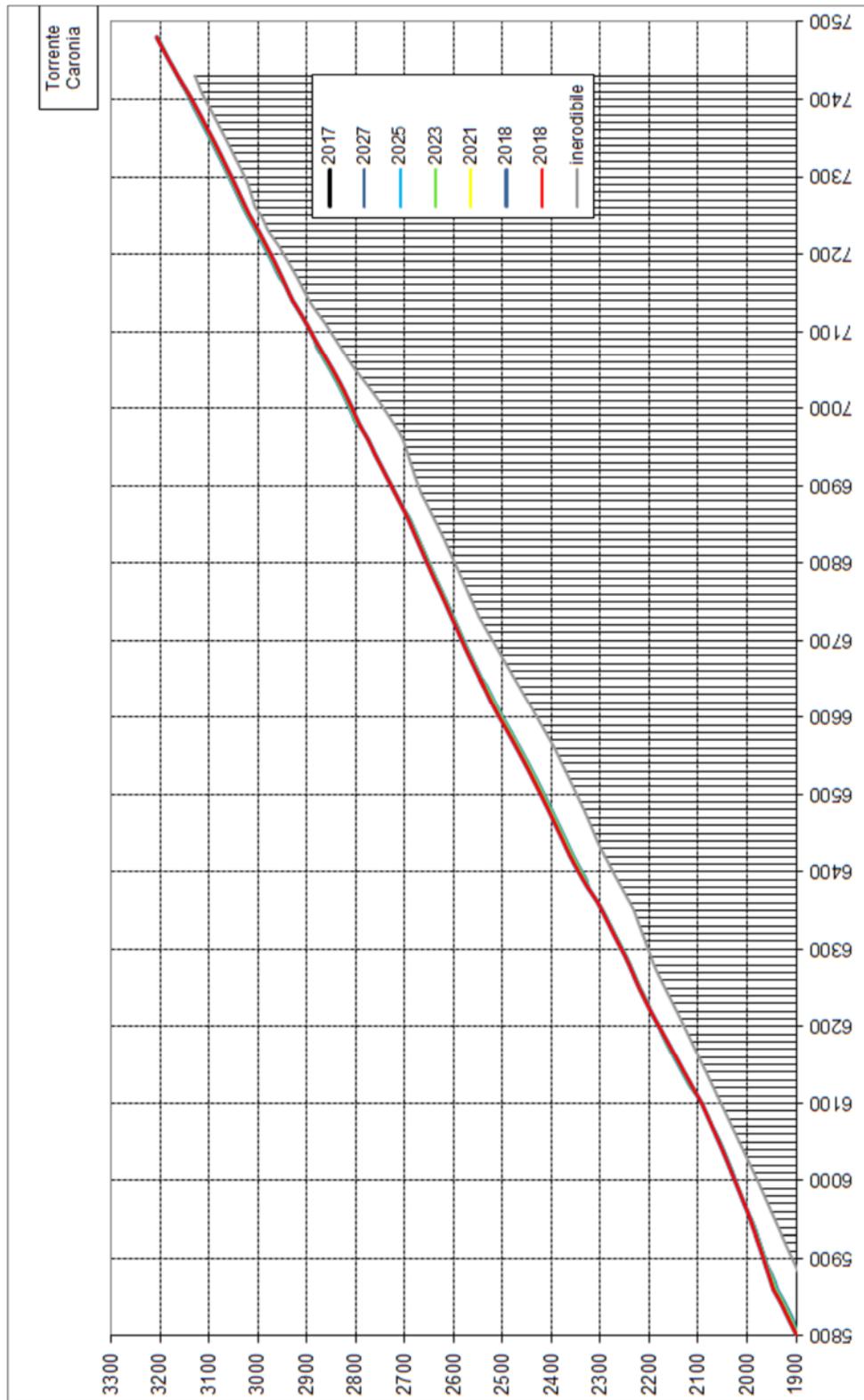
PROGETTO DEFINITIVO
STUDIO DELL'EVOLUZIONE DEL LITORALE



COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

Affidamento in project financing della concessione dei lavori pubblici relativa a:
Realizzazione del Porto Turistico e delle Opere Connesse nel Comune di Santo Stefano di Camastra

Figura 8 – Previsione evoluzione linea di riva, scenario con il porto turistico e bay-pass di 30.000 m³/anno (in ragione dei volumi di sabbia disponibili e al netto delle dispersioni verso i fondali più profondi)

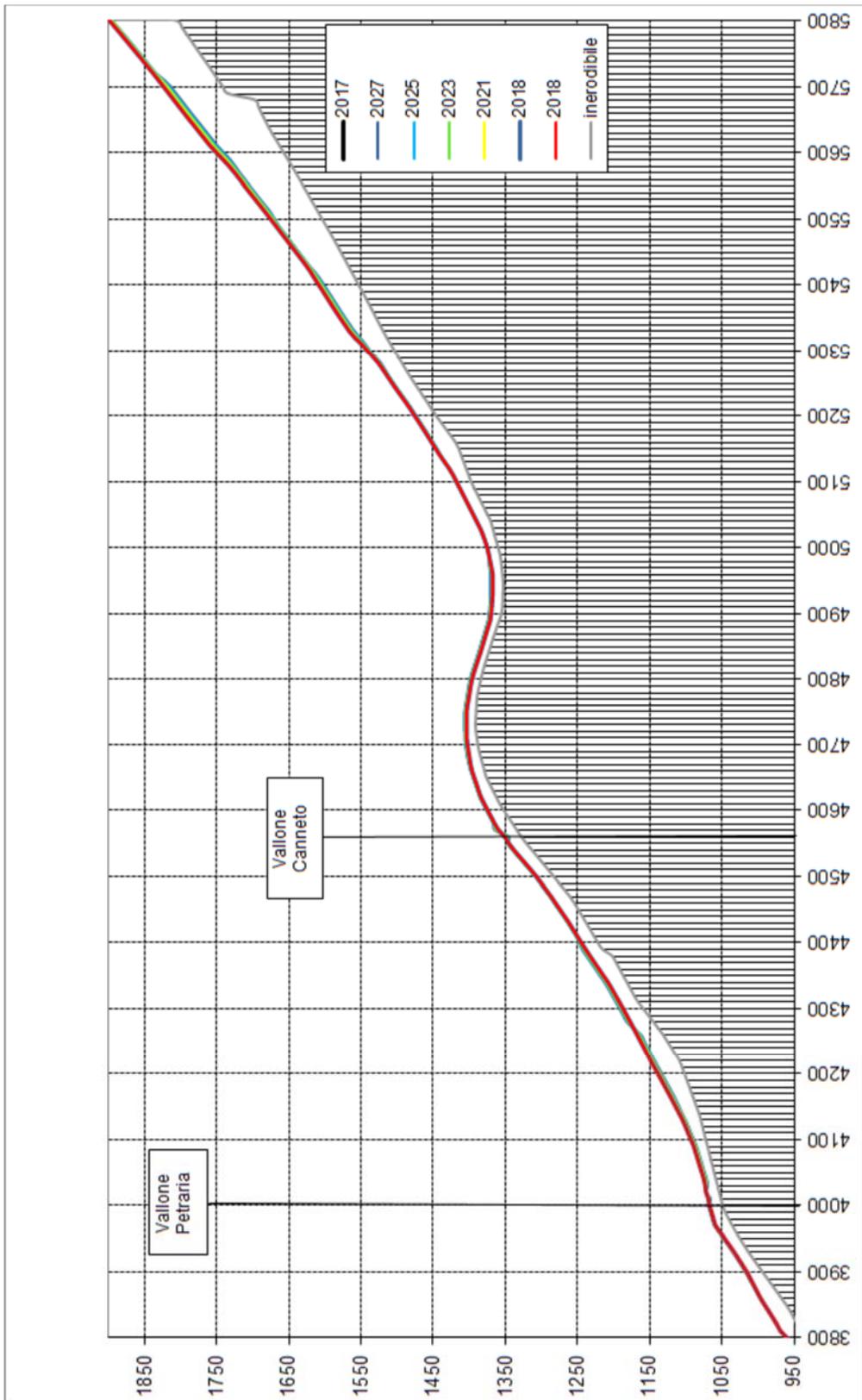


PROGETTO DEFINITIVO
STUDIO DELL'EVOLUZIONE DEL LITORALE



COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

Affidamento in project financing della concessione dei lavori pubblici relativa a:
Realizzazione del Porto Turistico e delle Opere Connesse nel Comune di Santo Stefano di Camastra

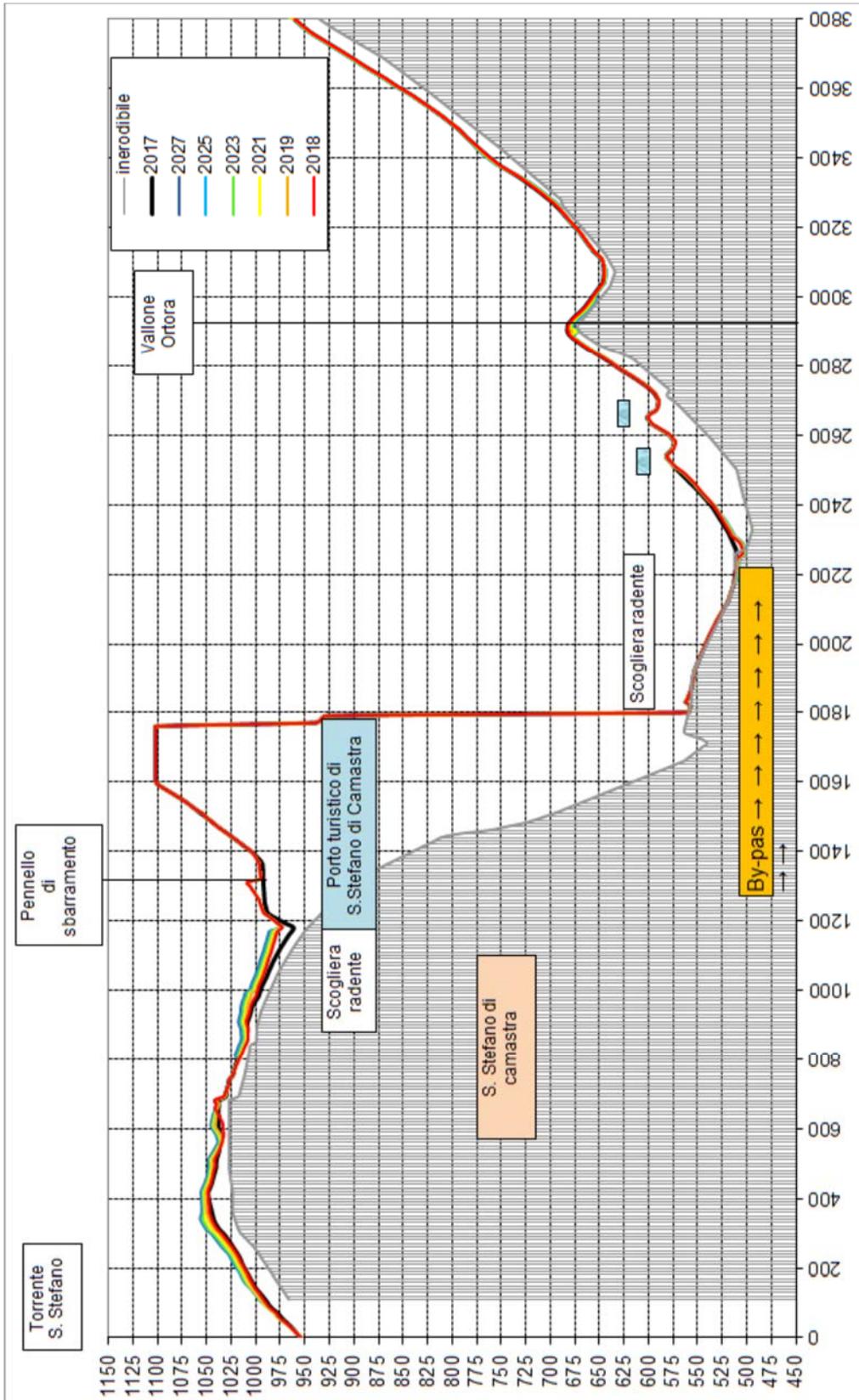


**PROGETTO DEFINITIVO
STUDIO DELL'EVOLUZIONE DEL LITORALE**



COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

Affidamento in project financing della concessione dei lavori pubblici relativa a:
Realizzazione del Porto Turistico e delle Opere Connesse nel Comune di Santo Stefano di Camastra



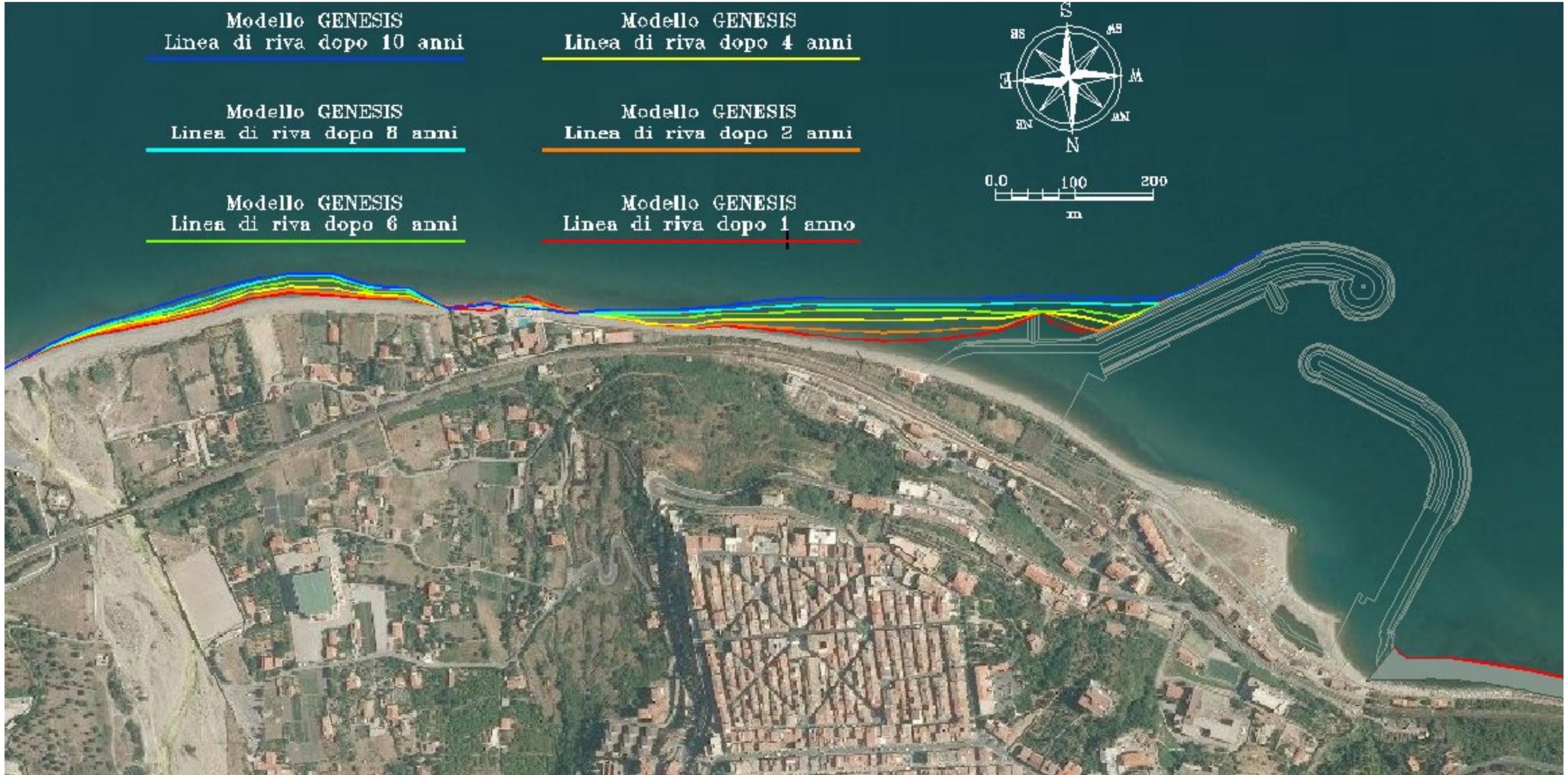
PROGETTO DEFINITIVO
STUDIO DELL'EVOLUZIONE DEL LITORALE



COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

Affidamento in project financing della concessione dei lavori pubblici relativa a:
Realizzazione del Porto Turistico e delle Opere Connesse nel Comune di Santo Stefano di Camastra

Figura 9 - Previsione evoluzione linea di riva, scenario di progetto - dettaglio ad ovest del porto turistico

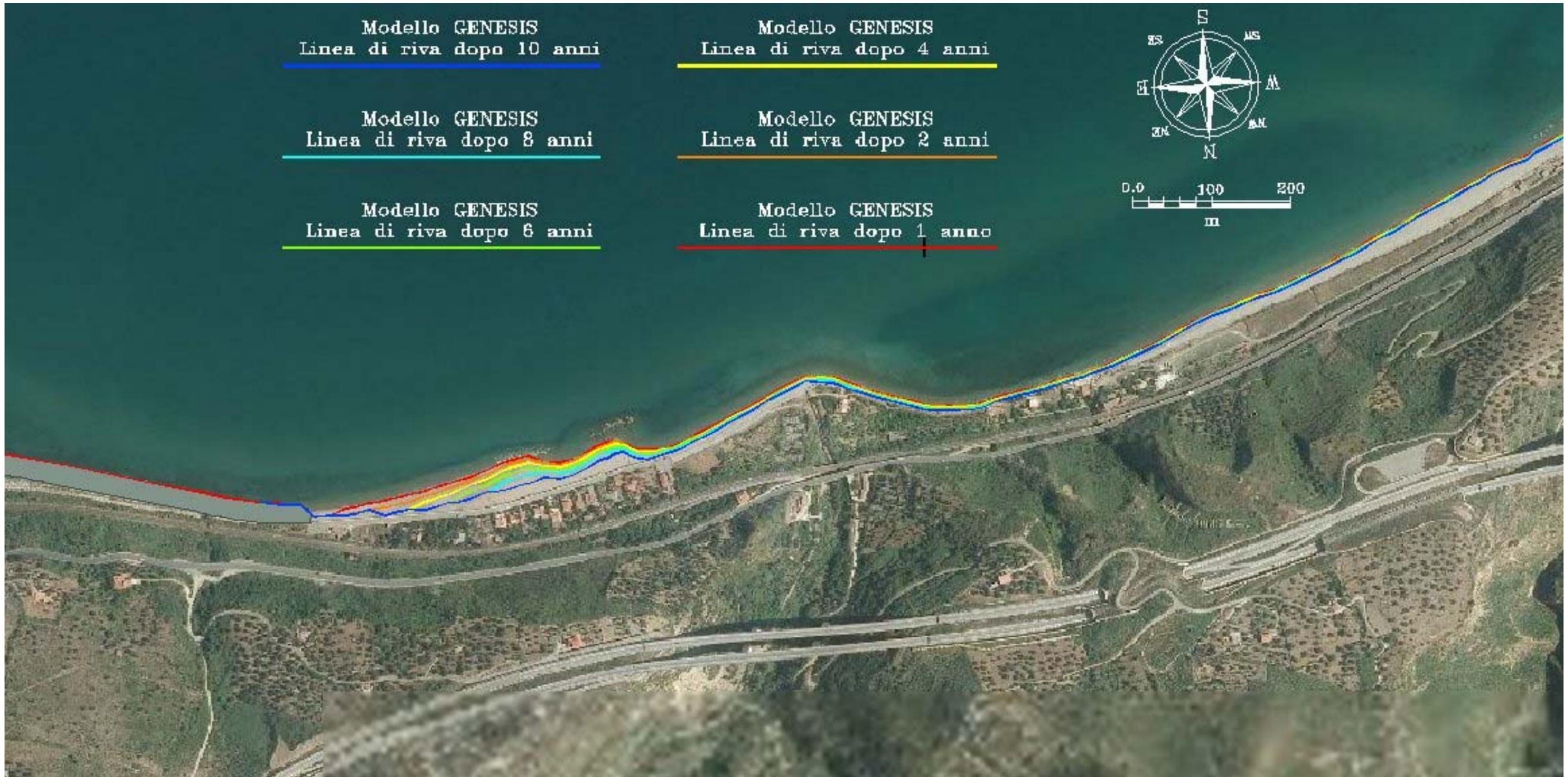




COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

Affidamento in project financing della concessione dei lavori pubblici relativa a:
Realizzazione del Porto Turistico e delle Opere Connesse nel Comune di Santo Stefano di Camastra

Figura 10 - Previsione evoluzione linea di riva, scenario di progetto - dettaglio ad est del porto turistico

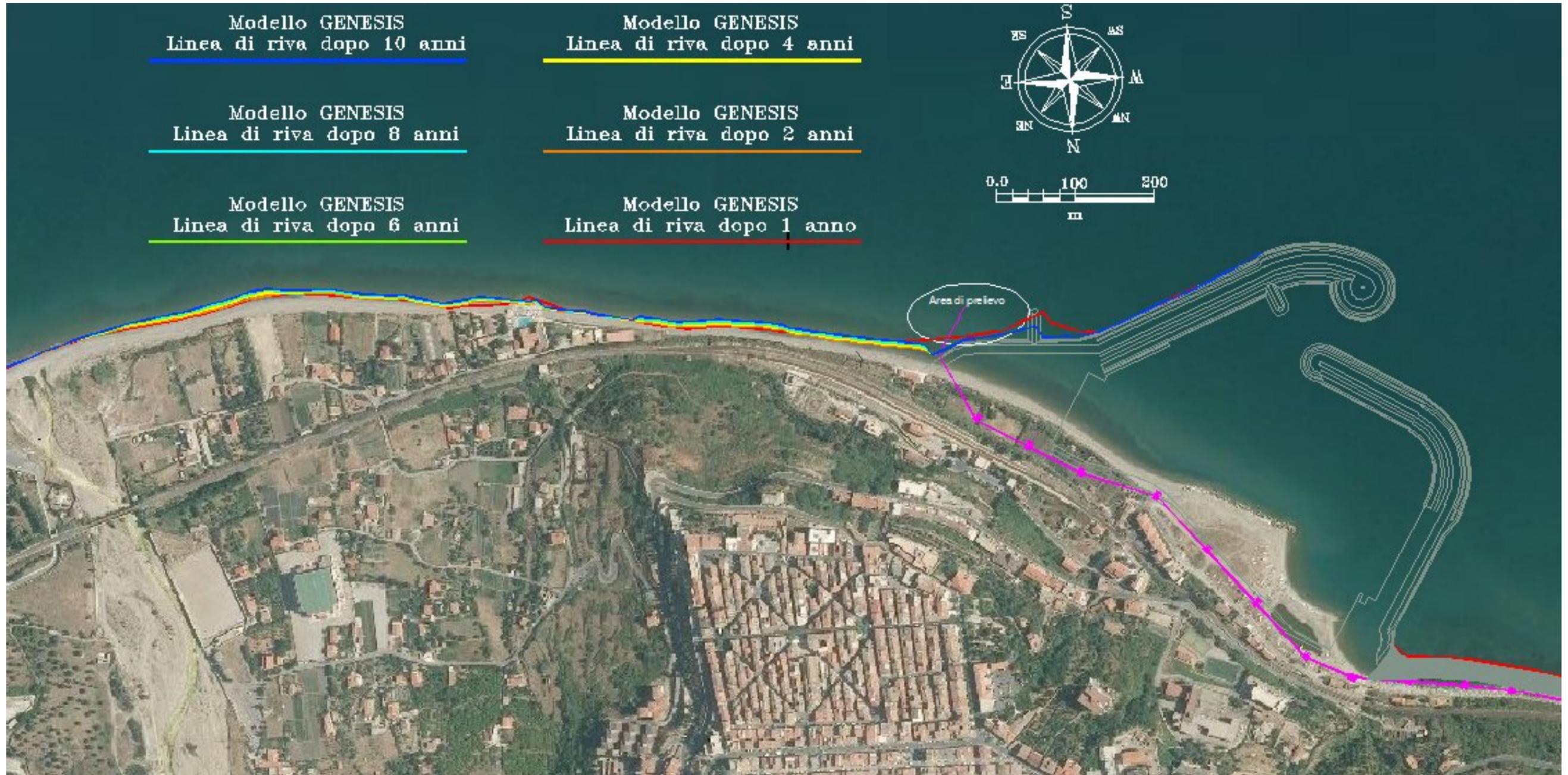




COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

Affidamento in project financing della concessione dei lavori pubblici relativa a:
Realizzazione del Porto Turistico e delle Opere Connesse nel Comune di Santo Stefano di Camastra

Figura 11 - Previsione evoluzione linea di riva, scenario di progetto con by-pass di 44.000 m³/anno- dettaglio ad ovest del porto turistico





COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

Affidamento in project financing della concessione dei lavori pubblici relativa a:
Realizzazione del Porto Turistico e delle Opere Connesse nel Comune di Santo Stefano di Camastra

Figura 12 - Previsione evoluzione linea di riva, scenario di progetto con by-pass di 44.000 m³/anno - dettaglio ad est del porto turistico





COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

Affidamento in project financing della concessione dei lavori pubblici relativa a:
Realizzazione del Porto Turistico e delle Opere Connesse nel Comune di Santo Stefano di Camastra

4. SINTESI DEI RISULTATI

L'insieme degli studi con modello matematico condotti nell'ambito del presente rapporto ha evidenziato alcune importanti caratteristiche della dinamica del litorale compreso tra la foce del torrente Santo Stefano e la foce del torrente Caronia in cui si inserisce il porto turistico di S. Stefano di Camastra:

- il litorale nella sua conformazione attuale risulta nel complesso stabile lungo tutto il litorale e non si segnalano zone soggette a fenomeni erosivi se non il tratto protetto da una scogliera radente ad est dell'abitato di S. Stefano di Camastra dove la linea ferroviaria corre vicino alla linea di costa;
- la foce del torrente Santo Stefano ha una tendenza all'avanzamento nella parte orientale dell'apparato fociale, il modello utilizzato in fase di taratura ha evidenziato in questa zona la tendenza a sovrastimare i fenomeni di accrescimento dell'apparato fociale;
- la spiaggia a riparo della scogliera più orientale dell'abitato di S. Stefano di Camastra che negli ultimi anni ha subito fenomeni di insabbiamento ha ancora una tendenza all'accrescimento nella parte posta ad oriente della scogliera, dovuta al riparo offerto dalla stessa scogliera nei confronti del moto ondoso incidente proveniente da maestrale;
- per quanto riguarda la direzione del flusso solido netto si riconosce una direzione prevalente verso est lungo tutto il litorale con valori decrescenti da ovest verso est fino alla foce del torrente Ortora, con massimo in corrispondenza della foce del torrente Santo Stefano e crescente nel tratto che va da circa 400 m ad est della foce del Vallone Canneto a circa 250 m ad ovest della foce del Torrente Caronia in cui raggiunge un valore massimo;
- la realizzazione della diga di sopraflutto del porto turistico in progetto, che supera la profondità di chiusura, intercetta il trasporto solido longitudinale diretto verso est determinando una maggiore tendenza all'accrescimento dell'apparato fociale del torrente Santo Stefano e l'avanzamento della linea di riva della spiaggia ad ovest del Porto turistico in progetto;
- per effetto di quanto detto al punto precedente la spiaggia ed est del porto turistico in progetto non protetta da scogliere radenti è soggetta a fenomeni erosivi che si prevede producano nei primi 10 anni successivi alla realizzazione del porto arretramenti della linea



COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

**Affidamento in project financing della concessione dei lavori pubblici relativa a:
Realizzazione del Porto Turistico e delle Opere Connesse nel Comune di Santo Stefano di Camastra**

di riva ad ovest della foce del Vallone Ortora e arretramenti meno intensi più ad est fino a circa 800 m ad est dalla foce del Vallone Canneto;

- in assenza di interventi manutentivi i fenomeni erosivi sopra detti si prevede che siano destinati a propagarsi successivamente lungo le spiagge poste ad est della foce del Vallone Ortora.

Per ripristinare il flusso di trasporto solido netto verso est ed evitare i fenomeni erosivi a medio termine nel tratto di spiaggia compreso tra il Porto Turistico e la sezione posta circa 800 m ad est della foce del Vallone Canneto si prevede siano necessari interventi manutentivi.

Le simulazione con il modello hanno messo in evidenza che a seguito della realizzazione del porto turistico per ristabilire il flusso di trasporto solido lungo le spiagge poste ad est del porto turistico è necessario un intervento manutentivo di by-pass di circa 30.000 m³/anno.

Gli interventi manutentivi di cui sopra potranno essere realizzati mediante il dragaggio lungo la spiaggia posta sul lato occidentale del porto a ridosso del pennello di intercettazione e il versamento del materiale dragato sulla spiaggia posta ad est delle scogliere radenti a protezione della ferrovia. In proposito si osserva che durante le operazioni di dragaggio del porto potranno essere messe a disposizione delle spiagge poste ad est del porto turistico circa 120.000 m³ di sedimenti. Tali volumi si stima potranno ritardare di almeno per 3 anni i fenomeni erosivi sulle spiagge poste ad est del porto.

Gli interventi manutentivi di bay-pass delle sabbie sopra detti risultano migliorativi anche nei confronti dell'insabbiatura dell'imboccatura portuale.

5. CONCLUSIONI

L'insieme degli studi specialistici di dinamica costiera hanno messo in evidenza la presenza di un trasporto solido longitudinale di sedimenti sabbiosi e limosi lungo il litorale in cui ricade il porto turistico nella spiaggia sommersa posta a profondità superiori a 3,0 m sul l.m.m.

Le previsioni effettuate con modelli morfodinamici basati su misure indirette di trasporto solido possono essere considerate valide dal punto di vista qualitativo, mentre dal punto di vista quantitativo dovranno essere verificate mediante il monitoraggio dei cambiamenti morfologici del fondale a seguito della costruzione della diga di sopraflutto. Dovrà essere



COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

**Affidamento in project financing della concessione dei lavori pubblici relativa a:
Realizzazione del Porto Turistico e delle Opere Connesse nel Comune di Santo Stefano di Camastra**

pertanto effettuato un piano di monitoraggio con cadenza semestrale a partire dalla data di costruzione della diga di sopraflutto del porto turistico nelle medesime stagioni, tipicamente nei mesi di gennaio e luglio.

Il monitoraggio dovrà prevedere il rilievo batimetrico del fondale della spiaggia sommersa ed il rilievo topografico della spiaggia emersa ad est e ad ovest del porto turistico dei S. Stefano.

Gli interventi di by-pass saranno eseguiti mediante l'impianto fisso di progetto con trasporto del sedimento dalla zona di deposito del materiale sopraflutto verso la zona di sottoflutto ad est delle scogliere radenti di protezione della ferrovia avente un bilancio solido deficitario. In ausilio all'impianto fisso gli interventi di bay-pass potranno essere eseguiti con sistemi mobili mediante pontone.