



REGIONE ABRUZZO PROVINCIA DI TERAMO



SALVAGUARDIA IDRAULICO - AMBIENTALE FIUME VOMANO

STUDI SPECIALISTICI PER LA VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI
SULLA LINEA DI COSTA E CONSIDERAZIONI SUL DEFLUSSO
IDRAULICO ALLO SBOCCO A MARE

STUDIO MORFODINAMICO

AGGIORNAMENTI

N°	DESCRIZIONE	DATA	Compilato	Rivisto	Approvato
0	EMISSIONE - 1° RAPPORTO	16/05/2007	A. Monaco	G. M. Beltrami	A. Di Eugenio
1	EDITING FINALE	28/06/2007	A. Monaco	G. M. Beltrami	A. Di Eugenio

REDAZIONE

UFFICIO DIREZIONE LAVORI
A.T.I.: **D'APPOLONIA S.p.A. (Capogruppo Mandataria)**
STADE S.r.l.

Sede operativa: Via Dei Ramni, 7 - 00185, ROMA
Tel. 06/4461004 - 4450603, E-mail: stade@micanet.it



DIRETTORE LAVORI

Ing. Antonio DI EUGENIO



INDICE

1	PREMESSE	2
2	MODELLAZIONE NUMERICA MORFODINAMICA	9
2.1	<i>IL MODELLO GENESIS</i>	9
2.1.1	Equazioni di base utilizzate dal modello	11
2.1.2	Condizioni al contorno	13
3	SCHEMATIZZAZIONE DEL LITORALE E DEFINIZIONE DELLE CONDIZIONI AL CONTORNO PER L'APPLICAZIONE DEL MODELLO MORFODINAMICO	15
3.1	<i>SCHEMATIZZAZIONE DEL LITORALE</i>	15
3.2	<i>DEFINIZIONE DELLE CONDIZIONI AL CONTORNO</i>	16
3.2.1	Moto ondoso	16
3.2.2	Diametro medio dei sedimenti	17
3.2.3	Condizioni di estremità della linea di riva	17
3.2.4	Apporti solidi trasversali	17
3.2.5	Condizioni di discontinuità e inerodibilità della linea di riva	18
4	CALIBRAZIONE E VALIDAZIONE DEL MODELLO DI MORFODINAMICA	20
5	APPLICAZIONE DEL MODELLO DI MORFODINAMICA PER LA PREVISIONE DELL'EVOLUZIONE FUTURA DELLA LINEA DI RIVA	23
6	CONCLUSIONI	25
7	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	26
	<u>FIGURE</u>	27

1 PREMESSE

Con Determinazione Dirigenziale n° 54 del II Settore della Provincia di Teramo, del giorno 16/02/06, l'Amministrazione Provinciale affidava all'ATI costituita dalle Società D'APPOLONIA S.p.a. (Capogruppo Mandataria) e STADE S.r.l (Mandante) il Servizio di Direzione Lavori e Coordinamento per la sicurezza in fase di esecuzione di cui al D.Lgs 494/96, per la realizzazione degli interventi di "Salvaguardia idraulico-ambientale del Fiume Vomano", il cui relativo contratto è stato repertoriato al n° 25769 in data 29/03/06.

Tale detto servizio, per la conduzione degli interventi previsti nel progetto esecutivo d'appalto – concorso affidati, originariamente per un importo contrattuale di €. 5.760.000,00¹, alla costituita ATI con capogruppo "SAVINI COSTRUZIONI S.r.l." (giusto atto notarile Repertorio n° 26521 - Raccolta n° 7292 del 22/04/05) e regolati da contratto repertoriato al n° 25579 del 18/08/05.

Le aree su cui intervenire sono risultate essere tre, in particolare:

1. in corrispondenza della foce. A monte e a valle (sino allo sbocco a mare) dei ponti su S.S. n° 16 e linea ferroviaria, nei territori comunali di Roseto degli Abruzzi e Pineto;
2. nel tratto di asta fluviale compreso tra il ponte su S.P. 553 – Fontanelle di Atri (incluso) e su S.P. 23 – Castelnuovo (escluso), nei territori comunali di Morro d'Oro, Notaresco ed Atri;
3. in corrispondenza del ponte su S.P. 23. A monte e a valle dello stesso ponte, nei territori comunali di Castellalto e Cellino Attanasio.

L'insieme dei detti interventi è stato finanziato² per un importo complessivo di €. 7.746.853,49³, con fondi a valere sulla Legge n° 183 del 18/05/1989 – DPR 09/10/1997 ed è stato affidato in concessione⁴ alla Amministrazione Provinciale di Teramo dalla Regione Abruzzo, attraverso Ordinanza Dirigenziale del Servizio Difesa e Tutela del Suolo n° DN/05/14 del 31/05/2002.

Successivamente, l'Amministrazione Provinciale, con Determina Dirigenziale VI Settore n° 420 del 28/04/05, ha approvato l'assestamento del quadro economico generale del progetto d'appalto, rientrante nella discrezionalità della stazione Appaltante ai sensi del D.P.R. 554/99, con un importo complessivo dei lavori di €. 5.560.000,00 comprensivo di €. 160.000,00 per

¹ Comprensivo di €. 160.000,00 per oneri sicurezza non soggetto a ribasso.

² Con D.P.R. n° 331 del 09/05/01, che ha ripartito i fondi finalizzati al finanziamento di interventi in materia di difesa del suolo per il quadriennio 1998 – 2001, di cui al D.P.R. 27/07/99.

³ €. 3.615.198,26 per l'esercizio 2001 e €. 4.131.655,23 per quello 2002.

⁴ Come richiesto dell'Amministrazione Provinciale di Teramo con atto n° 100 del 28/02/02.

UFFICIO DIREZIONE LAVORI**A.T.I. D'APPOLONIA S.P.A. – STADE S.R.L.**

VIA DEI RAMNI, 7 - 00185 ROMA

oneri per la sicurezza e di €. 2.186.853,49 per somme a disposizione, resosi necessario per il finanziamento della perizia di Somma Urgenza come da Verbale del R.U.P. del 19/04/05.

Il costituito Ufficio Direzione Lavori, ATI D'APPOLONIA S.p.a. (Capogruppo Mandataria) e STADE S.r.l (Mandante), giusto atto notarile Repertorio n° 41554 - Raccolta n° 837 Serie 2 del 16/03/06, con propria nota n° UCL06051/DT del 22/05/06, in riscontro a quella della Provincia di Teramo n° 85025 del 03/05/06, ha indicato la composizione dello stesso ufficio Direzione Lavori con i relativi nominativi, competenze e mansioni dei soggetti che avrebbero dovuto svolgere i servizi oggetto dell'incarico, come detto regolamentati da contratto Rep. 25769 del 29/03/06, individuando nella persona dell'ing. Antonio Di Eugenio la figura del Direttore Lavori e Coordinatore per la Sicurezza in corso di esecuzione e l'unica persona cui la Provincia di Teramo poteva far riferimento per ogni qualsivoglia comunicazione di natura tecnica amministrativa, nonché unico titolato a rappresentare, nei confronti della stessa Provincia di Teramo, l'Ufficio della Direzione Lavori come costituito.

A seguito delle prime risultanze evidenziate nelle riunioni finalizzate all'approvazione degli interventi previsti in progetto d'appalto, conseguenti all'indizione della Conferenza dei Servizi da parte della Provincia di Teramo, la stessa Amministrazione Provinciale, con nota n° 24550 del 12/12/06, a firma del RUP, ha richiesto all'ufficio Direzioni Lavori di valutare la possibilità di ottenere benefici sull'asta del fiume Vomano armando la foce con un'opera a mare fino al congiungimento con la barriera esistente, senza superare l'attuale allineamento dei frangenti, anche in considerazione degli ipotizzabili interventi di manutenzione circa la rimozione di solidi depositati, stimando contestualmente gli effetti che si ripercuotono sul paraggio costiero, con particolare riferimento ad eventuali processi erosivi.

Al fine di valutare ciò, l'Ufficio Direzioni Lavori, con propria nota n° UCL06124/DT del 29/12/06, proponeva alla Provincia di Teramo di eseguire studi specialistici degli effetti dell'eventuale intervento sui fenomeni evolutivi della fascia litoranea. Nella stessa nota veniva infatti sottolineato come un tale intervento potesse portare effetti di sicuro beneficio nei riguardi dei tempi di riformazione della barra longitudinale alla costa di materiale solido e quindi nella manutenzione della foce stessa, pur non contrastando gli effetti nei confronti dell'insabbiamento della bocca porto, ma contestualmente potesse indurre problemi di stabilità della linea di costa a valle (litorale Sud).

La proposta prevedeva le seguenti fasi di studio:

1. *Studio meteo – marino;*
2. *Studio morfologico;*
3. *Studio morfodinamico.*

che nello specifico venivano articolate come sinteticamente sotto esposto.

1. Studio meteo – marino

L'analisi delle forzanti meteo-marine comprendeva le seguenti attività:

- Definizione dell'esposizione geografica del paraggio (fetch geografici ed efficaci);
- Analisi delle variazioni del livello marino (marce, sovralti);
- Raccolta e analisi dei dati di moto ondoso al largo registrati alla boa ondometrica di Ortona facente parte della Rete Ondometrica Nazionale (RON) gestita da APAT;
- Definizione del moto ondoso in costa nell'area di interesse del litorale in esame (applicazione di idonea modellistica numerica per la propagazione degli stati di mare dal largo in costa);
- Definizione della risultante del flusso di energia associato al moto ondoso e calcolo delle "onde di modellazione".

Dello studio si sarebbe provveduto a redigere una specifica relazione (completa di grafici e tabelle di sintesi) inerente i punti di indagine sopra elencati.

2. Studio morfologico

L'analisi delle tendenze evolutive del litorale, ovvero della risposta del litorale alle forzanti meteo-marine ed alle "interferenze antropiche", si sarebbe dovuto articolare come di seguito per punti esposto:

- Analisi dell'evoluzione storica del litorale per il tramite dello studio diacronico delle linee di riva;
- Verifica, su base morfologica, delle condizioni di esposizione al moto ondoso e delle caratteristiche di modellazione ad esso riconducibili ipotizzate nell'ambito dello studio meteo-marino.

Lo studio avrebbe dovuto comprendere anche una prima valutazione della tendenza evolutiva in presenza di armatura della foce fluviale, effettuata mediante l'applicazione di un modello di tipo empirico.

L'attività di studio avrebbe dovuto comprendere inoltre la caratterizzazione dei sedimenti lungo la fascia costiera di interesse.

Per tale caratterizzazione si sarebbe dovuto far riferimento principalmente ai dati esistenti reperibili in bibliografia, eventualmente integrati con una campagna di indagine specifica e localizzata, eseguita in concomitanza dello studio meteo – marino, tesa ad acquisire campioni di sedimenti prelevati nell'ambito dei sopralluoghi su cui condurre delle analisi granulometriche (valutabili in numero di 4), che avrebbe comunque potuto essere condotta anche durante la successiva fase 3 relativa allo studio morfofodinamico.

Dello studio si sarebbe dovuto redigere una specifica relazione (completa di grafici e tabelle di sintesi) inerente i punti di indagine sopra elencati.

3. Studio morfodinamico

Ad ulteriore verifica e studio dell'approccio di tipo empirico, che potrebbe dimostrarsi non esaustivo, avrebbero dovuto eseguirsi studi morfodinamici mediante l'applicazione di un modello numerico di dinamica costiera del tipo a una linea (GENESIS al.). Nello specifico caso lo studio si sarebbe dovuto articolare come di seguito per punti esposto:

- Calibrazione e taratura del modello GENESIS sulla base delle condizioni di esposizione al moto ondoso (*Studio meteo-marino*) e delle linee di riva storiche e dell'analisi diacronica delle stesse (*Studio morfologico*);
- Previsione dell'evoluzione futura della linea di riva mediante l'applicazione del modello calibrato al punto precedente per i seguenti scenari:
 - a. assenza dell'intervento;
 - b. intervento di armatura della sponda settentrionale del fiume Vomano.
 - Applicazione del modello per lo studio di scenari di minimizzazione degli eventuali impatti sulla dinamica costiera riconducibili all'intervento di armatura.

I risultati dei punti di indagine sopra elencati sarebbero stati illustrati in una specifica relazione (completa di grafici e tabelle di sintesi).

Con nota Prot. n° 12015 del 12/01/07 a firma del RUP, la Provincia di Teramo accettava le condizioni tecnico, temporali ed economiche proposte dall'Ufficio Direzione Lavori e si è provveduto pertanto a redigere rispettivamente le relazioni di prima fase riguardanti lo Studio Meteo - Marino⁵ e lo Studio Morfologico⁶, entrambe complete delle analisi e modellazioni numeriche specialistiche dell'idraulica marittima finalizzate ai successivi studi di morfodinamica costiera.

In particolare, nell'ambito dello Studio Meteo – Marino, preso a riferimento per la redazione sia dello Studio Morfologico che del presente rapporto relativo allo "Studio Morfodinamico", sono state condotte le seguenti attività⁷:

⁵ Emesso in data 12/02/07 e trasmesso alla Provincia di Teramo con nota n° UCL07015/DT del 21/02/07.

⁶ Emesso in data 28/03/2007 e trasmesso alla Provincia di Teramo con nota n° UCL07018/DT del 29/03/07.

⁷ Come meglio descritto nel relativo elaborato, a cui per il dettaglio si rimanda.

UFFICIO DIREZIONE LAVORI**A.T.I. D'APPOLONIA S.P.A. – STADE S.R.L.**

VIA DEI RAMNI, 7 - 00185 ROMA

- inquadramento geografico del paraggio;
- determinazione del regime anemologico;
- individuazione dei fetch geografici ed efficaci e dei settori di traversia;
- reperimento ed analisi dei dati di moto ondoso disponibili;
- definizione del clima ondometrico al largo;
- analisi statistica degli eventi ondosi estremi al largo;
- propagazione del moto ondoso sotto costa;
- determinazione del flusso di energia associato al moto ondoso;
- analisi della frequenza di frangimento del moto ondoso;
- analisi della profondità di chiusura della zona di surf;
- analisi delle variazioni del livello medio marino.

Mentre, nell'ambito dello **Studio Morfologico**, preso a riferimento come detto per la redazione del presente rapporto relativo allo "Studio Morfofodinamico", sono state condotte le seguenti attività⁸:

- caratterizzazione del tratto di costa di interesse;
- censimento delle opere di difesa costiere;
- analisi diacronica della linea di riva;
- valutazione preliminare delle tendenze evolutive della linea di riva mediante modello empirico di spiaggia parabolica.

Nell'ambito dell'analisi diacronica della linea di riva, si sono considerate le linee di riva (opportunamente georeferenziate nel sistema WGS84) fornite dal Servizio OOMM e Qualità delle Acque della Regione Abruzzo e derivate da prese satellitari (IKNOS) del 2004 e del 2006 mediante tecnica di riconoscimento automatico dei pixels.

La valutazione preliminare delle tendenze evolutive della linea di riva, mediante modello empirico di spiaggia parabolica, è stata condotta utilizzando le sopra citate prese satellitari, anch'esse rese disponibili dal Servizio OOMM e Qualità delle Acque della Regione Abruzzo.

La presente relazione contiene invece lo **Studio Morfofodinamico**, condotto mediante l'applicazione del modello numerico di dinamica costiera del tipo "a una linea" GENESIS, finalizzato a definire l'influenza di una eventuale estensione in mare, fino al limite dell'esistente barriera emergente, dell'armatura in sinistra idrografica del fiume Vomano.

Lo studio, come meglio descritto nel seguito della presente relazione⁹, che costituisce l'editing finale del detto Studio Morfofodinamico, si è articolato nei seguenti punti:

⁸ Come meglio descritto nel relativo elaborato, a cui per il dettaglio si rimanda.

UFFICIO DIREZIONE LAVORI

A.T.L. D'APPOLONIA S.P.A. – STADE S.R.L.

VIA DEI RAMNI, 7 - 00185 ROMA

- calibrazione e taratura del modello GENESIS sulla base delle condizioni di esposizione al moto ondoso (*Studio meteo-marino*) e delle linee di riva storiche e dell'analisi diacronica delle stesse (*Studio morfologico*);
- previsione dell'evoluzione futura della linea di riva mediante l'applicazione del modello calibrato al punto precedente per i seguenti scenari:
 - ⇒ assenza dell'intervento;
 - ⇒ estensione a mare dell'intervento di armatura della sponda settentrionale (sinistra idrografica) del fiume Vomano.

Si vuole premettere che, ai fini dell'oggetto dell'indagine, ovvero la valutazione degli effetti sul litorale dell'eventuale prolungamento a mare dell'armatura in sponda sinistra della foce del fiume Vomano (fino al limite massimo della attualmente esistente barriera emersa), i risultati dell'applicazione del modello morfodinamico "a una-linea" esposti nelle successive pagine permettono di confermare le risultanze dell'applicazione del modello empirico di spiaggia parabolica (Silvester e Hsu, 1993) presentate nel precedente studio morfologico, ovvero il sostanziale raggiungimento, da parte del litorale posto a Sud-Est della foce del Vomano, di una conformazione di equilibrio stabile di lungo periodo.

Il modello, mette inoltre in luce come questa conformazione, ferme restando le condizioni al contorno (clima del moto ondoso, apporti solidi terrigeni, componente longitudinale del trasporto solido), non risulti significativamente influenzata dall'inserimento dell'ipotizzata estensione a mare di un'armatura fluviale posta in sinistra idrografica. Quanto asserito particolarmente nel caso in cui tale opera eserciti una limitata variazione delle condizioni di diffrazione attualmente determinate dall'esistente barriera posta sulla foce del Vomano, immediatamente a Nord dello sbocco a mare e realizzata negli anni addietro (1977) a protezione della darsena e del paraggio di mare a Nord della stessa.

L'inserimento di una tale opera di armatura a mare dell'allineamento arginale, prevista in sinistra idraulica allo scopo di proteggere lo sbocco dalle mareggiate provenienti da Nord-Nord Est, avrebbe peraltro la funzione di indurre una riduzione delle altezze d'onda in prossimità della foce e di determinare, conseguentemente, una riduzione dei fenomeni di erosione e deposizione di materiale solido, prodotti dal frangimento dell'onda, responsabile in larga misura della formazione della barra.

Risulterebbe in tal modo inibita la riformazione della stessa barra nel tempo con conseguente riduzione e minimizzazione degli ipotizzabili interventi di manutenzione per la rimozione dei solidi depositati immediatamente allo sbocco a mare della foce del fiume Vomano.

⁹ Il 1° rapporto dello Studio Morfodinamico, emesso in data 16/05/2007, è stato trasmesso alla Provincia di Teramo con nota n° UCL07031/DT del 18/05/07.

Per la realizzazione del presente studio si è fatto riferimento a:

- Provincia di Teramo, Assessorato LL.PP. VI settore – Viabilità. Salvaguardia Idraulico – Ambientale della foce del fiume Vomano. Studio propedeutico alla progettazione. 1997.
- Provincia di Teramo, Assessorato LL.PP. VI settore – Viabilità. Erosione della costa teramana. Interventi - Studio Di Fattibilità'. Delibera della G.P. n.1043 del 19/6/97.
- Regione Abruzzo, Comunità Economica Europea. Rationale for Integrated Coastal Area Management (R.I.C.A.M.A.);
- Regione Abruzzo, Servizio OOMM e Qualità delle Acque, Gestione integrata dell'area costiera. Piano organico per il rischio delle aree vulnerabili. Fattibilità di interventi di difesa e di gestione della fascia litoranea su scala regionale. Delibera CIPE n. 106/99. Studio delle tendenze evolutive del litorale abruzzese.
- Regione Abruzzo. Supporto Informativo per la gestione della zona COstiera della Regione Abruzzo (S.I.Co.R.A.);
- Regione Abruzzo, Servizio OOMM e Qualità delle Acque. Piano organico per il rischio delle aree vulnerabili. Rafforzamento dei dispositivi di difesa costiera. Delibere CIPE n. 36/2002 e n. 17/2003. Progetto preliminare, Studi specialistici.
- Regione Abruzzo, Servizio OOMM e Qualità delle Acque. Piano organico per il rischio delle aree vulnerabili. Rafforzamento dei dispositivi di difesa costiera. Delibere CIPE n. 36/2002 e n. 17/2003. Lavori di riqualificazione ambientale e di difesa delle aree della fascia litoranea di Martinsicuro, Pescara Sud - Francavilla Al Mare, Fossacesia, Casalbordino, Vasto, Montesilvano e Pineto – Silvi. Sito 7, Pineto – Silvi.
- Comune di Roseto degli Abruzzi. Provincia di Teramo. Settore II, LL.PP. - Servizi Tecnologici – Ambiente – Urbanistica - Edilizia privata – Progettazione - Servizi Ecologici. Interventi di salvaguardia della costa del territorio comunale. Studi specialistici e indagini di campo. Studio morfologico.

Lo studio è stato realizzato dalla STADE S.r.l. ed i lavori sono stati pianificati e coordinati dall'Ing. Gian Mario Beltrami¹⁰, sotto la supervisione dell'Ing. Antonio Di Eugenio, Direttore Tecnico della stessa STADE Srl., nonché, come già precedentemente accennato, Direttore Lavori e Coordinatore per la Sicurezza in corso di esecuzione dei lavori in appalto.

¹⁰ Ricercatore di Costruzioni Idrauliche, Marittime e Idrologia presso l'Università degli Studi di L'Aquila, ove lavora presso il Laboratorio di Idraulica Ambientale e Marittima afferente al Dipartimento di Ingegneria delle Strutture delle Acque e del Terreno.

2 MODELLAZIONE NUMERICA MORFODINAMICA

In natura, l'evoluzione di un litorale causata dal moto ondoso su di esso incidente risulta un processo spazio-temporale la cui descrizione rigorosa prevedrebbe la definizione di un sistema tridimensionale di equazioni differenziali dipendenti dal tempo.

Allo stato, lo sviluppo di tali equazioni, nonché della corrispondente modellistica numerica, rientra negli ambiti della ricerca scientifica di settore e non risultano disponibili modelli tridimensionali applicabili a scala di progetto.

Allo scopo di superare tale difficoltà, sono stati sviluppati modelli i quali, basandosi sulle valutazioni del trasporto totale mediante formulazioni del tipo CERC (AA.VV., 2003), pur non fornendo alcun dettaglio sulla dinamica trasversale, consentono di valutare in modo ragionevole l'evoluzione longitudinale di lungo periodo di un litorale.

Tali modelli, usualmente denominati 'a una linea' (*one-line models*), assumendo la costanza della forma del profilo trasversale del litorale, si fondano sulla soluzione dell'equazione di controllo di una sola linea di contorno, ovvero della linea di riva.

Tra i modelli "a una linea" disponibili, uno tra i più ampiamente diffusi è il modello GENESIS - *GENERALIZED model for SIMulating Shoreline change* (Hanson, 1987; Hanson e Kraus, 1989; Gravens et al., 1991).

Allo scopo di pervenire a una valutazione, il più possibile oggettiva, delle tendenze evolutive di lungo periodo del litorale che, a partire dalla foce del Vomano, si estende a sud-est verso l'abitato di Pineto, si è ritenuto quindi opportuno affiancare all'analisi condotta utilizzando il modello empirico di spiaggia parabolica¹¹, un'analisi effettuata mediante il sopraccitato modello.

2.1 IL MODELLO GENESIS

GENESIS è un modello di spiaggia del tipo ONE-LINE e consente di simulare l'evoluzione della fascia costiera attraverso la modellazione delle modifiche planimetriche, nel tempo, della sola linea di riva.

Il modello trae la sua origine dai principi teorici degli studi di dinamica costiera condotti da Pelnard-Considere (1956) e può essere applicato ad arce costiere ove le fenomenologie di morfodinamica evolvono sotto le seguenti ipotesi:

¹¹ Vedi Studio Morfologico.

UFFICIO DIREZIONE LAVORI**A.T.I. D'APPOLONIA S.P.A. – STADE S.R.L.**

VIA DEI RAMNI, 7 - 00185 ROMA

- il litorale presenta in termini di evoluzione a medio e lungo termine 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 correnti collegate all'azione diretta del vento;
- il flusso solido litoraneo, responsabile dei fenomeni evolutivi, 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;
- il regime del flusso solido longitudinale è funzione principalmente del contenuto energetico ($\propto H^2$) e dell'angolo di incidenza (θ_{bs}) delle onde frangenti lungo il litorale: $Q_L(x,t) = f(H^2(x,t) ; \theta(x,t)_b$.
- i possibili scambi di materiale solido tra la fascia attiva e l'esterno sono di tipo puntuale (foci fluviali; canyons sottomarini) e comunque quantificabili in termini di portata solida entrante od uscente.

Sulla base di queste ipotesi è possibile modellare la complessa dinamica di un litorale sabbioso imponendo e risolvendo, alle differenze finite, l'equazione di conservazione (continuità) del volume di sabbia associata al flusso del materiale sabbioso relativo alla sola componente longitudinale e calcolato in funzione delle caratteristiche del moto ondoso al frangimento.

In sintesi, il codice di calcolo di *GENESIS* si articola in tre gruppi principali tramite i quali le distinte fenomenologie della dinamica costiera vengono simulate numericamente sulla base delle ipotesi di cui sopra¹²:

- **I° Gruppo:** Propagazione (al tempo t_0) del moto ondoso dal largo verso riva sino a raggiungere le condizioni di frangimento. Vengono simulati numericamente i fenomeni di rifrazione, riflessione, diffrazione e frangimento;
- **II° Gruppo:** Calcolo del trasporto solido associato al moto ondoso frangente espresso in termini di portata solida longitudinale (m^3/s);
- **III° Gruppo:** Bilancio del flusso solido longitudinale (relativo all'intervallo Δt), calcolo della nuova linea di riva (al tempo $t_0 + \Delta t$) e verifica della congruenza del risultato.

¹² Per l'analisi di dettaglio della struttura del codice di calcolo di *GENESIS* si rimanda manualistica del modello.

2.1.1 Equazioni di base utilizzate dal modello

L'approccio teorico del modello numerico *GENESIS* è essenzialmente di tipo monodimensionale (1-D) e pertanto simula i complessi fenomeni della dinamica costiera considerando la sola componente longitudinale nell'ipotesi che questa sia preponderante rispetto alle altre componenti del reale sistema fisico (verticale e trasversale) la cui influenza è stimata in termini di valori medi spaziali.

Con riferimento alla simbologia delle figure 1.1 e 1.2, nonché per le ipotesi esposte, l'equazione di continuità adottata per il modello *GENESIS* risulta espressa nel seguente modo¹³:

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

ovc:

Q (m³/s) è la portata di flusso solido longitudinale;

t (s) è il tempo di simulazione dell'evoluzione costiera;

D_B (m) è altezza di swash D_B a riva;

D_C (m) la profondità di chiusura al largo;

$q = q_s + q_o$ (m³/s/m) è l'eventuale flusso (per unità di lunghezza) di materiale solido;

q_s (m³/s/m) flusso di materiale solido dalla spiaggia;

q_o (m³/s/m) flusso di materiale solido dal mare;

Δx (m) larghezza della cella (costante) di discretizzazione;

Δt (ore) intervallo di discretizzazione temporale (costante).

Per risolvere l'equazione è necessario calcolare preliminarmente l'entità del trasporto solido longitudinale Q e degli eventuali flussi trasversali $q_{i,o}$ e individuare il valore della profondità D intesa come risultante della profondità di chiusura D_C lato mare e altezza di swash D_B lato arenile.

¹³ L'equazione di continuità è indicata dalla letteratura specializzata come "1-D morphology equation".

In sintesi, la legge di conservazione della massa intesa nella sua forma più generale è esplicitata secondo la sola componente longitudinale Q_L , riferendosi a una relazione di derivazione empirico-concettuale.

Questa metodologia di stima, tipica della scuola americana e giapponese, può apparire troppo semplicistica ma, considerata la notevole incertezza dei dati cui solitamente si può fare riferimento (caratteristiche meteo-marine e morfologiche) risulta la più pratica e attendibile per le applicazioni proprie dell'ingegneria costiera.

L'espressione usata, che deriva da un approccio di questo tipo, è una relazione che contiene molteplici parametri quali la pendenza del profilo trasversale, la tessitura dei sedimenti, la ripidezza dell'onda e la variabilità dell'altezza d'onda lungo la linea di riva.

In presenza di manufatti costieri (ad es. pennelli, barriere distaccate), che possono introdurre delle sensibili discontinuità nel campo d'onda limitrofo, è stata dimostrata (Kraus e Harikai, 1983) l'importanza di considerare, per il calcolo del flusso solido Q , anche il gradiente di variazione dell'altezza d'onda lungo la spiaggia.

In definitiva, la relazione cui fa riferimento il modello è quella introdotta da Brampton e Ozasa (1980) e convalidata successivamente da Hanson e Kraus (1989) anche sulla base di risultati su modelli fisici (Mimura et al., 1983):

$$Q = (H_{sb}^2 \cdot C_{gb}) \left(a_1 \sin 2\theta_{bs} - a_1 \cos 2\theta_{bs} \cdot \frac{\Delta H_b}{\Delta x} \right)$$

dove:

H_{sb} (m) è l'altezza d'onda al frangimento;

C_{gb} (m/s) celerità di gruppo al frangimento;

θ_{bs} (°) angolo tra l'onda frangente e la linea di riva locale;

$\Delta H_b / \Delta x$ (-) è il gradiente di altezza d'onda lungo la fascia costiera;

$$a_1 = \frac{K_1}{16(\rho_s / \rho - 1)(1 - p)(1.416)^{5/2}};$$

$$a_2 = \frac{K_2}{8(\rho_s / \rho - 1)(1 - p) \tan \beta (1.416)^{7/2}};$$

K_1, K_2 (-) parametri adimensionali di taratura;

ρ_s (kg/m³) densità della sabbia;

ρ (kg/m³) densità dell'acqua;

p (-) porosità della sabbia sul fondo;

$\tan \beta$ (-) pendenza media del fondale dalla linea di riva alla profondità limite della fascia attiva;

L'equazione esprime il flusso solido (Q) longitudinale in funzione del flusso di energia associato all'onda frangente ($H_s^2 C_g$)_b, tenendo conto sia dell'angolo di incidenza (θ_{bs}) al frangimento sia del campo di distribuzione delle altezze d'onda lungo il litorale ($H = f(x)$).

Per la definizione dei parametri adimensionali K_1 e K_2 , fondamentali per la corretta taratura del modello, si è soliti fare riferimento a campi di valori, fondati su misure di campo e modelli fisici e validati da applicazioni pratiche.

In generale si osserva che la costante base K_1 varia in funzione delle caratteristiche di frangimento (indice di frangimento $g=H_{sb}/d_b$; numero di Iribarren $\xi=m_b \cdot (H_o/L_o)^{-0,5}$), della densità ρ e porosità n della spiaggia. La costante K_2 è invece legata ai complessi fenomeni di circolazione idrodinamica che si instaurano, ad esempio, a ridosso dei manufatti costieri.

Si sottolinea che i coefficienti K_1 e K_2 devono essere interpretati come parametri di taratura e quindi vanno rivisitati e ridefiniti di volta in volta al fine di operare una corretta simulazione numerica del flusso solido longitudinale relativo al sito in esame. In prima approssimazione si può fare riferimento ai valori riportati dalla letteratura specializzata definiti in funzione delle caratteristiche del sedimento movimentato dalla corrente longitudinale (granulometria, porosità, peso specifico), della morfologia trasversale del fondale, nonché della tipologia del frangente:

$$K_1 = 0,1 \div 1$$

$$K_2 = 0,5 \div 1,5 \cdot K_1.$$

2.1.2 Condizioni al contorno

Costituiscono condizioni al contorno del modello, le caratteristiche del moto ondoso incidente sul litorale, le caratteristiche dei sedimenti che lo compongono, nonché le condizioni di estremità della linea di riva simulata e quelle derivanti dall'eventuale esistenza - all'interno del tratto di litorale simulato - di apporti solidi trasversali.

Possono farsi rientrare nell'ambito delle condizioni al contorno anche le opere presenti lungo il tratto di costa di interesse, in particolare le condizioni di *discontinuità trasversale*

UFFICIO DIREZIONE LAVORI

A.T.I. D'APPOLONIA S.P.A. – STADE S.R.L.

VIA DEI RAMNI, 7 - 00185 ROMA

quali a esempio i pennelli, le condizioni di *discontinuità longitudinale* quali le barriere frangiflutti distaccate dalla linea di riva e condizioni di *inerodibilità* della costa per effetto di muri o scogliere radenti presenti lungo il litorale.

Il moto ondoso è fornito in termini di caratteristiche di periodo, altezza e direzione, nonché di durata di azione.

Le caratteristiche dei sedimenti devono essere fornite al modello in termini di diametro medio (D50) costante per tutto il tratto di litorale simulato.

Per quanto riguarda le estremità del tratto di litorale simulato, le possibili condizioni sono:

- a) continuità del flusso di sedimenti, ovvero costanza o variabilità della posizione della linea di riva ('pinned beach');
- b) totale o parziale intercettazione del flusso dei sedimenti ('gated boundary') mediante collocazione all'estremità di un pennello, ovvero controllando il flusso attraverso l'imposizione della distanza dalla linea di riva dell'estremità del pennello.

Per quanto riguarda le discontinuità trasversali e longitudinali interne al dominio, GENESIS è in grado di simulare la presenza di opere marittime (ad es. scogliere e dighe foranee, pennelli trasversali alla spiaggia) capaci di interferire con la propagazione del moto ondoso sottocosta e, successivamente, con il flusso longitudinale dei sedimenti.

In particolare, per quanto riguarda le possibili interferenze con i fenomeni di propagazione del moto ondoso, il codice di calcolo è in grado di simulare gli effetti di "diffrazione" e "trasmissione" del moto ondoso a tergo delle opere.

Il modello è anche in grado di simulare l'esistenza di difese radenti mediante una condizione di inderodibilità della linea di riva oltre una data ordinata.

3 SCHEMATIZZAZIONE DEL LITORALE E DEFINIZIONE DELLE CONDIZIONI AL CONTORNO PER L'APPLICAZIONE DEL MODELLO MORFODINAMICO

3.1 SCHEMATIZZAZIONE DEL LITORALE

Lo studio morfologico¹⁴ realizzato per tutta l'unità fisiografica antropica (dalla foce del Tordino alle foci del Saline-Piomba) e, in particolare, l'analisi diacronica delle linee di riva ha permesso di effettuare un'attenta caratterizzazione delle tendenze evolutive del tratto di litorale in esame.

Dallo studio si evince come gli scambi di portata solida tra il tratto posto a Nord-Ovest della foce del Vomano (litorale di Roseto) e il tratto a Sud-Est della stessa (litorale di Scerne-Pineto) risultino essere limitati, confermando l'esistenza - peraltro assunta in altri studi¹⁵ - di due distinte sub-unità fisiografiche:

- la prima ricoprente il tratto tra il Tordino e il Vomano;
- la seconda ricoprente quello tra il Vomano e l'apparto fociale del Saline-Piomba.

Alla luce dei risultati dell'analisi diacronica, nonché dell'applicazione del modello empirico di spiaggia parabolica¹⁶, il modello a una linea GENESIS è stato applicato con lo scopo non solo di verificare l'eventuale influenza dell'estensione in mare (fino al limite dell'esistente barriera emersa) dell'armatura posta in sinistra idrografica del fiume Vomano sul tratto di litorale posto a Sud-Est della sua foce, ma anche di confermare la sostanziale discrasia esistente tra la dinamica longitudinale caratterizzante i tratti a Nord-Ovest e a Sud-Est della foce stessa.

A tale scopo, si sono utilizzate due distinte schematizzazioni - entrambe ricoprenti uno sviluppo di 6.0 Km lungo l'asse delle ascisse di riferimento¹⁷, nonché caratterizzate da un passo di discretizzazione di $\Delta x=30$ m - in grado di fornire indicazioni sui fenomeni evolutivi che caratterizzano una porzione significativamente estesa del litorale di interesse, nonché di garantire la migliore definizione delle sue variazioni.

In particolare, nella prima schematizzazione (Fig. 2.1) è stato simulato il tratto di litorale che a partire dal primo pennello posto sulla sinistra della darsena portuale affiancata alla foce del fiume Vomano¹⁸ giunge fino alla foce del torrente Calvano, al centro del litorale di Pineto.

¹⁴ Vedasi il relativo rapporto.

¹⁵ Si vedano gli studi citati nel precedente studio morfologico.

¹⁶ Vedi Studio Morfologico.

¹⁷ Con orientamento 150° N.

¹⁸ Vedi Studio Morfologico.

Tale schematizzazione è stata principalmente orientata allo studio dell'influenza dell'estensione in mare dell'armatura anzidetta su un tratto sufficientemente esteso del litorale posto a Sud-Est della foce del Vomano.

Nella seconda schematizzazione (Fig. 2.2) è invece stato simulato il tratto di litorale che a partire dal pontile prospiciente l'abitato di Roseto¹⁹ porta fino al tratto prospiciente l'inizio dell'abitato di Pineto.

Tale schematizzazione, oltre a offrire la possibilità di confermare i risultati ottenuti con la precedente discretizzazione, ha infatti reso possibile verificare - per altra via - l'influenza che i flussi lungo il litorale di Roseto esercitano su quelli interessanti il litorale di Scerne-Pineto, ovvero l'effettiva indipendenza morfologica dei due tratti di litorale.

3.2 DEFINIZIONE DELLE CONDIZIONI AL CONTORNO

Come osservato, l'applicazione del modello morfofodinamico richiede la definizione di condizioni al contorno quali le caratteristiche del moto ondoso incidente sul litorale e le caratteristiche dei sedimenti che lo costituiscono.

A tali condizioni si aggiungono quelle da imporre alle estremità della linea di riva simulata, nonché quelle derivanti dall'eventuale esistenza - all'interno del tratto di litorale simulato - di apporti solidi trasversali.

Possono farsi rientrare nell'ambito delle condizioni al contorno anche le opere presenti lungo il tratto di costa di interesse, in particolare le condizioni di discontinuità trasversale quali ad esempio i pennelli o le opere foranee di un porto, le condizioni di discontinuità longitudinale quali le barriere frangiflutti distaccate dalla linea di riva e condizioni di inerodibilità della costa per effetto di muri o scogliere radenti presenti lungo il litorale.

3.2.1 Moto ondoso

Allo scopo di riprodurre l'evoluzione del litorale si sono dovute definire le caratteristiche del moto ondoso incidente.

Le onde utilizzate sono state ricavate dai risultati del precedente studio meteomarinario.

In particolare, sono state considerate le onde di modellazione calcolate con passo di discretizzazione polare direzionale di 10° relative al punto di trasposizione V2, posto di fronte alla foce del Vomano.

In base alla durata (mesi/anno) di azione calcolata per le varie onde di modellazione, si è definito un 'file' - corrispondente a una durata complessiva del moto ondoso di un anno

¹⁹ Vedi Studio Morfologico.

(ciclicamente utilizzato dal modello) – caratterizzato da casualità di azione delle varie componenti direzionali e da un intervallo temporale di discretizzazione di 6 ore.

3.2.2 Diametro medio dei sedimenti

Il modello a una linea utilizzato prevede la caratterizzazione dei sedimenti mediante l'utilizzo di un diametro medio (D50) costante lungo tutto il litorale simulato.

Come evidenziato nell'appendice B dello studio morfologico, i sedimenti della fascia di litorale di interesse presentano una rilevante variabilità, passando:

- da un diametro medio D50 pari a 1.15 mm in corrispondenza del pontile di Roseto,
- a uno pari a 6.70 mm in corrispondenza della foce del Vomano,
- a uno pari a 5.0 mm in corrispondenza del litorale più meridionale di Scerne,
- per arrivare in prossimità dei pennelli in località Villa Fumosa a un diametro medio D50 pari a 1.0 mm.

Risultando il presente studio orientato alla definizione della potenziale influenza della realizzazione a mare di un'armatura in sinistra idrografica del Vomano sull'evoluzione del tratto di litorale compreso tra la foce dello stesso Vomano e il comune di Pineto, allo scopo di uniformare il diametro utilizzato nelle simulazioni, si è considerato un D50 medio tra quelli risultanti dall'analisi dei campioni prelevati in Foce Vomano, in corrispondenza del litorale di Scerne e in località Villa Fumosa, ovvero $D50 = 4.0$ mm.

3.2.3 Condizioni di estremità della linea di riva

Per quanto riguarda le condizioni di estremità, si è supposta la continuità del flusso trasversale dei sedimenti, ovvero si è imposta l'inamovibilità della linea di riva ("pinned beach") agli estremi.

3.2.4 Apporti solidi trasversali

Al riguardo degli apporti solidi trasversali sono state compiute due ipotesi distinte, cui sono corrisposte distinte simulazioni.

Nel primo caso, congruamente ai risultati dello studio morfologico, si è esclusa la presenza di alcun apporto solido dal Vomano.

Nel secondo caso si è invece ipotizzata l'esistenza, in occasione degli eventi di piena, di un sia pur modesto trasporto da parte del Vomano.

In particolare, in questo secondo caso si è considerato un apporto solido annuale complessivamente pari a 24.000 m^3 , localizzato nello spazio (tratto di foce del Vomano) e nel tempo (mese di Novembre di ogni anno di simulazione).

3.2.5 Condizioni di discontinuità e inerodibilità della linea di riva

Nell'ambito della prima schematizzazione (Fig. 2.1) sono stati presi in considerazione da un minimo di 8 (condizione esistente) a un massimo di 11 (condizione futura) discontinuità trasversali in forma di pennelli. In particolare, tutte le discontinuità trasversali sono state considerate a permeabilità nulla.

Fanno eccezione le discontinuità che simulano i primi tre pennelli in destra idrografica del fiume Vomano (indicati in figura 1dx, 2dx e 3dx), da considerarsi ammalorati²⁰, per i quali sono state assunte rispettivamente permeabilità pari a 0,2, 0,3 e 0,2.

Sempre nell'ambito della prima discretizzazione, le difese a mare della darsena portuale posta in sinistra idrografica del Vomano, ovvero le opere che costituiscono l'imboccatura alla darsena, sono state simulate mediante un unico pennello.

L'estensione in mare dell'armatura in sinistra idrografica del Fiume Vomano è stata rappresentata mediante un pennello congiungentesi con la barriera prospiciente.

Per quanto riguarda le discontinuità longitudinali, oltre alla barriera precedentemente richiamata, sono state simulate altre due barriere, poste sulla destra della foce del Vomano.

Tutte le discontinuità longitudinali sono state considerate a permeabilità nulla.

Il tratto di litorale compreso tra il pennello posto sull'estrema sinistra del dominio di discretizzazione e la darsena è caratterizzato da una difesa radente a gettata²¹.

Tale difesa è stata schematizzata tramite l'imposizione di una condizione di inerodibilità.

Nell'ambito della seconda schematizzazione (Fig. 2.2) sono stati presi in considerazione da un minimo di 9 (condizione esistente) a un massimo di 11 (condizione futura) discontinuità trasversali in forma di pennelli.

²⁰ Vedi Studio Morfologico.

²¹ Vedi Studio Morfologico.

UFFICIO DIREZIONE LAVORI

A.T.L. D'APPOLONIA S.P.A. – STADE S.R.L.

VIA DEI RAMNI, 7 - 00185 ROMA

Anche in questo caso le discontinuità trasversali sono state considerate, con l'eccezione dei primi tre pennelli in destra idrografica del fiume Vomano (indicati in figura 1dx, 2dx e 3dx e con permeabilità analoghe al caso precedente), a permeabilità nulla.

Le difese a mare della darsena portuale posta in sinistra idrografica del Vomano, ovvero le opere che costituiscono l'imboccatura alla darsena, sono state simulate sempre mediante un unico pennello, così come l'estensione in mare dell'armatura in sinistra idrografica del Fiume Vomano.

La schematizzazione ha previsto poi la simulazione, oltre alla barriera prospiciente il Vomano, di 12 discontinuità longitudinali. Le prime 8 sono state caratterizzate da una permeabilità pari a 0.3 mentre le restanti da una permeabilità nulla.

Il lungo tratto di litorale in sinistra del Vomano caratterizzato da una difesa radente a gettata²² è stato poi schematizzato, in analogia al caso precedente, tramite l'imposizione di una condizione di inerodibilità.

²² Vedi Studio Morfologico.

4 CALIBRAZIONE E VALIDAZIONE DEL MODELLO DI MORFODINAMICA

Allo scopo di garantire la significatività delle simulazioni orientate alla definizione dell'evoluzione futura della linea di riva è risultato necessario anteporre alla vera e propria fase predittiva una fase preliminare di calibrazione e validazione del modello mediante utilizzo dei dati storici a disposizione.

Si è quindi verificata la capacità dello stesso di simulare - sulla base delle schematizzazioni operate e delle condizioni al contorno imposte (cap. 3), l'evoluzione del tratto di litorale schematizzato tra il 2004 e il 2006.

La variabilità spaziale del moto ondoso lungo il litorale è stata assicurata introducendo - tra i parametri di ingresso del modello - l'ubicazione della "linea batimetrica di chiusura", ovvero della isolina rappresentativa della profondità costante oltre la quale il fondale non viene modificato dai processi di idrodinamica costiera.

L'altezza della fascia attiva, somma della profondità di chiusura (considerata pari a 7.4 m) e dell'altezza attiva della spiaggia emersa (considerata pari a circa 1.6 m.), è stata posta pari a 8.0 m.

Come già fatto osservare nell'ambito dello studio morfologico, a cui si rimanda, limitatamente al tratto corrispondente alla foce del Vomano (8-10 celle di calcolo, ovvero 240-300 m), entrambe le linee di riva identificate e utilizzate nelle schematizzazioni di calcolo tendono a perdere di significato a causa del caratteristico "divagare" della foce fluviale.

Appare quindi evidente come - lungo tale tratto limitato - i risultati, sia della preliminare fase di calibrazione che della successiva fase di previsione, siano da considerarsi puramente indicativi.

Per quanto riguarda la prima schematizzazione, la fase di calibrazione e validazione, eseguita modificando i parametri di taratura del modello al fine di ottenere il migliore adattamento della linea di riva *calcolata* per il 2006 con quella *identificata*²³ lo stesso anno a partire da immagini satellitari²⁴, ha portato ai risultati riportati nelle figure da 3.1 a 3.4.

In particolare, le figure 3.1 e 3.2 mostrano le linee di riva calcolata e misurata (identificata da immagine satellitare) per il 2006 rispettivamente nell'ipotesi di assenza e presenza di apporti solidi dalla foce del Vomano (24.000 m³/anno), nonché la variazione tra le due linee.

²³ Si ricorda (vedi studio morfologico) che per linea di riva identificata si intende la linea di riva desunta dalle immagini satellitari e corretta della marea.

²⁴ Vedi Studio Morfologico.

Con la sola eccezione del tratto di circa 250-300 m corrispondente alla foce del Vomano, come più volte osservato non rappresentativo²⁵, si osserva una complessiva buona sovrapposizione delle due linee di riva²⁶, risultando praticamente ininfluyente la presenza dell'ipotizzato apporto solido da parte del fiume, volutamente assunto limitato.

Per un'analisi oggettiva delle simulazioni è stata condotta una comparazione statistica tra le linee di riva simulata e identificata relative al 2006.

In particolare, in entrambi i casi, la deviazione standard della differenza tra le linee di riva simulata e rilevata è risultata pari a 3.9 m (equivalenti a circa 2,0 m/anno essendo la simulazione condotta riferita a 2 anni di evoluzione), mentre il suo valore medio è risultato pari a 1.4 m.

Le figure 3.3 e 3.4 riportano invece la variazione della portata solida calcolata del modello - per gli anni tra il 2004 e il 2005 e tra il 2005 e il 2006 – sempre nell'ipotesi di assenza (Fig. 3.3) e presenza (Fig. 3.4) di apporti solidi dalla foce del Vomano (24.000 m³/anno).

L'andamento calcolato ricalca con buona approssimazione (massimi di portata intorno ai 12.000 m³/anno) quello emerso dall'analisi diacronica, confermando l'efficacia della taratura operata.

Una ulteriore validazione della taratura operata è fornita dalle simulazioni effettuate utilizzando la seconda schematizzazione, per le quali sono stati presi in considerazione gli stessi parametri di taratura determinati durante la fase di calibrazione della prima schematizzazione.

I risultati sono riportati nelle figure da 3.5 a 3.8.

In particolare, le figure 3.5 e 3.6 riportano le linee di riva calcolata e misurata (identificata da immagine satellitare) per il 2006 rispettivamente nell'ipotesi di assenza e presenza di apporti solidi dalla foce del Vomano (24.000 m³/anno), nonché la loro variazione.

In questo caso, oltre al tratto di circa 250-300 m corrispondente alla foce del Vomano, una qualche differenza si manifesta in corrispondenza del secondo pennello in sinistra idrografica (2sx), risultando comunque sempre ottimale la sovrapposizione delle due linee di riva.

Anche in questo caso (confronto Figg. 3.5 e 3.6) la presenza dell'ipotizzato apporto solido da parte del fiume, volutamente assunto limitato, appare non influente.

²⁵ Vedi Studio Morfologico.

²⁶ Una qualche differenza si manifesta in corrispondenza ai pennelli 1dx e 6dx (Fig. 2.1). Al riguardo si osserva come la conformazione della linea di riva identificata nel 2006 risenta delle condizioni di moto ondoso presenti al momento della presa da satellite (e chiaramente visibile nelle foto satellitari presentate nello studio morfologico) le quali hanno favorito l'accentuarsi, limitato nel tempo, dei fenomeni di accumulo e erosione a monte e a valle delle opere.

UFFICIO DIREZIONE LAVORI

A.T.I. D'APPOLONIA S.P.A. – STADE S.R.L.

VIA DEI RAMNI, 7 - 00185 ROMA

Dalla comparazione statistica delle linee di riva simulata e identificata risulta, in entrambi i casi, una deviazione standard pari a 5.4 m (equivalenti a 2,7 m/anno essendo la simulazione condotta riferita a 2 anni di evoluzione) con un valore medio pari a 1.1 m.

Le figure 3.7 e 3.8 riportano, analogamente al caso precedente, la variazione della portata solida calcolata del modello - per gli anni tra il 2004 e il 2005 e tra il 2005 e il 2006 – sempre nell'ipotesi di assenza (Fig. 3.7) e presenza (Fig. 3.8) di apporti solidi dalla foce del Vomano (24.000 m³/anno).

Anche in questo caso, l'andamento calcolato appare ricalcare con buona approssimazione quello emerso dall'analisi diacronica, confermando l'efficacia della taratura operata.

Tenuto conto delle inevitabili imprecisioni e approssimazioni delle linee di riva identificate, ovvero misurate, si è ritenuta la calibrazione del modello soddisfacente per la previsione a lungo termine.

5 APPLICAZIONE DEL MODELLO DI MORFODINAMICA PER LA PREVISIONE DELL'EVOLUZIONE FUTURA DELLA LINEA DI RIVA

A termine di confronto, la previsione dell'evoluzione per i prossimi 10 anni della linea di riva è stata effettuata, per entrambe le schematizzazioni considerate, sia nel caso di persistenza della situazione esistente al momento della presa da satellite del 2006 – ovvero per il caso di assenza non solo dell'estensione a mare dell'armatura fluviale, ma anche dei due pennelli realizzati in località Villa Fumosa tra l'autunno del 2006 e l'inverno del 2007 - sia nel caso di interesse, ovvero di esistenza di tali nuove opere.

Per quanto riguarda la prima schematizzazione, i risultati sono presentati nelle figure 4.1 e 4.2 (in assenza di apporti dal Vomano), nonché nelle figure 4.3 e 4.4 (presenza di limitati apporti solidi dal fiume – 24000 m³/anno).

In assenza di apporti solidi, nel caso di persistenza della situazione esistente nell'estate del 2006 (assenza delle predette opere), il confronto tra la linea di riva identificata tramite foto satellitare e quella calcolata dal modello per il 2016 (Fig. 4.1) mostra una situazione di sostanziale invariabilità, particolarmente a partire dal primo pennello a valle della foce del Vomano²⁷.

Dalla comparazione statistica delle linee di riva simulata per il 2016 e identificata nel 2006 risulta una deviazione standard pari a 5.5 m (equivalenti a 2,7 m/anno essendo la simulazione condotta riferita a 2 anni di evoluzione) e un valore medio nullo.

Nel tratto di foce, come più volte ricordato, le linee di riva identificate e calcolate perdono di significato a causa della diversità delle dinamiche di foce e di litorale²⁸, peraltro agenti su scale temporali diverse.

In aggiunta, come già osservato, la conformazione della linea di riva identificata nel 2006 risente – particolarmente nel tratto fociale - delle condizioni di moto ondoso presenti al momento della presa da satellite (e chiaramente visibili nelle foto satellitari presentate nello studio morfologico).

L'informazione ricavabile dal modello, ovvero l'erosione dell'estroflessione presente sulla foce nella linea identificata nel 2006, va inquadrata nel senso della naturale tendenza - anche di questo tratto - a disporsi secondo la giacitura di equilibrio di lungo termine, giacitura continuamente disturbata proprio dalla presenza della foce stessa, ovvero dal suo divagare.

²⁷ Da notare l'atteso accrescimento della linea di riva a monte dei tre pennelli realizzati in località Villa Fumosa tra il 2004 e il 2006, i quali appaiono 'caricarsi' ulteriormente rispetto a quanto avvenuto fino a oggi.

²⁸ Vedi Studio Morfologico.

Il confronto tra le linee di riva calcolate per il 2016 in assenza e presenza delle nuove opere (Fig. 4.2) mette in evidenza i prevedibili accrescimenti e arretramenti imputabili ai due nuovi pennelli realizzati tra l'autunno 2006 e l'inverno 2007, mostrando come l'estensioni a mare dell'armatura fluviale non abbia una rilevante influenza sulla raggiunta condizione di equilibrio di lungo termine. Situazione pressoché analoga si osserva nel caso di presenza di limitati apporti solidi da parte del Vomano (Figg. 4.3 e 4.4).

Per quanto riguarda la seconda schematizzazione, i risultati sono presentati nelle figure 4.5 e 4.6 (in assenza di apporti dal Vomano), nonché nelle figure 4.7 e 4.8 (presenza di limitati apporti solidi dal fiume – 24000 m³/anno).

In assenza di apporti solidi, nel caso di persistenza della situazione esistente nell'estate del 2006 (assenza delle predette opere), il confronto tra la linea di riva identificata tramite foto satellitare e quella calcolata dal modello per il 2016 (Fig. 4.5) mostra anche in questo caso una situazione di sostanziale invariabilità, particolarmente a partire dal primo pennello a valle della foce del Vomano²⁹.

Si osserva come la linea di riva calcolata per il 2016 utilizzando tale schematizzazione sia per lo più sovrapponibile – per i tratti omologhi - a quella calcolata con la precedente schematizzazione.

Anche in questo caso, il confronto tra le linee di riva calcolate per il 2016 in assenza e presenza delle nuove opere (Fig. 4.6) mette in evidenza i prevedibili accrescimenti e arretramenti imputabili ai due nuovi pennelli realizzati tra l'autunno 2006 e l'inverno 2007 (in questo caso il pennello localizzato più a Nord-Ovest), mostrando come l'estensioni a mare dell'armatura fluviale non abbia una rilevante influenza sulla raggiunta condizione di equilibrio di lungo termine.

Situazione pressoché analoga si osserva nel caso di presenza di limitati apporti solidi da parte del Vomano (Figg. 4.7 e 4.8).

²⁹ Da notare l'atteso accrescimento della linea di riva a monte dei tre pennelli realizzati in località Villa Fumosa tra il 2004 e il 2006, i quali appaiono 'caricarsi' ulteriormente rispetto a quanto avvenuto fino a oggi.

6 CONCLUSIONI

Ai fini dell'oggetto dell'indagine, ovvero la valutazione degli effetti sul litorale dell'eventuale prolungamento a mare dell'armatura in sponda sinistra della foce del fiume Vomano (fino al limite massimo della attualmente esistente barriera emersa), i risultati dell'applicazione del modello morfodinamico "a una-linea" esposti nelle precedenti pagine permettono di confermare le risultanze dell'applicazione del modello empirico di spiaggia parabolica (Silvester e Hsu, 1993) presentate nel precedente studio morfologico, ovvero il sostanziale raggiungimento, da parte del litorale posto a Sud-Est della foce del Vomano, di una conformazione di equilibrio stabile di lungo periodo.

Il modello, mette inoltre in luce come questa conformazione, ferme restando le condizioni al contorno (clima del moto ondoso, apporti solidi terrigeni, componente longitudinale del trasporto solido), non risulti significativamente influenzata dall'inserimento dell'ipotizzata estensione a mare di un'armatura fluviale posta in sinistra idrografica. Quanto asserito particolarmente nel caso in cui tale opera eserciti una limitata variazione delle condizioni di diffrazione attualmente determinate dall'esistente barriera posta sulla foce del Vomano, immediatamente a Nord dello sbocco a mare e realizzata negli anni addietro (1977) a protezione della darsena e del paraggio di mare a Nord della stessa.

L'inserimento di una tale opera di armatura a mare dell'allineamento arginale, prevista in sinistra idraulica allo scopo di proteggere lo sbocco dalle mareggiate provenienti da Nord-Nord Est, avrebbe peraltro la funzione di indurre una riduzione delle altezze d'onda in prossimità della foce e di determinare, conseguentemente, una riduzione dei fenomeni di erosione e deposizione di materiale solido, prodotti dal frangimento dell'onda, responsabile in larga misura della formazione della barra.

Risulterebbe in tal modo inibita la riformazione della stessa barra nel tempo con conseguente riduzione e minimizzazione degli ipotizzabili interventi di manutenzione per la rimozione dei solidi depositati immediatamente allo sbocco a mare della foce del fiume Vomano.

7 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- AA.VV. (2003): "Coastal Engineering Manual : Part III – Coastal Sediment Transport".
- Brampton, A.H. e H. Ozasa (1980) "Mathematical Modelling of Beaches Backed by Seawalls". Coastal Engineering, vol.4, No.11.
- Gravens, M., Kraus, N.C., Hanson, H. (1991) "GENESIS: Generalized Model for Simulating Shoreline Change. CERC Report 89-19.
- Hanson, H. (1987) "GENESIS: A Generalized Shoreline Change Numerical Model for Engineering Use. University of Lund. Report 1007.
- Hanson, H. e N.C. Kraus (1989) "GENESIS: Generalized Model for Simulating Shoreline Change. CERC Report 89-19.
- Kraus, N.C. e S. Harikai (1983) "Numerical model of the shoreline change at Oarai beach". Coastal Engineering, vol.7, No.1.
- Mimura, N., Shimizu, T., Horikawa K. (1983) "Laboratory study on the influence of detached breakwater on coastal change". Proc. Coastal Structures '83, ASCE.
- Pelnard-Considere, R. (1956): "Essai de theorie de l'evolution des formes de rivages en plages de sable et de galets" 4th Journees de l'Hydraulique, Les Energies de la Mer, Question III, Rapport No.1.
- Silvester, R. e Hsu, J.R.C. (1993). "Coastal stabilization". World Scientific.
- Di Eugenio A. (1997). "Salvaguardia idraulico ambientale della foce del fiume Vomano". Studio Propedeutico alla progettazione. Vol. 1 Relazione Generale, Vol. 2 Caratterizzazione dell'Area di Studio, Vol. 3 I modelli matematici utilizzati e i risultati delle simulazioni. Provincia di Teramo.

FIGURE

ELENCO DELLE FIGURE

- Fig. 1.1 Discretizzazione della linea di costa e definizione delle celle di bilancio solido nei modelli ONE-LINE.
- Fig. 1.2 Schematizzazione delle condizioni di bilancio solido secondo i modelli ONE-LINE
- Fig. 2.1 Prima schematizzazione del litorale di interesse (DX30a)
- Fig. 2.2 Seconda schematizzazione del litorale di interesse (DX30b)
- Fig. 3.1 DX30a, calibrazione in assenza di apporti solidi dal Vomano (variazione linee riva misurate e calcolate per il 2006)
- Fig. 3.2 DX30a, calibrazione in presenza di apporti solidi dal Vomano (variazione linee riva misurate e calcolate per il 2006)
- Fig. 3.3 DX30a, calibrazione in assenza di apporti solidi dal Vomano (andamento della portata solida)
- Fig. 3.4 DX30a, calibrazione in presenza di apporti solidi dal Vomano (andamento della portata solida)
- Fig. 3.5 DX30b, calibrazione in assenza di apporti solidi dal Vomano (variazione linee riva misurate e calcolate per il 2006)
- Fig. 3.6 DX30b, calibrazione in presenza di apporti solidi dal Vomano (variazione linee riva misurate e calcolate per il 2006)
- Fig. 3.7 DX30b, calibrazione in assenza di apporti solidi dal Vomano (andamento della portata solida)
- Fig. 3.8 DX30b, calibrazione in presenza di apporti solidi dal Vomano (andamento della portata solida)
- Fig. 4.1 DX30a, variazione della linea di riva nei prossimi 10 anni in assenza delle nuove opere e in assenza di apporti solidi dal Vomano
- Fig. 4.2 DX30a, confronto tra le linee di riva calcolate per i prossimi 10 anni - senza e con le nuove opere - in assenza di apporti solidi dal Vomano
- Fig. 4.3 DX30a, variazione della linea di riva nei prossimi 10 anni in assenza delle nuove opere e in presenza di apporti solidi dal Vomano

UFFICIO DIREZIONE LAVORI**A.T.I. D'APPOLONIA S.P.A. – STADE S.R.L.**

VIA DEI RAMNI, 7 - 00185 ROMA

- Fig. 4.4 DX30a, confronto tra le linee di riva calcolate per i prossimi 10 anni - senza e con le nuove opere - in presenza di apporti solidi dal Vomano
- Fig. 4.5 DX30b, variazione della linea di riva nei prossimi 10 anni in assenza delle nuove opere e in assenza di apporti solidi dal Vomano
- Fig. 4.6 DX30a, confronto tra le linee di riva calcolate per i prossimi 10 anni - senza e con le nuove opere - in assenza di apporti solidi dal Vomano
- Fig. 4.7 DX30b, variazione della linea di riva nei prossimi 10 anni in assenza delle nuove opere e in presenza di apporti solidi dal Vomano
- Fig. 4.8 DX30b, confronto tra le linee di riva calcolate per i prossimi 10 anni - senza e con le nuove opere - in presenza di apporti solidi dal Vomano

UFFICIO DIREZIONE LAVORI
 A.T.I. D'APPOLONIA S.P.A. - STADE S.R.L.
 VIA DEI RAMNI, 7 - 00185 ROMA

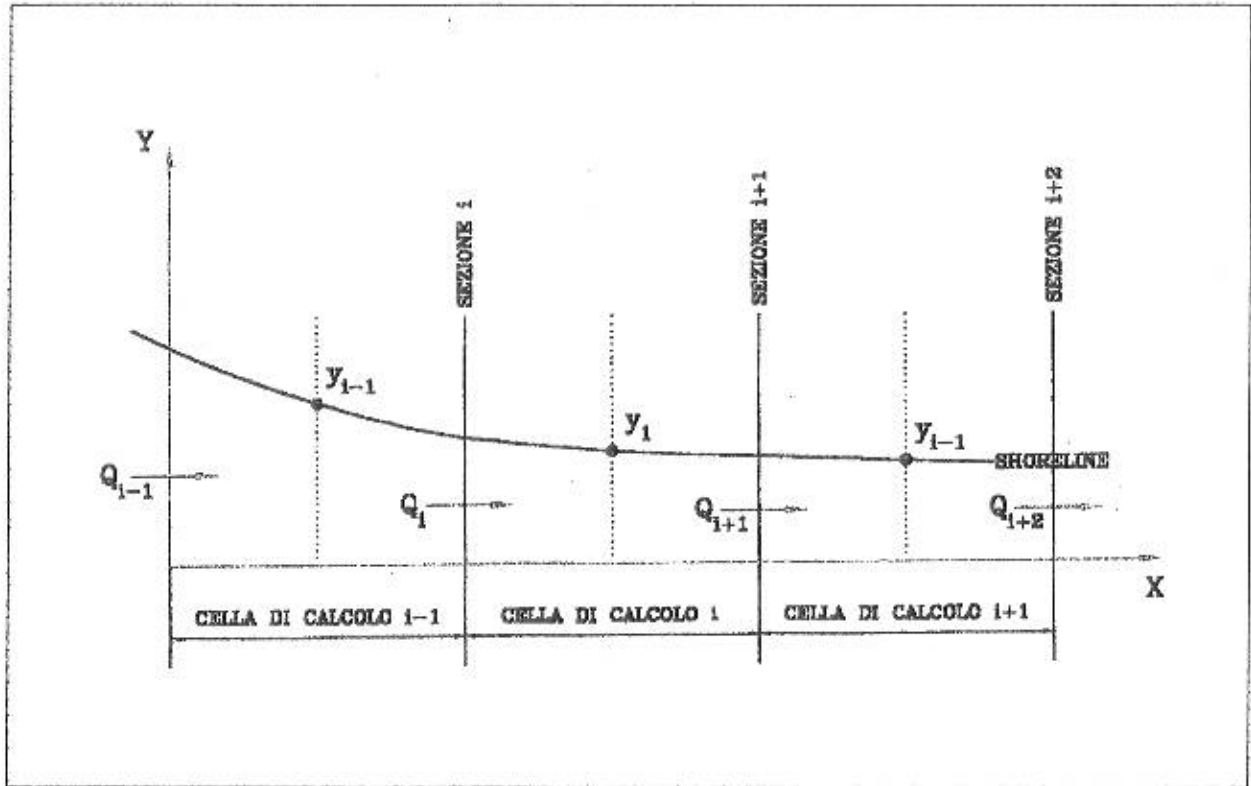


Fig. 1.1 - Discretizzazione della linea di costa e definizione delle celle di bilancio solido nei modelli ONE-LINE.

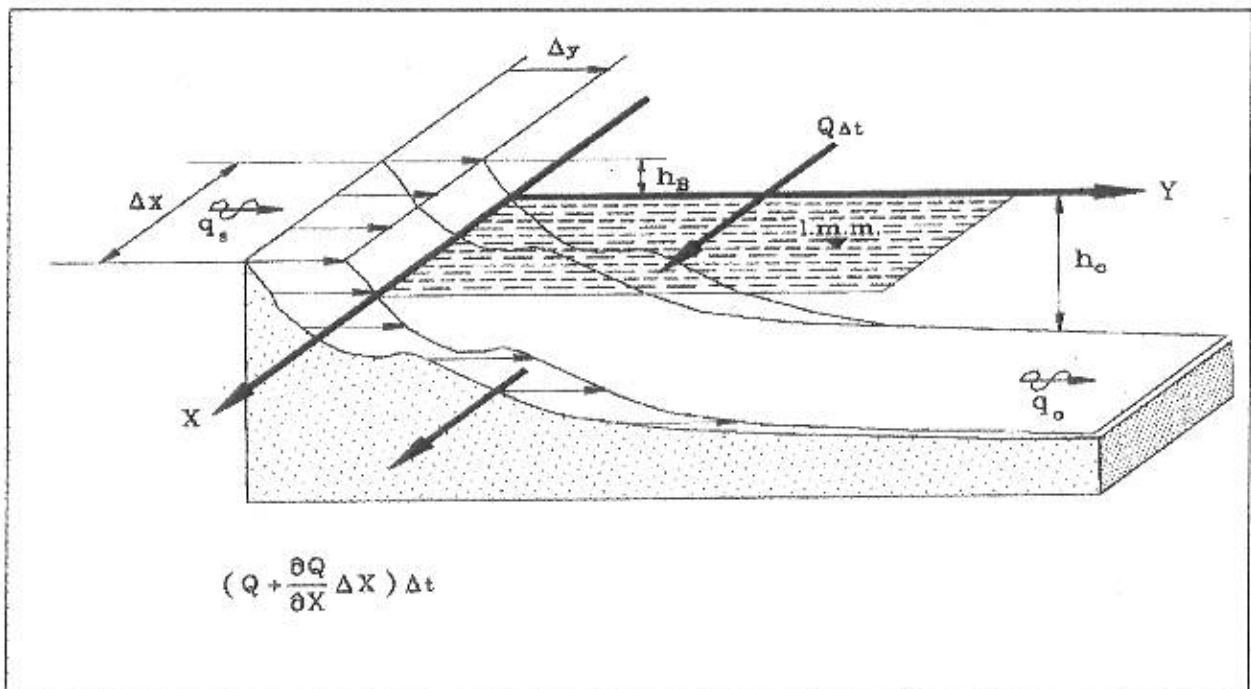


Fig. 1.2 - Schematizzazione delle condizioni di bilancio solido secondo i modelli ONE-LINE

UFFICIO DIREZIONE LAVORI
A.T.I. D'APPOLONIA S.P.A. - STADE S.R.L.
 VIA DEI RAMNI, 7 - 00185 ROMA

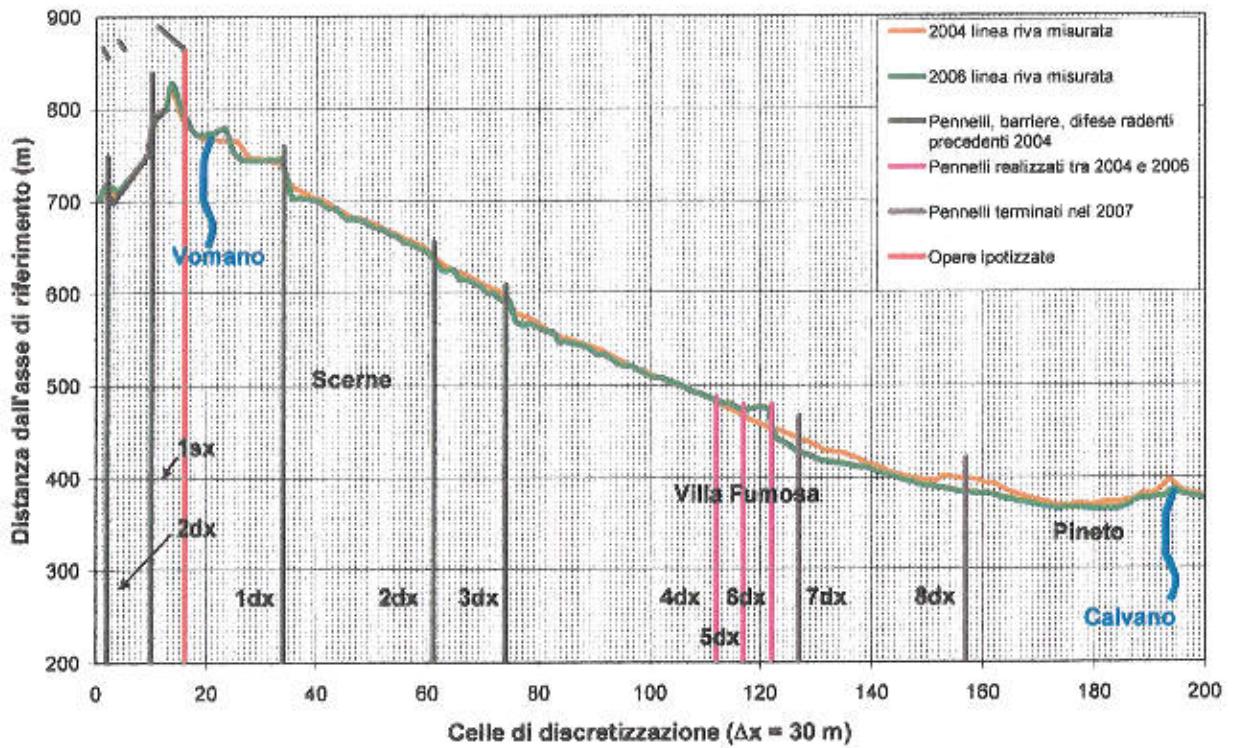


Fig. 2.1 – Prima schematizzazione del litorale di interesse (DX30a)

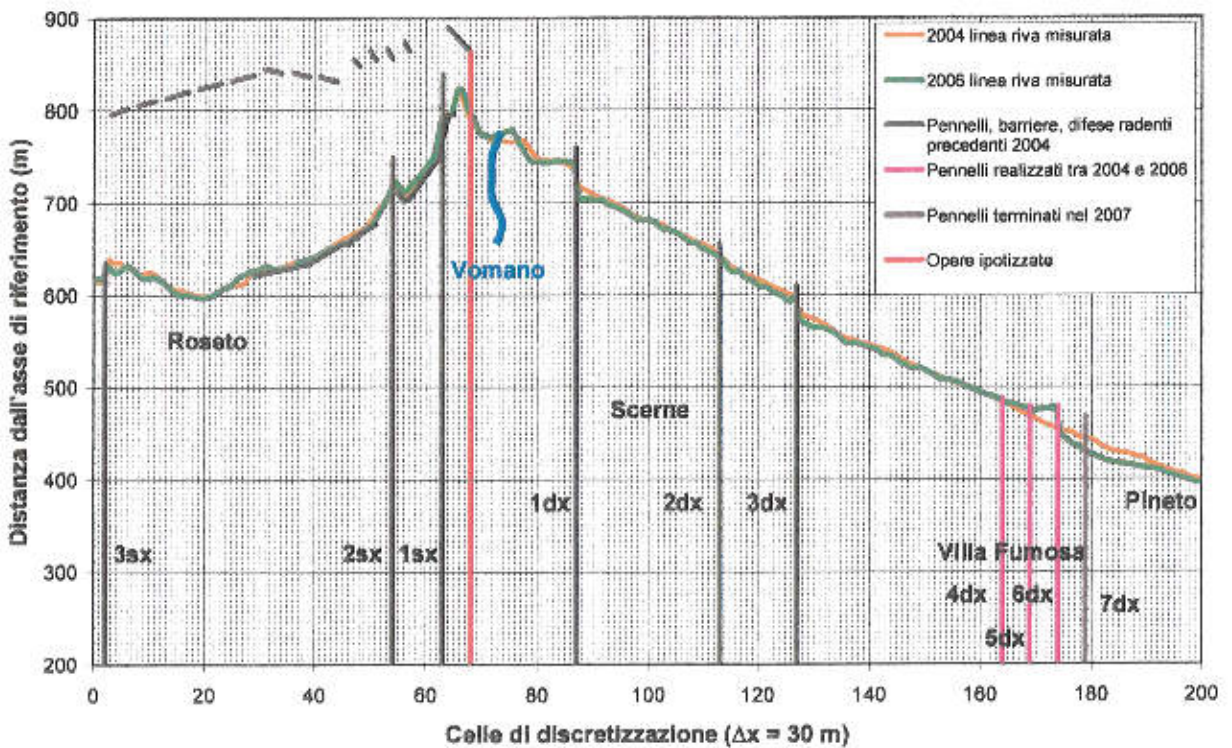


Fig. 2.2 – Seconda schematizzazione del litorale di interesse (DX30b)

UFFICIO DIREZIONE LAVORI
A.T.I. D'APPOLONIA S.P.A. - STADE S.R.L.
 VIA DEI RAMNI, 7 - 00185 ROMA

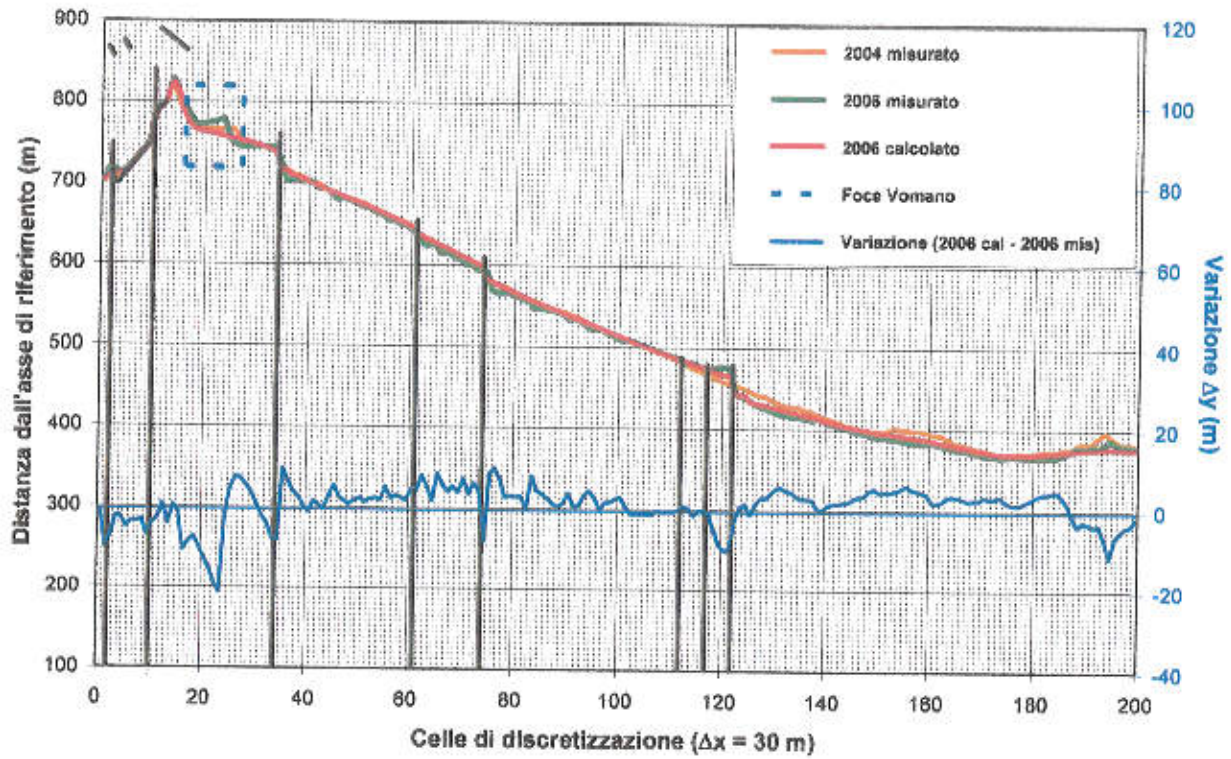


Fig. 3.1 – DX30a, calibrazione in assenza di apporti solidi dal Vomano (variazione linee riva misurate e calcolate per il 2006)

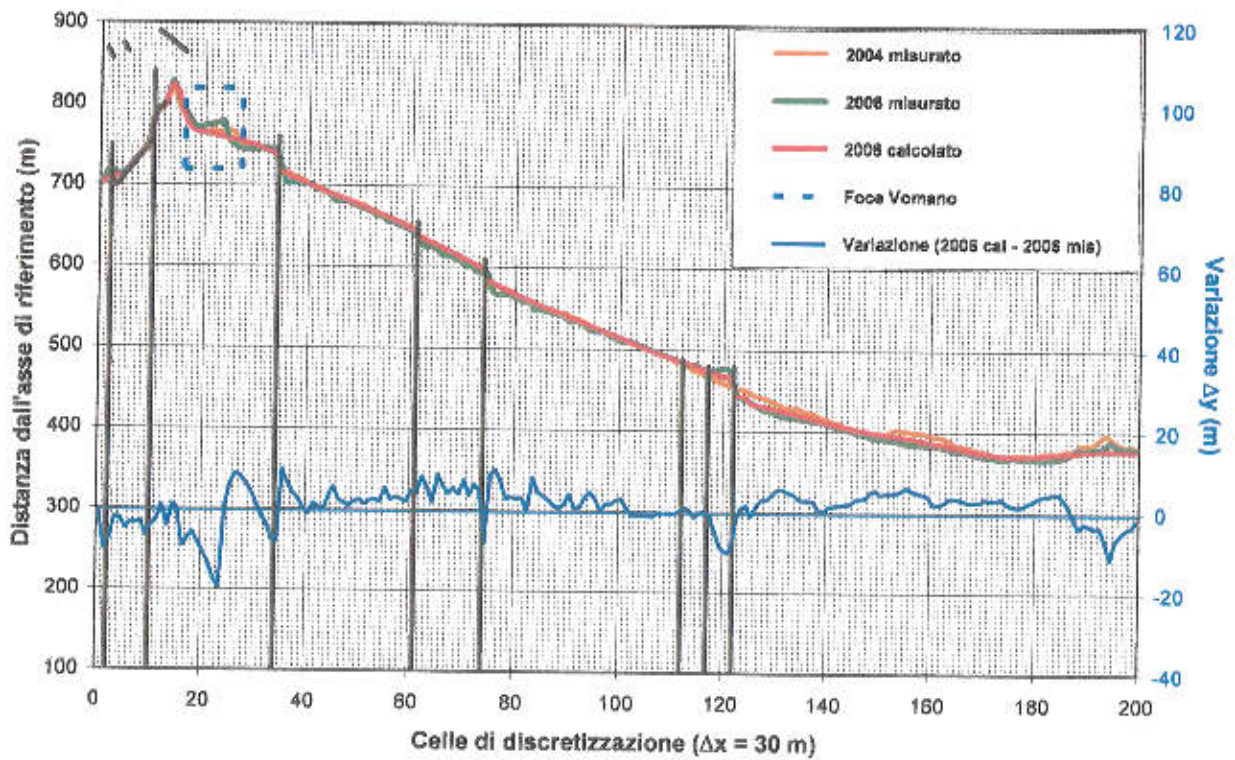


Fig. 3.2 – DX30a, calibrazione in presenza di apporti solidi dal Vomano (variazione linee riva misurate e calcolate per il 2006)

UFFICIO DIREZIONE LAVORI
A.T.I. D'APPOLONIA S.P.A. - STADE S.R.L.
 VIA DEI RAMNI, 7 - 00185 ROMA

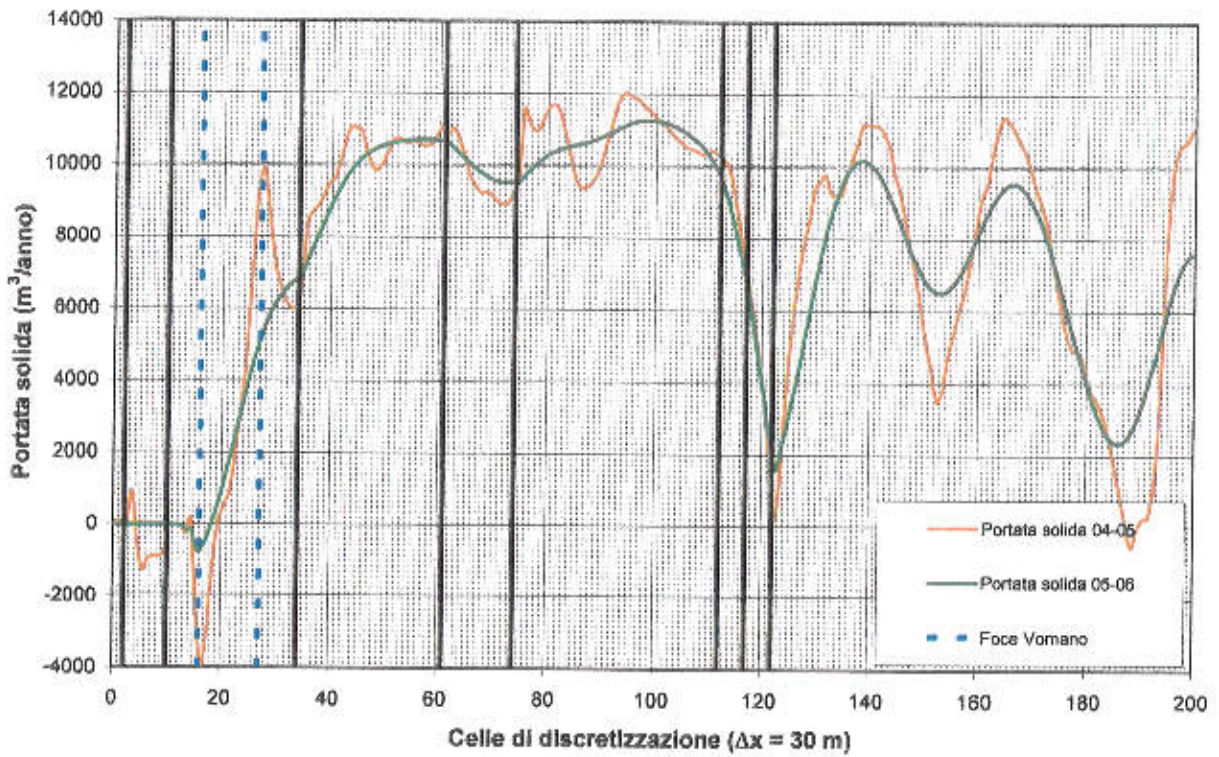


Fig. 3.3 – DX30a, calibrazione in assenza di apporti solidi dal Vomano (andamento della portata solida)

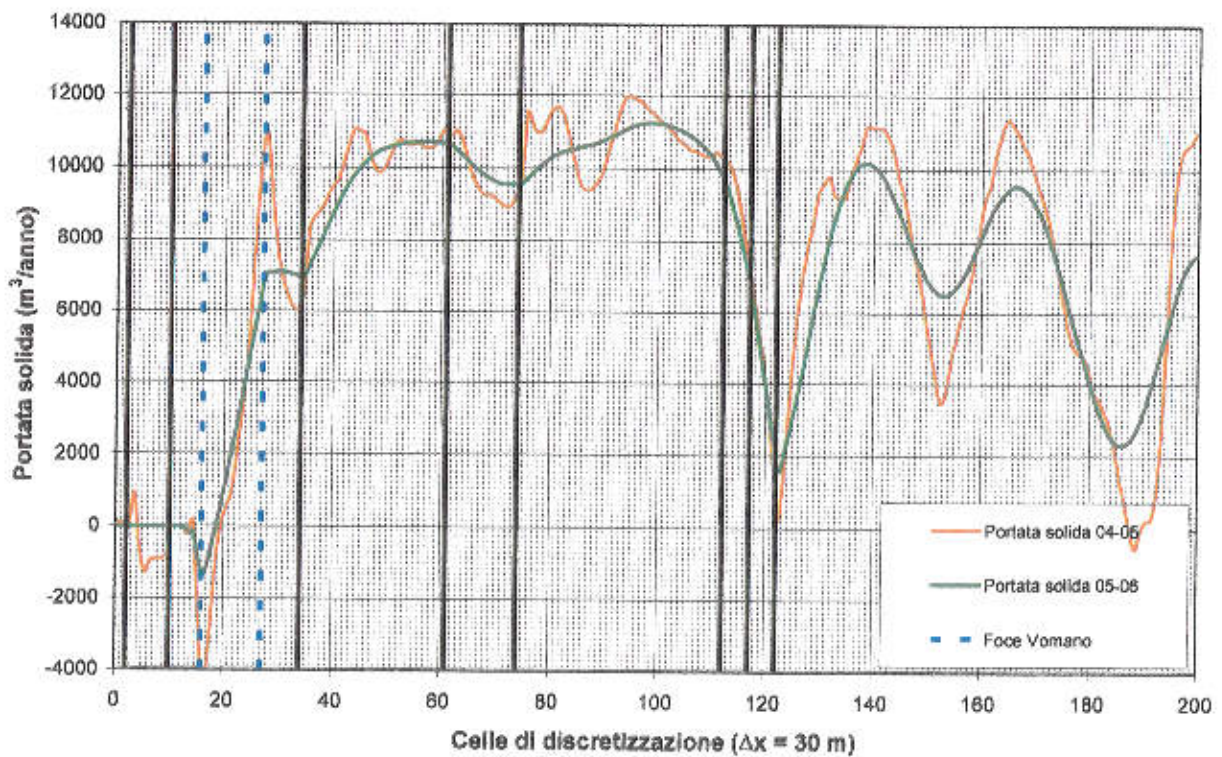


Fig. 3.4 – DX30a, calibrazione in presenza di apporti solidi dal Vomano (andamento della portata solida)

UFFICIO DIREZIONE LAVORI

A.T.I. D'APPOLONIA S.P.A. – STADE S.R.L.

VIA DEI RAMNI, 7 - 00185 ROMA

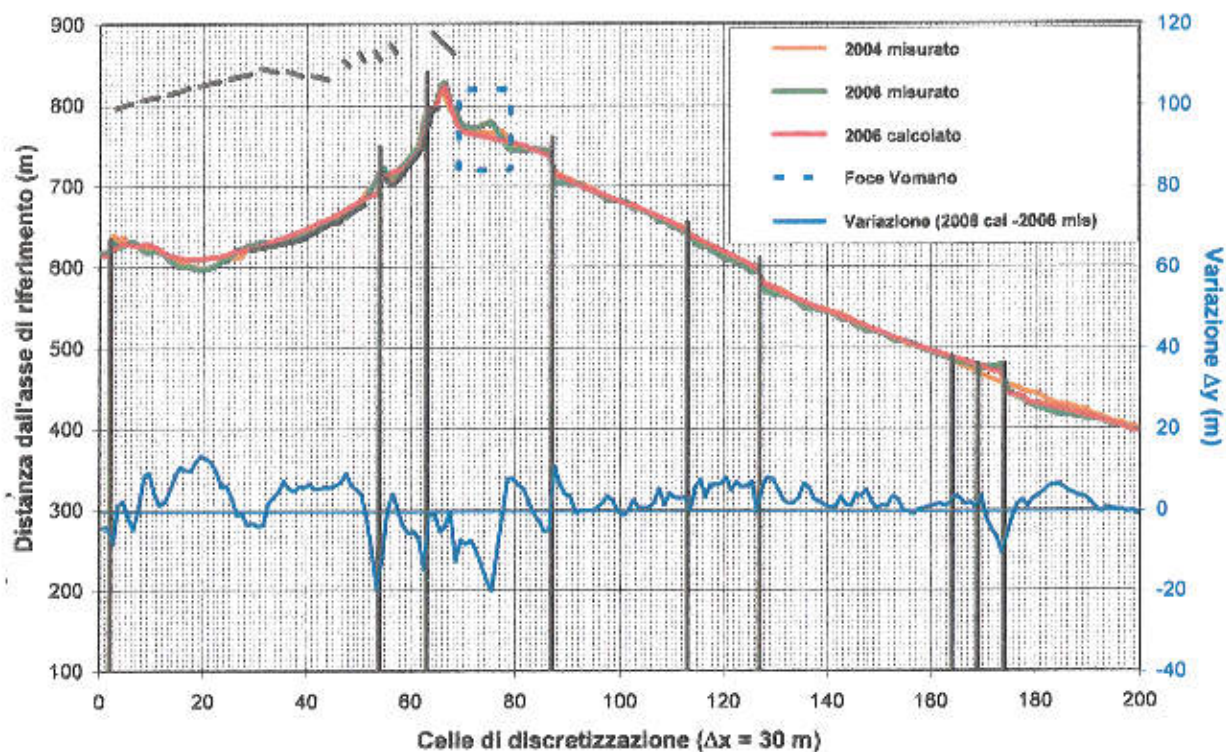


Fig. 3.5 – DX30b, calibrazione in assenza di apporti solidi dal Vomano (variazione linee riva misurate e calcolate per il 2006)

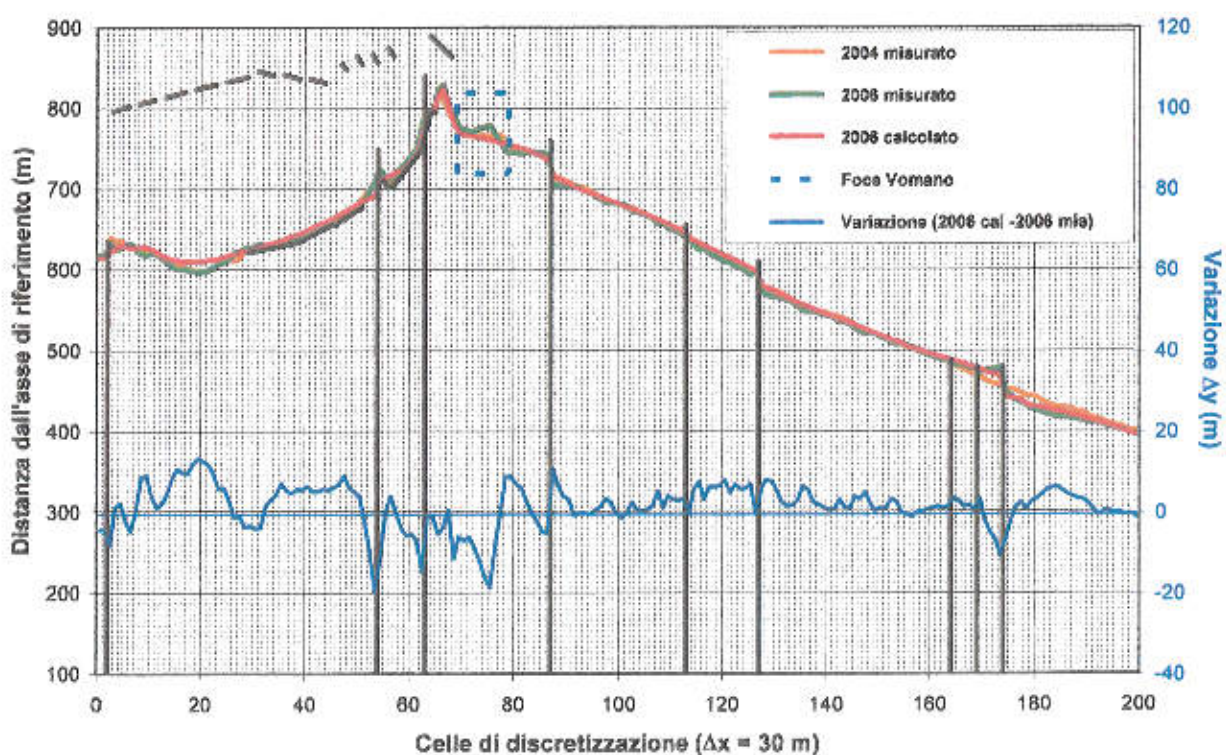


Fig. 3.6 – DX30b, calibrazione in presenza di apporti solidi dal Vomano (variazione linee riva misurate e calcolate per il 2006)

UFFICIO DIREZIONE LAVORI

A.T.I. D'APPOLONIA S.P.A. – STADE S.R.L.

VIA DEI RAMNI, 7 - 00185 ROMA

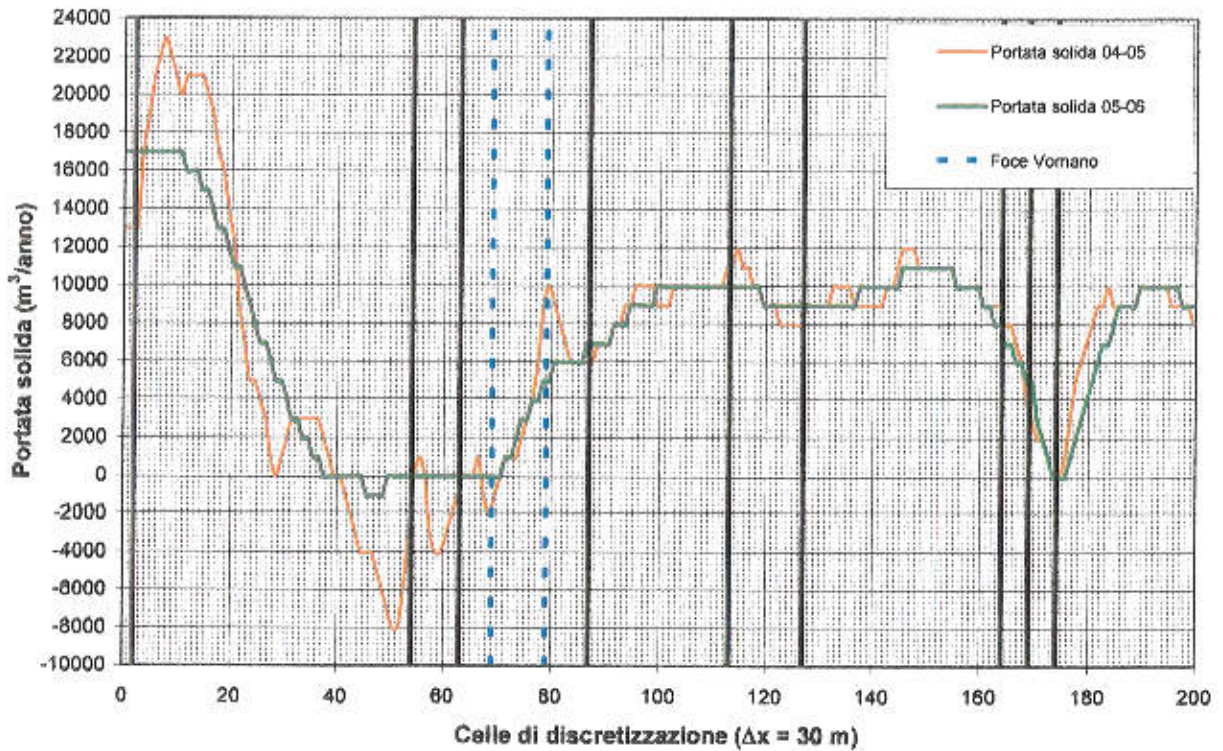


Fig. 3.7 – DX30b, calibrazione in assenza di apporti solidi dal Vomano (andamento della portata solida)

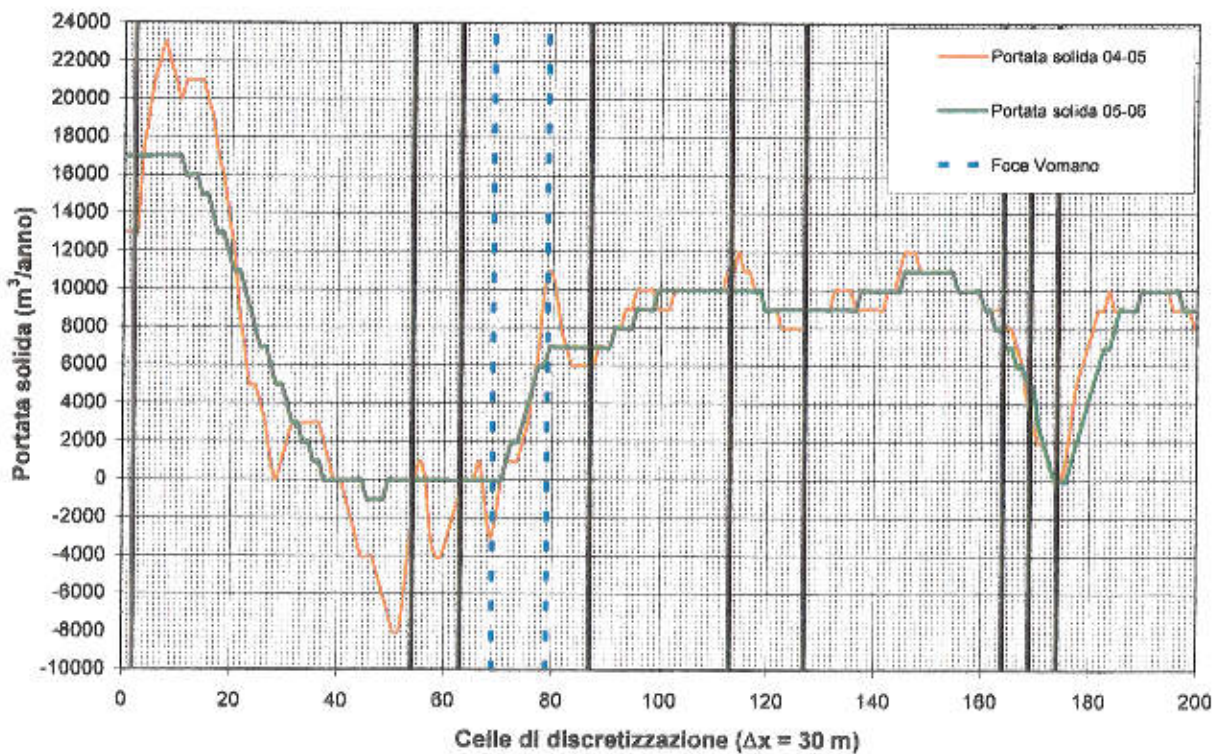


Fig. 3.8 – DX30b, calibrazione in presenza di apporti solidi dal Vomano (andamento della portata solida)

UFFICIO DIREZIONE LAVORI

A.T.I. D'APPOLONIA S.P.A. - STADE S.R.L.

VIA DEI RAMNI, 7 - 00185 ROMA

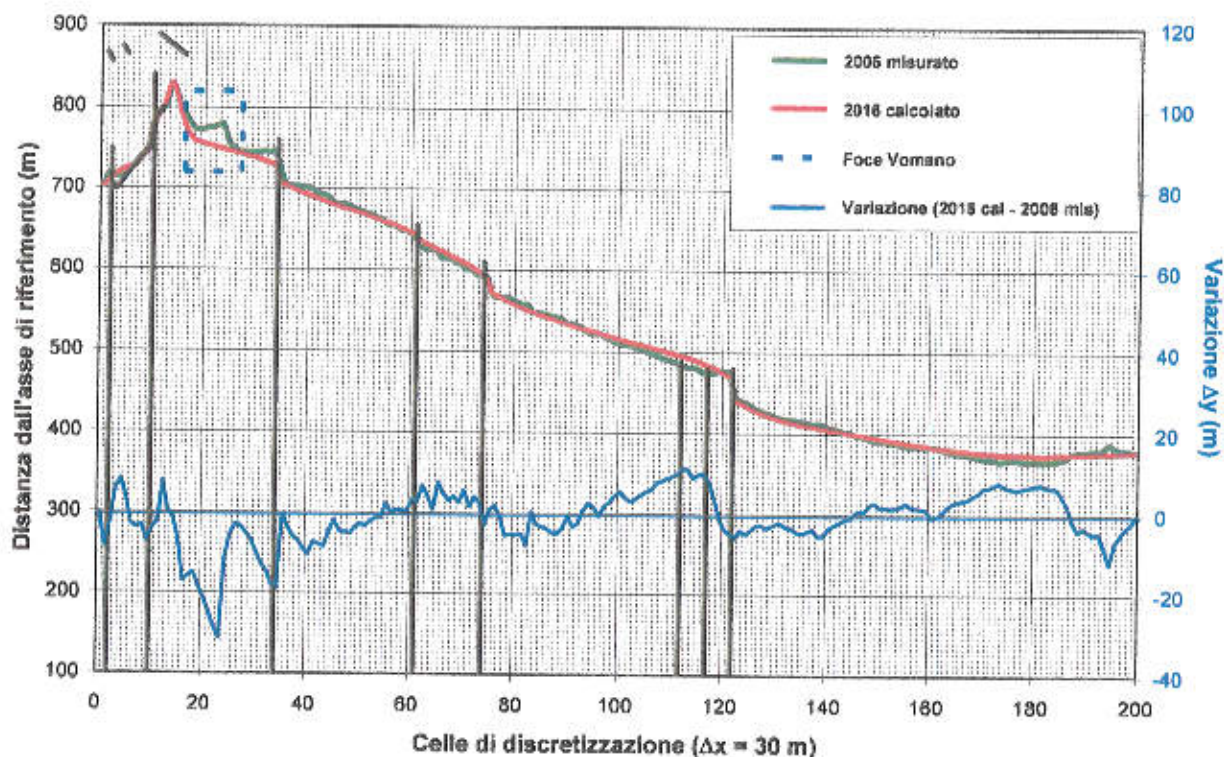


Fig. 4.1 – DX30a, variazione della linea di riva nei prossimi 10 anni in assenza delle nuove opere e in assenza di apporti solidi dal Vomano

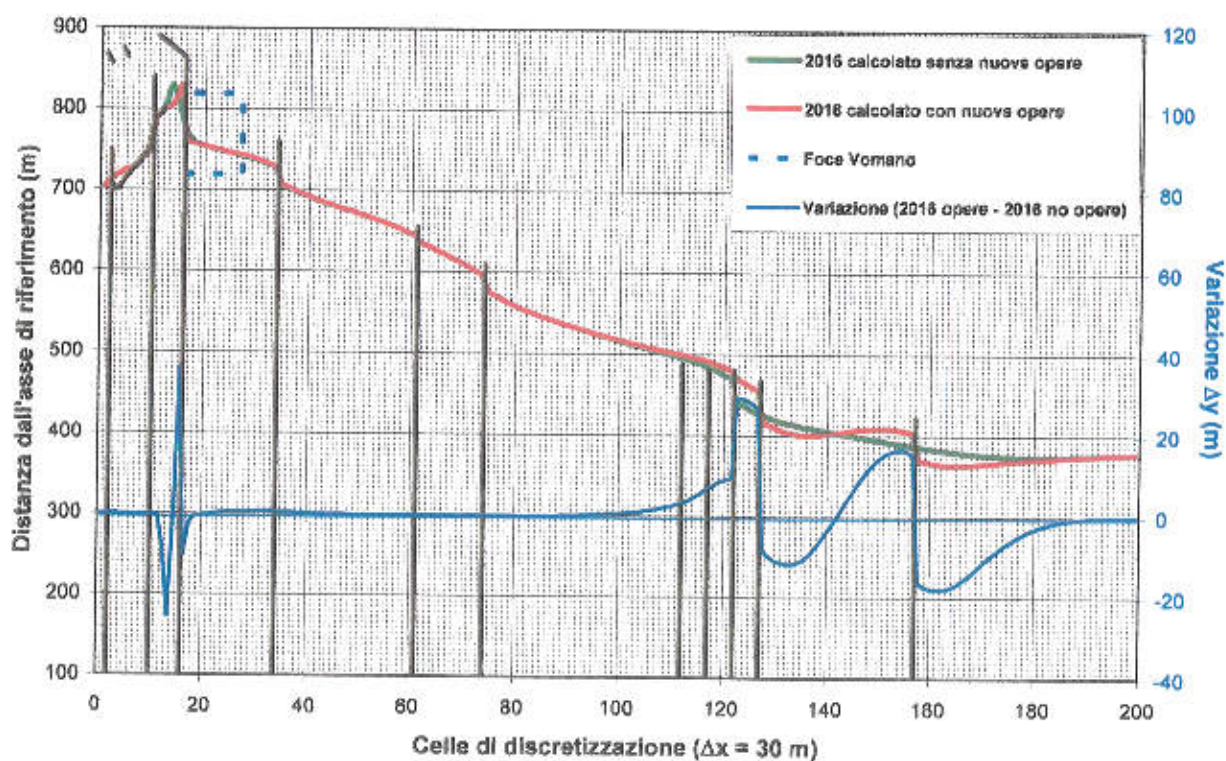


Fig. 4.2 – DX30a, confronto tra le linee di riva calcolate per i prossimi 10 anni - senza e con le nuove opere - in assenza di apporti solidi dal Vomano

UFFICIO DIREZIONE LAVORI
A.T.I. D'APPOLONIA S.P.A. - STADE S.R.L.
 VIA DEI RAMINI, 7 - 00185 ROMA

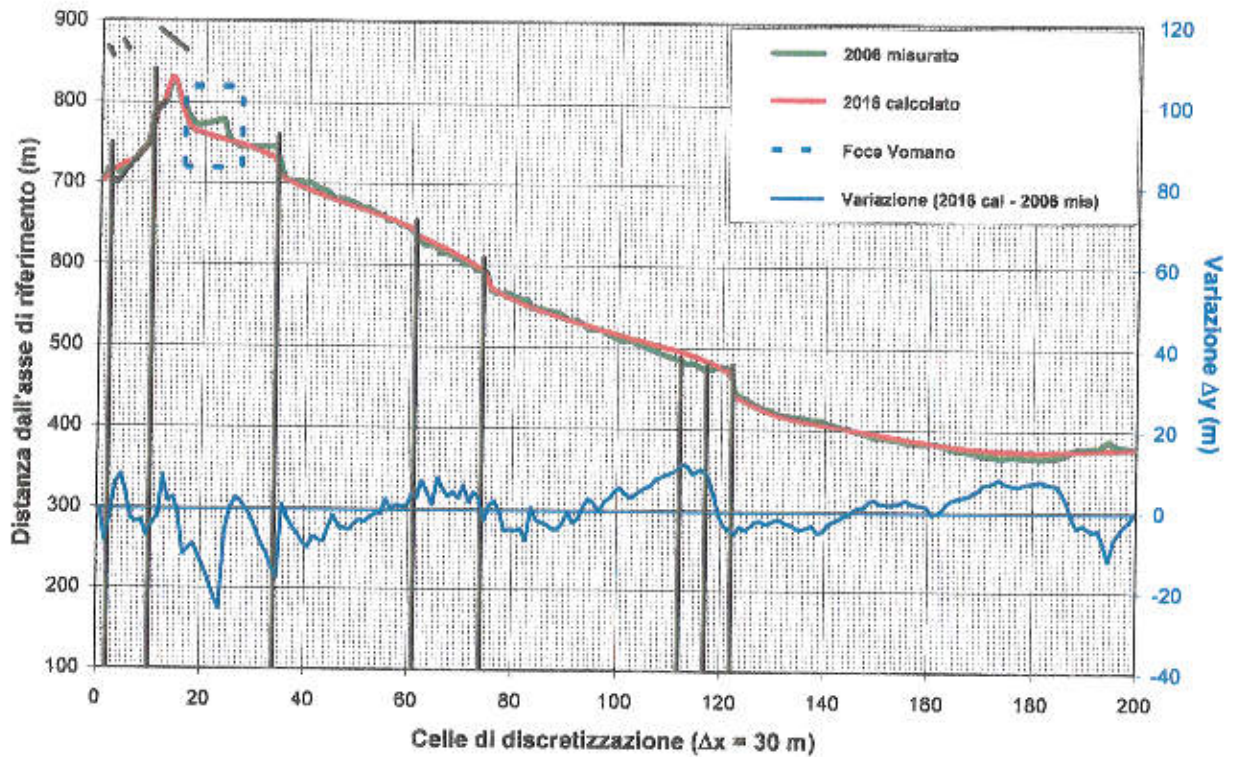


Fig. 4.3 – DX30a, variazione della linea di riva nei prossimi 10 anni in assenza delle nuove opere e in presenza di apporti solidi dal Vomano

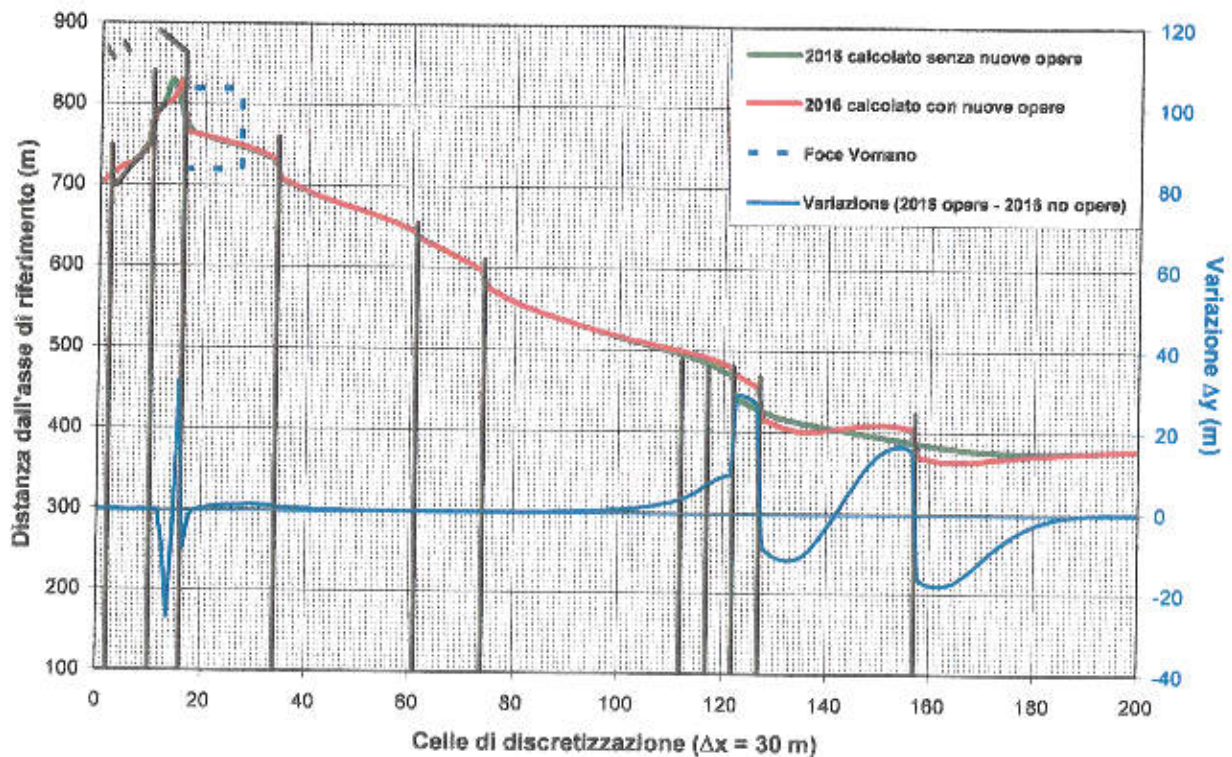


Fig. 4.4 – DX30a, confronto tra le linee di riva calcolate per i prossimi 10 anni - senza e con le nuove opere - in presenza di apporti solidi dal Vomano

UFFICIO DIREZIONE LAVORI

A.T.I. D'APPOLONIA S.P.A. - STADE S.R.L.

VIA DEI RAMNI, 7 - 00185 ROMA

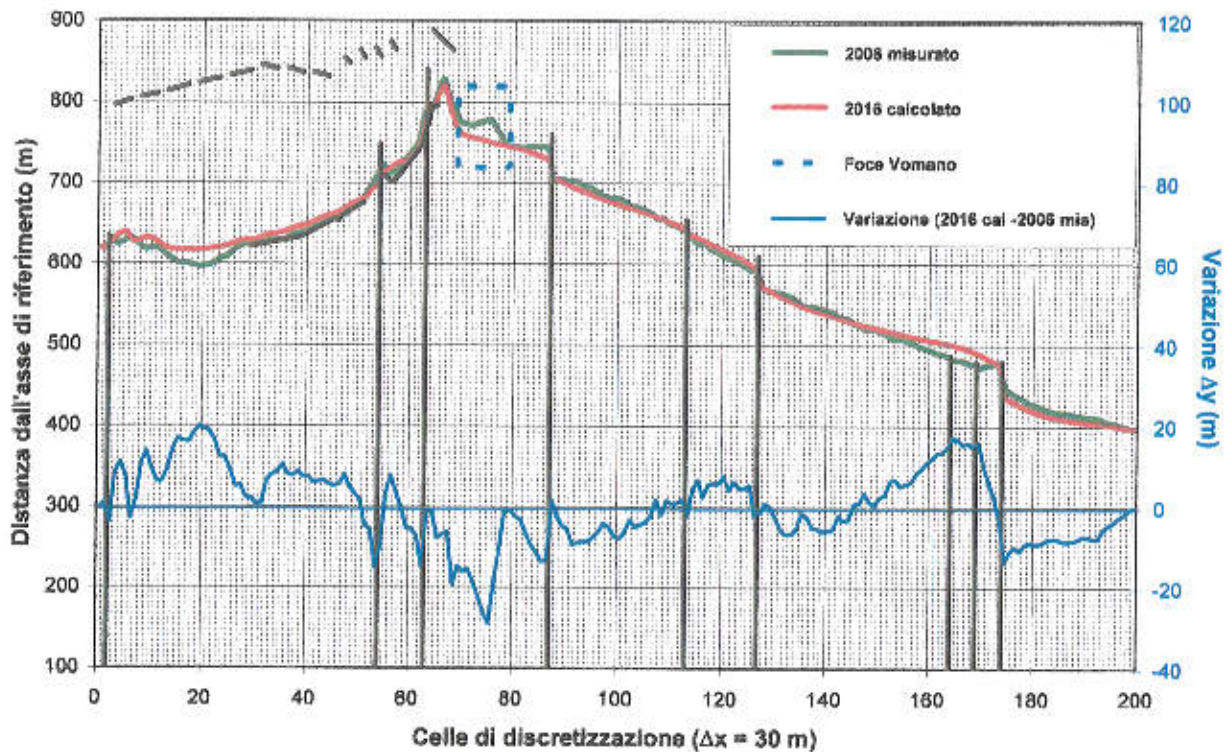


Fig. 4.5 – DX30b, variazione della linea di riva nei prossimi 10 anni in assenza delle nuove opere e in assenza di apporti solidi dal Vomano

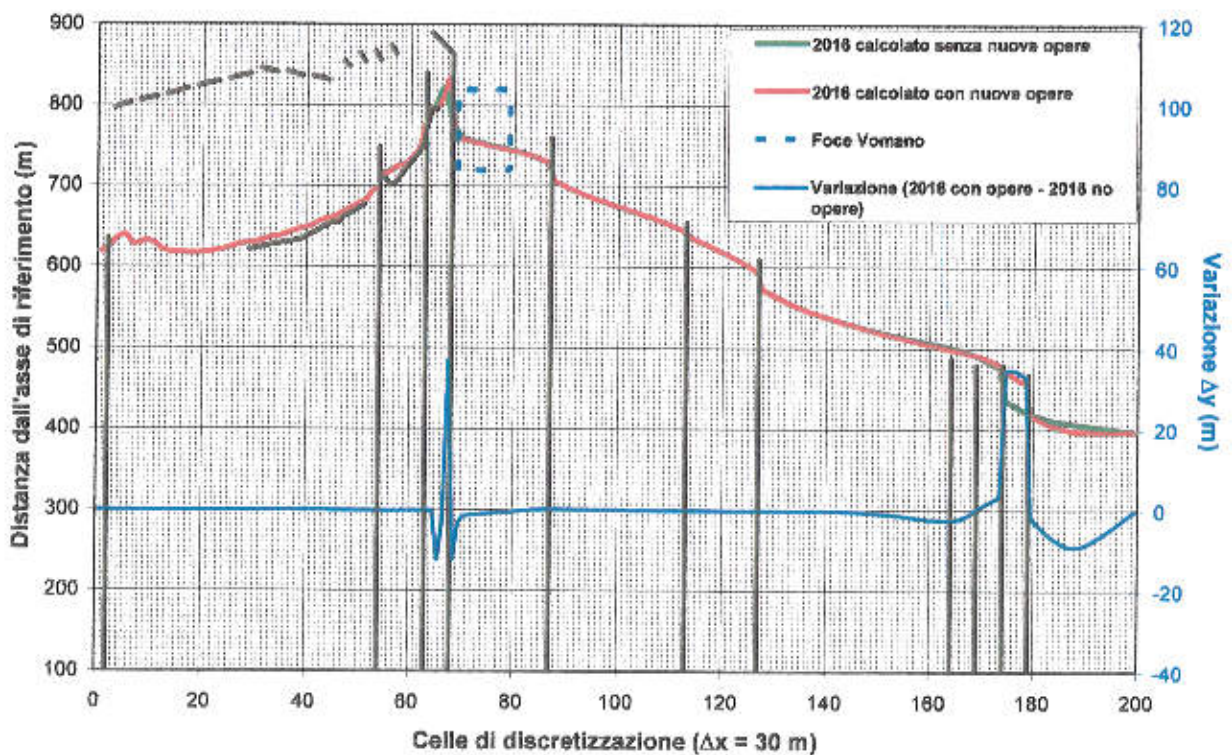


Fig. 4.6 – DX30a, confronto tra le linee di riva calcolate per i prossimi 10 anni - senza e con le nuove opere - in assenza di apporti solidi dal Vomano

UFFICIO DIREZIONE LAVORI
A.T.I. D'APPOLONIA S.P.A. - STADE S.R.L.
 VIA DEI RAMNI, 7 - 00185 ROMA

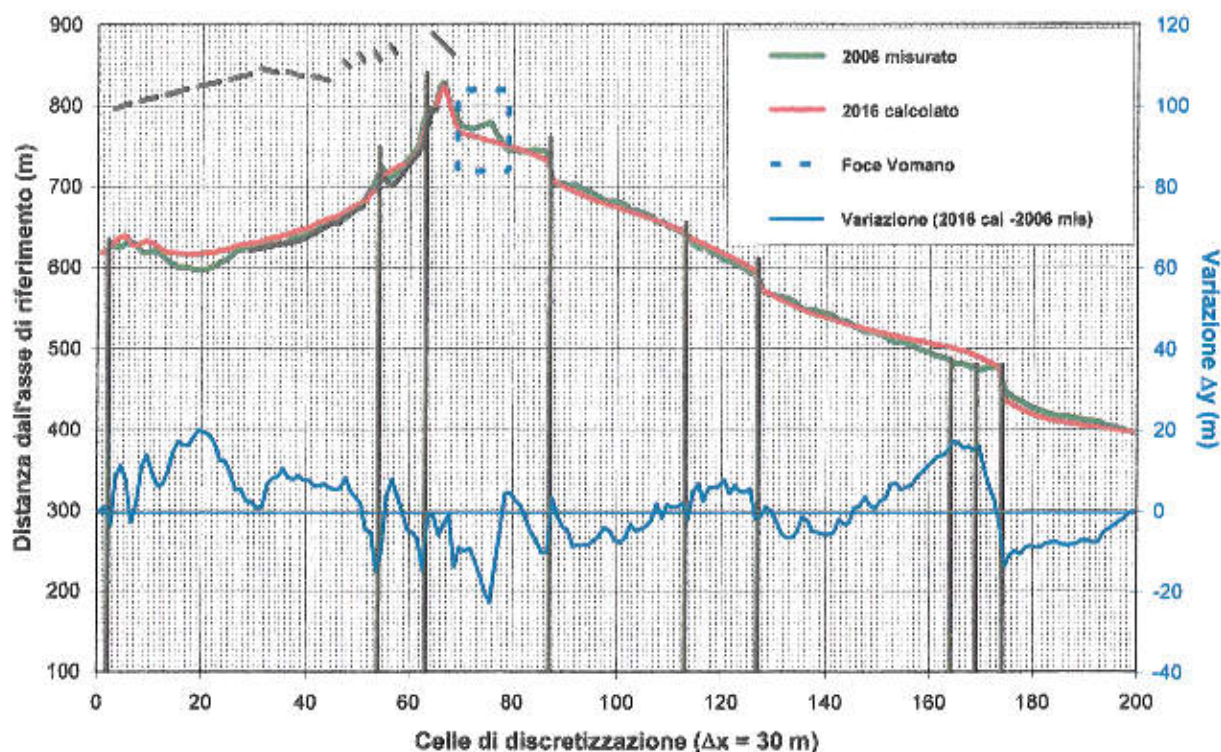


Fig. 4.7 – DX30b, variazione della linea di riva nei prossimi 10 anni in assenza delle nuove opere e in presenza di apporti solidi dal Vomano

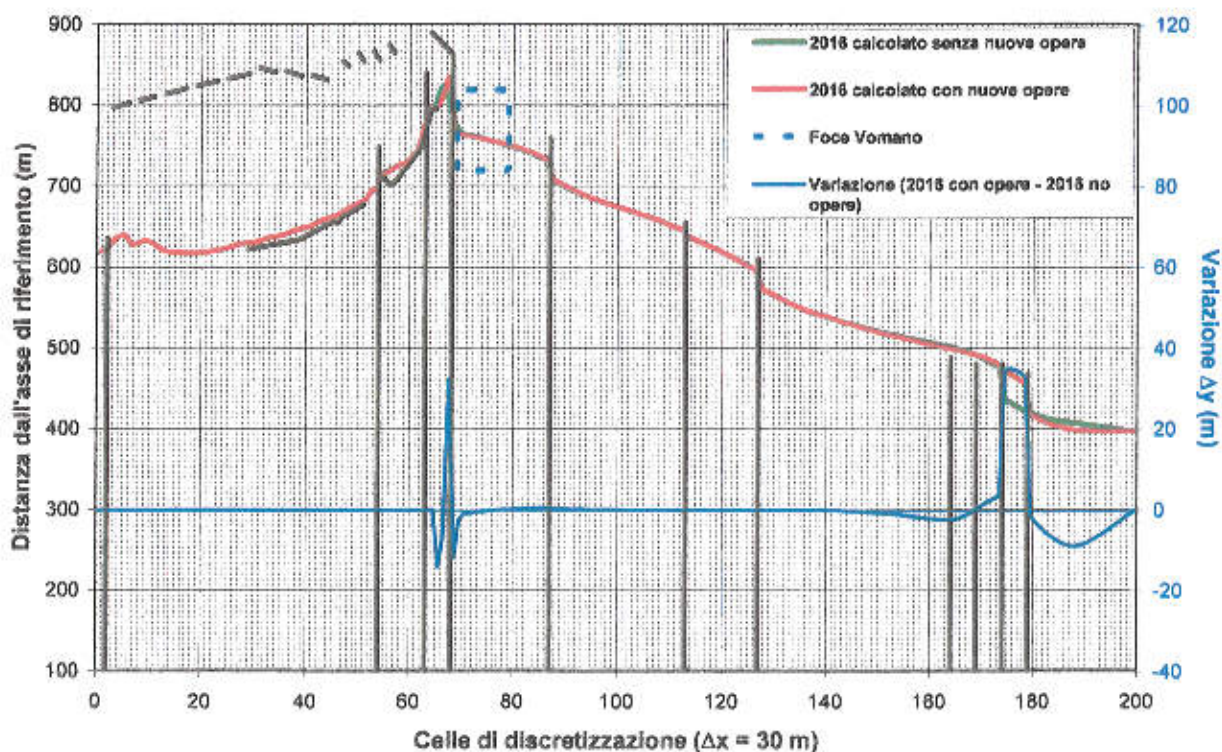


Fig. 4.8 – DX30b, confronto tra le linee di riva calcolate per i prossimi 10 anni - senza e con le nuove opere - in presenza di apporti solidi dal Vomano