



VALUTAZIONE DELL'EFFICACIA DEGLI INTERVENTI PROGETTUALI NELLA COSTA DI LADISPOLI

G. A. Mallandrino^{*}, A. Novara[†], V. Favara[†] e F. Viola^{*},

^{*} Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale, Aerospaziale, dei Materiali (DICAM)
Università di Palermo

Viale delle Scienze, 90128 Palermo, Italy

e-mail: giuseppe.mallandrino@unipa.it – francesco.viola77@unipa.it

[†] Studio Mallandrino S.r.l

Via Trapani 15, 90128 Palermo, Italy

e-mail: amelianovara@gmail.com – valeriafavara@gmail.com

(Ricevuto 15 Ottobre 2014, Accettato 25 Ottobre 2014)

Key words: submerged breakwaters, MIKE 21

Parole chiave: Scogliere sommerse, MIKE 21

Abstract. *Some technical solutions aimed at stabilizing the shoreline of the Ladispoli have been here tested using MIKE 21.*

Sommario. *L'efficacia di soluzioni progettuali atte a stabilizzare il litorale di Ladispoli viene qui testata tramite l'ausilio del software di calcolo MIKE 21.*

1 INTRODUZIONE

I numerosi provvedimenti messi in essere nel passato per la difesa del litorale di Ladispoli attraverso opere rigide, come le scogliere perpendicolari alla linea di riva, detti pennelli, o parallele, distanziate o radenti, hanno modificato profondamente il paesaggio originario, fino a suscitare l'opposizione dei fruitori del mare.

La collocazione delle opere, spesso attuata su bassi fondali, e quindi in prossimità della linea di riva, ha manifestato, accanto alla originaria finalità difensiva veloce ed efficace, una successiva inevitabile capacità di trasformazione del paesaggio e della stessa fruibilità, non solo dello stesso litorale di impianto, ma di sovente anche in quelli limitrofi, tale da giustificare la loro dismissione allorquando la motivazione principe che ne ha determinato la costruzione è venuta meno per l'inserimento della problematica generatrice nel contesto definito da una soluzione di più ampio respiro, che contempli, sia la funzione difensiva, sia quella destinata ad accrescere l'utilizzo dell'arenile.

Lungo il litorale di Ladispoli si è cercato di porre un limite alla tendenza all'arretramento attraverso la costruzione essenzialmente di scogliere longitudinali e pennelli trasversali che hanno risposto efficacemente solo in parte, portando cioè ad una stabilizzazione o avanzamento della linea di riva solo nel tratto protetto e causando degli effetti negativi ed

indesiderati altrove.

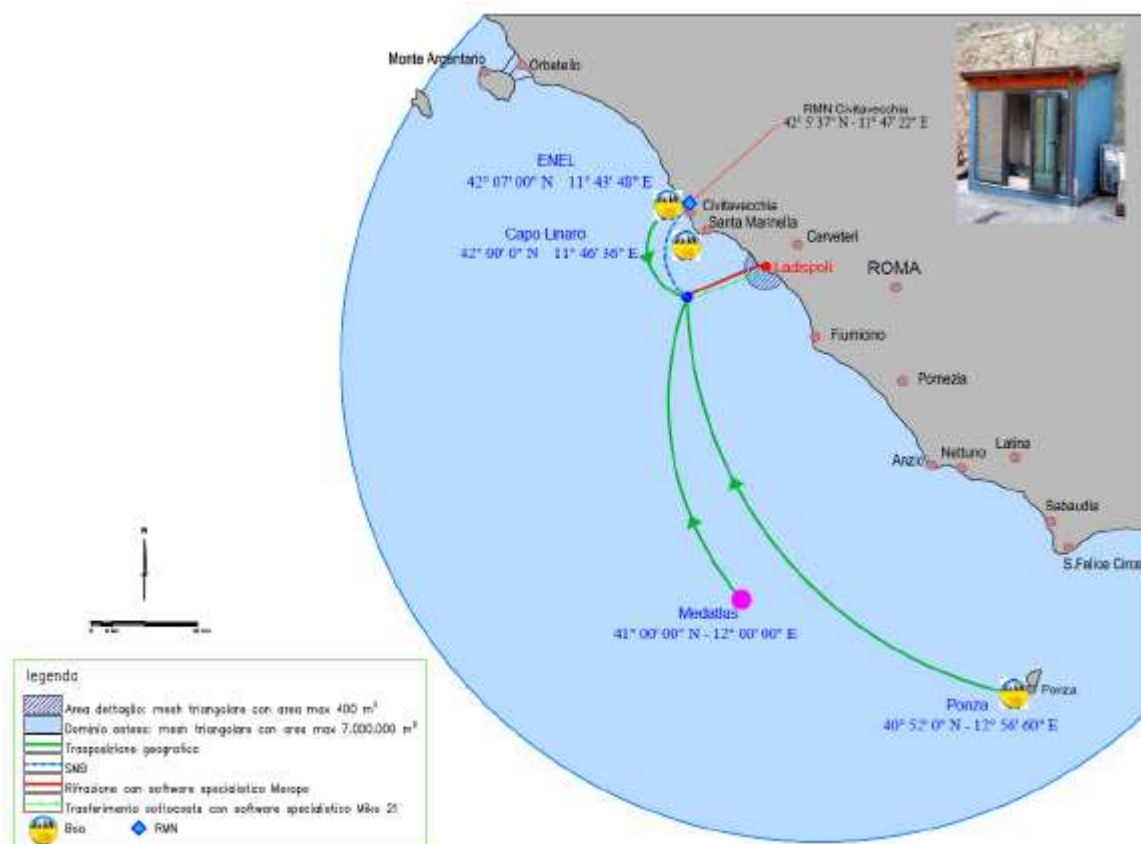
Nel presente studio si vuole, pertanto, studiare l'efficacia e l'effetto di alcuni interventi proposti per la protezione e la stabilizzazione del litorale di Ladispoli. La soluzione adottata è quella di un sistema di scogliere soffolte: la visione progettuale unitaria consente di trattare la problematica dell'impatto delle strutture sul litorale come un unicum.

2 METODOLOGIA ADOTTATA

Il presente studio procede per fasi successive, a partire dalla individuazione delle condizioni climatiche del paraggio oggetto dell'intervento, fino a giungere alla individuazione di una soluzione ottimale atta alla difesa del litorale, attraverso la valutazione delle condizioni ondamiche al largo, sia in termini di clima ondoso che di valori estremali, al successivo trasferimento di queste sottocosta, mediante l'analisi dei fenomeni di trasformazione sui fondali di transizione, ed alla previsione della dinamica costiera.

Al fine di descrivere i dati utilizzati, la modellistica e i domini spaziali in cui si articolerà lo studio, si è ritenuto opportuno fornire un quadro sintetico e di insieme del metodo adottato mediante uno schema che abbraccia tutte le problematiche analizzate e ne evidenzia le interdipendenze.

Per fissare le idee nella mente del lettore si farà riferimento alla figura 1, in cui sono rappresentati le fonti di dati disponibili, le metodologie adottate per la modellazione delle forzanti ondamiche e i domini geografici analizzati.



L'analisi delle fonti di dati disponibili ha condotto ad individuare due ondometri facenti parte della Rete Ondametrica Nazionale (RON), un ondometro gestito dall'ENEL e un punto dell'Atlante delle Onde del Mediterraneo (MEDATLAS).

L'ondometro di Ponza ha registrato una lunga serie storica ad una distanza di circa 150 Km dal luogo di interesse, mentre quello di Capo Linaro, vicinissimo a Ladispoli, ha registrazioni per soli due anni. L'ondometro ENEL, posto a Civitavecchia, possiede una discreta serie storica, ma va tenuto conto fin da subito che tali misure sono rilevate in acque basse (batimetrica -30 m).

Il MEDATLAS fornisce in un punto al largo di Ladispoli il clima ondoso e cioè le frequenze di accadimento di onde provenienti da una certa direzione e per assegnata altezza, ma non le registrazioni in continuo.

Tutti questi dati ondametrici, sia quelli sotto forma di serie storica che quelli in formato di clima ondoso, sono caratteristici del paraggio in cui sono stati rilevati.

Si è proceduto, quindi, a trasporre i dati misurati dal luogo di misura al largo di Ladispoli. Per perseguire questo obiettivo si è fatto uso di un software in grado di stimare i fetches¹ geografici ed efficaci (software Enif) e di un secondo strumento capace di effettuare la trasposizione vera e propria (software Sagitta).

Alle misure dirette si è voluto accompagnare una ricostruzione di altezze d'onda tramite metodo indiretto. Per questo sono stati acquisiti dati anemometrici registrati presso il Mareografo di Civitavecchia e, tramite opportuna modellazione matematica (metodo SMB², software Altair), è stato possibile ricostruire una serie ondametrica sintetica al largo di Ladispoli.

Da diverse fonti e tramite diversi metodi si è stati in grado di pervenire a diverse serie ondametriche al largo di Ladispoli.

La caratterizzazione statistica delle onde estreme e del clima ondoso al largo è stata condotta quindi per tante volte quante sono state le serie prodotte. Nello specifico, per analizzare e caratterizzare gli eventi estremi è stato utilizzato il software Pegaso che fornisce le relazioni tra tempo di ritorno e altezza d'onda caratteristica.

Nel contempo è stato analizzato il clima ondoso al largo, pervenendo a delle rose annuali e stagionali. Il quadro conoscitivo fornito sul clima ondoso al largo è stato poi fatto oggetto di disamina al fine di confrontare i diversi risultati ottenuti partendo da fonti diverse e tra loro lontane.

La serie ondametrica trasposta da Ponza è risultata la più convincente, sia in termini di lunghezza storica, sia per la corrispondenza del clima ondoso con quello rilevato dal MEDATLAS e, non ultimo, per la corrispondenza con gli eventi estremi omnidirezionali provenienti dall'analisi delle onde ottenute con metodo indiretto.

Note le caratteristiche delle onde al largo, sia in termini di clima ondoso che di eventi estremali, si è proceduto con lo studio del fenomeno della rifrazione e cioè delle trasformazioni che le onde subiscono nell'avvicinarsi alla costa percorrendo i bassi fondali.

Al fine di fornire un quadro conoscitivo quanto più ampio possibile, la propagazione del moto ondoso è stata affrontata parallelamente e congiuntamente tramite due modelli matematici e due software specialistici. In particolare sono stati utilizzati il Merope, che opera la rifrazione inversa spettrale, e il Mike 21 SW³ che può considerarsi lo stato dell'arte nella modellazione bidimensionale marittima.

Il primo metodo è stato utilizzato per propagare l'intera serie ondametrica dal largo ad un punto sottocosta, dove poi sono state analizzate le caratteristiche statistiche delle onde trasferite.

Il secondo metodo ha richiesto la discretizzazione dello spazio geografico in esame

secondo due livelli di complessità e risoluzione crescenti.

In un primo tempo, la batimetria di tutto il paraggio è stata riprodotta secondo mesh triangolari grossolane. In questo dominio è stato studiato il trasferimento della serie ondometrica dal largo a sottocosta. Essendo il modello spazialmente distribuito, si è pervenuti alla determinazione di un campo d'onda per ogni valore d'onda al largo del dominio e da questi è stato facile estrarre una serie puntuale per l'analisi delle caratteristiche ondamiche sottocosta.

Il livello di complessità successivo riguarda l'infittimento delle mesh triangolari nella parte del dominio spaziale sottocosta, evidenziato anche in figura 1. Si è proceduto cioè ad approfondire la descrizione spaziale della batimetria sottocosta al fine di studiare in dettaglio quei fenomeni che largamente sono influenzati dalla morfologia del fondo. Su tale dominio complesso si è approfondito lo studio della propagazione degli eventi estremi del moto ondoso, analizzando anche diverse formulazioni per l'analisi del frangimento.

Sempre su tale dominio sono stati studiati l'idrodinamica costiera e la morfodinamica costiera, tenendo conto esplicitamente delle caratteristiche dei sedimenti presenti in loco. Questo è stato fatto con l'ausilio dei software MIKE 21 HD ed ST⁴.

3 EVOLUZIONE STORICA DEL LITORALE

L'analisi della dinamica di un litorale include gli effetti delle modifiche naturali e antropiche; per tale motivo, per lo studio del litorale di Ladispoli si prende avvio da una carta storica del 1895, in cui il litorale si presenta ampio e non sono presenti né opere di difesa costiera, né opere di protezione delle foci fluviali.

La ricostruzione storica dell'evoluzione del litorale del comune di Ladispoli è stata condotta utilizzando come dati le linee di riva storiche della cartografia dell'Istituto Geografico Militare, con riferimento agli anni 1895, 1906, 1925, 1931, 1936 e 1950, le linee di riva di aerofoto, con riferimento agli anni 1974, 1980, 1984, 1990 e 2007, nonché la linea di riva tratta dalla Carta Tecnica Regionale del 1990 e del 2002.

Il risultato di tale studio è raffigurato nella figura 2.

Effettuata un'analisi generale del litorale di Ladispoli, si è proceduto, successivamente a studiare, con maggiore dettaglio, il trend evolutivo del solo tratto di costa che si estende da Torre Flavia a Palo, confrontando le linee di riva del 1980, 1984, 1990, 2002 e 2007.

In particolare, le linee di riva degli anni 1980, 1984 e 2007 sono state estratte dalle foto aeree relative ai voli 1979-1981, 1984 e 2007, mentre le linee di riva del 1990 e del 2002, sono state digitalizzate dalla Cartografia Tecnica Regionale.



Figura 2: Evoluzione storica della linea di riva

Dal 1980 al 1984 si nota una prevalenza dei processi di avanzamento, con valori elevati in corrispondenza del tratto subito a nord della foce del Fosso Vaccina. Tale forte avanzamento è stato determinato dalla realizzazione di due scogliere, distanti dalla linea di riva e parallele ad essa, che hanno portato alla formazione di due tomboli.

Dal 1984 al 1990, invece, si registra una prevalenza dei fenomeni erosivi, ad eccezione del tratto subito a nord della foce del Fosso Vaccina, in cui la linea di riva risulta stabile grazie alle scogliere precedentemente realizzate.

Dal 1990 al 2002, il litorale appare sostanzialmente stabile con lievi fenomeni di erosione e di avanzamento localizzati.

Dal 2002 al 2007, la sovrapposizione mostra una leggera tendenza all'avanzamento in alcuni settori e una situazione di equilibrio negli altri. Solo in corrispondenza di torre Flavia è stato registrato un significativo avanzamento della linea di costa. Si ritiene che le modifiche subite dal litorale sono attribuibili sostanzialmente alle opere di difesa realizzate in questo arco temporale, nonché all'intervento di ripascimento effettuato nel 2003.

Nonostante la disomogeneità dei dati disponibili, lo studio dell'evoluzione della linea di riva condotto fornisce delle indicazioni quali-quantitative utili alla definizione degli interventi di protezione della fascia costiera. Infatti, dall'analisi è emerso che le opere di difesa perpendicolari alla linea di riva non hanno avuto in generale alcun effetto, mentre quelle parallele hanno generato un accumulo di materiale a tergo delle stesse con la creazione di tomboli.

L'evoluzione del litorale è condizionata spesso dalle pressioni antropiche e dalla tipologia d'uso della fascia costiera. A tal fine, si è proceduto ad effettuare anche una valutazione dell'evoluzione storica degli insediamenti abitativi. Sulla scorta della cartografia acquisita sopra riportata è stata individuata, per l'arco temporale che va dal 1895 al 2002, l'estensione del centro abitato.

Si è osservato che nel 1895 il territorio è occupato da piccoli nuclei abitativi, localizzati principalmente a sud di Fosso Vaccina. Con il passare degli anni l'urbanizzazione della fascia costiera è andata ad aumentare. Tale tendenza si registra in misura maggiore dal 1950 al 1990, periodo in cui, in concomitanza dello sviluppo economico degli anni '60, si è verificato un notevole incremento dell'estensione del centro abitato e in particolare, un nascere di abitazioni lungo la fascia costiera.

Con particolare riguardo allo sfruttamento della fascia costiera, giova ricordare che il litorale di Ladispoli ha subito negli anni passati un depauperamento a causa del prelievo di materiale sabbioso. Infatti, tale materiale per l'elevato contenuto di componenti ferrosi veniva prelevato e trasportato presso le acciaierie di Terni per le successive lavorazioni.

4 RISULTATI

Il presente lavoro simula gli interventi da realizzare in funzione delle opere già presenti e in relazione con le caratteristiche del moto ondoso incidente, valutando il mutuo rapporto di interazione fra gli stessi interventi e l'assetto litoraneo esistente e prevedendone, nel contempo, nota la relativa dinamica costiera, la tendenza evolutiva fino all'assetto finale, al fine di valutare l'efficacia della soluzione proposta.

L'ipotesi progettuale analizzata prevede la realizzazione di un sistema di scogliere sommerse disposte parallelamente alla linea di costa e intervallate da varchi protetti al fondo.

I risultati della propagazione a riva, condotta sia tramite l'applicazione del software Merope, sia tramite il modulo MIKE 21 SW, mostrano che i fronti d'onda tendono a disporsi parallelamente alle batimetriche. Si osserva che le onde più frequenti provengono dal settore di Libeccio (figura 3a).

Notevole rilevanza acquista l'individuazione della zona dei frangenti, in quanto ad essa è correlata la scelta della profondità di imbasamento dell'opera di difesa. Infatti, la scogliera sommersa collocata al di fuori della zona dei frangenti provoca il frangimento delle onde sul paramento esterno dell'opera riducendo i fenomeni di modifica del fondale e, nel contempo, a causa della diffrazione prodotta dalle testate, provoca un accumulo di materiale a tergo della stessa.

Nella figura 3b la zona rossa rappresenta quella dove l'attenuazione dell'onda per frangimento è modesta, mentre la zona di vari colori rappresenta quella in cui le onde sono frangenti o frante.

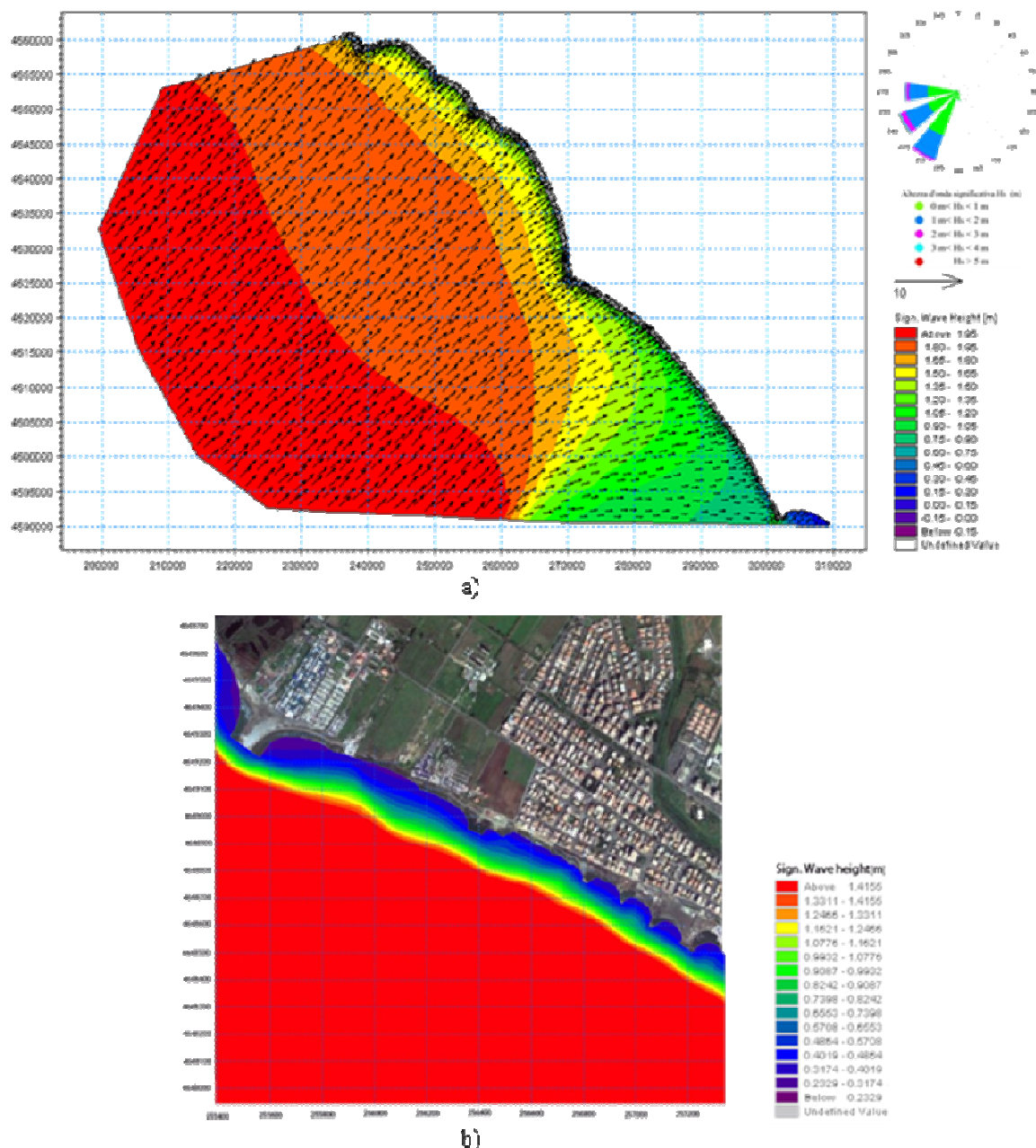


Figura 3: a) Propagazione del moto ondoso incidente; b) zona dei frangenti.

Tramite il software Mike 21 (SW, HD, ST), è stato rappresentato il combinato di onde, correnti e trasporto sedimentario che si verifica nella zona in esame sotto l'azione di un'onda associata a tempo di ritorno pari a 100 anni.

Le simulazioni sono state condotte sia nella configurazione che rappresenta la condizione dell'attuale litorale, che nella configurazione post operam.

Particolare attenzione è stata posta alla caratterizzazione batimetrica del paraggio, nelle due condizioni analizzate. La corretta e precisa definizione della morfologia del fondo è, infatti, basilare nel determinare le sue stesse dinamiche evolutive.

La discretizzazione spaziale nel dominio considerato è variabile: la parte del dominio ove l'unico fenomeno di interesse è la propagazione è stato descritto con maglie grossolane. Di contro, la parte del dominio sottocosta, ove la morfodinamica è più vivace, è stata descritta

con maglia a risoluzione molto fitta, aumentando sempre di più il dettaglio nel caso progettuale in cui sono presenti le scogliere soffolte.

In figura 4a viene fornito un ingrandimento del dominio di calcolo in corrispondenza delle scogliere soffolte.

L'analisi dell'idrodinamica, illustrata nella figura 4b porge come conclusione che la corrente litoranea è confinata al di fuori dello spazio protetto dalle scogliere. È inoltre interessante osservare come il modello sia in grado di simulare quanto avviene nella realtà e nel contempo simulare la creazione di correnti in uscita dai varchi.

L'idrodinamica assieme al campo di moto ondoso genera le tendenze evolutive del fondo. Per l'evento considerato, la mappa di tale tendenza, riportata in figura 4c, indica una radicale trasformazione delle tendenze evolutive del fondo. La presenza delle scogliere ha ingenerato il frangimento "anticipato" rispetto alla condizione attuale; di conseguenza è divenuta minore l'energia e il potere erodente delle onde a tergo delle opere e, quindi, a valle delle stesse non si evidenziano fenomeni di erosione e di accumulo.

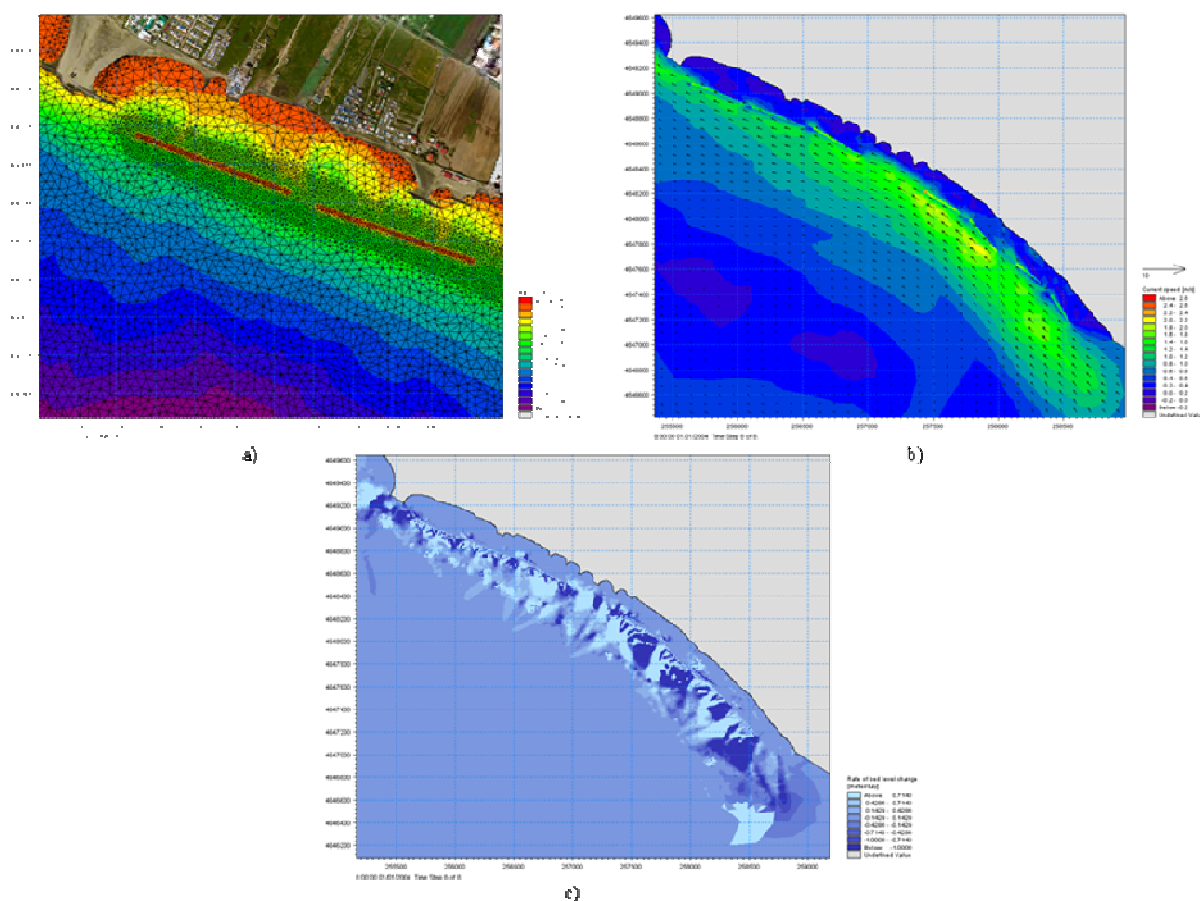


Figura 4: Ipotesi progettuale: a) Batimetria; b) Condizioni idrodinamiche; c) Velocità di variazione del fondo durante la mareggiata considerata.

Infine, si è proceduto ad esaminare la possibile tendenza evolutiva del litorale di Ladispoli.

Per il raggiungimento di tale risultato, effettuata un'analisi storica della linea di riva sulla scorta della cartografia esistente, si è proceduto ad effettuare una caratterizzazione dei sedimenti che costituiscono la spiaggia emersa e sommersa, non solo dal punto di vista granulometrico, ma anche mineralogico e microbiologico.

Per la caratterizzazione granulometrica del litorale sono stati prelevati n. 9 campioni sulla

spiaggia emersa, n. 4 campioni lungo il tratto fociale del Fosso Vaccina e n. 7 campioni sulla spiaggia sommersa: n. 2 alla profondità -2.0 m ed i restanti alla profondità -5.0 m.

La figura 5 mostra l'ubicazione dei punti di prelievo e le curve granulometriche dei campioni. Dalla sovrapposizione delle curve granulometriche si osserva, come è logico attendersi, che il materiale rappresentativo della spiaggia sommersa presenta una dimensione dei grani più piccola di quella dei grani della spiaggia emersa. Viceversa il materiale proveniente dalla foce del Fosso Vaccina è caratterizzato da una granulometria più grossolana di quella che si riscontra sulla spiaggia. Il diametro medio del sedimento della spiaggia emersa è variabile tra 0.20 mm e 0.40 mm.

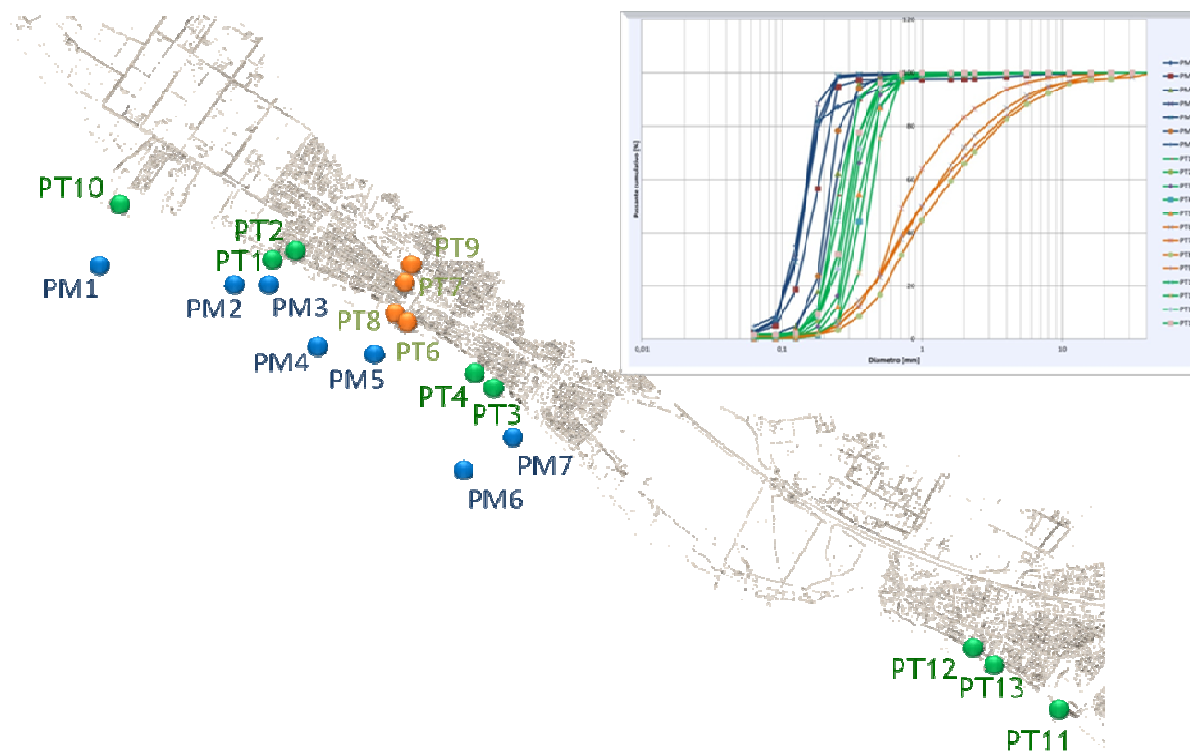


Figura 5: Ubicazione dei campioni e curve granulometriche

È stata, quindi, effettuata la simulazione della tendenza evolutiva del litorale a seguito dell'intervento proposto con un modello matematico ad una linea, opportunamente tarato con i risultati dell'analisi storica della linea di riva.

Dallo studio è emerso che dopo 10 anni dall'intervento il tratto di costa esaminato può considerarsi stabile, in quanto le modifiche della posizione della linea di riva risultanti dalla simulazione sono modeste e rientrano nelle normali dinamiche della spiaggia.

12 CONCLUSIONI

È stata analizzata la morfodinamica costiera nello stato attuale e nella configurazione progettuali che prevede la costruzione di scogliere soffolte intervallate da varchi protetti.

I risultati portano alla conclusione di una sostanziale efficacia dell'intervento nel ridurre l'aggressività del moto ondoso sul fondo. La soluzione proposta porge una velocità di variazione del fondo praticamente nulla a tergo delle opere.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Saville T., " The effect of fetch width on wave generation", BEB N° 70 (1954).
- [2] Sverdrup H.U., Munk W.H., "Wind sea and swell; theory of relations for forecasting", U.S. Navy Hydr. Off. (1947).
- [3] Danish Hydraulic Institute (DHI), "Mike21 spectral wave module. Scientific documentation.", DHI (2005).
- [4] Danish Hydraulic Institute, Water and Environment, Denmark, "MIKE21 User Guide and Reference Manual", DHI (2005).