

Intervento di ripascimento con sabbie sottomarine in Emilia-Romagna: metodi geomatici per il rilievo topografico e batimetrico e risultati del monitoraggio

Margherita Aguzzi ^(a), Carlo Albertazzi ^(b), Nunzio De Nigris ^(a),
Stefano Gandolfi ^(c), Maurizio Morelli ^(a), Luca Tavasci ^(c),
Silvia Unguendoli ^(a), Enrica Vecchi ^(c)

^(a) Arpae Emilia Romagna – Struttura IdroMeteoClima, Viale Silvani 6, 40122, Bologna

^(b) Regione Emilia-Romagna, Via della Fiera 8, 40127, Bologna

^(c) Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali (DICAM),
Università di Bologna, Viale Risorgimento 2, 40136, Bologna

1. Introduzione

Le aree costiere ricoprono un ruolo importante nell'economia di un paese, coinvolgendo una molteplicità di interessi che danno vita a diverse attività. D'altra parte, a livello ambientale, le coste sono sistemi complessi, caratterizzati da un equilibrio dinamico e da continue variazioni morfologiche, dove spesso prevale il fenomeno dell'erosione. Nel contesto specifico dell'Emilia-Romagna, la costa comprende 110 km di spiaggia bassa e sabbiosa, da Cattolica alla foce del Po di Volano e il sistema barriera-laguna della Sacca di Goro. Nel 2016, Arpae ha stimato un tasso di erosione pari al 37% in Emilia-Romagna, senza considerare gli interventi realizzati (M. Aguzzi et al., 2016). Dunque, vista l'importanza che queste zone ricoprono a livello naturalistico e turistico, il problema dell'erosione appare una questione fondamentale nell'ambito della protezione del territorio. La Regione Emilia-Romagna ha messo in atto molteplici azioni, a partire dalla costruzione di opere rigide di difesa: attualmente, la costa regionale risulta infatti protetta da tali opere per circa 75 km (M. Aguzzi et al. 2016). Negli ultimi anni, invece, la tendenza si è orientata verso la realizzazione di ripascimenti artificiali delle spiagge: tali interventi necessitano la realizzazione di periodiche campagne di rilievo topo-batimetrico nelle aree interessate e in quelle ad esse limitrofe. Il presente studio si colloca in riferimento al terzo intervento di ripascimento su scala regionale in Emilia-Romagna del 2016, il cosiddetto "Progettone 3". Nel caso in oggetto vi era la disponibilità di 3 rilievi eseguiti rispettivamente, prima dell'intervento, immediatamente dopo la fine dei lavori e a distanza di circa un anno e mezzo. L'analisi compiuta ha stimato le variazioni morfologiche delle spiagge coinvolte e l'efficacia raggiunta dall'intervento stesso, tramite l'elaborazione di mappe topo-batimetriche, mappe delle variazioni di quota e profili di spiaggia lungo sezioni ben definite. Poiché la base su cui condurre le elaborazioni è costituita dai rilievi topo-batimetrici, la definizione di un corretto sistema di riferimento si pone come nodo fondamentale per garantire rilievi

confrontabili nel tempo ed assicurare la correttezza formale dei risultati ottenuti. Infatti, soprattutto trattandosi di interventi realizzati su scala regionale, piccole variazioni possono impattare significativamente sui risultati e quindi sull'economia finale.

2. Intervento di ripascimento del 2016

La costa emiliano-romagnola risulta attualmente protetta da 75 km di opere rigide di difesa, costruite a partire dalla prima metà del '900 (Aguzzi et al., 2016). La linea di costa è stata irrigidita dalla presenza di tali strutture che modificano il profilo di spiaggia e il naturale trasporto solido e comportano, inoltre, notevoli impatti visivi e ambientali. Per questo motivo, da anni ormai la tendenza in Emilia-Romagna si è orientata verso la realizzazione di interventi di difesa meno impattanti (*soft*), i ripascimenti. Questi interventi consistono nello sversamento di materiale sabbioso in zone di spiaggia soggette a erosione; il materiale può essere prelevato da depositi di diverso tipo, purché esso risulti compatibile con quello in sito. In questo modo, si realizza un potenziamento del sistema spiaggia, grazie all'innalzamento della quota e all'ampliamento della spiaggia emersa, ottenendo allo stesso tempo un riequilibrio del naturale trasporto solido. Nel 2002 e nel 2007 sono stati realizzati interventi di ripascimento su scala regionale, utilizzando sabbie prelevate da un deposito sottomarino situato al largo della costa. Visti i buoni risultati confermati dalle attività di monitoraggio, nel 2016 è stato intrapreso il terzo intervento di "Messa in sicurezza di tratti critici del litorale regionale mediante ripascimento con sabbie sottomarine" – "Progettone 3". Il ripascimento è stato realizzato tra la fine di marzo e la prima metà di giugno 2016 ed è il più importante intervento di questo tipo in Emilia-Romagna, in termini di volumi e di risorse tecniche ed economiche coinvolte. L'attività ha interessato 8 tratti di spiaggia soggetti a erosione: Misano Adriatico, Riccione, Igea Marina, Cesenatico, Milano Marittima, Lido di Dante, Punta Marina e Lido di Spina, per un totale di circa 12 km di estensione. Il volume di sabbia sversata è stato di circa 1,6 milioni di m³, dei quali 1,4 milioni prelevati da un deposito sottomarino e la parte restante (destinata alla vicina spiaggia di Lido di Spina) da sedimenti accumulati alla foce del canale Logonovo (Figura 1). Il materiale prelevato al largo è stato portato alle spiagge via mare, tramite draghe e condotte, riducendo gli impatti ambientali legati al trasporto. Per poter valutare le variazioni morfologiche delle spiagge, le dinamiche di trasporto solido tra spiagge limitrofe, gli impatti sulle zone di prelievo e l'efficacia dell'intervento stesso, è stato previsto un Piano di Monitoraggio per il biennio 2017-2018. Il monitoraggio, progettato dall'Unità Mare e Costa di Arpa, si è concretizzato nel rilievo di oltre 200 km di profili topo-batimetrici, estesi anche in aree non interessate da sversamenti di sabbia, in modo da permettere ulteriori possibilità di verifiche sulle misure.

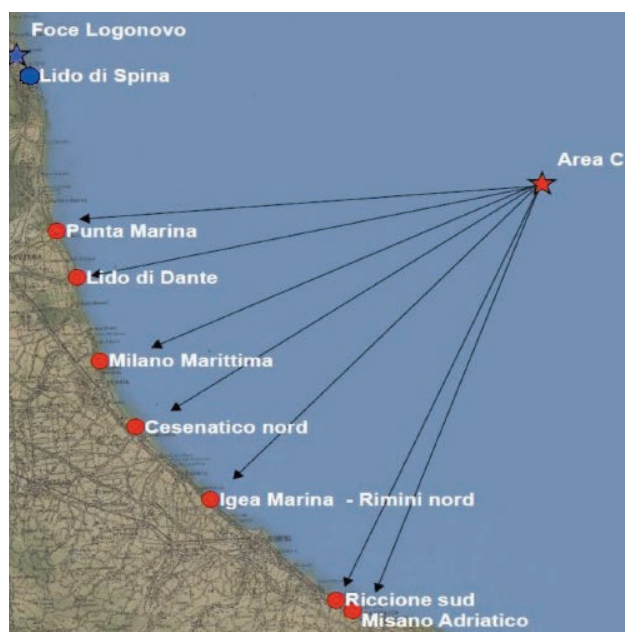


Figura 1 - Area di intervento (sx, Guida, Montanari, 2016)

3. Metodi Geomatici per il monitoraggio costiero

Operativamente, le attività di monitoraggio delle zone costiere necessitano la realizzazione di periodiche campagne di rilievo topo-batimetrico. Poiché tutte le elaborazioni si basano sul confronto tra rilievi eseguiti in tempi differenti, è necessario che le misure siano inquadrature secondo lo stesso sistema di riferimento per garantire valutazioni e stime corrette. In particolare, in riferimento a interventi realizzati su scala regionale, errori di inquadramento possono incidere notevolmente sulle fasi di analisi e calcolo, con impatti significativi anche dal punto di vista economico. Nel 2016, in Emilia-Romagna, è stata realizzata una nuova infrastruttura geodetica a supporto delle attività di monitoraggio costiero, la Rete Geodetica Costiera (RGC), nata da una collaborazione tra l'Unità Mare e Costa di Arpa e il Dipartimento DICAM dell'Università di Bologna. Di ogni punto della rete sono state determinate le coordinate nel sistema di riferimento nazionale ETRS89-ETRF2000 (epoca 2008.0). Sul portale cartografico del sito di Arpa sono consultabili le monografie di tutti i punti della rete (<https://www.arpae.it/cartografia/>).

Per applicazioni di monitoraggio costiero si utilizzano comunemente strumenti GNSS, in modalità RTK o NRTK, e le misure vengono eseguite seguendo sezioni ortogonali e parallele alla costa. Le modalità utilizzate sono basate su un'acquisizione in tempo reale delle coordinate, che evita la fase di *post-processing* e permette la conoscenza dello stato del rilievo direttamente in campagna. L'utilizzo in RTK richiede la presenza di due ricevitori (*master* e *rover*), quindi di due squadre in campagna e di un sistema di trasmissione dati che permetta il collegamento tra i ricevitori. Il *rover* riceve i dati del *master* in tempo reale e ciò consente di determinare la propria posizione nello stesso sistema di riferimento della stazione *master*. I rilievi in RTK garantiscono precisioni centimetriche sia per le coordinate piane che in quota, se la distanza tra *master* e *rover* risulta inferiore ai 10-15 km; tuttavia, la precisione tende a diminuire con l'aumento dell'interdistanza. Nel caso di misure in modalità

NRTK, il rilievo sfrutta la presenza di una rete di stazioni permanenti delle quali sono note le coordinate in uno specifico sistema di riferimento. Le stazioni inviano le proprie acquisizioni ad un Centro di Calcolo che stima un modello dinamico degli errori spaziali all'interno della rete e invia le correzioni differenziali ad hoc per il sito nel quale si trova il ricevitore *rover*. Si ottiene un posizionamento in tempo reale, con precisione sub-decimetrica, nel sistema di riferimento in cui sono note le coordinate delle stazioni permanenti. Con le reti NRTK, è possibile lavorare in modo sostanzialmente corretto all'interno della rete di stazioni permanenti utilizzate per il servizio. Sulle aree esterne invece la precisione tende a decrescere considerevolmente.

Nella zona di spiaggia sommersa, in accoppiamento a sistemi di navigazione composti da tecnologia GNSS (RTK o NRTK) e piattaforme inerziali per consentire anche una stima dell'assetto del natante con elevata frequenza, si utilizza un ecoscandaglio di precisione che misura il dato di profondità tramite il tempo di ritorno di un impulso sonoro al fondale. Esistono due principali tipologie di ecoscandaglio che si differenziano in base al numero di sonde utilizzate. Il *single-beam* utilizza un solo impulso al suolo e restituisce un rilievo puntuale al di sotto dell'imbarcazione, utile in particolar modo per i bassi fondali. Il *multi-beam* consente di ottenere una mappatura precisa del fondale, grazie all'utilizzo di centinaia di impulsi al fondo. La fase di calibrazione richiede la misurazione degli *off-sets* strumentali, che devono essere inseriti nel *software* di navigazione. Infine, i *software* utilizzati a bordo dell'imbarcazione permettono di seguire le rotte del Piano di Monitoraggio e di controllare i dati direttamente in campagna.

4. Elaborazione dei dati

La fase di analisi dei dati ha richiesto l'utilizzo di *software* specifici (*Surfer*, *Qgis* e *Grapher*). Di seguito un breve quadro delle principali elaborazioni svolte.

- Batimetrie e mappe di confronto

Le mappe topo-batimetriche si ottengono con un processo di interpolazione spaziale che, a partire dai dati distribuiti in maniera irregolare, genera una superficie che ne modella l'andamento, tramite un grigliato regolare. Per poter confrontare due mappe relative alla stessa spiaggia è necessario che i confini e lo *spacing* coincidano. Dalla differenza tra due batimetrie relative allo stesso tratto in tempi diversi, si ottiene la mappa delle variazioni di quota (Figura 2).

- Profili di spiaggia

I profili vengono elaborati lungo sezioni perpendicolari alla costa, definite dal Progetto di Monitoraggio. Viene rappresentato l'andamento della quota con la distanza progressiva, rispetto a un punto di riferimento (Figura 2).

- Linee di riva

La linea di riva rappresenta il confine tra la spiaggia emersa e la spiaggia sommersa (Figura 2). È importante determinare il valore medio e massimo della sua variazione, per comprendere lo stato di salute della spiaggia e per capire l'efficacia degli interventi realizzati.

- Volumi accumulati ed erosi

Tramite le variazioni di volume è possibile valutare la perdita o l'accumulo di sabbia nel periodo intercorso tra due rilievi.

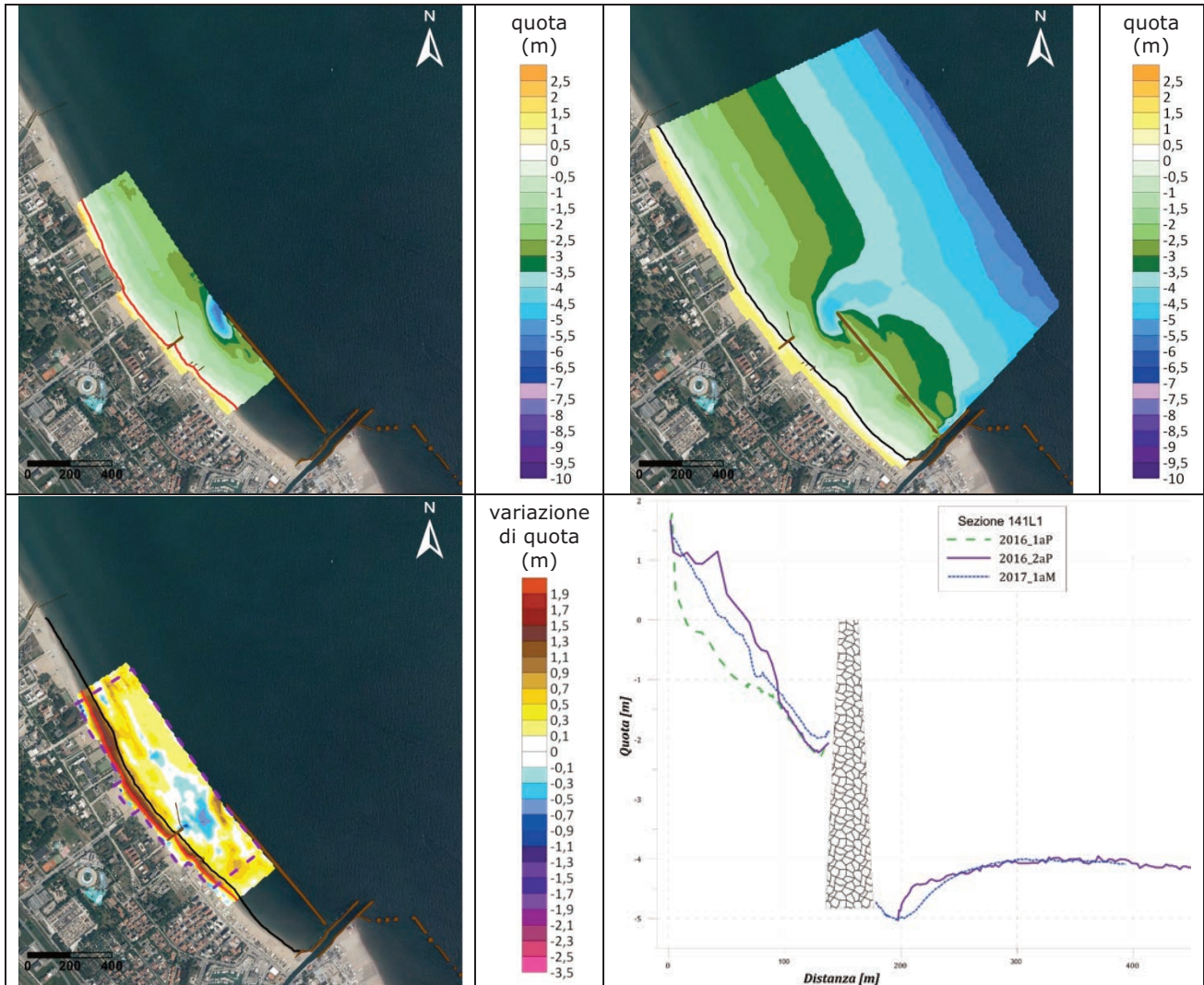


Figura 2 - Esempio di elaborazioni: batimetrie di prima pianta e di primo monitoraggio (in alto), variazioni di quota tra prima pianta e primo monitoraggio (in basso a sx), profili di spiaggia (in basso a dx)

5. Risultati ottenuti

Le valutazioni illustrate in seguito si basano sul confronto tra rilievi eseguiti in tempi diversi nella stessa zona. In particolare, si fa riferimento a rilievi di:

- Prima pianta: prima dell'intervento, tra aprile e maggio 2016;
- Seconda pianta: immediatamente successivo al ripascimento, tra maggio e giugno 2016;
- Primo Monitoraggio: circa 18 mesi dopo l'intervento, novembre 2017.

Il volume medio di sabbia apportata alle spiagge risulta compreso tra 130 e 150 m³/m, ad eccezione di Lido di Dante e Punta Marina, con valori di circa 100 m³/m e Lido di Spina Sud, con circa 50 m³/m. L'avanzamento della linea di riva ottenuto dal ripascimento è stato di circa 35-65 m (con l'eccezione della zona del Bagno Jamaica a Lido di Spina); l'aumento di quota risulta compreso tra 0,7 m e 2,0 m.

Sito	Volume unitario medio (m ³ /m)	Avanzamento medio linea di riva (m)	Aumento di quota medio (m)
Misano Adriatico	143	40-50	1,5-2
Riccione	152	50-60	1,5-2
Igea Marina	147	50-60	1,0-1,5
Cesenatico	128	55-65	1,0-1,5
Milano Marittima	143	40-50	1,3-1,6
Lido di Dante	98	35-45	0,8-1,5
Punta Marina	100	40-50	0,5-1,0
Lido di Spina - Bagno Jamaica	153	15-50	0,8-1,3
Lido di Spina Sud	53	25-35	0,7-0,9

Figura 3 - Rilievo di seconda pianta: risultati del ripascimento

Il rilievo di primo monitoraggio ha mostrato in ogni spiaggia variazioni del profilo, con una redistribuzione della sabbia tra la spiaggia emersa e sommersa all'interno dell'area di ripascimento e migrazioni lungo costa. A Misano Adriatico, Riccione e Milano Marittima la sabbia ha subito migrazioni oltre le barriere in sacchi, a Cesenatico parte del materiale si è collocato nella buca alla testata della barriera semisommersa; mentre nella zona del Bagno Jamaica a Lido di Spina è avvenuta una migrazione verso una buca posta a 100-150 m dalla riva. L'andamento osservato è piuttosto variabile, i casi estremi sono rappresentati dalla spiaggia di Cesenatico, dove si è avuta una perdita di materiale poco al di sopra del 10%, e la zona di Lido di Dante, che ha perso oltre il 90% del materiale sversato. A Riccione, Igea Marina e Lido di Spina a Sud del Bagno Jamaica è stato perso circa un terzo del materiale versato, a Misano e Punta Marina circa la metà e a Milano Marittima e Lido di Spina Sud circa i due terzi. In generale, però, è bene sottolineare che il materiale eroso non viene completamente perso, poiché esso è in grado di alimentare le spiagge limitrofe e i fondali maggiori.

Sito	Volume di sabbia restante (m ³)	% restante sul totale versato	Volume unitario medio (m ³ /m)	Avanzamento medio linea di riva (m)	Aumento di quota medio (m)	Volume in spiagge limitrofe (m ³)
Misano Adriatico	108.930	45%	70	10-20	0,3-0,5	32.390
Riccione	146.490	66%	105	25-35	0,5-0,8	93.590
Igea Marina	143.060	68%	95	30-40	0,7-1,0	7.810
Cesenatico	124.290	88%	113	35-45	0,6-1,0	43.480
Milano Marittima	85.310	36%	53	0-15	0,5-0,7	9.920
Lido di Dante	9.820	8%	8	0-25	0,2-0,5	-
Punta Marina	143.710	54%	57	25-35	0,4-0,7	22.470
Lido di Spina- Bagno Jamaica	133.540	62%	116	0-15	variabile	37.700
Lido di Spina Sud	7.190	30%	16	15-25	0,3-0,5	-
Totale	902.390	54%				247.360

Figura 4 - Rilievo di primo monitoraggio: risultati a 18 mesi dal ripascimento

Confrontando i rilievi di primo monitoraggio e di prima pianta, a Riccione, Igea Marina, Cesenatico e Punta Marina si osserva ancora un avanzamento della linea di riva di circa 25-45 m, mentre Misano e Lido di Spina Sud sono caratterizzate da valori di 10-25 m. Nelle restanti spiagge si osservano tratti con avanzamenti della linea di riva di circa 10-25 m, alternati a zone dove essa risulta in arretramento rispetto alla situazione pre-intervento. Nel complesso, si

ha una permanenza di circa il 54% del materiale di ripascimento all'interno delle aree di intervento e un aggiuntivo 15% di materiale localizzato in aree limitrofe (calcolato solo ove possibile grazie alla disponibilità di dati). I risultati osservati mostrano in generale un buon andamento dell'intervento realizzato, anche se non è possibile indicare una singola tendenza per ognuno dei fattori analizzati. Infine, è stata ricercata la presenza di eventuali correlazioni tra l'efficacia del ripascimento e la tipologia di opere di difesa rigida presenti a protezione di ogni tratto. Tuttavia, questa analisi ha portato a risultati discordanti, mostrando in diversi casi andamenti differenti per spiagge protette con le stesse tipologie di opere. Le motivazioni di quanto visto sono legate alla complessa evoluzione delle spiagge, connessa a molteplici fattori, e alla disponibilità di un *dataset* ridotto e disomogeneo per tali valutazioni. Risulta quindi problematico stabilire a livello generale una preferenza tra ripascimento protetto o non protetto in termini di efficacia ottenuta. Ciò nonostante, disponendo di *dataset* più ampi, si può pensare di sviluppare ulteriormente queste analisi e di ampliare le valutazioni rispetto ad altri fattori, quali, ad esempio, le pendenze di spiaggia o le condizioni di meteo-marino.

6. Conclusioni

Il sistema costiero è un ambiente complesso e in continua evoluzione, perciò è particolarmente importante realizzare interventi di difesa per mantenere questo equilibrio precario e ridurre il fenomeno dell'erosione. In Emilia-Romagna, tra le diverse tipologie di difese dall'erosione, ormai da tempo si predilige la realizzazione di interventi di ripascimento, grazie ai vantaggi in termini di impatti ambientali e di costi.

Questo studio ha riguardato l'analisi degli 8 tratti di spiaggia interessati dal progetto di "Messa in sicurezza di tratti critici del litorale regionale mediante ripascimento con sabbie sottomarine" - "Progettone 3", realizzato dalla Regione Emilia-Romagna nel 2016. Confrontando rilievi realizzati in tempi differenti, sono state valutate le variazioni morfologiche delle spiagge interessate, in termini di linea di riva, quota, profili e volumi accumulati o erosi. I risultati ottenuti mostrano andamenti piuttosto variabili, tra cui si individua però un solo caso negativo. In generale, infatti, il materiale sabbioso riversato ha garantito l'equilibrio sedimentario delle spiagge e, anche laddove il materiale è migrato dall'area d'intervento, ha potuto ristabilire il trasporto solido lungo costa. Le analisi realizzate confermano l'importanza delle attività di monitoraggio come supporto fondamentale per poter valutare le variazioni morfologiche delle zone di spiaggia e l'efficacia degli interventi di difesa realizzati. I due concetti sono connessi tra loro: in primo luogo, è fondamentale disporre di informazioni sullo stato dell'erosione per poterla ridurre il più possibile; in seguito, è necessario monitorare l'andamento degli interventi per valutarne gli effetti. Tali attività si concretizzano nella periodica realizzazione di rilievi topo-batimetrici nelle zone di spiaggia emersa e sommersa, che ad oggi sono realizzati utilizzando metodi geomatici che consentono precisioni centimetriche. Un requisito fondamentale per il confronto delle misure è che esse siano inquadrare nello stesso sistema di riferimento. Lungo la costa emiliano-romagnola, dal 2016, questa necessità viene garantita dalla presenza

di una infrastruttura geodetica, la Rete Geodetica Costiera (RGC). L'RGC consente di realizzare rilievi utilizzando le moderne tecniche geomatiche e di ottenere dati sempre confrontabili e inquadrati del sistema di riferimento ufficiale nazionale. D'altra parte, le attività di monitoraggio assicurano la disponibilità di dati periodicamente aggiornati e confrontabili che potrebbero essere utilizzati ai fini di ulteriori analisi, ricercando la presenza di eventuali correlazioni tra le variazioni subite dalle spiagge e diversi fattori incidenti.

7. Bibliografia

Arpae (Marzo 2019) - "Monitoraggio morfologico e sedimentologico delle 8 spiagge oggetto di ripascimento e dell'area al largo di prelievo delle sabbie", Attività svolte nel corso del 2018 e risultati della prima campagna di monitoraggio topo-batimetrica 2017, *Relazione sintetica*

Arpae - Regione Emilia-Romagna (Aprile 2018) - "Rilievo della Subsidenza nella pianura Emiliano-Romagnola", Seconda fase, pp.74-79, Bologna

Arpae - Regione Emilia-Romagna (Febbraio 2018) - "Monitoraggio morfologico e sedimentologico delle 8 spiagge oggetto di ripascimento - Attività svolte nell'ambito della prima campagna - 2017, *Relazione sintetica*, pp.1-26, Bologna

S. Gandolfi, N. De Nigris, M. Morelli, L. Tavasci, L. Poluzzi, N. Cenni (Novembre 2017) - "La Rete Geodetica Costiera della Regione Emilia-Romagna". *ASITA 2017*, pp. 599-604, ISBN 978-88-941232-6-5, Salerno, 21-23

M. Aguzzi, N. De Nigris, M. Morelli, T. Paccagnella, S. Unguendoli (2017) - "Il monitoraggio di Arpae sulle spiagge", *Ecoscienza*, 3, pp. 94-95

Ministero dell'Ambiente e della tutela del territorio e del mare - ISPRA (2017) - *Linee Guida Nazionali per la difesa della costa dai fenomeni di erosione e dagli effetti dei cambiamenti climatici*, Tavolo nazionale sull'erosione costiera, pp. 60-66

M. Guida, R. Montanari (30 novembre 2016) - Pianificazione e programmazione di interventi per il contrasto all'erosione". Presentazione Convegno "Stato del litorale emiliano-romagnolo - erosione e interventi di difesa", Ravenna

M. Aguzzi et al. (2016) - *Stato del litorale emiliano-romagnolo al 2012, Erosione e interventi di difesa*, I Quaderni di Arpae, Bologna

Regione Emilia-Romagna (2015) - Messa in sicurezza di tratti critici del litorale regionale mediante Ripascimento con sabbie sottomarine - Progettone 3, Progetto esecutivo: relazione generale e illustrativa

M. Preti (2011) - *La difesa delle spiagge tra scogliere e ripascimento*, In: *Ecoscienza*, 2, pp.72-73