

Beach Safety: applicazione della modellistica numerica per la valutazione della pericolosità del moto ondoso

Luca Carpi^{1,2}, Luigi Mucerino^{1,2}, Giacomo Pepe¹, Andrea Cevasco^{1,2}, Nicola Corradi^{1,2},
Marco Firpo^{1,2} e Marco Ferrari^{1,2}

¹Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e della Vita dell'Università di Genova. Corso Europa 26 Genova.

²GNRAC - Gruppo Nazionale per la Ricerca sull'Ambiente Costiero

Email: carpiluca89@gmail.com, luigi.mucerino@edu.unige.it, giacomo.pepe@unige.it, andrea.cevasco@unige.it, corradi@dipteris.unige.it, firpo@dipteris.unige.it, ferrari@dipteris.unige.it.

Riassunto

La modellistica costiera è stata applicata a tre spiagge liguri, a forte connotazione turistica, allo scopo di valutare le caratteristiche del moto ondoso incidente e ricavare informazioni utili alla mitigazione del rischio per la balneazione.

Lo studio ha preso in considerazione tre possibili scenari, simulando le agitazioni ondose, provenienti dalle direttrici meridionali (SW, S e SE), caratteristiche delle aree in esame. In ciascuna simulazione sono state determinate l'energia dell'onda in prossimità della battigia e la circolazione delle correnti indotte dall'agitazione ondosa.

L'applicazione del modello numerico ha permesso di ottenere una mappatura dei settori a maggior pericolo presenti sul litorale, anche riguardo alle differenti condizioni meteomarine. Tale applicazione può costituire uno strumento utile alla gestione e pianificazione della sicurezza balneare.

Parole chiave: aree costiere, turismo balneare, sicurezza in spiaggia, modellistica, onde, correnti.

Abstract

Numerical modelling was employed to evaluate the incident wave climate along three Ligurian beaches. The considered sites have a strong tourist vocation, and the proposed methodology allowed to obtain useful information for beach safety and risks mitigation.

In this study, we considered three different storm scenarios (storms from SW, S and SE), to evaluate the common waves boundary conditions of the study areas. For each model simulation, we determined the incident waves energy near the shoreline and behaviour of the wave-induced currents. The model application allowed mapping of the more exposed beach sectors, in order to obtain a useful tool for beach safety management and planning.

Keywords: coastal areas, beach tourism, beach safety, numerical modelling, waves, currents.

Introduzione

Le aree costiere rappresentano un'importante risorsa economica per le comunità costiere di tutto il mondo (Jiménez et al., 2007), ma, negli ultimi decenni, sono state caratterizzate da una sempre crescente espansione urbana, la quale ha favorito un incremento delle attività commerciali, culturali e ricreative. Il turismo balneare rappresenta forse il settore che ha registrato la maggiore crescita, diventando la principale risorsa economica di intere comunità (European Environment Agency, 2006). Il turismo di massa, abbinato ad una non sempre efficace politica di prevenzione del rischio, ha conseguentemente portato ad un deciso incremento nel numero delle persone potenzialmente esposte (Hartmann, 2006; McCool et al., 2009; Pranzini et al., 2018). Tra i diversi pericoli in cui possono incorrere i fruitori delle spiagge, le onde incidenti rappresentano probabilmente quello più riconosciuto, temuto e spesso sottovalutato. La fran-

genza delle onde e fenomeni idrodinamici associati (es. turbolenze e intense correnti) rappresentano una fonte di pericolo, poiché i bagnanti possono essere facilmente catturati e trascinati sott'acqua dai flutti o trasportati al largo (Short, 2007). Dato il ruolo chiave giocato dal moto ondoso, nel contesto del rischio balneare, appare evidente come lo sviluppo di strumenti gestionali, mirati a prevenire tali rischi, rappresenti un aspetto importante nell'ambito di una corretta ed efficace politica mirata alla mitigazione del rischio. L'utilizzo di metodologie ed approcci innovativi, quali ad esempio le applicazioni modellistiche, permettono di migliorare e rendere più efficace le politiche di prevenzione. In questo studio, mediante l'utilizzo del modello numerico XBeach (Roelvinnk et al., 2009), sono state valutate le caratteristiche del moto ondoso incidente su tre spiagge liguri, allo scopo di fornire informazioni utili alla mitigazione del rischio per la balneazione.

Casi di studio

La costa ligure è caratterizzata da uno spiccato grado di variabilità morfologica, con la presenza di coste rocciose, pocket beach e costa deposita. In particolare, le pocket beach, inserite tra promontori rocciosi aggettanti, rappresentano un tratto caratteristico della costa ligure (Fierro et al., 2010, 2015). Data l'esposizione dell'arco ligure, la costa risulta esposta alle agitazioni ondose provenienti dai quadranti meridionali, ed in particolare le mareggiate di Libeccio (SW) e Scirocco (SE) risultano quelle storicamente più intense (Fierro et al., 2010, 2015). Al fine di valutare diversi scenari, sono stati considerati tre casi pilota, ovvero le località di Sori (GE), Bonassola (SP) e San Terenzo (SP) (Figura 1). Si tratta di tre pocket beach connotate da una forte vocazione balneare, ma caratterizzate da un differente assetto morfologico e con un differente grado di antropizzazione.

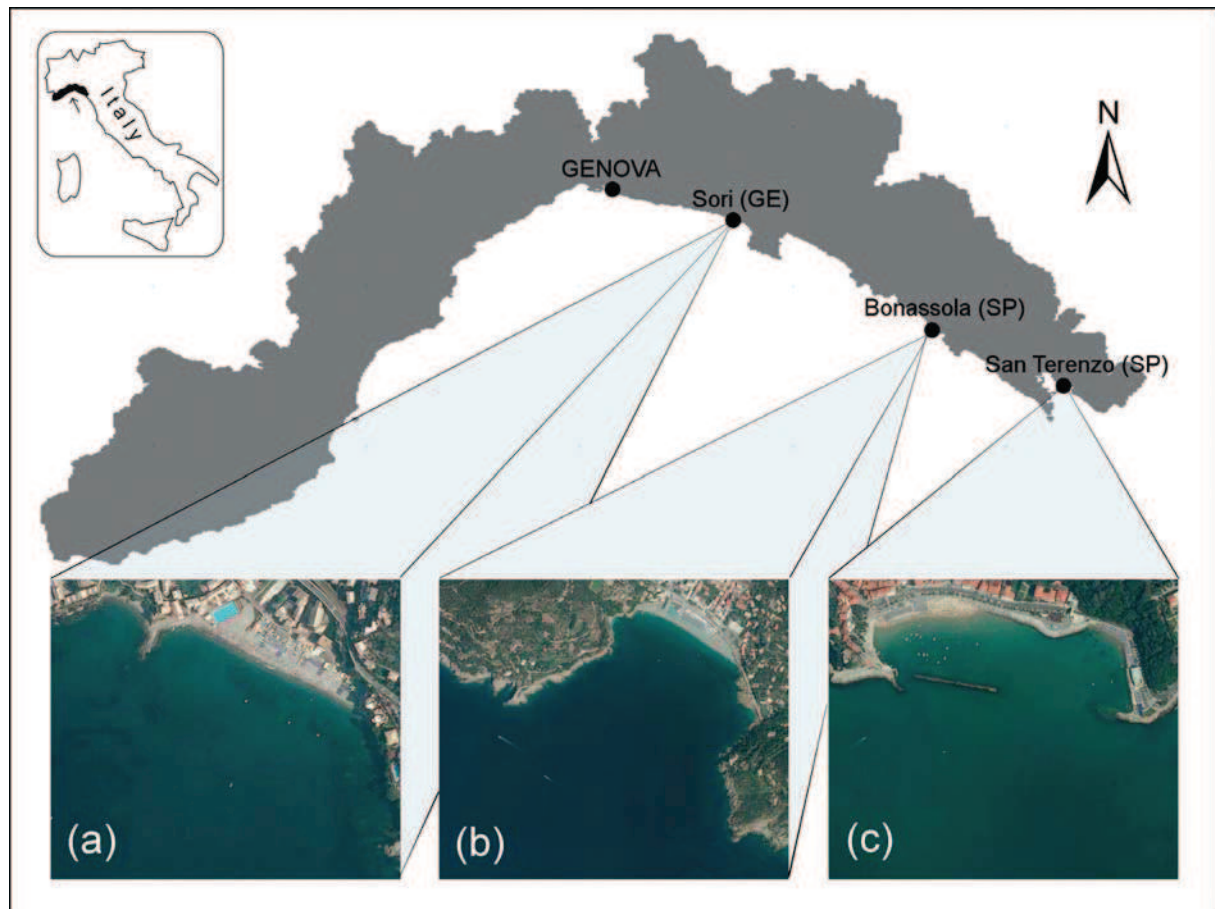


Figura 1. Le spiagge oggetto dello studio e loro ubicazione.

La spiaggia di Sori (GE)

La spiaggia di Sori (Figura 1a) è situata nella riviera ligure di levante, in Provincia di Genova. La spiaggia presenta un'estensione di circa 300 m, un orientamento NNW-SSE, ed è incastonata tra due promontori rocciosi. È presente un pennello nella parte occidentale della spiaggia, ad ovest del quale si individua una piccola spiaggia. La composizione granulometrica risulta essere piuttosto eterogenea, con presenza di sedimenti ascrivibili alle classi delle ghiaie e delle sabbie. In accordo con Jennings and Shulmeister (2002), la spiaggia di Sori può essere considerata come una "Mixed Sand-Gravel beach (MSG)". Per quanto concerne l'esposizione al moto ondoso, risulta esposta ai fenomeni meteo-marini provenienti dai quadranti meridionali, e per via del suo moderato grado di imbaimento (Short et al., 1999), non presenta settori particolarmente protetti. Si tratta di un tratto di costa molto frequentato dal turismo balneare, per via della sua breve distanza dal Capoluogo ligure, e grazie alla relativa vicinanza con le regioni padane del nord-ovest.

La spiaggia di Bonassola (SP)

La spiaggia di Bonassola (Figura 1b) si trova nella Riviera ligure di levante, in provincia della Spezia. Presenta un'estensione di circa 410 metri, un orientamento NNW-SSE, ed è ubicata in una piccola baia geograficamente delimitata da due promontori rocciosi. In virtù delle sue caratteristiche morfologiche, la spiaggia di Bonassola può essere considerata come una pocket beach, particolarmente esposta alle mareggiate di Libeccio (SW) (Mucerino et al., 2019). Per via dell'alto grado di imbaimento, le dinamiche sedimentarie, in relazione all'assetto idrodinamico locale, risultano sviluppate soprattutto in direzione cross-shore, sino al superamento della stessa profondità di chiusura (con conseguente perdita di sedimenti) (Balduzzi et al., 2014; Komar, 1998; Silvester e Ho, 1973).

Da un punto di vista sedimentologico, la spiaggia di Bonassola può essere considerata come una "Mixed Sand-Gravel beach (MSG)" (Jennings e Shulmeister, 2002). Durante la stagione estiva risulta molto frequentata dal turismo balneare, grazie alla contiguità con il parco nazionale delle Cinqueterre.

La spiaggia di San Terenzo (SP)

La baia di San Terenzo (Figura 1c) si trova all'estremità orientale della costa ligure, in prossimità del confine toscano. Si tratta di una piccola baia orientata N-S, caratterizzata da un elevato grado di antropizzazione e con numerose opere di difesa. Le spiagge sono ubicate nella parte occidentale ed orientale della baia e separate da un piccolo promontorio. La prima, situata a ponente, ha un'estensione di circa 190 metri, è protetta da una barriera parallela distaccata e sono presenti anche tre moli con differenti orientazioni. La seconda, di estensione limitata (circa 75 metri) è protetta da due pennelli situati alle estremità e da una barriera parallela. Le agitazioni ondose provenienti da Mezzogiorno (S) e Scirocco (SE) rappresentano i fenomeni meteo-marini più rilevanti, in quanto la baia è protetta dagli eventi di Libeccio (SW). Da un punto di vista sedimentologico, i sedimenti presenti sono ascrivibili alla classe delle sabbie medie (Wentworth, 1922). Anche in questo caso si tratta di un tratto di litorale con una forte vocazione turistico-balneare.

Materiali e Metodi

Al fine di valutare la pericolosità del moto ondoso nel contesto dell'attività balneare, si è proceduto all'implementazione di un modello numerico costiero sui tre siti pilota precedentemente descritti. È stato applicato il modello XBeach (Roelvink et al., 2009), un modello 2DH, sviluppato al fine di stimare gli effetti di eventi meteo-marini estremi su spiagge naturali. Questo strumento può essere applicato con successo nell'ambito di diverse applicazioni di ingegneria costiera, in particolar modo nel caso di applicazioni su scala locale (Roelvink, 2011), nonché al fine di valutare i processi morfologici su scale temporali ampie (Bart, 2017; Pender, 2013; Wang et al., 2015). Nel caso in esame, sono state implementate griglie di calcolo a risoluzione variabile, con un massimo grado di dettaglio di 5 metri in prossimità della costa. Questa soluzione ha permesso di ottenere le migliori performance in termini di modellizzazione, sia per quanto concerne il dettaglio degli output ottenuti, sia dal punto di vista delle tempistiche computazionali. I modelli per i tre casi di applicazione sono stati accuratamente implementati e calibrati in relazione alle caratteristiche al contorno dei singoli casi studio. A tal proposito, al fine di ottenere una dettagliata rappresentazione delle caratteristiche morfologiche, è stata eseguita un'opera di fusione ed interpolazione, mediante l'utilizzo di software GIS, tra il dato del rilievo cartografico LiDAR del 2008 (eseguito da Regione Liguria) ed i dati batimetrici delle aree in esame.

In questo modo si sono ottenuti i modelli digitali (DEM) delle aree studio, sui quali sono state interpolate le griglie computazionali. I dati meteomarini sono stati desunti dal database elaborato dal Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale (DICCA) dell'Università di Genova. Essi sono rappresentativi di una mareggiata estiva, con tempo di ritorno annuale, interessante il settore orientale del mar Ligure. Questo evento è caratterizzato da altezze d'onda significative (H_s) comprese tra 1.5 e 3.3 metri, con periodo (T) variabile tra 4.75 e 8.3 sec. Adottando lo stesso evento, sono state simulate tre agitazioni ondose, provenienti dalle tre direttrici meridionali (SW, S e SE) caratteristiche delle aree in esame. Ogni simulazione ha previsto la determinazione dell'energia (Akpınar et al., 2012) del moto ondoso sulla spiaggia e l'idrodinamismo indotto dall'agitazione ondosa. Poiché in letteratura non si trova una correlazione definita tra energia del moto ondoso incidente e rischio balneare, è stata eseguita solo una suddivisione in tre classi energetiche al fine di poter eseguire una comparazione tra i tre diversi scenari considerati. L'energia viene indicata in Joule/m^2 , ed i livelli individuati sono: $E < 500 \text{ J}/\text{m}^2$, $500 < E < 1000 \text{ J}/\text{m}^2$, $E > 1000 \text{ J}/\text{m}^2$.

Risultati

L'applicazione della modellistica numerica ha permesso di definire, nelle tre aree indagate, la distribuzione dell'energia del moto ondoso e la circolazione indotta dall'evento nei diversi settori di ogni singolo tratto indagato in funzione della provenienza dell'agitazione ondosa.

La spiaggia di Sori

Il caso di Sori mostra come i livelli di energia del moto ondoso proveniente da SW, sulla costa, siano leggermente superiori, in prossimità della battigia, rispetto alle altre due direttrici (Fig. 2a).

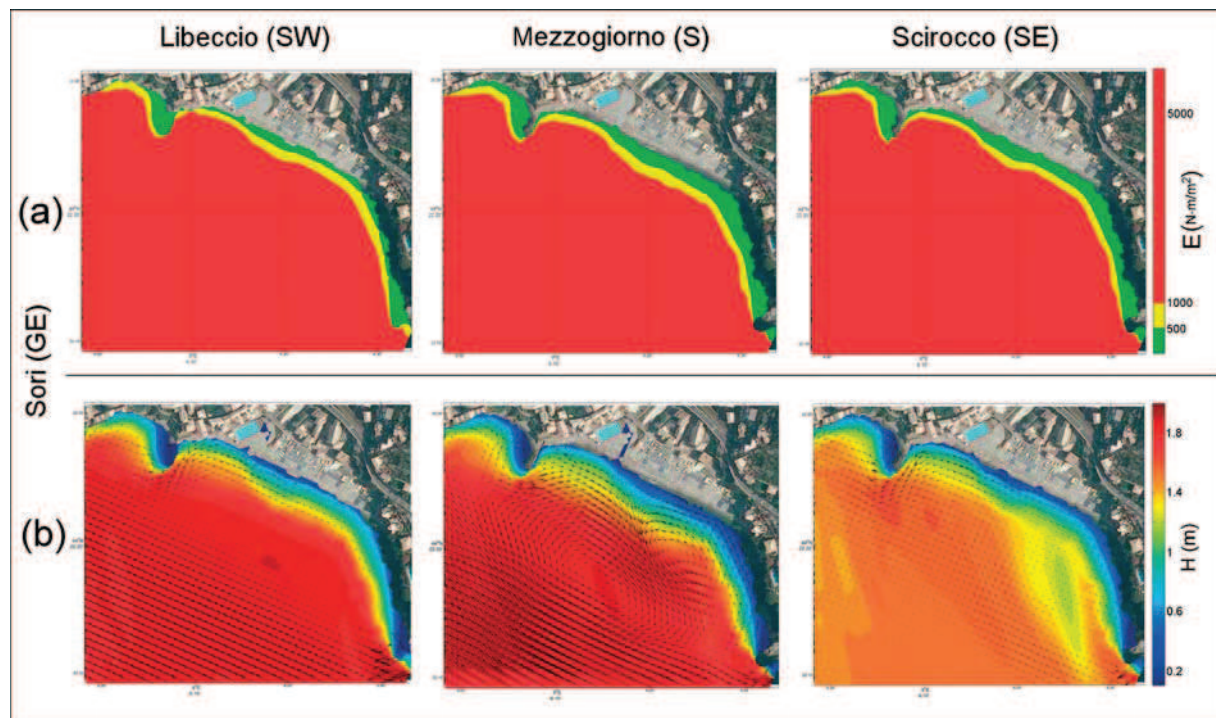


Figura 2. Valutazione dell'energia (Nm/m^2) del moto ondoso e idrodinamismo nella spiaggia di Sori in relazione alle tre principali direttrici di provenienza del moto ondoso (SW, S e SE).

Questo è dovuto all'esposizione della costa stessa che riceve frontalmente le onde provenienti da questo quadrante. I massimi valori di energia si raggiungono nel settore occidentale della spiaggia principale e nella spiaggetta situata nell'estremo ponente del tratto considerato. I valori minimi sono individuabili nell'estremo di levante in coincidenza del tratto di costa rocciosa. Le agitazioni ondose provenienti dalle altre due direttrici considerate mostrano, in prossimità della battigia, valori minori dell'energia su tutto l'arco di spiaggia.

Il tratto con le condizioni più energetiche è, anche in questi casi, quello ubicato nella parte occidentale della spiaggia principale, il quale è interessato dalle agitazioni senza che queste abbiano subito fenomeni di attenuazione ad opera della diffrazione delle onde indotta dai capi rocciosi. Le correnti indotte dal moto ondoso mostrano invece una maggiore variabilità in funzione della direzione di provenienza dell'agitazione (Fig. 2b). Le onde provenienti da SW e SE determinano, in entrambi i casi, un flusso longshore rivolto da levante verso ponente che interessa tutta la spiaggia principale. In prossimità del pennello questo flusso evolve in una corrente trasversale, più intenso quello generato dalle agitazioni che hanno origine da SE. Con questa provenienza si determina anche la formazione di una rip current nella piccola spiaggia di ponente, anche in questo caso in coincidenza della struttura trasversale. Differente la circolazione innescata dalle agitazioni di mezzogiorno. In questo caso si osserva, nella spiaggia principale, la presenza di un flusso longshore con verso opposto. Questa corrente, dagli estremi converge verso il settore centrale, genera una corrente in uscita con asse NNE-SSW obliquo rispetto alla spiaggia. Anche la piccola spiaggia di ponente è interessata da una circolazione simile a quella precedentemente descritta. In questo caso la rip current, allontanandosi da riva, evolve in flusso parallelo alla costa che, oltrepassato il pennello, contribuisce ad alimentare il flusso trasversale della spiaggia principale.

La spiaggia di Bonassola

Nella spiaggia di Bonassola, la morfologia della costa condiziona significativamente i livelli di energia del moto ondoso (Fig. 3a).

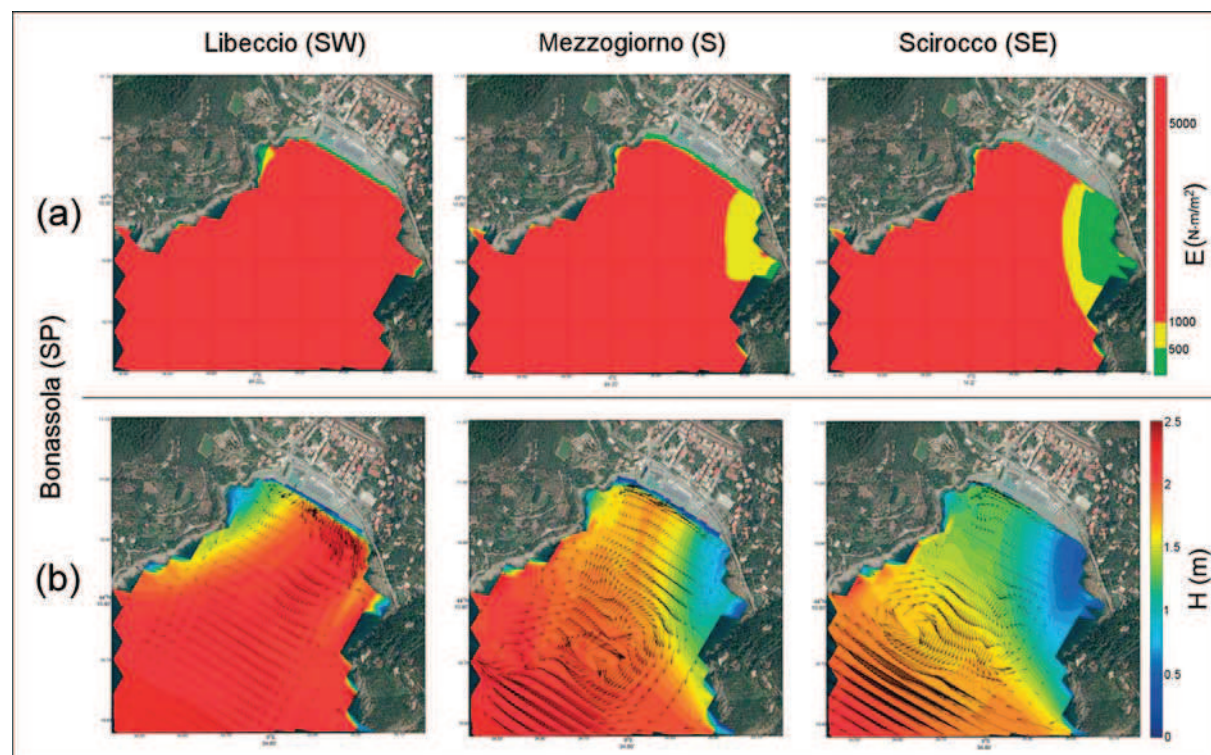


Figura 3. Valutazione dell'energia ($N \cdot m/m^2$) del moto ondoso e idrodinamismo nella spiaggia di Bonassola in relazione alle tre principali direttrici di provenienza del moto ondoso (SW, S e SE).

Infatti, la baia risulta esposta agli eventi meteo marini di SW, in minor misura dagli eventi provenienti da S, mentre mostra una chiara zona protetta, nel settore orientale della baia, per le agitazioni ondose di SE. In tutte e tre le configurazioni, l'energia dell'onda si mantiene su valori elevati fino alla battigia. Con le onde provenienti da SW i valori di energia si mantengono uniformi su tutto l'arco di spiaggia. Tendono a diminuire nel settore orientale quando le agitazioni ondose provengono da mezzogiorno e soprattutto da SE. In quest'ultimo caso nella porzione di ponente della spiaggia si misurano i massimi valori di energia alla battigia.

La circolazione indotta dal moto ondoso mostra che con agitazioni ondose provenienti da SW prevalgono i flussi cross-shore, con la formazione di almeno tre rip current ubicate nella porzione centrale ed orientale della baia (Fig. 3b). Con le restanti configurazioni, prevalgono i flussi longshore con verso rivolto da levante verso ponente e la formazione di una debole rip current, nell'estremo di ponente della spiaggia, specie con onde originate a SE.

La spiaggia di San Terenzo

La presenza di numerose opere di difesa condiziona lo sviluppo del moto ondoso in entrambe le spiagge. Indipendentemente dalla direzione di provenienza delle agitazioni ondose si osserva, in prossimità della battigia, un'ampia fascia ad energia ridotta (Fig. 4a). Le agitazioni ondose che subiscono le maggiori attenuazioni sono quelle provenienti da Scirocco specie nella spiaggia di ponente, mentre quella di levante sembra essere più protetta dalle altre due direttrici di provenienza del moto ondoso.

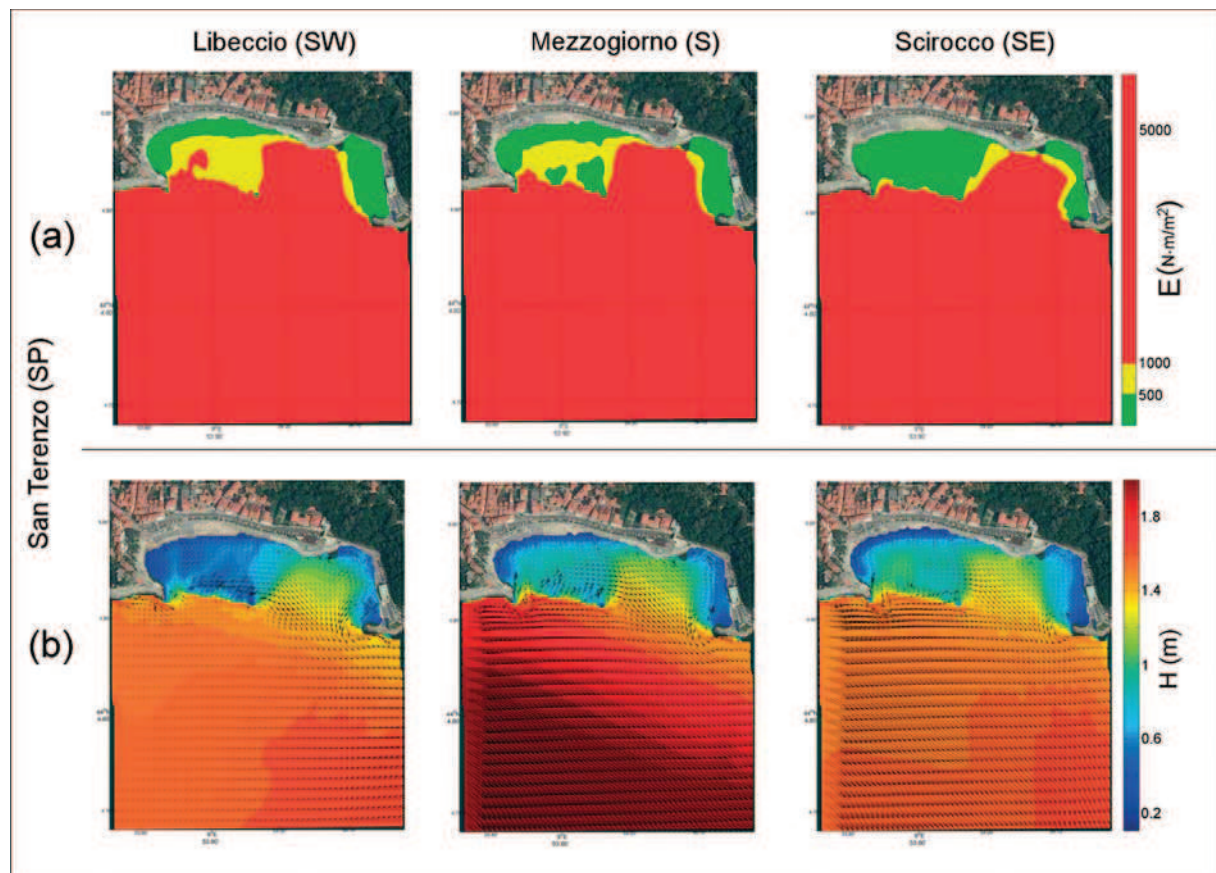


Figura 4. Valutazione dell'energia ($N\ m/m^2$) del moto ondoso e idrodinamismo nella spiaggia di San Terenzo in relazione alle tre principali direttrici di provenienza del moto ondoso (SW, S e SE).

La circolazione indotta dal moto ondoso risente della conformazione creata dalle opere di difesa (Fig. 4b). Le strutture antropiche, oltre a causare turbolenze, ostacolano il flusso di ritorno condizionandone il percorso. Infatti, si osservano flussi confinati verso l'esterno in adiacenza con gli estremi delle due barriere parallele in tutte e tre le configurazioni.

I flussi sono osservabili nella spiaggia occidentale nel varco di ponente creato dalla struttura parallela ed il pennello. In questo settore le maggiori intensità sono raggiunte con agitazioni ondose provenienti da Scirocco e, in minor misura da Mezzogiorno. Nell'altra spiaggia la rip current è ubicata a ponente della barriera parallela e presenta un'intensità simile indipendentemente dalla direzione di provenienza del moto ondoso.

Discussioni

Il primo aspetto che deve essere considerato nell'utilizzo dei modelli matematici è relativo all'attendibilità dei risultati ottenuti. Per quanto riguarda i casi considerati un aiuto alla validazione proviene da immagini di due dei tre siti, Sori e Bonassola.

Nel primo caso (fig. 5a) l'immagine, tratta da Google earth, mostra il litorale di Sori interessato da un'agitazione ondosa proveniente da S e la relativa rip current che si genera come simulata dal modello. Nel secondo caso (Fig. 5b) l'immagine, realizzata durante un'agitazione ondosa proveniente da SW, mostra la formazione di rip current nel settore centrale ed orientale della baia di Bonassola. Anche questa immagine è in accordo con quanto previsto dal modello. L'attendibilità dei risultati ottenibili dal modello numerico XBeach in contesti simili era già stata confermata precedentemente da altri studi (Mucerino et al., 2019), in ordine alla formazione di correnti longitudinali e trasversali a costa e sulla loro posizione.

Verificata l'attendibilità dei risultati ottenuti nelle tre spiagge scelte, si possono effettuare alcune considerazioni e trarre indicazioni utili alla pianificazione e gestione delle attività balneari.

Il primo aspetto di particolare interesse è relativo ai differenti stati energetici del mare in prossimità della battigia. Questi, oltre a dipendere ovviamente dall'energia dell'onda e dalla morfologia costiera (Vicinanza et al., 2013), sono influenzati anche dalla direzione di provenienza dell'agitazione ondosa e dall'assetto della spiaggia sommersa (De Bakker et al., 2014; Janssen e Battjes, 2007). In funzione della variazione di questi due parametri si possono osservare analoghi mutamenti dello stato energetico del mare, con settori maggiormente esposti (i.e. Sori con onde da SW, settore occidentale di Bonassola con onde da SE) e settori più protetti (i.e. Sori con onde da SE, settore orientale di Bonassola). Nei casi indagati si osserva che i valori massimi di energia in battigia sono riscontrabili nella spiaggia di Bonassola la quale presenta caratteristiche morfodinamiche di tipo intermedio (Mucerino et al., 2019), cioè con modalità di frangenza di tipo plunging (Battjes, 1974), che come indicato da (Short, 2007) costituisce il tipo di frangenza più pericolosa per la balneazione.

Nelle altre due spiagge con profili maggiormente dissipativi l'energia dell'onda tende ad affievolirsi gradatamente. La circolazione indotta dal moto ondoso risente anch'essa dell'assetto costiero e dalle caratteristiche dell'onda. In determinate condizioni si assiste alla formazione di rip current, che costituiscono, per la balneazione, uno dei più pericolosi fenomeni naturali (Scott et al., 2011).

In funzione della direzione di provenienza si osservano, non solo variazioni dell'intensità di queste correnti, ma anche importati variazioni spaziali. Quest'ultimo aspetto riveste particolare importanza per le attività di sorveglianza del litorale, dove, come espresso da Pezzini (2013), le postazioni del personale addetto alla sicurezza balneare devono essere ubicate sulla base di precise indicazioni tecniche. Infine, come segnalato da Pranzini et al. (2018), bisogna anche evidenziare il ruolo svolto dalle opere di difesa nell'innescare di situazioni di potenziale pericolo. La rip current che si sviluppa in prossimità del pennello presente a Sori, è causata appunto dalla struttura.

A San Terenzo le difese parallele determinano la formazione di un flusso in uscita concentrato in coincidenza dei varchi delle strutture stesse che costituisce una delle situazioni di massima pericolosità per la balneazione. Questa situazione è ulteriormente aggravata dalla pressoché nulla agitazione ondosa presente nelle acque all'interno delle strutture. Questa apparente calma del mare può infatti ingannare il bagnante inesperto (Pranzini et al., 2018).



Figura 5. Formazione di rip current nella spiaggia di Sori (a) e di Bonassola (b).

Conclusioni

L'obiettivo che si poneva questo studio era quello di testare l'efficacia della modellistica costiera nell'individuazione di situazioni di potenziale pericolo per la balneazione e quindi costituire un valido supporto nelle politiche di prevenzione del rischio e di gestione della sicurezza balneare. A tale scopo è stato utilizzato il modello numerico XBeach, che ha permesso di ottenere, nei tre siti pilota, indicazioni e parametri sullo sviluppo delle correnti generate da moto ondoso, la loro posizione e la loro energia. I risultati hanno mostrato che la modellistica numerica consente una mappatura del litorale in relazione alle caratteristiche del moto ondoso, permettendo di individuare le aree di maggior pericolo e costituendo un utile strumento per la pianificazione della sicurezza balneare.

Studi sulla correlazione tra energia del moto ondoso e sicurezza balneare, incentrati sulla valutazione di adeguate soglie di pericolosità (in termini di energia delle onde alla frangenza e correnti indotte), rappresentano un importante aspetto di approfondimento futuro, al fine dell'implementazione di un sistema di valutazione e prevenzione del rischio balneazione.

Bibliografia

- Akpınar A. e Kömürçü M. İ., 2012. *Wave energy potential along the south-east coasts of the Black Sea*. Energy, 42: 289-302.
- Balduzzi I., Cavallo C., Corradi N., Ferrari M., 2014. *L'érosion des plages de poche de la Ligurie: le cas d'étude de Bonassola (La Spezia, Italie)*. Geo. Eco. Trop, 38: 187-198.
- Bart L.J.C.L., 2017. *Long-term modelling with XBeach: combining stationary and surfbeat mode in an integrated approach*. Master thesis, Dept. of Hydraulic Engineering, faculty of Civil Engineering and Geosciences, TU Delft. 109 pp.
- Battjes J.A., 1974. *Surf similarity*, in: Proceedings of the 14th International Conference on Coastal Engineering, ASCE. pp. 466-480.
- De Bakker A.T.M., Tissier M.F.S., Ruessink B.G., 2014. *Shoreline dissipation of infragravity waves*. Continental Shelf Research, 72: 73-82.
- European Environment Agency, 2006. *The changing faces of Europe's coastal areas*. Publications of the European Communities. EEA Report N°6/2006. 112 pp.
- Fierro G., Berriolo G., Ferrari M., 2010. *Le spiagge della Liguria Occidentale: analisi evolutiva*. Regione Liguria. 174 pp.
- Fierro G., Ferrari M., Berriolo G., 2015. *Le spiagge della Liguria centro-orientale: analisi evolutiva*. Regione Liguria. 94 pp.
- Hartmann D., 2006. *Drowning and Beach-Safety Management (BSM) along the Mediterranean Beaches of Israel - A Long-Term Perspective*. Journal of Coastal Research, 22: 1505-1514.
- Janssen T.T., Battjes J.A., 2007. *A note on wave energy dissipation over steep beaches*. Coastal Engineering, 54: 711-716.
- Jennings R., Shulmeister J., 2002. *A field based classification scheme for gravel beaches*. Marine Geology, 186: 211-228.
- Jiménez J.A., Osorio A., Marino-Tapia I., Davidson M., Medina R., Kroon A., Archetti R., Ciavola P., Aarnikhof S.G.J., 2007. *Beach recreation planning using video-derived coastal state indicators*. Coastal Engineering, 54: 507-521.
- Komar, P.D., 1998. *Beach Processes and Sedimentation*. 2nd ed. Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall. 544 pp.
- McCool J., Ameratunga S., Moran K., Robinson E., 2009. *Taking a risk perception approach to improving beach swimming safety*. International Journal of Behavioral Medicine, 16: 360-366.
- Mucerino L., Albarella M., Carpi L., Besio G., Benedetti A., Corradi N., Firpo M., Ferrari M., 2019. *Coastal exposure assessment on Bonassola bay*. Ocean Coastal Management, 167: 20-31.
- Pender D., Karunaratna, H., 2013. *A statistical-process based approach for modelling beach profile variability*. Coastal Engineering, 81: 19-29.
- Pezzini D.G., 2013. *Manuale di Salvamento per Bagnini di Salvataggio*. Società Nazionale di Salvamento. 336 pp.
- Pranzini E., Pezzini D.G., Anfuso G., Botero C.M., 2018. *Beach safety management*. In: Beach Management Tools-Concepts, Methodologies and Case Studies. Springer, 24: 397-420.

- Roelvink D., 2011. *A guide to modeling coastal morphology*. world scientific. 273 pp.
- Roelvink D., Reniers A., van Dongeren A., van Thiel de Vries J., McCall R., Lescinski J., 2009. *Modelling storm impacts on beaches, dunes and barrier islands*. Coastal Engineering, 56: 1133–1152.
- Scott, T.M., Russell, P., Masselink, G., Austin, M.J., Wills, S., Wooler, A., 2011. *Rip Current Hazards on Large-Tidal Beaches in the United Kingdom*. In: Rip Currents: Beach Safety, Physical Oceanography, and Wave Modelling: 225–244.
- Short A.D., 2007. *Beaches of the New South Wales Coast - A guide to their nature, characteristics, surf and safety*. Coastal Studies Unit School of Geosciences F09 University of Sydney (2nd ed). 397 pp.
- Short A. D., Masselink G., 1999. *Embayed and structurally controlled beaches*. In: Short A.D. (ed.) Handbook of beach and surface morphodynamics. Wiley: 230-250.
- Silvester R., Ho S.-K., 1973. *Use of crenulate shaped bays to stabilize coasts*. In Coastal Engineering Proceedings, 1(13), 70 pp.
- Vicinanza D., Contestabile P., Ferrante V., 2013. *Wave energy potential in the north-west of Sardinia (Italy)*. Renewable Energy, 50: 506-521.
- Wang L., Zimmermann N., Trouw K., De Maerschalck B., Delgado R., Verwaest T., Mostaert F., 2015. *Scientific support regarding hydrodynamics and sand transport in the coastal zone: Calibration of a Long term morphological model of the Belgian shelf*. Version 4.0. WL Rapporten, 12_107. Flanders Hydraulics Research & IMDC: Antwerp, Belgium. 51pp.
- Wentworth C.K., 1922. *A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments*. Journal of Geology, 30: 377–392.

Ricevuto il 28/04/2019

Accettato il 10/07/2019

