

Studi costieri

Dinamica e difesa dei litorali - Gestione integrata della fascia costiera

N. 28
2019

Gruppo Nazionale per la Ricerca sull'Ambiente Costiero
Società Nazionale di Salvamento

La sicurezza nella balneazione

a cura di Giorgio Pezzini ed Enzo Pranzini



Gruppo Nazionale per la
Ricerca sull'Ambiente Costiero

ISSN 1129-8588

Morfologia costiera e rischi nella balneazione

Enzo Pranzini^{1,2}

¹Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Firenze. Via Micheli 6, 50121 Firenze.

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

Email: epranzini@unifi.it

Riassunto

Le spiagge, non solo presentano caratteristiche morfologiche diverse per la differente esposizione al moto ondoso e la varietà delle dimensioni dei sedimenti che le costituiscono, ma cambiano anche continuamente la propria forma al variare delle condizioni meteomarine. Anche la spiaggia che conosciamo meglio può assumere forme o essere soggetta a processi inattesi. Le irregolarità del fondale possono mettere in difficoltà i nuotatori meno esperti, mentre le rip current costituiscono un pericolo a cui neppure i più esperti possono ritenersi non esposti. Molti incidenti avvengono per la scarsa conoscenza di questo ambiente, dei processi che lo modellano e dei pericoli che esso presenta.

Parole chiave: turismo balneare, morfologia della spiaggia, barre, rip current.

Abstract

The beaches not only have different morphological characteristics due to the different exposure to the waves and the variety of the sediment dimensions that constitute them, but also constantly change their shape as the sea conditions change. Even the beach that we know best can take shape or be subject to unexpected processes. The irregularities of the seabed can put in difficulty the less experienced swimmers, while rip currents constitute a danger to which even the most experienced cannot be considered unexposed. Many accidents occur due to the lack of knowledge of this environment, of the processes that shape it and of the dangers it presents.

Keywords: beach holiday, beach morphology, bars, rip currents.

Premessa

La “vacanza al mare” è considerata la vacanza per eccellenza dalla maggior parte degli italiani che nei mesi estivi si affollano sulle nostre coste. A questi si uniscono molti turisti stranieri che trovano nei nostri mari motivazione principale, o accessoria a quella culturale o gastronomica, per un loro soggiorno in Italia. È così che lungo i circa 7466 km di litorale si registrano oltre 600 milioni di presenze all'anno, la maggior parte delle quali concentrate sulle coste basse, ossia su 3951 km (Fig. 1).

A fronte di un così elevato numero di persone esposte ai rischi che la frequentazione delle coste comporta, l'impegno delle istituzioni e degli operatori privati del settore per l'incremento della sicurezza dovrebbe essere ai massimi livelli. È quindi necessario perfezionare e rendere ancor più capillare su tutte le coste il sistema di prevenzione e di salvamento che già oggi costituisce un elemento distintivo dell'offerta turistico-balneare italiana.

Tutto ciò non raggiungerà gli obiettivi sperati se non sarà accompagnato da una crescita culturale dei frequentatori dei litorali che si estenda a tutte le tematiche coinvolte, da quelle mediche, a quelle normative e - altrettanto importante - dalla conoscenza della morfologia e della dinamica dei litorali, ossia

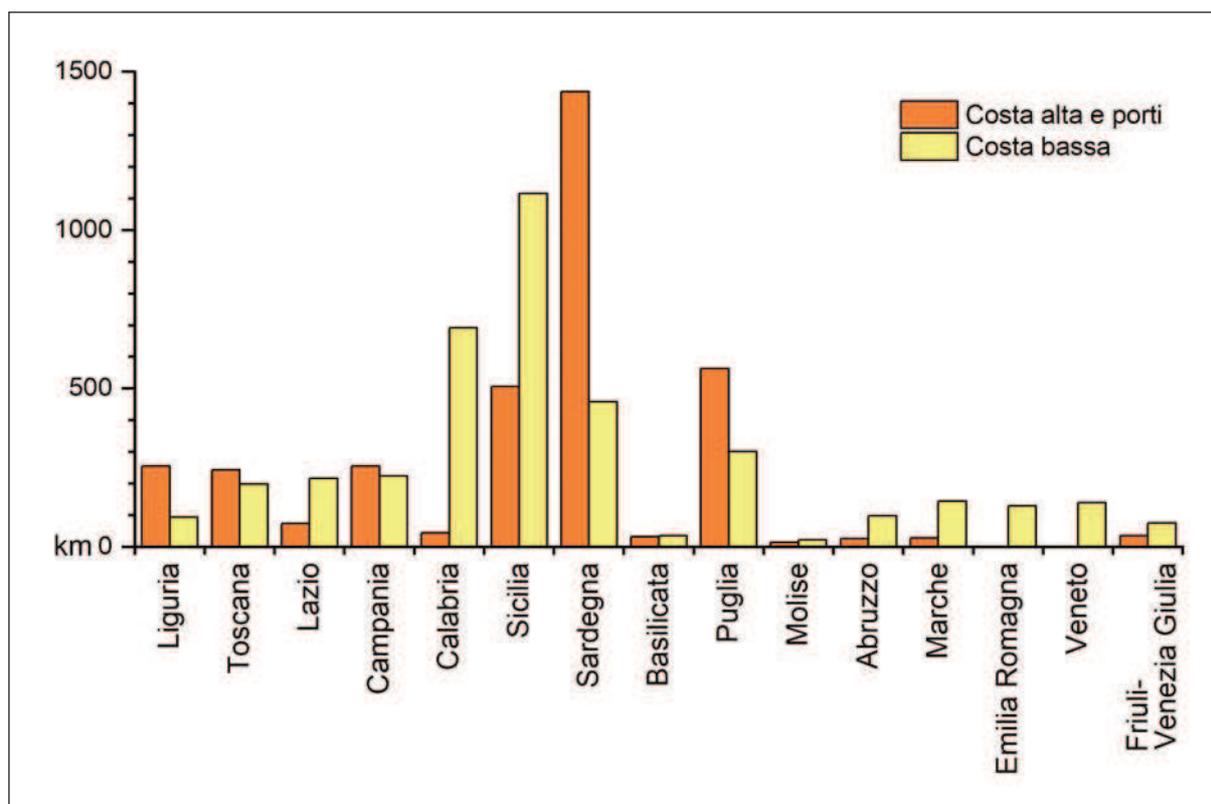


Figura 1. Tipologia della costa delle varie regioni italiane (fonte: GNRAC, 2006)

dell'ambiente in cui ci si addentra (McCool et al., 2008). È certo infatti che una maggiore conoscenza dei pericoli presenti potrebbe ridurre enormemente gli incidenti connessi all'uso turistico della fascia costiera. I fattori di rischio sono in realtà limitati e facilmente identificabili, in particolare quelli "morfodinamici" (Short, 1999), tanto che un programma volto all'aumento della sicurezza può dare risultati consistenti con risorse economiche e tempi limitati. Infatti, spesso basterebbe che i bagnanti fossero ben consci dei pericoli presenti nell'ambiente costiero ed assumessero comportamenti responsabili, ma in Italia la considerazione data alla sicurezza non sembra molto elevata. Fra i "Big fives", ossia i cinque elementi che sulla base di 4000 interviste fatte in diversi paesi del mondo, sono apparsi come i più importanti nella scelta di una destinazione turistico-balneare (Acqua pulita, Spiaggia pulita, Servizi, Paesaggio e Sicurezza; Fig. 2) (Williams, 2011), solo il 6% bagnanti italiani attribuisce alla Sicurezza un'importanza prioritaria (Simeoni et al., 2017), mentre in altri paesi è considerata assai più importante.

I tratti di litorale sabbioso possono svilupparsi per diversi chilometri collegando le varie foci fluviali che li alimentano, oppure estendersi per poche decine di metri all'interno di piccole baie; talvolta l'arenile è confinato fra opere di difesa costiera che possono diventare l'elemento prevalente di quel determinato settore costiero.

Le coste basse

Sebbene le coste alte (più le aree portuali) e quelle basse si ripartiscano in modo quasi simmetrico (47,7% e 52,9%) lo sviluppo costiero italiano (GNRAC, 2006), è certamente sui litorali bassi, siano essi sabbiosi o ghiaiosi, che si concentra quel turismo balneare che costituisce una delle principali risorse del nostro Paese.

Come è fatta una spiaggia

La spiaggia è un accumulo di sabbia, ghiaia o ciottoli, in genere portati dai fiumi alla propria foce e ridistribuiti lungo costa dalle correnti indotte dal moto ondoso. Solo una piccola parte di questi materiali viene prodotta dall'erosione delle falesie, ed un'altra piccola parte può arrivare dai fondali, dove la sabbia costituisce antiche

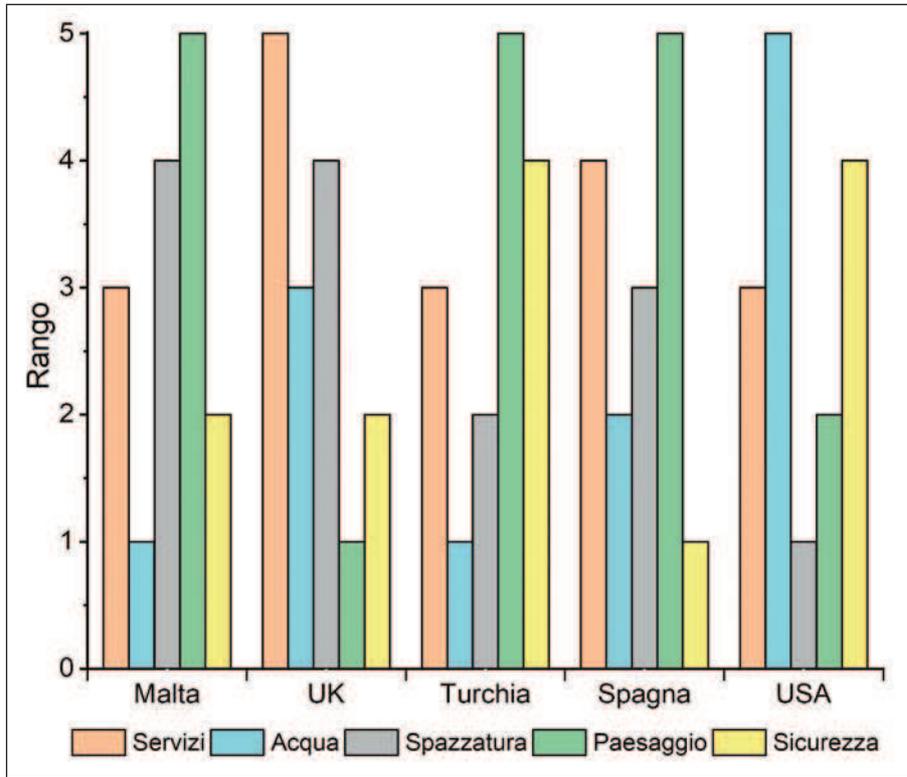


Figura 2. Importanza attribuita dai bagnanti ai “Big five” in diversi paesi (dati da Williams, 2011).

spiagge sommerse dal mare nella sua risalita dopo l’ultima fase glaciale, o dove viene creata in continuazione dagli organismi che hanno un guscio o uno scheletro calcareo. La spiaggia è costituita da una serie di scalini (berme) che diventano sempre più alti con l’allontanarsi dalla battigia e ognuno di essi ha una superficie ripida rivolta verso il mare ed una più dolce che guarda verso terra, quella sulla quale in genere ci stendiamo (Fig. 3). Se osserviamo quanto avviene sulla spiaggia durante una forte mareggiata ci accorgiamo che le onde di tempesta, alte e ripide, risalgono velocemente la battigia e penetrano in profondità sulla spiaggia, raggiungendo quote elevate. Sulla via del ritorno il flusso è più lento e parte dell’acqua si infila nella sabbia, tanto che la corrente non

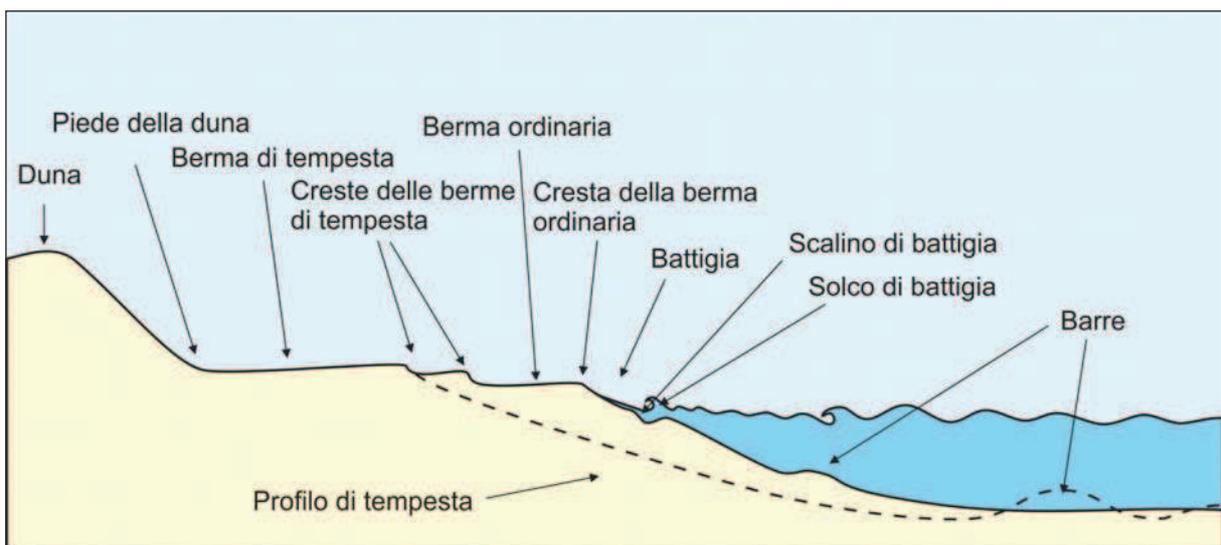


Figura 3. Il profilo di una spiaggia microtidale.

riesce a riportare verso il basso tutti quei granelli che aveva spinto in alto; ecco che si forma un cordone, la cresta della berma di tempesta. Queste onde riescono comunque ad asportare la sabbia dalla fascia più prossima a riva e trasferirla verso il largo, dove va a formare delle barre sommerse. Sulla coda della mareggiata, o con onde meno aggressive, queste barre si muovono verso riva e possono attaccarsi ad essa determinandone una crescita. Ma siccome queste onde sono più basse, questa sabbia andrà a costituire un cordone meno elevato. Mareggiate di intensità progressivamente minore costruiranno quelle berme che daranno alla spiaggia l'aspetto di una scalinata. Il vento può poi rimodellare queste forme e renderle meno evidenti, così come viene fatto della pulizia meccanica della spiaggia e dalle operazioni di spianamento spesso fatte nelle spiagge date in concessione. Nel punto in cui l'onda che discende dalla battigia incontra la successiva onda in arrivo, si ha una grande turbolenza e la formazione di uno scalino (scalino di battigia) che, con sabbia grossolana o con ghiaia, determina un rapido approfondimento del fondale, dove può anche svilupparsi un solco che corre parallelo alla riva (solco di battigia). È evidente che queste variazioni morfologiche non avvengono se non a fronte di altrettanto importanti modifiche del fondale antistante, che di conseguenza non sarà mai uguale a sé stesso (Fig. 4).

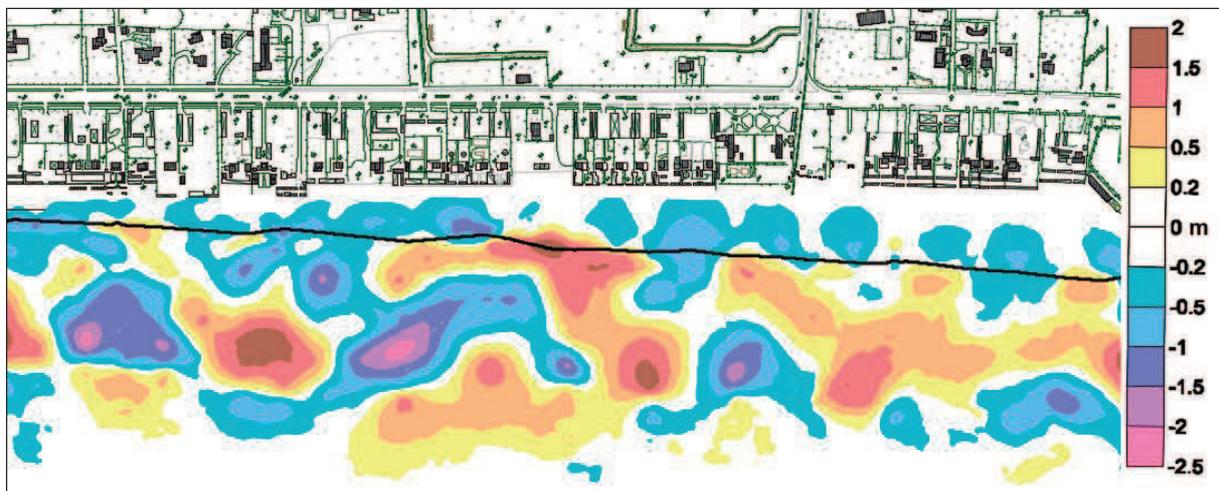


Figura 4. Variazioni batimetriche intervenute in 6 mesi in un tratto di litorale della Versilia.

Pendenza della battigia

Ogni spiaggia è diversa dall'altra perché la sua forma è determinata dall'energia delle onde e dalle dimensioni dei sedimenti che la costituiscono (Fig. 5): si hanno spiagge con pendenza maggiore dove meno

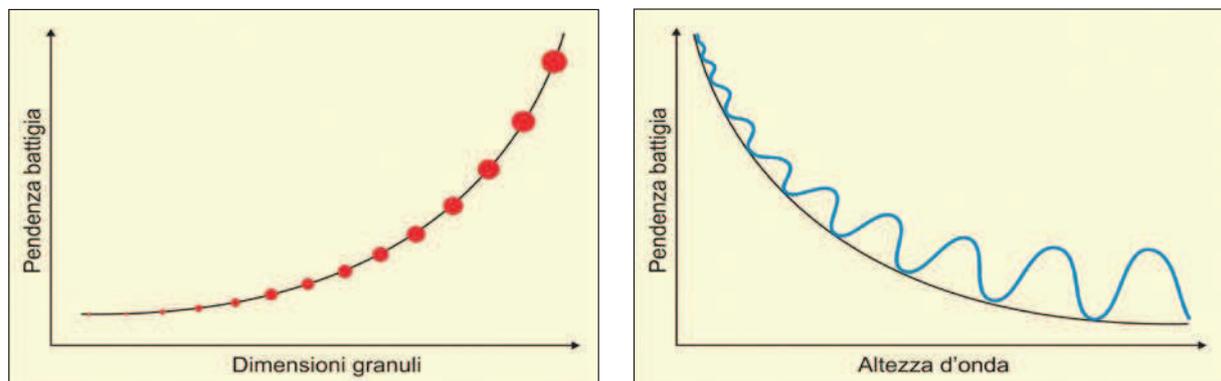


Figura 5. Dipendenza della pendenza della battigia dalle dimensioni dei granuli che costituiscono la spiaggia (a sinistra) dall'altezza d'onda che la investe (a destra). In entrambe le figure la pendenza della curva nera vuole essere espressione della pendenza che assumerebbe la battigia se costituita da granuli più o meno grossolani o investita da onde di diversa altezza. Non è quindi né il profilo della battigia, né la rappresentazione grafica dell'equazione che lega i parametri in ascisse e in ordinate.

intenso è il moto ondoso e spiagge meno acclivi dove le onde hanno una energia maggiore. A ciò si somma l'effetto delle dimensioni dei sedimenti, che tanto sono più grossolani tanto più fanno aumentare la pendenza della spiaggia (Komar, 1998).

Ciò si riscontra sull'intero profilo della spiaggia, ma in modo particolare sulla battigia e sui fondali immediatamente antistanti, ossia nel punto in cui si entra ed esce dall'acqua. Qui ciottoli e ghiaia, sui quali è più difficile camminare, si dispongono con forti pendenze, rendendo l'accesso al mare difficoltoso per bambini, anziani e disabili, in particolare durante le mareggiate anche non molto intense (Fig. 1). E comunque opportuno entrare ed uscire dall'acqua sempre rivolti verso il mare per non essere sorpresi da un'onda più grande che potrebbe farci cadere.

Morfologia del fondale

Già il profilo trasversale della spiaggia mostra come vi siano repentine variazioni di profondità che possono mettere in difficoltà i bagnanti, ma la cosa è in realtà più complessa perché le barre presentano morfologie molto variabili (Fig. 6).

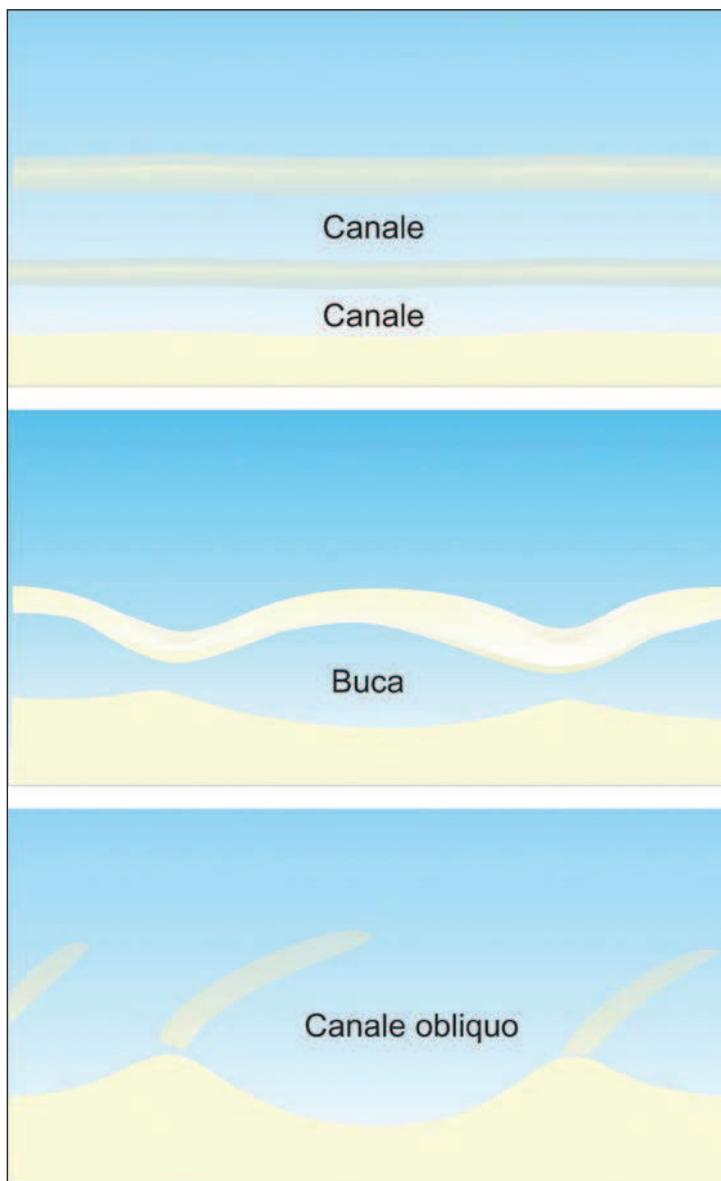


Figura 6. Tipi di barre che è possibile trovare vicino a riva.

Vi sono barre festonate, le cui punte sono prossime alla battigia: chi entra nell'acqua in questi punti può allontanarsi da riva camminando senza rendersi conto che lateralmente il fondale si approfondisce. In realtà esse chiudono quelle "buche" così pericolose per chi non è un buon nuotatore.

Altre barre sono disposte obliquamente alla riva, e possono invitare il bagnante ad allontanarsi da costa camminando su di esse; ma se il ritorno avviene poi in su di una linea diversa si incontrano dei canali obliqui con fondale assai maggiore.

Molto spesso queste barre dalla forma complessa si hanno quando la spiaggia non ha un andamento rettilineo, ma è caratterizzata da grandi cuspidi; è proprio a questi salienti sabbiosi che si collegano le radici delle barre.

In ogni caso prima di immergersi in mare è bene osservare attentamente il modo con il quale frangono le onde, che può indicare la presenza e la forma delle barre, dato che i frangenti si formano proprio su di esse.

Rip currents

Questa morfologia della spiaggia emersa e sommersa è il risultato di processi assai complessi che si sviluppando anche con moto ondoso di modesta intensità. Di fatto vi è un continuo adeguamento delle morfologie costiere alle diverse condizioni del mare e le onde stesse si modificano in prossimità della spiaggia in funzione delle forme che esse stesse hanno determinato. La spiaggia è quindi un sistema regolato da retroazione (*feedback*) che si modella al fine di dissipare nel modo più efficace l'energia del moto ondoso (Pranzini, 2004).

Le onde che provengono dal largo si deformano avvicinandosi a riva per l'attrito esercitato dal fondale: diventano progressivamente più corte, più alte e asimmetriche, con la cresta che viaggia più velocemente del cavo, finché questa non cade in avanti producendo un frangente. Da questo punto si genera un flusso d'acqua verso riva, che determina un innalzamento del livello del mare, in parte compensato da una corrente che sul fondale si allontana da costa. Molto spesso, però, si hanno anche correnti concentrate, o *rip current*, che si sviluppano fino alla superficie e che possono raggiungere velocità di alcuni metri al secondo, superiori a quelle tenute anche dai nuotatori più allenati. Si stima che nel mondo vi siano circa 500 casi di annegamento all'anno causati dalle rip current (Brander e MacMahan, 2011). Le *rip current* sono descritte come correnti circolari in cui il flusso verso costa si sviluppa nella zona di maggiore intensità di frangenti, mentre la corrente di ritorno si concentra nelle zone caratterizzate da minor frangimento (Fig. 7).

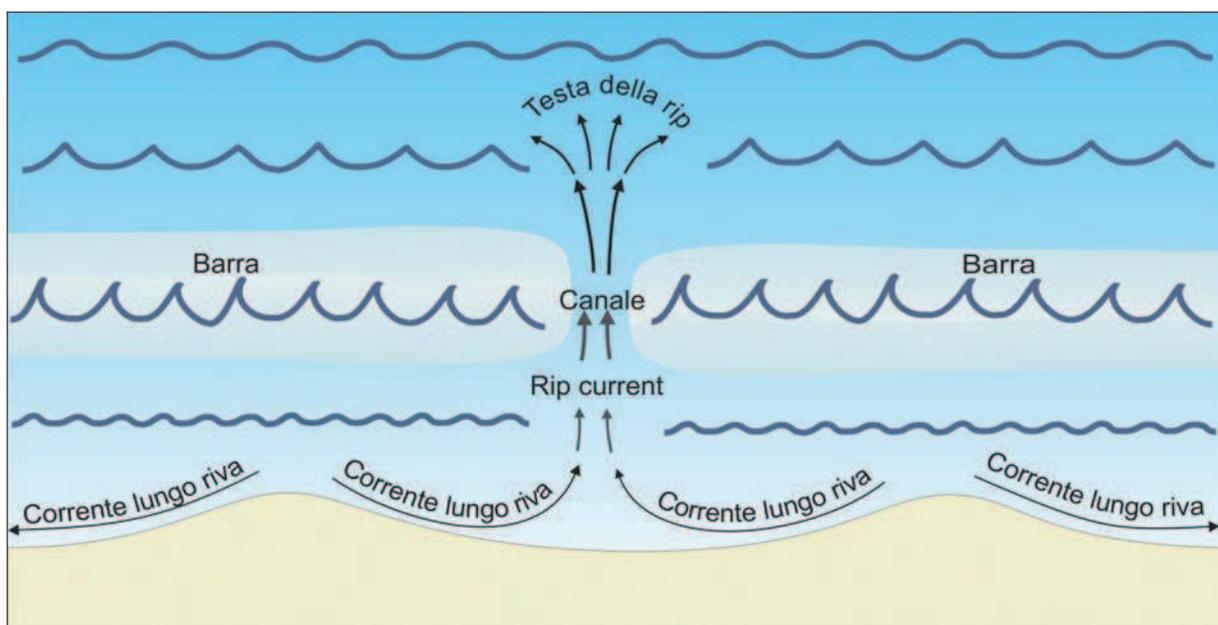


Figura 7. Circolazione dell'acqua in una rip current.

Una *rip current* può essere riconosciuta per il diverso colore dell'acqua causato dai sedimenti portati in sospensione e dalla maggiore profondità in corrispondenza del canale che taglia la barra, la presenza di una

linea di schiuma o di detriti vegetali che si estende in mare aperto, e dalla interruzione o indebolimento della linea di frangimento delle onde (Fig. 8). Contrariamente a quanto si pensa, le *rip current* non trascinano sott'acqua, cosa che può invece avvenire in corrispondenza dei frangenti.

Le *rip current* nelle spiagge rettilinee si generano spesso con moto ondoso leggermente obliquo e le cuspidi ad esso associate si muovono lungo costa; al contrario risultano stabili in prossimità di promontori, sia che essi delimitino spiagge rettilinee che *pocket beach* (spiagge poste all'interno di una baia).



Figura 8. L'onda che frange in ritardo è indicativa della presenza di una *rip current*.

Lo studio della morfodinamica costiera e l'analisi storica degli incidenti balneari possono fornire informazioni utili ad identificare i siti ad elevata probabilità di formazione delle *rip current*. Qui è opportuno installare sulla spiaggia dei segnali che ne indicano la possibile presenza e che spiegano come comportarsi quando si viene da esse portati al largo (Fig. 9).

È infatti spesso inutile opporsi al trasporto da parte della *rip current*, in particolare se la sua velocità è elevata; meglio è farsi trascinare verso il largo, sapendo che oltre la linea dei frangenti la sua velocità si annulla; da qui si dovrà nuotare parallelamente a riva per portarsi in un tratto privo di correnti e dirigersi quindi verso la costa in una zona non percorsa dalla *rip current*.

È stato comunque rilevato che l'efficacia della segnaletica è piuttosto limitata, soprattutto perché i cartelli non vengono notati (Matthews et al., 2014) o capiti da bagnanti stranieri (Brewster, 2005). Per questo devono essere adeguatamente progettati, possibilmente secondo uno standard internazionale, e posti in posizione opportuna. Nell'ambito del Progetto Marittimo Italia.Francia PERLA, e nella sua prosecuzione I-PERLA, sono stati progettati e installati cartelli (Fig. 10) che adottano i simboli ISO 20712 "Water safety signs and beach safety flags" e riprendono la grafica adottata nel Regno Unito e, con piccole varianti, in Australia.



Figura 9. Cartello di spiegazione di come comportarsi se catturati da una rip current (Messico).

Un altro pericolo presente sulla spiaggia ed associabile agli elementi geomorfologici è quello del soffocamento per sommersione da parte della sabbia. Fra i casi di decesso “balneare” non è il più frequente ma assurge sempre alle cronache quando colpisce i bambini, pur non essendo le uniche vittime di questa causa. Negli Stati Uniti muoiono più persone per soffocamento da sabbia che per gli attacchi degli squali. I casi più frequenti sono quelli dovuti allo scavo di piccoli tunnel nelle dune o per lo scavo di profonde buche sulla spiaggia; nel primo caso sono i singoli bambini ad essere coinvolti, mentre per il secondo caso si sono registrati decessi contemporanei di più di un adulto. Sebbene in alcuni paesi (es. Galles) un cartello che mette in guardia contro questo pericolo sia presente su molte spiagge, un simbolo specifico non rientra fra quelli ISO e nel Progetto I-PERLA ne è stato proposto uno (Fig. 11).

Conclusioni

Le spiagge sono ambienti estremamente differenziati ed in continua evoluzione, tanto che si possono incontrare nuovi pericoli anche dopo anni di frequentazione. Tutti possono avere gravi incidenti solo entrando nell'acqua durante le mareggiate, ed in particolare in spiagge costituite da ciottoli o ghiaia, ma i pericoli maggiori vengono dalle *rip currents*. Queste si formano anche in condizioni di mare poco mosso ed è importante che tutti sappiano riconoscerle e come comportarsi nel caso in cui ne siano catturati.

Le morfologie del fondale più prossimo a riva, con alternanze di barre, buche e canali possono costituire un serio pericolo per i non nuotatori e per i nuotatori non esperti.

La segnaletica che mette in guardia contro questi pericoli è indispensabile ma non sufficiente a prevenire gli incidenti, che possono essere ridotti solo con un intenso e qualificato lavoro di sensibilizzazione da svolgere verso tutte le fasce di età.

Bibbona 001a

	Ambulanza/Ambulance 118 Carabinieri/Police 112 Polizia/Police 113	Guardia costiera/Coast Guard 1530 Vigili del fuoco/Fire Brigade 115
--	--	--

SPIAGGIA CON SERVIZIO DI SALVATAGGIO
BEACH RESCUE AND ASSISTENCE AVAILABLE ON
 10 Giugno/31 Agosto dalle ore 10.00 alle ore 19.00
 10 June/31 August from 10.00 am to 7.00 pm
 1 Settembre/15 Settembre dalle ore 10.00 alle ore 18.00
 1 September/15 September from 10.00 am to 6.00 pm

Limite acque riservato alla balneazione (metri 200 dalla costa) non segnalato
 200 metre bathing only zone - boats not allowed - unsigned zone limit
 Limite acque sicure (m. 1,60 di profondità) non segnalato
 Safe swimming zone within 1,60 m depth - unsigned zone limit

ATTENZIONE
WARNING

 Scogli sommersi <i>Submerged objects</i>	 Possibili forti correnti <i>Strong currents possible</i>
 Non scavare buche o cunicoli nelle dune <i>Do not dig or burrow into sand dunes</i>	 Possibili animali nocivi <i>Beware of dangerous animals</i>
 Accendere fuochi <i>Fire lighting</i>	 Danneggiare e raccogliere la vegetazione <i>Damage and pick up of vegetation</i>
 Alare, varare e lasciare in sosta imbarcazioni <i>Dock, launch, moor and leave boats other water crafts</i>	 Accesso cani e cavalli <i>Access for dogs and horses</i>
 Campeggio e pernottamento <i>Camping and overnight stay</i>	 Pesca subacquea entro 500 m dalla costa <i>Spearfishing within 500 m from shore</i>

Spiaggia
Beach

Parcheggio ombreggiato riservato ai diversabili
 Servizi igienici accessibili ai diversabili
 Postazione raccolta differenziata

Per informazioni/For more information:
www.progettoperla.eu
 Tempo di percorrenza/Walking time: 10 min.

La Cooperazione al cuore del Mediterraneo
 La Coopération au cœur de la Méditerranée

Figura 10. Uno dei primi cartelli installati grazie al Progetto Marittimo Italia-Francia “PER-LA” lungo la costa livornese.



Figura 11. Simbolo proposto dal Progetto I-PERLA per il pericolo associato all'escavazione di tunnel nelle dune.

Bibliografia

- Brander R., 2010. *Dr Rip's Essential beach book*, University of New South Wales Press Ltd, Sidney, Australia, 238 p.
- Brander R.W., MacMahan, J., 2011. Future challenges for rip current research and outreach. In: Leatherman, S.P., Fletemeyer, J. (eds). *Rip currents: Beach Safety, Physical Oceanography and Wave Modeling*. Boca Raton, FL: CRC Press, 1-29.
- GNRAC, 2006. Lo stato dei litorali italiani. *Studi costieri*, 10, 176 p.
- Komar P.D., 1998. *Beach processes and sedimentation* (2° ed.). Prentice Hall, New Jersey, 545 p.
- McCool J., Moran K., Robinson E., Ameratunga S., 2008. New Zealand beachgoers' swimming behaviors, abilities and perception of drowning risk. *International Journal of Aquatic Education and Research*, 2:7-15.
- Pezzini D.G., 2011. *Manuale di salvamento*, Società Nazionale di Salvamento, Genova, 263 p.
- Pranzini E., 2004. La forma delle coste. *Geomorfologia costiera, impatto antropico e difesa dei litorali*. Zanichelli, Bologna, pp. 246.
- Pranzini E., 2017. *La playa: instructions para el uso seguro*. Educosta, Baranquilla (Colombia), pp. 64. ISBN 978-958-8921-43-3.
- Pranzini, E., Pezzini, G., Anfuso G., Botero Saltaren, C., 2018. Beach safety management. In *Beach Management Tools - Concepts, Methodologies and Case Studies*, Botero, Camilo M., Cervantes, Omar D., Finkl, Charles W. (Eds.), Springer, pp. 397-420.
- Short, A.D., 1999. Wave-dominated beaches. In A.D. Short (Ed.), *Handbook of beaches and shoreface morphodynamics*. John Wiley & Sons, LTD, Chichester, pp. 173-203.
- Simeoni U., Corbau C., Rodella I., 2017. La percezione dell'offerta turistico-balneare in Italia: aspettative, soddisfazione e conoscenze degli aspetti fisico-gestionali delle spiagge. *Studi costieri*, 25: 5-24.
- Williams A. T., 2011. Definitions and typologies of coastal tourism beach destinations. In A. L. Jones, & M. R. Phillips (Eds.), *Disappearing destinations: Climate change and future challenges for coastal tourism* (pp. 47e66) Wallingford, Oxford, UK: CABI.

Ricevuto il 12/05/ 2018

Accettato il 22/07/2018

Il rischio per i bagnanti in presenza di opere di difesa delle spiagge

Pier Luigi Aminti^{1,2}

¹Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università degli Studi di Firenze

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

Via S. Marta 3, Firenze. Email: pierluigi.aminti@unifi.it

Riassunto

I fenomeni di erosione costiera che colpiscono sempre più diffusamente le coste italiane hanno dato origine ad un continuo incremento delle opere di difesa, le quali sono particolarmente concentrate sui tratti costieri intensamente utilizzati per il turismo estivo. Lungo le spiagge italiane esistono prevalentemente opere di protezione basate su barriere emerse parallele a riva ed in alcuni casi sono presenti barriere sommerse. Tratti meno lunghi ma diffusi su tutte le coste, sono protetti con pennelli ortogonali a riva. Le correnti nella *surf zone*, indotte dal moto ondoso, vengono fortemente modificate dall'interazione con le opere di difesa con la generazione di forti gradienti di velocità che possono generare condizioni di pericolo anche per nuotatori esperti. La dinamica di queste correnti è variabile in funzione della direzione di provenienza del moto ondoso ma nel complesso risulta prevedibile con modelli numerici. In particolari condizioni fondali naturali a bassa pendenza di litorali sabbiosi vengono erosi o scavati generando approfondimenti improvvisi che possono rappresentare un pericolo per nuotatori inesperti. Le nuove tecnologie disponibili per i rilievi batimetrici permettono di identificare la posizione delle zone pericolose per una loro segnalazione.

Parole chiave: turismo balneare, morfologia della spiaggia, barre, rip current.

Abstract

Coastal erosion affecting the Italian coast gave rise to a continuous increase in defence structures. These are particularly present along coastlines intensely used for summer tourism. Italian beaches are mostly protected by barriers parallel to the shore; in most cases emerged and rarely submerged reefs. Where longshore sediment transport dominates the beach morph dynamic groin field have been used. Wave induced currents are strongly affected by interaction with the defence structures with the formation of high speed currents that can cause dangerous conditions for swimmers. The dynamic of these currents is variable depending on the wave direction but generally it is predictable with the aid of numerical models. Low slope natural sandy bottoms are modified by currents and the formation of deep holes can be dangerous for inexperienced swimmers. New technologies for bathymetric surveys allow us to identify the location of dangerous zones for their reporting.

Keywords: coastal structures, beach morphology, rip currents.

Introduzione

I fenomeni erosivi che ormai da decenni interessano le coste italiane e lo sviluppo di un'economia, che ha aumentato sempre di più la pressione antropica sulle aree costiere, hanno portato alla costruzione di opere di difesa che ormai interessano la maggior parte delle spiagge utilizzate intensivamente per il turismo estivo. Tutte le opere di difesa interagiscono col sistema di correnti e di trasporto solido e determinano importanti cambiamenti al campo idrodinamico indotto dal moto ondoso nell'intorno delle strutture e, conseguentemente, in tempi più o meno lunghi, inducono modifiche ai fondali.

Rilievi di dettaglio, eseguiti alcuni anni dopo la costruzione di opere di protezione, hanno evidenziato la formazione di approfondimenti localizzati, particolarmente evidenti in corrispondenza dei varchi ed in corrispondenza delle estremità delle opere, ma anche diffusi sui fondali immediatamente esterni ai sistemi di difesa.

I problemi indotti da correnti che si concentrano in corrispondenza di varchi e le conseguenti erosioni localizzate, sono stati studiati prevalentemente allo scopo di prevedere le opportune protezioni a garanzia della stabilità delle strutture, così come sono stati eseguiti studi riguardanti la progettazione di opere sommerse e i problemi che le correnti intorno ad esse rivestono per la stabilità del fondale sabbioso, ma anche per le scogliere.

Le ricerche svolte nei laboratori italiani e gli studi di campo sulle spiagge italiane sono state raccolte in GNRAC n. 9 (2005).

A livello europeo, nel primo decennio del 2000 è stato finanziato un importante progetto di ricerca finalizzato alla comprensione dei fenomeni che si generano nell'intorno di opere a scogliera tracimabili, che rappresentano la tipologia di opere di difesa più diffusa, con particolare riguardo alle opere sommerse molto apprezzate per il loro minore impatto sul paesaggio.

Gli studi sono stati prevalentemente eseguiti in laboratorio su modelli fisici e ancora più frequentemente con modelli numerici.

Fra i più significativi studi vanno segnalati i lavori di Withehouse e Damgaard (2000) dove sono riportati anche dati di campo, ed il lavoro di Sumer et al. (2004), i quali, mediante indagini di laboratorio, hanno analizzato l'erosione localizzata sulle testate di scogliere tracimabili. Questi esperimenti hanno evidenziato la concentrazione di velocità e soprattutto l'incremento di azioni tangenziali al fondo in corrispondenza di discontinuità nell'intorno di opere di protezione.

In Sumer et al. (2001) sono descritti due meccanismi che determinano l'erosione in prossimità delle opere. Il primo descrive l'erosione locale (*near field*) che si verifica ad una distanza inferiore ad $\frac{1}{4}$ della lunghezza d'onda. Tale erosione può interessare sia il lato mare delle strutture, dove si innesca una corrente al fondo legata al processo di riflessione ondosa amplificata dai frangenti, sia il lato riva dove si tuffa il frangente. La seconda forma di erosione invece è legata alla presenza di onde e correnti su più ampia scala, e interessa per esempio tutta l'estensione del varco. Entrambi i fenomeni sono rilevanti in termini di approfondimenti nell'intorno delle strutture e possono portare alla formazione di fosse ripide, dannose sia per la balneazione sia per la stabilità al piede delle opere.

I problemi causati dalla presenza di varchi molto stretti in opere emerse ma tracimabili, sono ampiamente sottovalutati nella progettazione soprattutto in riferimento ai pericoli che i forti gradienti di velocità causano frequentemente ai bagnanti. Gli studi condotti nell'ambito del progetto europeo DELOS sono stati pubblicati nel numero speciale Coastal Engineering, 52 (2005). In questi studi i fenomeni legati alla circolazione indotta dalle onde incidenti su scogliere tracimabili e le conseguenti modifiche dei fondali erano stati chiariti così com'erano stati individuati gli strumenti di modellistica fisica e numerica idonei a rappresentarli.

Tipologie di opere di difesa presenti sulle coste italiane

Barriere parallele isolate

I più vecchi e diffusi sistemi di difesa sono rappresentati dalle barriere parallele a riva. Una legge del 1907 imponeva agli Uffici del Genio Civile di provvedere con scogliere alla difesa degli abitati minacciati dall'erosione costiera. Con questa norma, furono realizzati sistemi di difesa particolarmente diffusi sulla costa adriatica, con lo scopo di proteggere gli insediamenti costieri che si svilupparono con grande rapidità negli anni 50 e '60 del secolo scorso. Analizzando i progetti di quel periodo si nota la totale assenza di studi di base e la scarsa conoscenza dei processi di idrodinamica costiera. Le barriere parallele avevano una lunghezza di 70 – 80 m, varchi di 20-30 m ed erano poste fra gli 80 ed i 120 m da riva, sia in Adriatico che sul Tirreno.

Quasi tutte le spiagge dei centri turistici più noti a Sud della foce del Po fino al Molise sono oggi protette da scogliere parallele che ormai fanno parte del paesaggio costiero; esse non sono più percepite come un elemento di disturbo dai turisti e ci sono continue pressioni per estendere questo tipo di opere sui tratti in erosione ancora non protetti.

I gestori di stabilimenti balneari le ritengono più interessanti per le attività economiche anche perché progettando barriere con rapporti opportuni fra la lunghezza dei singoli elementi e la distanza da riva è possibile creare dei tomboli che permettono un'utilizzazione intensiva dell'arenile e disposizione più attraente dei punti ombra (Figura 1).



Figura 1. Tomboli a tergo di un sistema di barriere parallele emerse ed utilizzo intensivo dell'arenile.

I criteri per la progettazione di queste opere furono divulgati in modo organico dalle pubblicazioni del CERC (1990) sulla base di misure di campo, valutazioni empiriche ed analisi di laboratorio eseguite da diversi ricercatori nei due decenni precedenti (Rosati, 1990).

Il successo di questo tipo di opere è stato molto evidente in tutta Europa e in America settentrionale (Lamberti et al., 2005); (Anfuso et al., 2011); (Dolphin et al., 2012); (Araujo et al., 2014); (Sane et al., 2007); (Hardaway e Gunn, 2010); (Saengsupavanch, 2013).

La stima delle variazioni morfologiche indotte dalle barriere eseguita con metodi empirici è stata superata dalle indagini con gli strumenti di modellistica numerica, talvolta tarati sui risultati di modelli fisici tridimensionali con fondo mobile.

La modellistica fisica e numerica ha permesso di chiarire aspetti difficilmente analizzabili con studi di campo, come le modifiche locali ai fondali, che si verificano durante una mareggiata ad esempio in corrispondenza dei varchi o alle estremità di una barriera parallela.

E' stato evidenziato che il sistema di circolazione indotto da uno stato di mare che si propaga con creste parallele a costa, origina due vortici simmetrici rispetto all'asse della barriera, che spiegano bene le osservazioni sulla formazione dei salienti e dei tomboli descritti e previsti con gli schemi empirici più vecchi.

Nel caso di onde oblique in determinate condizioni, si forma un solo vortice che crea un'escavazione locale sul bordo sottoflutto della barriera (Karambas, 2012), (Figura 2).

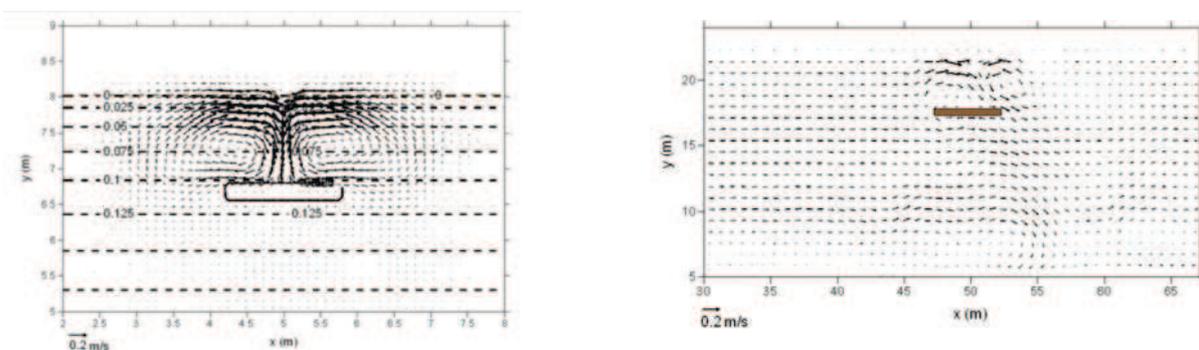


Figura 2. Sistema di circolazione indotto da uno stato di mare che si propaga a costa e formazione di vortici (Karambas, 2012).

L'effetto combinato di correnti e azioni del moto ondoso indotte dai fenomeni di riflessione, diffrazione ed azione delle onde frangenti sulle opere, inducono erosioni in prossimità di estremità o varchi di opere di difesa (*near field erosion*) o più lontane anche lungo i paramenti lato terra e lato mare (*far field erosion*). Gli approfondimenti dei fondali prevedibili con relazioni semi-empiriche, in prossimità delle estremità di opere, sono di grande importanza poiché generano situazioni di pericolo per i bagnanti, mentre gli abbassamenti più lontani lo sono di meno a causa dell'elevata pendenza dei bordi, che nel primo caso è molto maggiore. La nuova forma del fondo è, nel caso reale, talvolta effimera: una mareggiata con inclinazione diversa può riportare il fondo in condizioni diverse e solo con un rilievo molto tempestivo o con sistemi di monitoraggio continuo si possono evidenziare le modifiche previste dai modelli fisici o numerici che fanno generalmente riferimento a condizioni stazionarie. Questo aspetto è fonte di potenziali situazioni di pericolo: approfondimenti localizzati si formano durante una mareggiata e rimangono fino a quando una seconda mareggiata con caratteristiche diverse riequilibra il fondo o sposta le zone approfondite in un'altra zona. L'approfondimento improvviso, sebbene localizzato, può determinare situazioni critiche quando il fondale passa ad esempio da 2 m (relativamente) sicuro ai 3 m, sicuro solo per i nuotatori.

Gli studi sintetizzati in Aminti et al., (2005) evidenziano che in un sistema di barriere, sia emerse ma anche sommerse, in corrispondenza delle estremità si formano approfondimenti dell'ordine del metro ad una distanza dell'ordine di 20 m dall'asse della struttura e di lunghezza di qualche decina di metri misurata parallelamente all'asse della barriera. Gli studi e le informazioni empiriche hanno fornito negli anni '90 i parametri utili per la progettazione di sistemi di difesa che permettessero di stabilizzare la linea di costa con forme di salienti o tomboli anche per rendere le spiagge maggiormente fruibili per usi turistici; con lo sviluppo delle conoscenze e con l'utilizzo della modellistica numerica è ora possibile prevedere, per i diversi stati di mare, il campo di correnti generate dall'interazione con le barriere.

Note le condizioni di moto ondoso più frequente è possibile quindi prevedere la presenza di approfondimenti dei fondali in prossimità delle estremità e dei varchi fra le barriere, rendendo possibile l'identificazione delle zone e delle condizioni di mare che possono comportare la formazione di una corrente in grado di trascinare un bagnante verso una zona di acque profonde.

Barriere sommerse e sistemi di barriere emerse ma tracimabili

I sistemi di barriere parallele provocano il frangimento delle onde e la riduzione della velocità delle correnti indotte dalle onde nel tratto protetto, tuttavia l'intensità delle correnti risulta incrementata all'esterno delle barriere dove si hanno forti fenomeni di turbolenza indotti dalle onde frangenti e riflesse. Conseguentemente, risulta aumentata la capacità di trasporto nella fascia prossima alle scogliere ed in tempi lunghi si ha un approfondimento dei fondali.

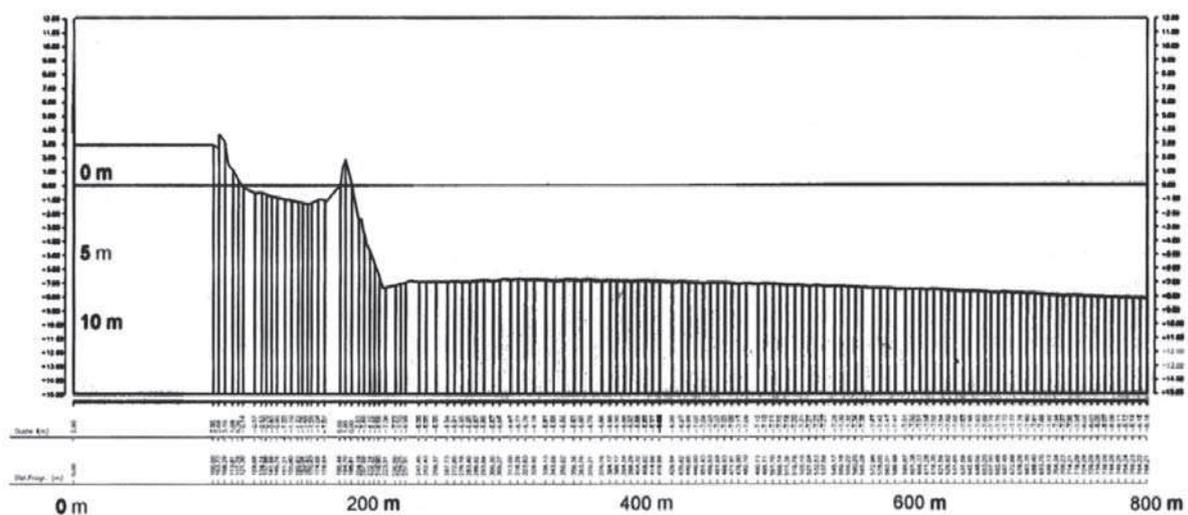


Figura 3. Profilo del fondale antistante le barriere parallele emerse che proteggono un tratto del litorale di Marina di Pisa.

In Figura 3, è riportato un esempio di variazione a lungo termine dei fondali antistanti le barriere a difesa di Marina di Pisa dove risulta evidente un fondale sostanzialmente piano alla profondità di 6 m al largo di barriere dove la profondità nella zona protetta non raggiunge mai i 2 m. Questi forti gradienti di profondità in spazi limitati possono creare situazioni di pericolo per nuotatori poco esperti che attraversando un varco fra due scogliere vengono a trovarsi in acque molto più profonde di quelle della zona protetta.

Negli ultimi decenni sono state realizzate numerose difese con barriere sommerse facendo tesoro degli interventi più estesi e studiati di Ostia e Pellestrina.

In Toscana l'intervento più rilevante è quello realizzato nel Golfo di Follonica, dove il sistema di barriere parallele è stato sostituito con una unica barriera sommersa lunga 5.5 km (Figura 4).



Figura 4. Sistema di barriere parallele emerse a protezione del litorale del Golfo di Follonica (in alto); la barriera sommersa lunga 5.5 km, che ha sostituito il sistema di barriere emerse (in basso).

Gli studi su modelli fisici e numerici hanno evidenziato che l'idrodinamica nell'intorno delle barriere sommerse è governata dal sovrizzo, che si genera nella zona protetta ed è causato dalla massa d'acqua trasportata dalle onde frangenti che passano sopra la scogliera. La massa d'acqua entrata nella zona protetta può uscire sia riattraversando la berma della barriera sia dalle sue estremità.

Se la barriera è molto lunga e sono presenti dei varchi, questi rappresentano delle vie preferenziali di uscita con la presenza di correnti permanenti a velocità elevata.

Il modello concettuale che spiega l'idrodinamica intorno a barriere sommerse, o emerse a cresta bassa oppure non tracimabili ma con struttura permeabile, è sostanzialmente lo stesso: la massa entrante per tracimazione,

oppure attraverso la struttura permeabile della barriera, genera un sovrizzo che sostiene le correnti in uscita. In particolare, nel caso di barriere permeabili sottoposte ad un attacco ondoso di modesta altezza, in relazione al quale non si verificano tracimazioni, si determina sul paramento lato mare uno stato di sovrappressione dovuto al set-up ed alla spinta idrodinamica. Questa sovrappressione genera un flusso attraverso la struttura fino a quando il livello interno s'innalza in modo tale da produrre una spinta idrostatica sul paramento lato terra uguale e contraria alla spinta totale (idrostatica ed idrodinamica) presente sul paramento esterno (Figura 5).

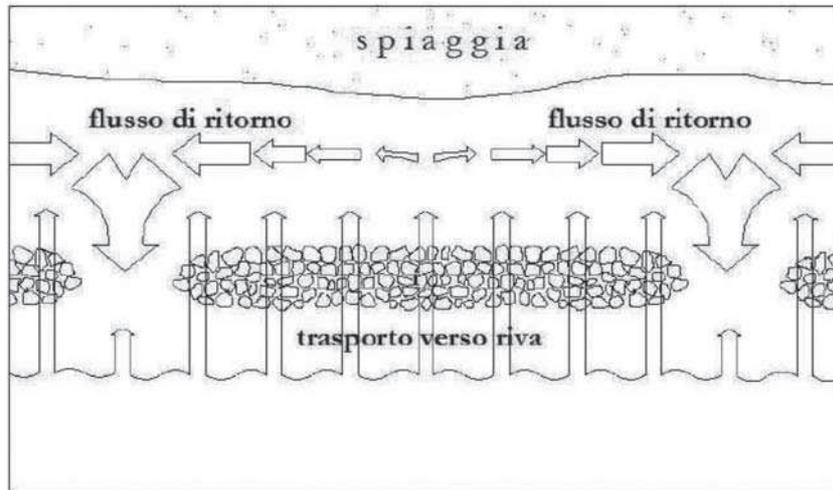


Figura 5. Schema dell'interazione onde-struttura in corrispondenza di una scogliera a cresta bassa.

Questo sovrizzo del livello nella zona protetta genera un flusso in uscita in corrispondenza dei varchi con una portata media equivalente alla portata entrante per filtrazione attraverso la barriera; un flusso in uscita governato dallo stesso sovrizzo si genera con direzione parallela alla riva, in corrispondenza della sezione terminale del sistema di barriera o di una lunga barriera sommersa senza varchi.

Ai fini della pericolosità per i bagnanti possono verificarsi situazioni molto insidiose dato che, nella zona protetta il moto ondoso è praticamente assente, e per un bagnante è impossibile vedere le onde che frangono sul paramento esterno della scogliera; quindi in assenza di tracimazioni, è difficile avere una informazione sulle reali condizioni di agitazione del mare.

Se i varchi sono particolarmente stretti le velocità locali possono essere elevate tali da trascinare all'esterno delle difese anche un nuotatore molto esperto che viene a trovarsi nelle stesse condizioni di trascinamento da parte di una *rip-current* in ambiente naturale.

Alcune barriere parallele sono molto lunghe ed un ipotetico bagnante trascinato all'esterno della barriera si potrebbe trovare nella situazione di non poter rientrare attraverso i varchi per la forte velocità in uscita e potrebbe non riuscire a spostarsi parallelamente a riva fino al termine del sistema di difesa. In questa situazione è essenziale la presenza di mezzi di soccorso.

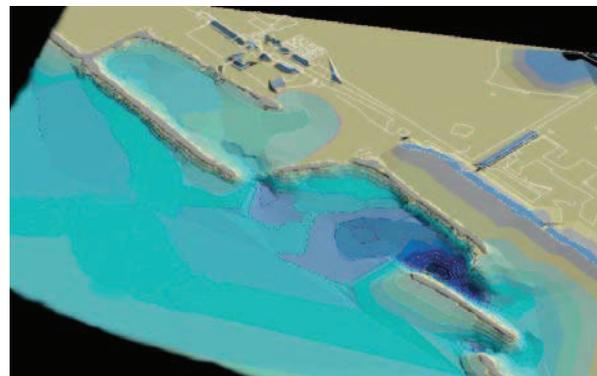
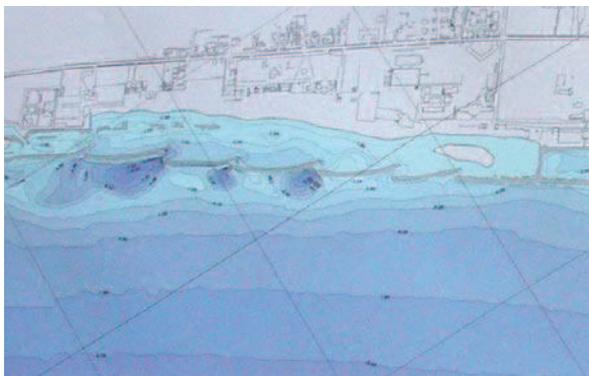


Figura 6. Approfondimento dei fondali in corrispondenza di varchi su barriere parallele.

In fase di progetto per una maggior sicurezza dei bagnanti sarebbe opportuno prevedere dei varchi di larghezza adeguata a permettere l'uscita con velocità non troppo elevate della portata in entrata.

A lungo termine la morfologia dei fondali assume configurazioni in genere abbastanza stabili caratterizzate dalla presenza di buche anche molto profonde in corrispondenza dei varchi (Figura 6). Interviste condotte recentemente hanno evidenziato che solo una minima parte dei turisti che frequentano le spiagge sono a conoscenza dell'esistenza di barriere sommerse utilizzate per la difesa della costa, e quindi vengono ignorati i potenziali pericoli di queste opere (GNRAC n. 25, 2017).

Pennelli

Le scogliere ortogonali alla linea di costa hanno lo scopo di interagire con le correnti litoranee ed intercettare il trasporto dei sedimenti lungo costa. Tali opere di protezione comportano, a lungo termine, una forma della linea di riva modificata rispetto a quella iniziale.

Secondo una recente indagine (Simeoni et al., 2017) queste opere sono percepite dai turisti che frequentano le spiagge come opere a basso impatto sul paesaggio costiero, insieme alle barriere sommerse (Figura 7).



Figura 7. Esempi di pennelli e modifiche indotte a lungo termine, sulla linea di riva.

Rilievi batimetrici di dettaglio condotti con strumentazione *multi beams* ad alta risoluzione permettono di evidenziare la diversa pendenza dei fondali sul lato sopraflutto e sottoflutto dei pennelli; ad una diversa posizione della linea di riva sui due lati corrisponde anche una diversa pendenza.

Sul lato sopraflutto dove si ha deposito le pendenze sono dell'ordine di 1/50 –1/100, sul lato sottoflutto possono essere dieci volte più alte.

I modelli numerici evidenziano le modifiche indotte alle correnti litoranee dovute alla presenza di pennelli isolati o equi spaziatati per proteggere tratti più estesi di costa (Bolzano et al., 2005).

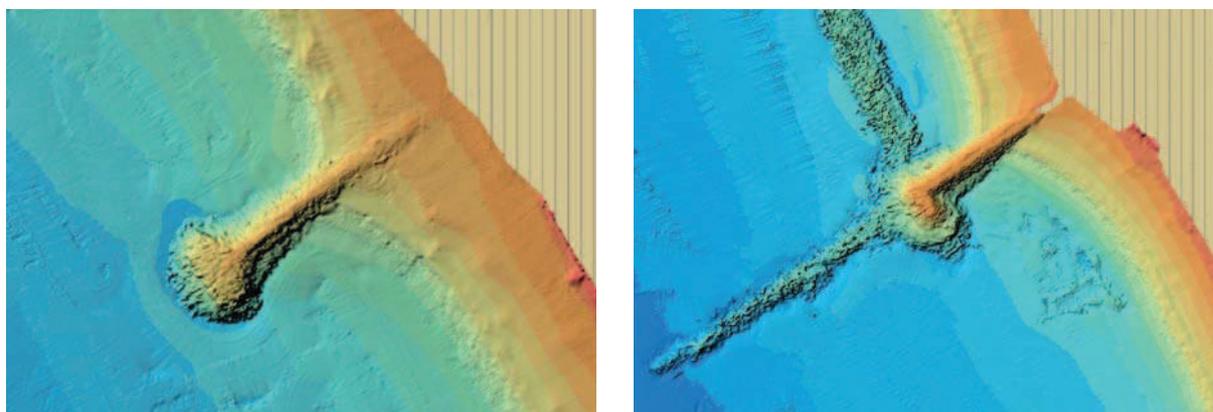


Figura 8. Rilievi che mostrano le erosioni localizzate del fondo intorno a pennelli emersi (sinistra) e pennelli emersi con un prolungamento sommerso (destra).

Le correnti parallele a costa vengono deviate lungo il paramento sopraflutto del pennello e in corrispondenza della testata si ha una concentrazione di velocità che provoca, a lungo termine anche modifiche ai fondali. Per la protezione di ripascimenti artificiali o per motivi di impatto ambientale i pennelli sono costruiti talvolta con un tratto sommerso ed in questo caso sia i gradienti di velocità sia le modifiche del fondo sono minori. In Figura 8, sono riportati i rilievi dove sono evidenziate le variazioni del fondale intorno a pennelli. I rilievi mostrano che le erosioni localizzate del fondo sono localizzate in corrispondenza delle testate dove si verificano aumenti di velocità locali delle correnti che aggirano la testata. In presenza di pennelli emersi con un prolungamento sommerso, le correnti che aggirano la parte emersa vengono deviate verso l'alto per superare la parte sommersa ed i fenomeni erosivi sono molto meno intensi, ma i fondali sottoflutto hanno in generale profondità maggior di quelli sopraflutto. Per ridurre gli effetti dei pennelli sulla linea di costa indotti dagli accumuli sul lato sopraflutto vengono utilizzati pennelli interamente sommersi o con tratti emersi molto limitati. In questi casi se le opere hanno la sommità poco sotto il livello del mare, deviano le correnti litoranee e si hanno modifiche relativamente modeste sui fondali.

In Figura 9 è riportato un esempio di modifiche dei fondali osservate dopo la costruzione di un pennello in geocontenitori riempiti di sabbia. Si può osservare che dopo una fase iniziale in cui sono presenti intorno al setto sommerso accumuli fino ad oltre 2 m, a distanza di oltre un anno si sono formati approfondimenti localizzati all'esterno della testata come accade frequentemente per i pennelli emersi.

Si può osservare che dopo una fase iniziale in cui sono presenti intorno al setto sommerso accumuli fino ad oltre 2 m, a distanza di oltre un anno si sono formati approfondimenti localizzati all'esterno della testata come accade frequentemente per i pennelli emersi.

La pericolosità di queste opere è comunque relativamente bassa dato che la perturbazione al campo di corrente, che lungo il paramento evidenzia valori elevati, ha in generale una estensione molto limitata così

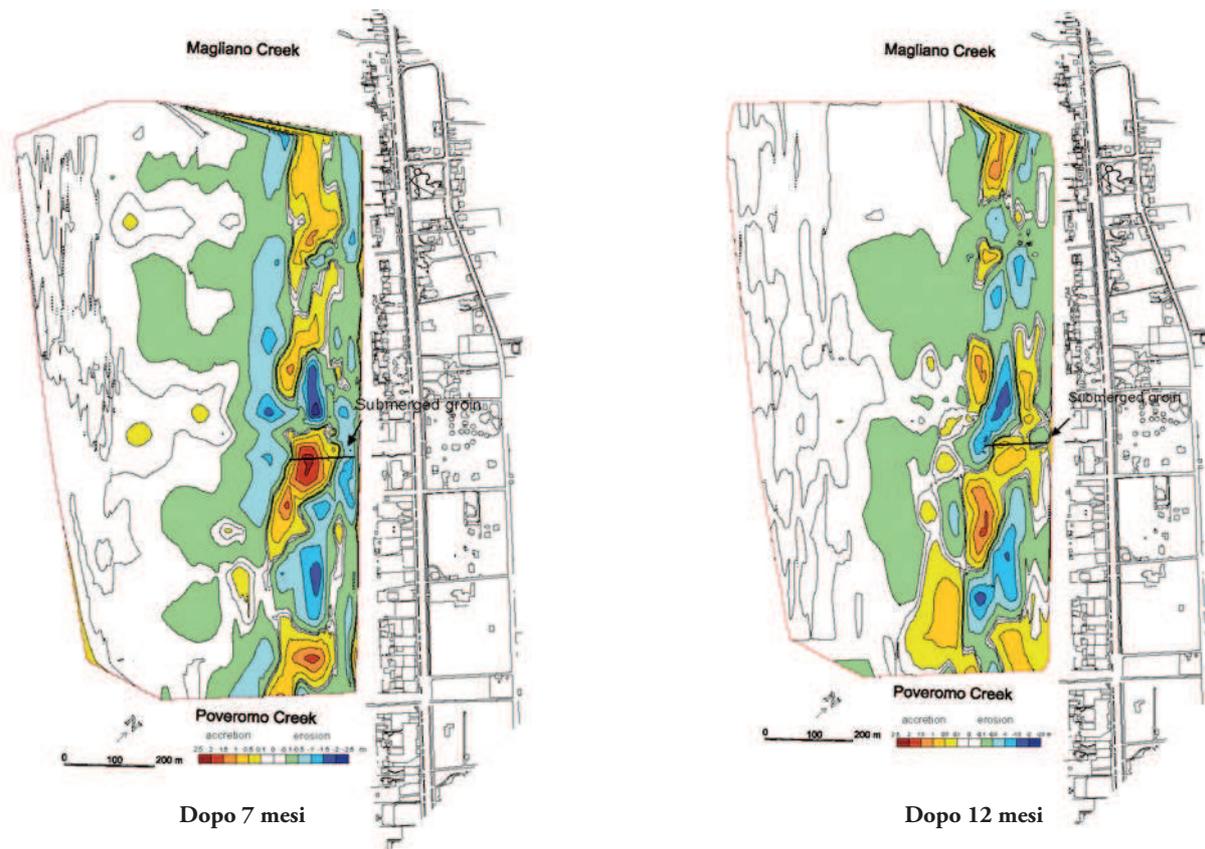


Figura 9. Modifica del fondale rilevata a seguito della costruzione di un pennello in geocontenitori riempito di sabbia, dopo 7 mesi dalla messa in opera (sinistra) e dopo un anno (destra). Da Aminti et al., 2004.

come le perturbazioni sui fondali, a distanza dell'ordine di qualche decina di metri dal pennello, si riportano a valori paragonabili alle irregolarità di un fondale sabbioso con la presenza di barre.

I pennelli sono spesso percepiti come dei punti privilegiati di accesso al mare non solo per la balneazione, ma anche come punto di osservazione e di sosta ed in molti casi sono progettati per una facile accessibilità posizionando massi superficiali piatti e ben accostati o con percorso centrale realizzato con solette in calcestruzzo. In questo caso si possono creare situazioni di pericolo di caduta in mare quando un'onda della mareggiata sormonta la sommità del pennello. Il rischio di trascinamento di una persona a piedi ad opera di onde che sormontano opere marittime è stato studiato nell'ambito del sormonto di opere difesa di porti o difese radenti analizzando i fenomeni di over-topping, quindi in presenza di getti d'acqua che cadono dopo aver superato un muro paraonde.

Ricerche svolte recentemente per valutare la stabilità di persone investite da una corrente indotta da un'esonazione fluviale, possono fornire importanti indicazioni sulla stabilità di una persona che si trova su pennello investito da un'onda.

Analisi sperimentali hanno portato alla definizione di una correlazione fra l'altezza della lama d'acqua che investe una persona in piedi e la velocità della corrente che ne provoca la caduta. Arrighi et al. (2019) hanno proposto la condizione limite per la stabilità, mediante la relazione determinata sperimentalmente dalla curva riportata in Figura 10, dove H è l'altezza della lama d'acqua che investe una persona in piedi di altezza H_p , Fr è il numero di Froude, $V/(gH)^{0.5}$ dove V è la velocità della corrente, che in prima approssimazione a bassa profondità può essere stimata come la celerità d'onda che investe la barriera.

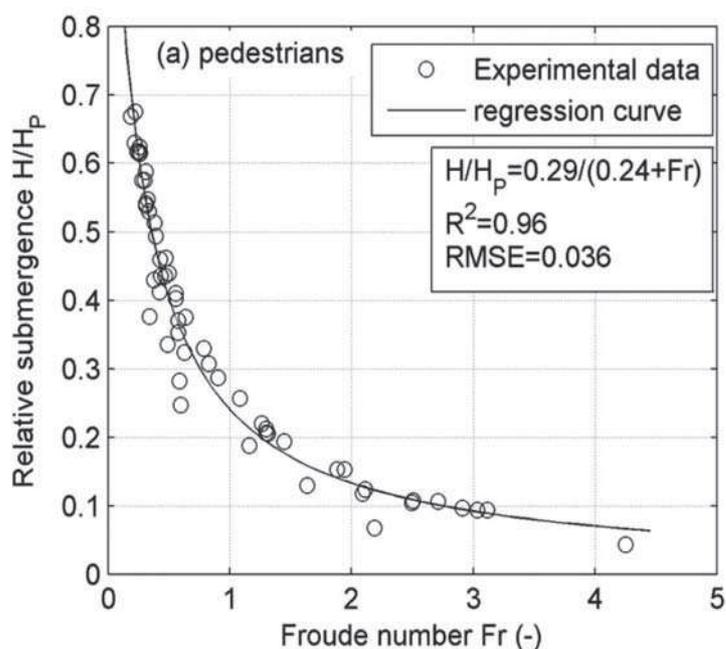


Figura 10. Condizione limite per la stabilità, relazione determinata sperimentalmente da Arrighi et al. (2019).

Lo stesso tipo di analisi può essere eseguita per valutare la stabilità di una persona in piedi su una barriera o un pennello con cresta al livello del mare. Ipotizzando che l'opera di difesa sia posizionata ad una profondità di 2-3 m, da questa relazione si può stimare che una lama d'acqua di altezza di soli 20 cm, raggiunta anche solo una volta nel corso della mareggiata, è sufficiente a provocare la caduta di una persona.

Bibliografia

- Aminti P., Cammelli C., Cappiotti L., Jackson N.L., Nordstrom K.F. e Pranzini E., 2004. *Evaluation of Beach Response to Submerged Groin Construction at Marina di Ronchi, Italy, Using Field Data and a Numerical Simulation Model*. Journal of Coastal Research, Vol. 33, 99-120.
- Anfuso G., Pranzini E., Vitale G., 2011. *An integrated approach to coastal erosion problems in northern Tuscany (Italy): littoral morphological evolution and cell distribution*. Geomorphology, 129: 204-214.

- Araujo M.A.V.C., Di Bona S., Trigo-Teixeira A., 2014. *Impact of detached breakwaters on shoreline evolution: a case study on the Portuguese West Coast*. Journal of Coastal Research: Special Issue 70 - Proceedings of the 13th International Coastal Symposium: pp. 41 – 46.
- Arrighi C., Pregolato M., Dawson R. J., Castelli, F., 2019. *Preparedness against mobility disruption by floods*. Science of the Total Environment, 654: 1010-1022.
- Bolzano A., Cappiotti L., Soldini L., Zanuttig B., 2005. *Modellazione numerica della circolazione attorno ad opere trascinabili*. Studi costieri, 9: 119-157.
- Delos, 2004. *Design Guidelines: Environmental design of Low Crested Defense Structure*. Buechart, H. Lamberti, A. Eds. Pitagora Editrice. Bologna. 200 pp.
- Dolphin T.J., Vincent C.E., Bacon J.C., Dumont E., Terentjeva A., 2012. *Decadal-scale impacts of a segmented, shore-parallel breakwater system*. Coastal Engineering, 66: 24-34.
- Hardaway C.S. e Gunn J.R., 2010. *Design and performance of headland bays in Chesapeake Bay, USA*. Coastal Engineering, 57: 203-212.
- Karambas T. V., 2012. *Design of detached breakwater for Coastal Protection: Development and Application of an Advanced Numerical Model*. International Conference on Coastal Engineering (ICCE 2012), Santander, Spain, July 1-6. pp. 1-15.
- Lamberti A., Archetti R., Kramer M., Paphitis D., Mosso C., Di Risio M., 2005. *European experience of low crested structures for coastal management*. Coastal Engineering, 52: 841-866.
- Rosati J.D., 1990. *Functional design of breakwater for shore protection: empirical methods*. Coastal Engineering Research Center, CERC Technical Report. 47 pp.
- Saengsupavanch C., 2013. *Detached breakwaters: communities' preference for sustainable protection*. Journal of Environmental Management, 115: 106-113.
- Sane M., Yamagishi H., Tatelshi M., Yamagishi T., 2007. *Environmental impacts of shore-parallel breakwaters along Nagahama and Ohgata, District of Joetsu, Japan*. Journal of Environmental Management, 82: 399-409.
- Simeoni U., Corbau C., Rodella I., 2017. *La percezione dell'offerta turistico-balneare in Italia: aspettative, soddisfazione e conoscenze degli aspetti fisico-gestionali delle spiagge*. Studi costieri, 25: 5-24.
- GNRAC, 2005. *Dinamica e difesa dei litorali – Gestione integrata della fascia costiera. Idrodinamica e morfodinamica di spiagge protette da opere trascinabili*. Studi costieri, 9: 192 pp.
- GNRAC, 2017. *Dinamica e difesa dei litorali – Gestione integrata della fascia costiera. Il turista e il suo giudizio sulle spiagge italiane*. Studi costieri, 25: 144 pp.
- Sumer, M. e Fredsøe, J., 2000. *Experimental study of 2D scour and its protection at a rubble-mound breakwater*, Coastal Engineering, 40: 59-87.
- Sumer M., Fredsøe J., Dixen M., Lamberti A., 2004. *Local scour and erosion around low crested coastal defence structures*, Coastal Engineering, DELOS Special Issue, 52: 10-11.
- Sumer M., Fredsøe J., Zanuttigh B., Lamberti A., Gislason K., Dixen M., Di Penta A., 2005. *Local scour and erosion around low crested coastal defence structures*, Coastal Engineering, 52: 995-1025.
- Whitehouse R. e Damgaard J., 2000. *Assessing bed stability at coastal structures with external turbulence*. 27th International Conference on Coastal Engineering (ICCE). Sydney. pp. 3008-3020.

Ricevuto il 02/06/2019

Accettato il 10/07/2019

La simulazione numerica della circolazione costiera: uno strumento a supporto anche delle attività di salvamento

Lorenzo Cappietti^{1,2}

¹Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università degli Studi di Firenze
Via di Santa Marta 3 - 50139 Firenze.

²GNRAC - Gruppo Nazionale per la Ricerca sull'Ambiente Costiero
Email: lorenzo.cappietti@unifi.it

Riassunto

In questo articolo viene descritta la tecnica detta simulazione numerica, inquadrandola nel contesto specifico della circolazione costiera. In particolare, viene trattato il caso delle correnti indotte dal moto ondoso che, formatosi per effetto dei venti in mare, si propaga verso costa e poi frange innescando così un complesso sistema di circolazione. Dapprima sono messi in evidenza alcuni dei principali aspetti caratterizzanti la fenomenologia del sistema naturale in esame. Successivamente si introducono alcune generalità del metodo per poi descrivere alcuni specifici approcci e discutere i principali limiti e potenzialità. Questa parte si conclude con l'indicazione e la motivazione dell'approccio ritenuto più opportuno, ad oggi, nella prospettiva di applicare la simulazione numerica anche ai fini dell'arricchimento delle conoscenze e la formazione nel campo del salvamento. Infine, a titolo di esempio delle potenzialità del metodo, questo specifico approccio è applicato al caso della circolazione costiera che nasce dall'interazione tra il moto ondoso e un pennello sommerso, i.e. una struttura per la protezione dei litorali. Viene descritto lo studio parametrico al variare della geometria dell'opera e del moto ondoso incidente e i risultati numerici sono analizzati evidenziando alcune caratteristiche del campo di onda e di corrente. L'accento viene dato agli aspetti di maggiore interesse per il salvamento quali e.g. l'inattesa concentrazione dell'energia del moto ondoso e forti correnti locali che possono costituire seri pericoli per bagnanti e nuove sfide per gli assistenti al salvamento.

Parole chiave: Circolazione Costiera, Simulazione Numerica, Pennelli Sommersi, Salvamento

Abstract

This article presents an introduction to the studying methodology known as numerical simulation, framing it in the specific context of coastal circulation. In particular, the case of wave-induced coastal circulation is described. First, some of the main aspects characterizing the phenomenology of this natural system are highlighted, in order to facilitate the understanding of the contents given in the rest of the article. Subsequently, some generalities of the numerical simulation method are introduced and afterward the description of various specific approaches for the case of coastal circulation, is given. The specific approach here considered the more opportune, to date, for supporting the enrichment of knowledge and training in the field of salvation, is highlighted. Finally, as an example of the potential of the method, this specific approach is used for studying the coastal circulation arising from the interaction between wave and a submerged groin, i.e. a coastal protection structure. A parametric study is described, and the numerical data are analysed in order to highlight the wave and current field. The accent is given to the phenomena of greatest interest for salvation, such as e.g. the unexpected concentration of wave energy and strong local currents that can constitute serious dangers for bathers and new challenges for lifeguards

Keywords: Numerical Simulation, Coastal Circulation, Submerged Groins, Lifeguards

Introduzione

L'ambiente costiero, come altri ambienti, è soggetto agli effetti della pressione antropica che va aumentando anche come conseguenza dell'importante crescita demografica mondiale. In particolare, la densità di persone, di strutture abitative o produttive, di infrastrutture fisiche di comunicazione o a servizio di scambi commerciali, è superiore a quella di qualsiasi altro ambiente naturale. Per non compromettere irrimediabilmente questo ambiente non c'è altra alternativa che aumentare le conoscenze delle dinamiche naturali e della loro interazione con l'attività e le opere dell'uomo. La missione del Gruppo Nazionale per la Ricerca sull'Ambiente Costiero (GNRAC) è quella di contribuire al progresso delle conoscenze, anche per supportare la necessaria crescita nel quadro di una sostenibilità ambientale. Il principale elemento al centro dell'azione del GNRAC è quindi l'ambiente costiero. D'altra parte, a volte è necessario mettere al centro l'uomo e focalizzare sull'obiettivo di limitare al massimo i rischi per la vita umana correlati all'interazione con ambienti o fenomeni naturali. Nel caso specifico dell'ambiente marino costiero, uno dei rischi più evidenti è quello dell'annegamento. Complice anche il boom turistico che si concentra sulle coste, soprattutto nei mesi estivi, il numero di annegamenti in Italia ammonta a diverse centinaia ogni anno. La principale missione della Società Nazionale di Salvamento (SNS) è quella di lavorare per la sicurezza della vita sul mare.

Il GNRAC e la SNS hanno quindi in comune il fatto di concentrare la propria azione su tematiche connesse all'interazione tra l'ambiente marino costiero e l'uomo ma poi focalizzano i propri sforzi, principalmente, sui due aspetti complementari seguenti: i) le dinamiche dell'ambiente marino costiero naturale e quelle dovute all'interazione con le opere dell'uomo; ii) le dinamiche dell'uomo e i pericoli per la sicurezza della vita sul mare. Mettere a sistema entrambi gli sforzi e valorizzare le sinergie che possono emergere dalle citate complementarità tra le due associazioni può determinare una importante accelerazione delle conoscenze specifiche e quindi sostenere efficacemente il raggiungimento di obiettivi nazionali strategici.

In questo quadro, ormai da alcuni anni è nata una efficace collaborazione tra GNRAC e SNS che ha portato all'organizzazione di eventi formativi, giornate di studio, convegni e più recentemente a supportare il Ministero della Salute nell'ambito della compartecipazione all'Osservatorio Nazionale sull'Annegamento.

Questo breve articolo ha l'obiettivo di illustrare la visione di una prospettiva per fare un successivo passo in avanti nel mettere a sistema le rispettive conoscenze e competenze.

La circolazione costiera è uno degli aspetti che giocano un ruolo fondamentale sia per la dinamica dei litorali che per i rischi inerenti alla sicurezza della vita in mare. Il sistema è caratterizzato dalla contemporanea presenza di moti ondosi e correnti e molto frequentemente da fondali sabbiosi che possono cambiare la propria forma anche nel breve lasso di tempo di poche ore. Inoltre, non è rara la presenza delle opere dell'uomo come quelle finalizzate alla protezione dei litorali o alla protezione dalle inondazioni e queste determinano la formazione di circolazioni costiere con specifiche peculiarità. Dal punto di vista del GNRAC le opere sono funzionali alla gestione dei litorali, ma è evidente che, alterando la circolazione costiera, queste hanno anche un impatto nella sicurezza dei bagnanti. È quindi necessario, già nelle fasi di progettazione delle opere, includere anche il tema della sicurezza dei bagnanti e valutare i relativi impatti causati dalla loro costruzione. Dal punto di vista della SNS per garantire la sicurezza dei bagnanti non è sufficiente conoscere solo la circolazione di base in coste naturali perché è fondamentale anche la conoscenza delle peculiarità che si determinano in presenza di opere litoranee. Per attuare le missioni del GNRAC e della SNS è fondamentale conoscere al meglio tutte le specificità della circolazione costiera in coste naturali o antropizzate. Questa conoscenza può essere acquisita in vari modi, per esempio, tramite esperienze fondate sull'osservazione visiva dei fenomeni direttamente sul campo, ma in questo caso si è limitati dal livello di capacità di percezione dei nostri sensi. Per superare questo limite, oggi è possibile ampliare i nostri sensi e quindi acquisire molte più informazioni su cui basare l'elaborazione concettuale-teorica che crea la conoscenza, per mezzo di ulteriori strumenti come: il monitoraggio di campo con sensori di misura, la modellazione fisica di laboratorio e la modellazione numerica.

L'oggetto di questo breve articolo è la modellazione numerica della circolazione costiera. Il tema è trattato deliberatamente senza nessuna enfasi tecnico-scientifica ed al solo fine di illustrare, con taglio divulgativo, alcune potenzialità dello strumento ad un lettore che non ha conoscenze specifiche. Nella prima sezione sono descritti, solo qualitativamente, alcuni aspetti della circolazione in coste naturali al fine di favorire la comprensione della specifica metodologia di simulazione numerica utilizzata per questo lavoro. Nella seconda sezione viene spiegato cosa si intende per simulazione numerica, con lo scopo di far emergere le numerose

varianti possibili e quindi la necessità di saper scegliere l'approccio più idoneo per affrontare i problemi in esame. Nella terza sezione si discute un esempio applicativo al caso dei pennelli sommersi cercando di mettere in luce, tramite l'analisi dei dati numerici, l'utilità del metodo per evidenziare la formazione di particolari fenomeni idrodinamici potenzialmente pericolosi per i bagnanti. Le osservazioni conclusive e possibili sviluppi delle sinergie tra GNRAC e SNS sono riportate alla fine di questo lavoro.

Fenomenologia della Circolazione Costiera

La circolazione costiera, come quella marina in generale è dovuta a molteplici forze naturali che agiscono su ampi spazi come, per esempio, la marea astronomica, le variazioni bariche, le variazioni termiche o l'azione diretta del vento. In particolare, l'azione del vento oltre a determinare il trascinarsi della massa d'acqua prevalentemente superficiale crea anche il moto ondoso che poi si propaga verso le coste. Giunto a costa, il moto ondoso è il motore principale che attiva una complessa circolazione costiera in cui grandi masse di acqua si muovono e per questo nel presente lavoro ci si limita a prendere in esame solo questa forzante naturale. Osservando il fenomeno fissando lo sguardo su un dato punto del mare, si riconosce che questo è caratterizzato dal susseguirsi di onde con differente altezza e che tra un'onda e l'altra intercorre un periodo di tempo variabile. Alzando lo sguardo, dal punto in esame all'area nel suo intorno, si riconosce anche che la distanza tra una cresta d'onda e l'altra, detta lunghezza d'onda, è variabile e che lo stesso allineamento delle creste, che riflette la direzione di propagazione, non è sempre lo stesso. In estrema sintesi, i principali parametri caratteristici attraverso i quali è possibile descrivere il moto ondoso sono l'altezza, il periodo, la lunghezza d'onda e la direzione di propagazione e durante lo svolgersi del fenomeno la misura di ciascun parametro non è uguale di onda in onda bensì varia in modo irregolare. In altri termini, non è possibile descrivere compiutamente il fenomeno per mezzo di un solo valore di altezza, di periodo, di lunghezza e direzione ma occorre trattare tutto lo spettro di variazione di ogni parametro caratteristico.

Al largo, in acque profonde, il moto ondoso in superficie fa compiere un percorso orbitale alle particelle di acqua sottostanti che ruotano intorno ad una posizione sostanzialmente fissa, senza spostarsi verso riva. Quindi, quando diciamo che il moto ondoso, formato in un certo istante al largo di un paraggio, si propaga verso costa e arriva dopo alcune ore, stiamo dicendo che è proprio questa capacità di mettere in agitazione le particelle di acqua che si propaga verso costa (non la massa di acqua). In altre parole, si propaga l'energia del moto ondoso.

Durante la propagazione dal largo a costa il moto ondoso attraversa fondali a profondità decrescente e l'osservazione del mare mostra che le creste delle onde tendono a ruotare verso la direzione parallela alla linea di riva (fenomeno detto rifrazione), la distanza tra le creste diminuisce, l'altezza delle onde aumenta (fenomeno detto *shoaling*). Il processo di accorciamento della lunghezza d'onda concomitante con l'aumento dell'altezza d'onda porta alla formazione di fronte di avanzamento via via sempre più ripido, fino a che la cresta dell'onda si rompe (fenomeno detto frangimento) dislocando una certa massa di acqua davanti alla porzione rimanente di onda. Ogni onda prosegue il suo cammino verso costa e trascina con sé la relativa massa d'acqua che fluisce, persistentemente di onda in onda, dalla zona dei frangenti alla fascia costiera.

L'esperienza mostra che questo flusso di massa (detto *mass-transport*) si concentra prevalentemente nella porzione di profondità compresa tra il cavo e la cresta di ogni onda. Se nella zona dei frangenti i fronti d'onda hanno una direzione marcatamente inclinata rispetto alla linea di riva, questo flusso di acqua s'incanala prevalentemente in direzione parallela alla costa e forma la così detta corrente litoranea, che risulta delimitata tra la zona dei frangenti e la costa stessa. Viceversa, quando i fronti d'onda frangenti sono prevalentemente paralleli alla linea di riva la maggior parte del flusso di acqua spinto dal moto ondoso frangente ritorna al largo attraverso la formazione di una corrente (detta *undertow*) che scorre tra il fondale e il *mass-transport* concentrato sulla fascia più superficiale. In pratica, i tre sistemi di circolazione: *mass-transport*, corrente litoranea e *undertow* sono contemporaneamente sempre presenti e l'intensità relativa degli ultimi due è variabile in funzione della direzione del moto ondoso al frangimento.

Nel caso delle coste sabbiose, l'azione persistente del moto ondoso e della circolazione costiera sui granelli di sabbia dà luogo ad una morfodinamica della spiaggia emersa e sommersa che evolve verso una nuova configurazione più stabile per quella data azione del mare.

In estrema sintesi e senza alcuna presunzione di completezza, ci si limita ad osservare che sotto certi rapporti tra l'intensità del moto ondoso e la capacità di resistenza della sabbia ad essere trascinata via, la morfodina-

mica è prevalentemente caratterizzata dal moto dei sedimenti in direzione litoranea e verso riva in condizioni dette “estive” o verso il largo in condizioni dette “invernali”. Nel caso invernale, i sedimenti si muovono verso il largo trascinati dall’*undertow* fino ad una profondità oltre la quale questa corrente non è più così forte da poterli mantenere in sospensione e la loro sedimentazione forma un locale accumulo di sabbia detto barra. La barra può essere quindi più o meno distante da riva, in funzione del moto ondoso che l’ha determinata e si sviluppa prevalentemente in direzione litoranea. Naturalmente, la barra non è perfettamente cilindrica e continua, ma presenta varie irregolarità tra le quali quella di essere spezzata in vari punti, detti trogoli. Il sistema di barre e trogoli determina una resistenza differenziata al fluire della corrente di *undertow*, minore attraverso i trogoli e maggiore attraverso la barra. Come risultato, questa corrente si concentra attraverso i trogoli aumentando di intensità e attivando un nuovo processo morfodinamico che scava una sorta di canale sempre più profondo verso una nuova configurazione di equilibrio. In questo caso la corrente può diventare talmente intensa da impedire al moto ondoso di propagarsi verso riva, ed essere diretta verso il largo su tutta la profondità d’acqua, dal fondale alla superficie del mare.

Nel caso in cui nella fascia costiera siano presenti strutture, naturali o artificiali, queste interagiscono con il moto ondoso e nascono ulteriori fenomeni oltre e quelli già descritti. Sempre per mezzo della sola osservazione è evidente che dietro una struttura di una certa lunghezza, posta nel mare e investita dal moto ondoso si crea comunque una certa agitazione anche là dove le onde non possono propagarsi direttamente. Il fenomeno per mezzo del quale si attua questo trasferimento di energia dietro un ostacolo, attraverso le sue estremità e verso aree che possono essere raggiunte solo qualora l’energia si propaghi in direzione differente da quella principale del moto ondoso incidente, è detto diffrazione. Inoltre, quella parte del moto ondoso che s’imbatte sulla struttura impermeabile è riflessa verso la sua componente incidente e questa interazione determina localmente una nuova forma di agitazione ondosa caratterizzata da zone dove le onde possono anche raddoppiare di altezza.

In questa brevissima sintesi della fenologia della circolazione costiera, indotta dal moto ondoso formato dal vento al largo e frangente a costa, sono stati messi in luce solo alcuni dei principali fenomeni quali: l’irregolarità del moto ondoso naturale, la rifrazione, lo *shoaling*, la diffrazione, la riflessione, il frangimento, la diminuzione dell’altezza delle onde fino a scomparire nel moto di salita e discesa sulla battigia (detti rispettivamente *run-up* e *run-down*), e l’attivazione per effetto del *mass-transport*, presente di onda in onda frangente, di un complesso sistema di circolazione caratterizzato dall’*undertow*, eventuali *rip-currents*, la corrente litoranea e alcuni elementi morfodinamica di spiagge sabbiose vista l’interazione con la circolazione. Pur non introducendo ulteriori fenomeni, che caratterizzano principalmente differenti scale spazio-temporali, il sistema osservato appare già molto complesso per poterlo rappresentare compiutamente tramite la così detta simulazione numerica.

Simulazione Numerica

Definire accuratamente cosa è la simulazione numerica non può essere l’obiettivo di questo breve articolo, per questo motivo la seguente trattazione è limitata a mettere in luce solo alcuni aspetti utili per favorire la comprensione nel caso specifico della circolazione costiera. La presentazione di alcuni aspetti generali è ridotta solo a qualche digressione.

In estrema sintesi, per un dato sistema in esame si individuano le quantità fisiche che ci permettono di descriverlo e poi con la simulazione numerica si ottengono, come risultato di un processo di calcolo, i valori di ogni quantità al variare per esempio, della posizione su tutto lo spazio di interesse e del tempo (detti rispettivamente: dominio numerico spaziale e temporale).

Il termine “quantità” indica che possiamo farne una misura e quando la misura di questa quantità varia, per esempio, nello spazio e nel tempo, le incognite che dobbiamo calcolare sono funzioni delle variabili spazio e tempo.

Nel caso della circolazione costiera, le quantità fisiche che si vogliono conoscere possono essere, per esempio: la continua variazione nel tempo e nello spazio del livello del mare, oppure solo i parametri caratteristici (i.e. l’altezza delle onde, il periodo, la lunghezza, la direzione e la celerità di propagazione); la pressione con la quale le onde spingono l’acqua per effetto del frangimento; la velocità dell’acqua, o il livello medio del mare, in ogni punto della fascia costiera e in ogni istante di tempo; il percorso dei corpi trascinati dalle onde e dalle correnti e molto altro ancora.

La simulazione numerica ci permette di conoscere tutte queste quantità su ogni punto della fascia costiera e per ogni istante di tempo, per esempio durante una mareggiata, esattamente come se fossimo immersi in mare e capaci di misurarle tutte, in tutti i punti e in ogni istante! In altre parole, con questo strumento è possibile acquisire talmente tanta informazione sulla circolazione costiera al punto che poi la difficoltà maggiore diventa quella di fare un'analisi dei dati che possa ben illustrare i risultati e supportare efficacemente la soluzione del problema affrontato.

Per raggiungere questo obiettivo, i.e. disporre della simulazione numerica, è necessario prima di tutto partire da un modello teorico formulato in termini di equazioni matematiche. Il sistema di equazioni contiene le grandezze fisiche di interesse e le vincola le une alle altre in linguaggio matematico secondo i dettami delle leggi fisiche fondamentali. In generale, abbiamo a disposizione le leggi di Newton (1642-1726) la cui trascrizione in forma di uno specifico sistema di equazioni matematiche, valido per un fluido come l'acqua, fu sviluppata nel tempo e portata a compimento nel IX secolo. I principali contributi allo sviluppo del sistema di equazioni che utilizziamo oggi furono dati da un ingegnere e matematico francese di nome Claude-Louis Navier (1785-1836) e da un fisico irlandese di nome George Gabriel Stokes (1819-1903) e a loro memoria parliamo di "Navier-Stokes Equations" (nel seguito NSE). Le NSE legano tra loro le forze che agiscono sulle particelle di acqua e gli spostamenti delle particelle stesse (o velocità o accelerazioni). Note le forze che agiscono in mare, la soluzione delle NSE fornisce gli spostamenti delle particelle di acqua o viceversa. Se fossimo in grado di risolvere analiticamente queste equazioni assieme a quelle necessaria per imporre che si rispetti anche la conservazione della massa, le condizioni al contorno e quelle iniziali, allora potremmo conoscere, senza soluzione di continuità nello spazio e nel tempo, tutte le quantità di nostro interesse nella forma di funzioni continue. Purtroppo, tranne che in situazioni estremamente semplificate, nessuno ha mai trovato la soluzione analitica esatta e che valga in generale delle NSE. Per dirla tutta, ancora oggi non si è nemmeno riusciti a dimostrare che questa soluzione esista e sia unica, tanto che nel 2000 un gruppo formato dai migliori matematici del mondo, sotto l'egida del Clay Mathematics Institute of Cambridge, Massachusetts, ha istituito un premio di 1 milione di dollari per chi riuscirà a fornire questa dimostrazione. In sostanza, sono ormai più di 100 anni che generazioni di matematici si stanno cimentando invano con la ricerca della soluzione analitica esatta e generale delle NSE. Tuttavia, pur in assenza di una soluzione analitica, i valori delle quantità fisiche d'interesse presenti in sistemi di equazioni matematiche possono essere calcolati applicando metodi, detti numerici, che permettono di arrivare ad un risultato, accurato entro certe prefissate e accettabili approssimazioni ed entro un numero finito di cicli di calcolo, e questo risultato spesso è quanto basta ad ingegneri e fisici.

Una caratteristica dei metodi numerici è che i valori delle quantità fisiche d'interesse, contenuti nel sistema di equazioni, vengono forniti solo su alcuni punti dello spazio, detti nodi di calcolo, e solo su alcuni istanti di tempo nel periodo di interesse, detti passi di calcolo. La distanza tra i nodi di calcolo e tra gli istanti di tempo, detta risoluzione spaziale e temporale, può essere decisa preliminarmente, e teoricamente possiamo fissarle entrambe piccole a piacere ma il numero di calcoli necessario per arrivare alla soluzione numerica cresce enormemente all'aumentare della risoluzione (i.e. al diminuire della distanza tra i nodi di calcolo e tra gli istanti di tempo). Certamente è possibile svolgere i conti a mano ma non saremmo veloci a sufficienza e impiegheremmo decenni anche per risolvere piccoli problemi di infimo interesse tecnico! Nella metà del XX secolo, l'invenzione del computer ha fornito lo strumento necessario per eseguire velocemente enormi quantità di conti matematici e questa novità ha dato certamente impulso allo sviluppo di metodi numerici sempre più ottimizzati per la soluzione di sistemi di equazioni matematiche. Si potrebbe pensare che generazioni di matematici, ingegneri o fisici frustrati dalla incapacità di arrivare alla soluzione analitica, esatta e generale, delle NSE, abbiano visto nella coppia formata da computer e metodi numerici l'arma in grado di scardinare la porta che ostacola il loro cammino verso il risultato! Di fatto, da allora la quasi totalità degli sforzi degli ingegneri coinvolti nel campo della simulazione numerica dei fluidi, ha riguardato la verifica, l'applicazione e talvolta anche lo sviluppo, di metodi numerici per la soluzione delle NSE.

Più recentemente, il mondo della ricerca ha visto anche lo sviluppo di nuovi approcci che sfruttando la disponibilità di enormi potenze di calcolo simulano la dinamica dei fluidi come risultato del comportamento collettivo di particelle che si muovono e interagiscono tra loro direttamente nel rispetto delle leggi di Newton senza la necessità di formalizzarli prima nella forma delle NSE. L'accento a questo ultimo argomento è dato per completezza di trattazione ma nel resto dell'articolo non viene ulteriormente ripreso e il lettore eventualmente interessato potrà approfondire su altre fonti, e.g. Idelsohn e al. (2017).

Sintetizzando questa breve digressione storica possiamo dire che la triade che comprende:

- 1) un sistema di equazioni che lega tra loro le quantità fisiche di interesse e la loro evoluzione nello spazio e nel tempo imponendo il rispetto di leggi fisiche fondamentali;
- 2) un metodo numerico che permette di calcolare, su ogni nodo del dominio numerico e ad ogni passo del dominio temporale, i valori delle quantità fisiche di interesse presenti nel sistema di equazioni matematiche,
- 3) il calcolatore che, svolgendo i cicli di calcolo necessari al metodo numerico, permette di ottenere in breve tempo tutti i valori delle quantità fisiche;

costituisce l'approccio metodologico alla base della simulazione numerica.

Per condurre entro tempi accettabili le simulazioni numeriche della dinamica dei fluidi basate sulle NSE, la potenza di calcolo delle tecnologie e architetture più avanzate di computer odierni è in grado di studiare solo i problemi in domini spaziali e temporali relativamente piccoli, rispetto alle grandezze caratteristiche del sistema in esame. Per esempio, nel caso della circolazione costiera ancora oggi è insostenibile usare le NSE per simulare numericamente cosa accade su un litorale esteso varie lunghezze d'onda, fino a fondali profondi alcune altezze d'onda e per un intervallo di tempo che dura vari periodi d'onda.

Per ora, per ovviare a questo limite i modelli più utilizzati per la simulazione numerica della circolazione costiera sono basati su sistemi di equazioni matematiche derivati dalle equazioni di Navier-Stokes, ma di minore onerosità computazionale e questo al costo di rinunciare a poter simulare qualche fenomeno della fisica del sistema. In questa prospettiva, è fondamentale conoscere quali fenomeni fisici non possono essere simulati sulla base di un dato sistema di equazioni semplificate e quindi scegliere quello più idoneo perché tutti i fenomeni che giocano un ruolo fondamentale sul problema in esame siano correttamente ottenibili. Sono disponibili differenti approcci per semplificare le NSE e ognuno fornisce differenti sistemi di equazioni la cui onerosità computazionale come la completezza della fisica rappresentata è graduabile, parallelamente, da relativamente elevata a relativamente bassa.

In generale, una prima semplificazione comune a tutti gli approcci consta nell'accontentarsi di ottenere dalla simulazione numerica solo i valori mediati, in un dato intervallo di tempo, delle quantità fisiche di interesse. In sostanza, si rinuncia a poter calcolare la variazione delle quantità d'interesse entro un intervallo di tempo molto piccolo e ci si accontenta di conoscerne solo il valore medio (per esempio, un intervallo molto più piccolo del periodo caratteristico dei moti ondosi da vento).

Il sistema di equazioni che lega questa quantità medie è detto sistema delle Reynolds-Averaged Navier-Stokes Equations (nel seguito RANSE) in memoria di Osborne Reynolds (1842-1912), nato in Irlanda poi anche cittadino inglese, e dei suoi importanti studi sulla turbolenza. Ai fini della simulazione numerica della circolazione costiera l'onerosità computazionale anche di questo sistema di equazioni è ancora troppo elevata e per questo sono utilizzati altri approcci semplificativi.

Una seconda semplificazione comune a più approcci specifici per le aree costiere, dove le profondità del mare sono relativamente limitate, è quella di accontentarsi di ottenere dalla simulazione numerica solo il valore medio sulla profondità delle velocità dell'acqua sul piano orizzontale e il livello della superficie libera su tutto il dominio numerico, mantenendo comunque la variazione nel tempo di ogni grandezza. Il sistema di equazioni che lega e regola l'evoluzione di queste quantità nello spazio e nel tempo è detto sistema delle equazioni di Boussinesq (BE) in memoria di Joseph Valentin Boussinesq (1842-1929), matematico e fisico francese e dei suoi studi sulla dinamica dei fluidi. In particolare, i valori delle velocità orizzontali e della superficie libera ottenuti dalla soluzione del BE includono anche l'effetto della presenza di una velocità verticale comunque esistente e differente da zero, pur non essendo più esplicitamente presente nelle equazioni. Grazie a questa peculiarità, le equazioni permettono di simulare il fenomeno che vede onde di periodo più lungo propagarsi più velocemente di onde di periodo più corto, la così detta dispersione in frequenza. Le approssimazioni che si accettano per poter derivare le BE fanno sì che i valori ottenibili per le grandezze fisiche siano approssimati, ma la differenza rispetto ai valori esatti diminuisce al diminuire della profondità d'acqua e diviene trascurabile ai fini pratici quando questa è minore di circa un quarto della lunghezza d'onda. Per esempio, se consideriamo che le onde da vento sono lunghe da qualche decina ad un centinaio di metri, allora le BE possono essere alla base di simulazioni numeriche accurate per tutta la fascia costiera a partire dalla profondità di circa una decina di metri. Per fondali più profondi è preferibile impiegare un altro insieme di equazioni, e.g. quelle derivate Stokes sulla base di altre ipotesi e che hanno altri limiti ma per brevità non viene aggiunto altro in questo articolo (si veda e.g. Dean and Dalrymple 1991).

Le BE possono essere ulteriormente semplificate se rinunciamo a mantenere, nei risultati ottenibili dalla simulazione numerica, anche l'effetto della velocità verticale sul campo di velocità orizzontali e sul moto della superficie libera, e quindi a perdere l'effetto di dispersione in frequenza del moto ondoso. Questa ulteriore semplificazione porta ad un nuovo sistema di equazioni detto Shallow Water Equations (SWE) e ancora una volta l'errore nei valori delle grandezze fisiche ottenibili dalle simulazioni numeriche basate su queste equazioni diminuisce al diminuire della profondità del mare (e.g. Abbot et al 1973). Tuttavia, questa volta l'errore diviene tecnicamente trascurabile per profondità ancora minori rispetto alle simulazioni basate sulle BE, i.e. circa un quindicesimo della lunghezza d'onda. Infatti, in caso di fondali sempre più bassi la celerità di propagazione tende a perdere la dipendenza dal periodo dell'onda quindi tutti i moti ondosi viaggiano a velocità uguale indipendentemente dal proprio periodo e tale velocità è proprio quella ottenibile dalla soluzione delle SWE.

È un fatto che con il passare degli anni le potenze di calcolo siano via via aumentate e oggi, rispetto anche a soli 20 anni fa, queste siano aumentate a tal punto che approcci numerici dall'onere computazionale prima non accettabile, poi accettabile solo nell'ambito della ricerca scientifica, siano oggi lo strumento principale anche per finalità tecniche. Questo è il caso delle BE oggi uno standard per esempio per la simulazione numerica della agitazione portuale a supporto delle fasi progettuali. Altro esempio è il caso delle SWE per la simulazione della circolazione costiera in tratti di litorale relativamente piccoli, i.e. lunghi qualche lunghezza d'onda, o per la circolazione in sistemi lagunari tipicamente rappresentati da grandi estensioni e bassi fondali. In quest'ultimo caso la circolazione è dovuta principalmente alla marea astronomica, alle variazioni bariche e al vento locale, mentre le onde da vento sono piccole tanto che loro contributo alla circolazione lagunare dato dalla spinta delle onde frangenti nella fascia del perimetro della laguna è tecnicamente irrilevante e quindi la loro presenza viene omessa dalla simulazione così riducendo considerevolmente l'onerosità computazionale.

La disamina del caso della circolazione costiera in ampi tratti di litorali, riassunta nel primo paragrafo, ha messo in luce come il motore principale di questo sistema sia il frangimento del moto ondoso che dalla zona dei frangenti in poi spinge letteralmente la massa d'acqua dentro la fascia costiera e attiva la relativa circolazione. Per questo è fondamentale che il fenomeno del frangimento e il suo effetto sulle masse di acqua della fascia costiera sia correttamente simulato. Certamente questo obiettivo può essere centrato mediante l'utilizzo delle BE o delle SWE e in entrambi i casi la simulazione fornirebbe contemporaneamente, in ogni nodo del dominio spaziale e per ogni step temporale, anche molto più piccolo del periodo del moto ondoso, sia le velocità dell'acqua che l'evoluzione della superficie libera del mare, i.e. il moto ondoso. Tuttavia, l'onerosità computazionale di questi due approcci, se estesi a grandi aree, è ancora oggi insostenibile per l'utilizzo ai fini tecnico-pratici. In questo caso, si preferisce utilizzare un approccio ulteriormente semplificato che si basa sulla scomposizione del problema in due parti, prima si simulano i processi legati al moto ondoso, poi le relative correnti costiere indotte dalle onde frangenti.

Detta così sembrerebbe non avere senso fare due simulazioni al posto di una al fine di ridurre l'onerosità computazionale, tuttavia è proprio quello che riusciamo a raggiungere ma al costo di accontentarci ancora una volta di rinunciare ad avere dalla simulazione idrodinamica alcuni aspetti del fenomeno. In questo caso, ci accontentiamo di ottenere solo i valori medi delle quantità fisiche, durante intervalli temporali lunghi qualche periodo d'onda, quindi perdendo le variazioni che avvengono al loro interno. Concettualmente si opera come nel caso delle RANSE. In pratica, otteniamo dalla simulazione le velocità e i livelli della superficie libera come se li misurassimo in continuo ma poi sostituissimo ad ogni valore istantaneo la media su un intervallo temporale lungo qualche periodo d'onda. Per questo, simili modelli sono anche detti *period-averaged* o *wave-averaged*.

Le equazioni matematiche che contengono e regolano l'evoluzione di queste quantità fisiche mediate nel periodo dell'onda possono essere ottenute dalle SWE, tramite operazioni matematiche, e risultano formalmente analoghe a loro ma con l'aggiunta di termini che portano dentro il sistema l'effetto apportato sulle quantità medie dalla presenza del moto ondoso frangente. Questi termini sono chiamati *Radiation Stress*, e con una brutale sintesi possiamo dire che tutto va come se potessimo cancellare il moto ondoso, ma applicassimo su ogni particella di acqua una pressione che la spinge tanto quanto la spingerebbe quel moto ondoso. Il *Radiation Stress* dipende principalmente della variazione spaziale dell'altezza d'onda, cosa che avviene marcatamente nella zona dei frangenti per poi proseguire fino a riva. Quindi, maggiore è la precisione nel

calcolo della evoluzione dell'altezza d'onda sulla fascia costiera, tanto più accurato sarà il valore calcolato dei *Radiation Stresses* e tanto migliore sarà la circolazione costiera risultante dalla simulazione.

In sintesi, con l'approccio *period-averaged* per simulare la circolazione costiera è necessario prima simulare la variazione dei parametri caratteristici d'onda (altezza, periodo, direzione, lunghezza) dal largo, attraverso il frangimento e poi fino a riva così da disporre di quanto serve per calcolare i *Radiation Stresses* necessari per poi simulare la circolazione costiera. Anche i modelli numerici per la simulazione dell'evoluzione dei parametri caratteristici d'onda possono essere basati su differenti sistemi di equazioni matematiche. Questi possono differire sia per la capacità di poter simulare tutti o solo alcuni dei principali fenomeni (e.g. rifrazione, *shoaling*, diffrazione, riflessione) sia per il livello di accuratezza della simulazione del fenomeno del frangimento. Infine, dopo aver simulato le onde costiere e le correnti costiere si dispone di tutti i dati necessari per poter simulare anche il trasporto a costa durante le mareggiate, e.g. dal trasporto di oggetti rigidi, particelle come i sedimenti e per esempio anche il trascinarsi di bagnanti. In questo lavoro non viene fornita, per brevità, una presentazione anche solo sintetica né dei modelli d'onda né dei modelli di trasporto. In Figura 1 è riassunto in forma di diagramma a blocchi questo specifico approccio modellistico, *period-averaged*.

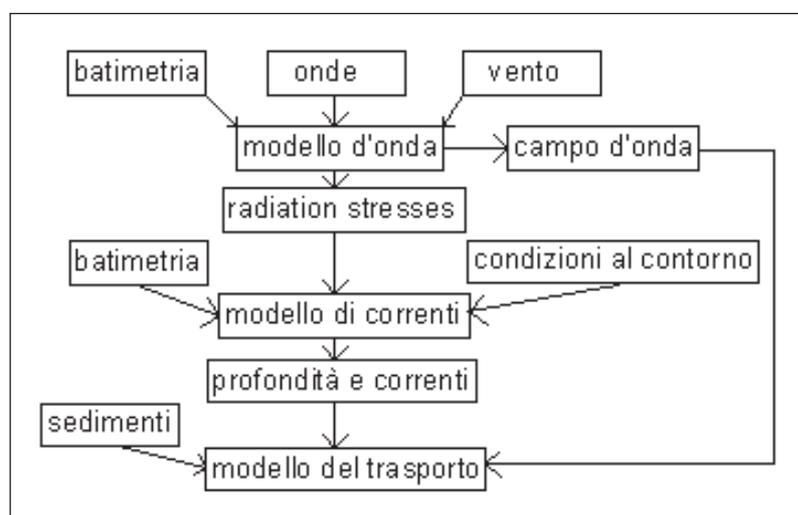


Figura 1. Diagramma a blocchi dell'architettura funzionale impiegata per la conduzione delle simulazioni numeriche nell'approccio *period-averaged*.

Un esempio illustrativo delle potenzialità della simulazione

L'approccio metodologico alla simulazione numerica sintetizzato in Figura 1 richiede un ridotto onere computazionale, relativamente alle odierne potenze di calcolo e nell'ambito delle esigenze temporali connesse a studi tecnico-pratici. Tale approccio può essere adottato, per esempio, per:

- 1) la caratterizzazione della circolazione costiera su specifici casi di studio indotta da specifici stati di mare, a supporto delle attività di formazione al salvamento;
- 2) la valutazione della modifica alla circolazione costiera indotta da nuove opere in progetto, oltre che ai fini dell'efficacia delle opere per la protezione dei litorali, anche per valutarne gli impatti nella sicurezza alla balneazione;
- 3) la ricostruzione di scenari passati di particolare interesse, e.g. in casi di eventi tragici o comunque in presenza di ingenti danni materiali;
- 4) la previsione della circolazione costiera nel termine di qualche giorno ai fini della diramazione dell'allerta e dell'organizzazione delle attività di salvamento;
- 5) sistemi operativi in tempo reale composti dalla sinergia tra simulazione numerica, sensori di misura e droni, ai fini del monitoraggio a supporto delle attività di ricerca e salvataggio.

L'approccio in esame costituisce, ad oggi, uno dei più consolidati ed efficaci strumenti per esplorare in profondità i temi inerenti alle 5 classi di applicazioni menzionate. Per questo, la restante parte di questo articolo è dedicata ad illustrare un esempio di applicazione di questo specifico approccio alla simulazione numerica della circolazione costiera, cercando di metterne in luce l'utilità sia per le finalità più specifiche della missione del GNRAC che della SNS.

L'osservazione di campo e l'esperienza che ne deriva costituiscono certamente un caposaldo per la comprensione di situazioni di pericolo, la diramazione di allerta e il trasferimento delle conoscenze nelle attività di formazione. Tuttavia, quando si presenta un nuovo caso, l'esperienza pregressa può non essere sufficiente per una comprensione rapida e sufficientemente approfondita delle specifiche dinamiche di circolazione. In questo caso, il ricorso alla simulazione numerica permette di superare questo limite e di acquisire più rapidamente e approfonditamente la conoscenza generale della circolazione.

Tra gli innumerevoli esempi che possono essere utilizzati per illustrare le potenzialità del metodo, in questo articolo è stato scelto il caso della presenza in un tratto di costa di un'opera ortogonale a riva. Simili opere sono spesso proposte per incidere sul regime dei litorali sabbiosi e sono detti pennelli. In particolare, viene presentato il caso di pennelli sommersi, senza dubbio una dei casi meno frequenti e quindi il più idoneo a evidenziare l'utilità della simulazione numerica per accelerare il processo di comprensione della relativa circolazione costiera. Questo lavoro si basa su simulazioni condotte nell'ambito della pluridecennale attività di ricerca dell'autore ma i risultati vengono qui illustrati sotto la nuova luce di interesse inerente al pericolo per la balneazione e la formazione del personale addetto al salvamento.

Altre tipologie molto comuni sono e.g. le barriere parallele distaccate da riva, singole o multiple e separate da varchi. Per questo secondo caso il lettore eventualmente interessato è invitato ad approfondire su altre fonti, per esempio l'articolo *open access* della rivista Studi Costieri: Balzano et al. 2006 e per ulteriori esempi ancora più generali e comuni, si vedano gli articoli del volume 9.

La simulazione è stata condotta su un caso idealizzato di una costa con profilo sommerso piano e inclinato soggetta all'azione del moto ondoso frangente. Il profilo è stato schematizzato come piano con pendenza di 1:50 fino alla profondità di 6 m e con pendenza di 1:100 a profondità maggiore. Sono stati simulati pennelli di lunghezza 150 m, 200 m e 250 m e per ogni caso la sommergezza della cresta è stata fatta variare tra 0.5 m, 1.0 m e 1.5 m rispetto al livello del mare in quiete. Il sistema costa con pennello è stato testato sotto l'azione di un moto ondoso di altezza significativa pari a 2.0 m, periodo di picco 6.8 s. Sono state studiate due possibili direzioni di incidenza, rispettivamente: 5° e 15° di inclinazione della cresta al largo rispetto alla linea di riva. In totale sono stati studiati numericamente 18 casi caratterizzati ognuno per un dato valore di lunghezza del pennello, sommergezza e direzione del moto ondoso incidente.

I parametri geometrici caratterizzanti il pennello sono schematizzati in Figura 2 e sulla base di essi viene presentata nel seguito un'analisi parametrica dei risultati delle simulazioni.

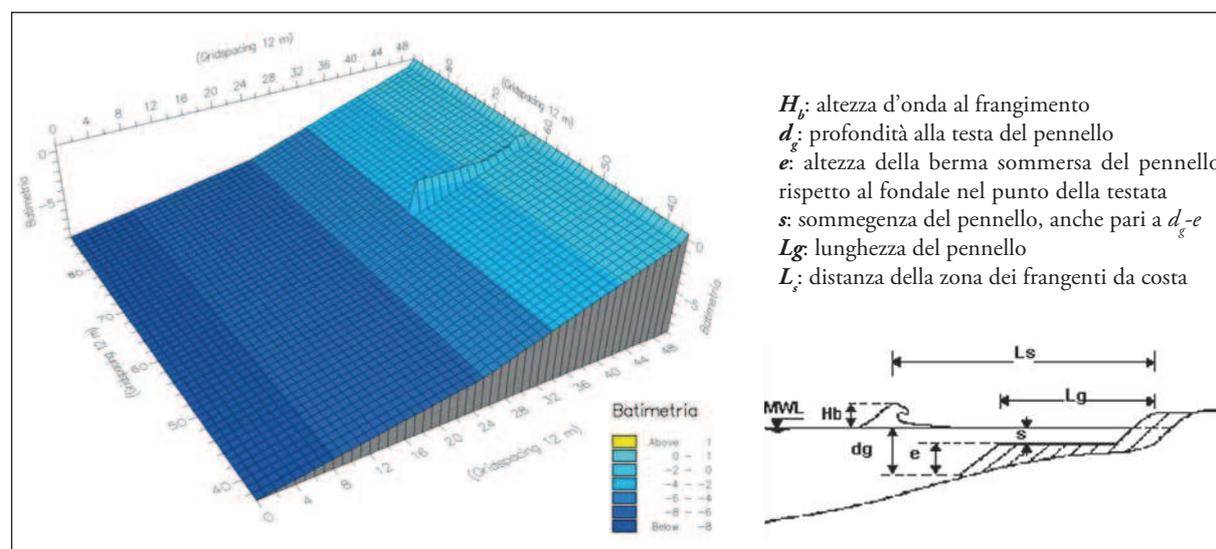


Figura 2. Sinistra: dominio spaziale del modello numerico; destra: nomenclatura dei parametri geometrici caratterizzanti il pennello sommerso simulato.

A titolo esemplificativo, il campo delle altezze d'onda nell'intorno del pennello sommerso, ottenuto dalla simulazione numerica per uno dei casi studiati, è riportato in Figura 3. Lontano dall'opera, si nota il fenome-

no del frangimento che porta l'altezza d'onda a diminuire drasticamente dalla zona dei frangenti verso riva. Al contrario, sopra l'opera l'interazione onda-struttura dà luogo ad un drastico aumento dell'altezza d'onda concentrato sulla testata del pennello. Questo può essere spiegato osservando che il flusso di energia nel propagarsi dai fondali antistanti l'opera fin sopra la sua parte sommersa, subisce una forte diminuzione nella componente cinetica, alla quale non è associata una significativa dissipazione di energia data la limitata scala spaziale del fenomeno legata alla brusca diminuzione dei fondali dal piede dell'opera alla sommità della testa sommersa. In testa quindi l'energia del moto ondoso si converte nella forma potenziale, i.e. aumentando l'altezza d'onda, per poi frangere violentemente dislocando enormi masse d'acqua verso riva.

Per evidenziare l'incremento dell'altezza d'onda sopra la testa del pennello sommerso in rapporto all'altezza al frangimento, che avremmo avuto se non ci fosse stata l'opera, i risultati di tutte le 18 differenti configurazioni studiate sono riassunti nel grafico in Figura 4, al variare dell'elevazione della cresta del pennello rispetto al fondale locale. I risultati mostrano chiaramente che tanto più la berma del pennello sommerso è elevata rispetto al fondale locale (i.e. la sommergenza è ridotta), tanto maggiore è l'incremento dell'altezza d'onda in testa. Nei casi studiati, l'altezza d'onda è risultata aumentare fino a circa il 30% del valore che avremmo avuto nello stesso punto ma in assenza dell'opera tanto da diventare maggiore anche dell'altezza d'onda al largo del litorale.

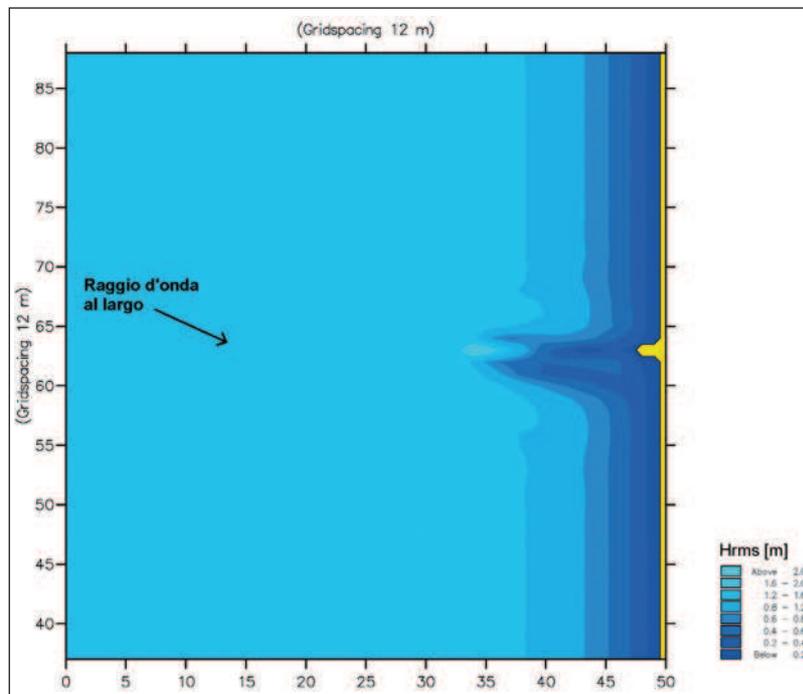


Figura 3. Campo delle altezze d'onda risultanti dalla simulazione numerica dell'interazione con il pennello sommerso.

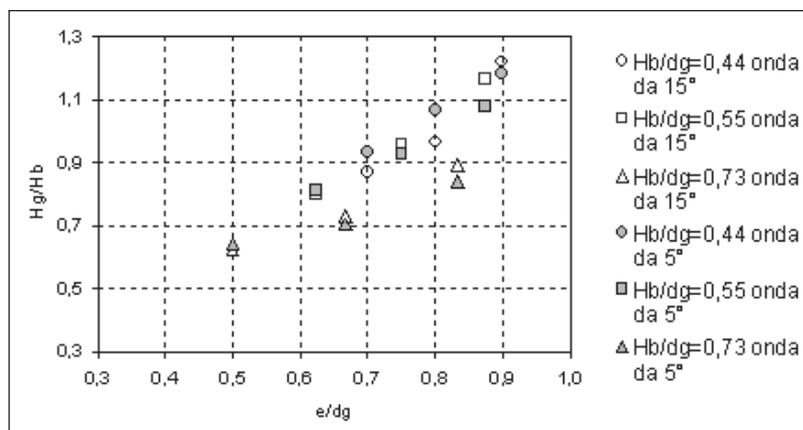


Figura 4. Incremento dell'altezza d'onda in testa la pennello rispetto al valore caratteristico dell'altezza al frangimento in assenza dell'opera, al variare dell'elevazione della cresta del pennello rispetto alla profondità locale.

L'effetto dell'aumento dell'altezza d'onda sulla testata sommersa del pennello e del relativo violento frangimento è quello di creare forti *Radiation stress*, i.e. pressioni di spinta, che determinano variazioni del soprizzo d'onda nel livello medio del mare locale (detto *set-up* d'onda) e forti correnti concentrate.

L'andamento del *set-up* d'onda nell'intorno del pennello ottenuta in uno dei casi simulati è riportato a titolo esemplificativo in Figura 5. Il risultato mostra chiaramente una depressione significativa, sottoflutto al pennello sommerso, del livello medio del mare durante l'attacco ondoso. Questo meccanismo è associato alla formazione di forti correnti locali sulla testa del pennello e di una cella di circolazione come messo in luce dall'analisi dei dati riportata in Figura 6 in forma del campo di circolazione costiera.

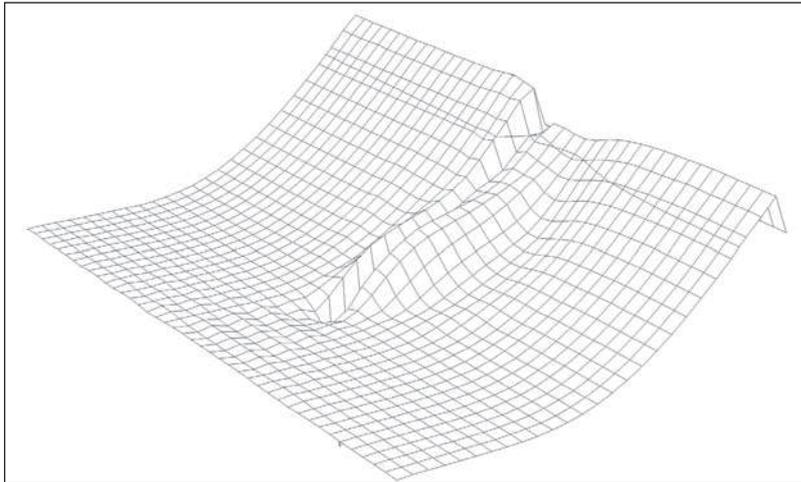


Figura 5. Assonometria inerente alla variazione del *set-up* d'onda nell'intorno del pennello sommerso.

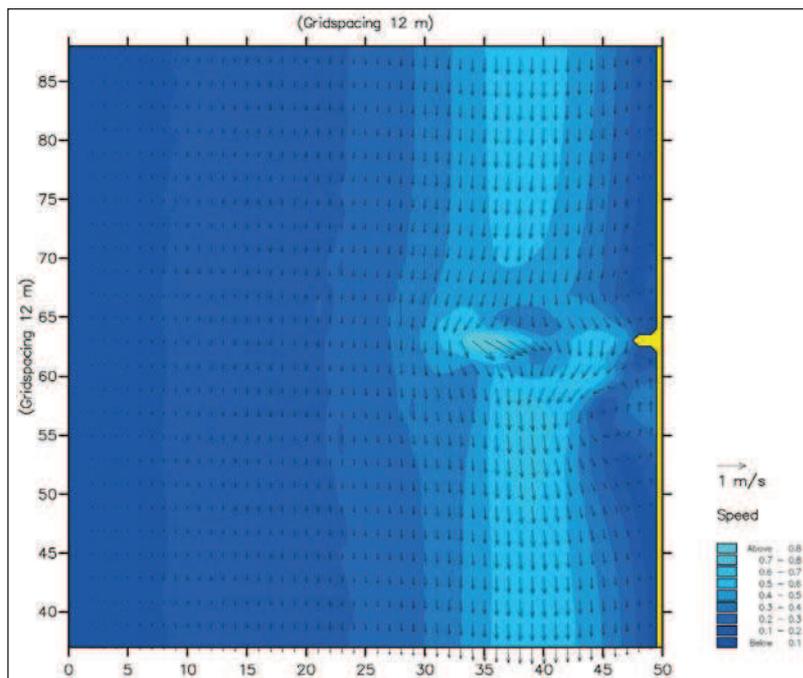


Figura 6. Campo di moto della circolazione costiera risultante dall'interazione del moto ondoso incidente su una costa con un pennello sommerso.

La forte velocità della corrente indotta dal moto ondoso frangente sulla testa del pennello aumenta al diminuire della sommersenza dell'opera. Il profilo della velocità della corrente litoranea in asse al pennello sommerso al variare della sua sommersenza è riportato in Figura 7 e mostra chiaramente che, nel caso in esame la corrente locale sulla testa del pennello può raggiungere velocità anche oltre i 2 m/s quando senza l'opera le massime velocità sarebbero minori di 1 m/s.

L'analisi di tutti i dati delle simulazioni condotte espressa come andamento della massima velocità in testa al pennello al variare della sommergenza dell'opera è riportata in Figura 8. Questa analisi conferma un aumento molto marcato della velocità al diminuire della sommergenza per tutti i casi studiati. Per esempio, attraverso il grafico si ottiene che nel caso di un pennello sommerso con testata posta su un fondale di 2.5 m e sommergenza 0.5 m durante un moto ondoso con altezza pari a 1.5 m, si forma sulla cresta sommersa del pennello una velocità della corrente di circa 1.5 m/s.

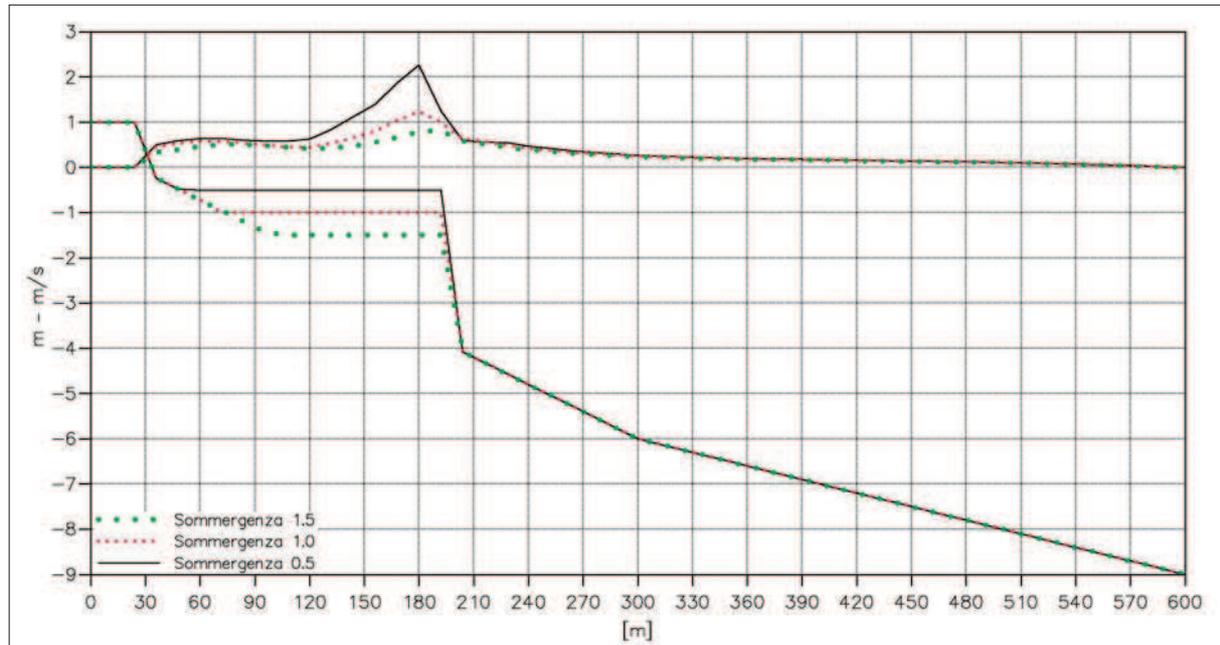


Figura 7. Profilo cross-shore della velocità della corrente litoranea attraverso la direzione assiale al pennello sommerso, al variare della sua sommergenza.

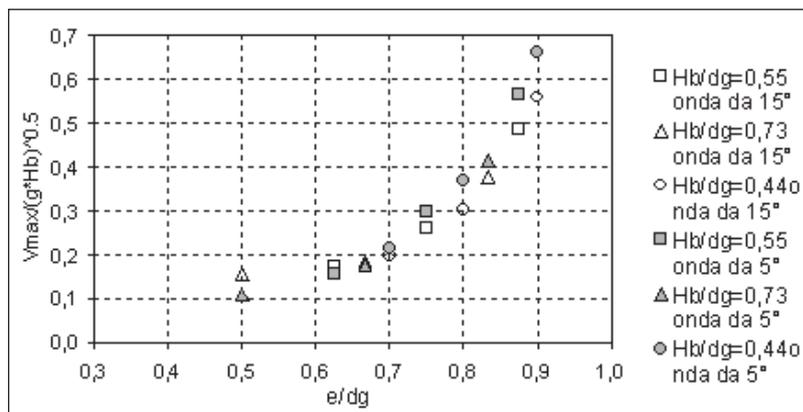


Figura 8. Andamento della massima velocità della corrente che si forma sopra la testata del pennello sommerso all'aumentare dell'elevazione della berna dell'opera rispetto al fondale locale. Per generalizzare il risultato, la massima velocità riportata in asse y è stata normalizzata con i parametri dell'onda al frangimento.

Conclusioni

La simulazione numerica della circolazione costiera è stata brevemente introdotta in questo lavoro cercando di utilizzare un approccio divulgativo verso lettori non tecnici. L'articolo ha l'obiettivo di soddisfare al bisogno di conoscenza di questa specifica metodologia di indagine da parte di operatori nel campo della gestione dei litorali e del salvamento. I messaggi principali del lavoro sono due: i) esistono numerose differenti varianti del metodo e l'uso dell'una o dell'altra è funzione, primariamente degli obiettivi che si intendono raggiungere e secondariamente di un bilancio tra accuratezza dei risultati e onerosità computazionale; la selezione del miglior approccio, la conduzione delle simulazioni e l'analisi dei dati sono fasi determinanti che

necessitano di approfondite conoscenze che non possono essere improvvisate; ii) la simulazione numerica è un potente strumento d'indagine che permette di scoprire caratteristiche specifiche della circolazione costiera e la cui massima utilità si mette in luce soprattutto in casi inusuali dove le conoscenze pregresse non sono sufficienti per una pronta e accurata analisi delle problematiche basata solo sull'osservazione di campo. Le differenti competenze e missioni complementari del GNRAC e della SNS potrebbero essere messe a sistema partendo da una prima attività concentrata su un caso di studio dove applicare la simulazione numerica della circolazione costiera anche ai fini degli interessi del Salvamento. Il Nascente Osservatorio Nazionale sull'Annegamento potrebbe essere il quadro di lavoro dove unire tutte le differenti competenze e far risuonare le relative complementarità.

Bibliografia

- Abbott M.B., Damsgaard A., Rodenhuis G.S., 1973. *System 21 Jupiter: a design system for two-dimensional nearly horizontal flow*, Journal of Hydraulic Research, 11: 1-28.
- Balzano A., Cappietti L., Soldini L., Zanuttigh B., 2006. *Modellazione numerica della circolazione attorno ad opere trascinabili*, Studi Costieri, 9: 119-157, open access su <http://www.gnrac.it/rivista/rivista.htm>
- Devlin Keith J., 2003. *The Millennium Problems: The Seven Greatest Unsolved Mathematical Puzzles of Our Time*. New York: Basic Books. ISBN 0-465-01729-0. 237 pp.
- Dean R.G. and Dalrymple R.A., 1991 *Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists*, Advanced Series on Ocean Engineering, World Scientific, January 1991, pp. 353.
- GNRAC, Gruppo Nazionale per la Ricerca sull'Ambiente Costiero, Corso Europa, 26, 16132 Genova (GE), www.gnrac.it.
- Idelsohn, Sergio R, Oñate Eugenio, Becker Pablo, 2017, *Particle Methods in Computational Fluid Dynamics*, In: Encyclopedia of Computational Mechanics, Second Edition, 1-41.
- SNS, Società Nazionale di Salvamento, Via Luccoli, 24/4, 16123 Genova (GE), www.salvamento.it

Ricevuto il 30/06/2019

Accettato il 10/07/2019

Previsioni meteomarine e oceanografiche a supporto della sicurezza nella balneazione

Carlo Brandini^{1,2}, Bartolomeo Doronzo¹, Stefano Taddei¹, Valentina Vannucchi^{1,2}, Massimo Perna¹,
Chiara Lapucci¹, Andrea Orlandi¹, Giovanni Vitale^{1,2}

¹Consorzio LaMMA e Consiglio Nazionale delle Ricerche, Via Madonna del Piano 10, 50125 Firenze.

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

Email: brandini@lamma.rete.toscana.it

Riassunto

Un numero crescente di servizi previsionali sono orientati a fornire informazioni sullo stato del mare con sempre maggior dettaglio: previsioni più precise a scala locale, meno incerte, valide su un orizzonte temporale più lungo che in passato, e con la capacità di fornire un maggior numero di parametri ambientali non limitato solo agli aspetti fisici (moto ondoso, correnti, temperatura, ecc.), ma anche di qualità ambientale (inquinamento di origine antropica, fioriture di specie algali pericolose ecc.). A fronte degli ormai consolidati servizi di meteorologia marina, si stanno sviluppando nuovi servizi di oceanografia operativa che sono oggi possibili anche grazie alle nuove tecnologie, quali i satelliti e l'implementazione di sistemi, di osservazione e previsione meteo-oceanografica a larga scala, che in Europa sono stati definiti tramite il programma Copernicus.

Da questi servizi a larga scala è possibile, utilizzando informazioni disponibili a livello locale, definire dei servizi a scala di dettaglio che sono molto utili per la gestione della fascia costiera, soprattutto in termini di sicurezza. Vengono qui proposte due potenziali applicazioni. La prima è l'applicazione di un modello di previsione costiera per determinare l'idrodinamica di dettaglio a scala litoranea, e che può essere usata per derivare indicazioni sul rischio da rip current direttamente in base alle condizioni meteorologiche previste. La seconda applicazione riguarda il possibile utilizzo di parametri di osservazione remota a scala costiera per la previsione delle fioriture di specie algali pericolose.

Parole chiave: previsioni meteomarine, previsioni costiere, oceanografia operativa, rip current, balneazione, fioriture algali pericolose.

Abstract

A growing number of forecasting services are aimed at providing information on the sea state with increasingly greater details. This means: more precise forecasts at a local scale, less uncertainty, forecasts valid on a longer time horizon than in the past, and with the ability to provide a greater number of environmental parameters and not limited to physical aspects (waves, currents, temperature, etc.), but also data of environmental quality (organic pollutants, blooms of dangerous algal species, etc.).

In the face of the consolidated marine meteorological services, new operational oceanography services are being developed that are now possible thanks to new technologies, such as satellites and through the implementation of new integrated observation and forecasting systems. At a large scale, these services in Europe have been defined through the Copernicus program (and particularly through the Copernicus Marine Service CMEMS).

From such large-scale services it is possible, using information available at the local level, to define more detailed local services that are very useful for coastal management, especially in terms of safety. Here we propose two potential applications. The first is the application of a coastal forecasting model to determine the hydrodynamic detail on a coastal scale, and which can be used to derive information on the risk of rip currents directly based on the

meteorological forecast . The second application concerns the possible use of earth observation parameters along the coast for the prediction of the harmful algal blooms.

Keywords: *metocean forecast, coastal forecast, operational oceanography, rip currents, bathing, harmful algal blooms.*

Premessa

La capacità di prevedere le condizioni fisiche del mare in prossimità della fascia costiera è cresciuta negli ultimi anni, grazie soprattutto allo sviluppo di sistemi previsione avanzata a loro volta basati su modelli di simulazione numerica. La richiesta di dati previsionali è d'altra parte un'esigenza di tanti operatori che ne hanno bisogno per la pianificazione delle attività costiere, incluse quelle portuali o cantieristiche, o anche a scopo ludico e ricreativo. La fruizione della costa da parte di una ampia platea di cittadini e lavoratori pone ovviamente anche problemi di sicurezza, legati alle potenziali situazioni di pericolo che possono comportare rischi per la vita umana o la salute.

Queste situazioni sono ben note, comprendono il rischio associato alla balneazione durante le mareggiate, il rischio legato alle correnti di ritorno o rip current, oppure i rischi per la salute associati all'inquinamento di origine antropica o naturale. Tuttavia la capacità effettiva di prevedere l'insorgenza di molte situazioni di potenziale pericolo, con un sufficiente anticipo e in modo affidabile, è tutt'altro che scontata.

Un numero crescente di utenti accede a informazioni provenienti da servizi di previsione che comprendono oggi la previsione meteorologica tradizionale, le previsioni meteomarine e, in alcuni casi, anche la previsione di alcuni parametri specifici dello stato e della qualità delle acque marine quali correnti, temperatura del mare o, quando disponibili, le concentrazioni di contaminanti di origine antropica o naturale. Queste informazioni, pubblicate in forma di bollettini dedicati, mappe, tabelle, meteogrammi, sono utilizzate per informare e, se necessario, anche allertare la popolazione, evidenziando situazioni di potenziale pericolo.

Nonostante l'affidabilità di queste previsioni sia migliorata negli ultimi anni, grazie al miglioramento di alcune componenti essenziali dei sistemi previsionali, quali i progressi nella modellistica, nelle risorse di calcolo a disposizione o nei dati di osservazione forniti dagli strumenti di rilevamento quali ad esempio i satelliti, esistono molti elementi di incertezza associati alle previsioni. Se si può sapere con un certo preavviso che una mareggiata interesserà un tratto costiero, che impatto avrà questa mareggiata in un dato paraggio e quali sono potenziali pericoli associati? Oppure, in una data situazione meteo, con che probabilità si può avere un temporale o il potenziale alluvionamento in una certa area costiera? In quali situazioni si può verificare l'insorgere di rip current e con quale attendibilità siamo in grado di prevederle? In quali situazioni si manifesteranno condizioni favorevoli all'inquinamento microbiologico delle acque di balneazione o allo sviluppo di fioriture algali pericolose? Per quanto si stiano facendo grossi progressi per fornire previsioni più puntuali e precise, è fondamentale riconoscere che una parte importante di questa incertezza è intrinseca, ovvero legata all'incertezza stessa della previsione.

I sistemi meteorologici ed oceanografici sono infatti difficili da prevedere, hanno una complessità caratteristica per cui è stata riconosciuta dalla scienza la loro natura caotica. Questa espressione assume oggi un significato scientifico ed una connotazione ben precisa: in pratica, la conoscenza di un sistema meteorologico dipende fortemente dalla conoscenza più precisa possibile dello stato iniziale del sistema, e anche una piccola deviazione da questo stato, dopo un certo periodo di tempo, tende ad allargarsi. Di conseguenza, due stati iniziali quasi simili, possono, nella successiva previsione numerica, portare a due situazioni completamente differenti, nel giro di ore o giorni. Questa caratteristica dei sistemi complessi si chiama "dipendenza dalle condizioni iniziali", e rappresenta una delle principali fonti d'incertezza (peraltro non l'unica) di un sistema di previsione.

Un'altra componente di questa incertezza è dovuta alla non completa conoscenza del modo con cui sulla costa si manifestano le conseguenze di sistemi meteorologici su ampia scala.

È infatti difficile prevedere l'evoluzione dinamica di un ambiente complesso in cui non bisogna solo tenere conto delle interazioni fra oceano e atmosfera, già di per sé difficili da trattare, ma anche delle interazioni di questi due componenti con la terra solida. Questo tipo d'incertezza può essere ridotta tramite l'applicazione di metodi e modelli più performanti per risolvere l'idrodinamica costiera. A scala costiera o litoranea è inoltre fondamentale la conoscenza della morfologia e delle caratteristiche del fondale, di cui non sempre si hanno a disposizione dati recenti e accurati.

Infine, ci sono effetti legati all'evoluzione del clima, che in una fase di cambiamento globale, possono essere associati all'incertezza sull'intensità con cui si manifestano alcuni fenomeni estremi.

La sequenza di eventi alluvionali che hanno colpito le coste del Mediterraneo Nord-Occidentale negli ultimi anni è particolarmente impressionante ed è dovuta a molti fattori che in parte comprendono le caratteristiche specifiche della costa stessa, in parte sono dovute anche ai fenomeni di cambiamento globale, quali l'innalzamento della temperatura media del mare o i cambiamenti dei regimi di circolazione.

Previsione di moto ondoso nella fascia costiera

I primi modelli di previsione dello Stato del mare risalgono agli anni 40, quando proprio nell'organizzare le operazioni di sbarco in Normandia, gli americani si avvalsero del contributo fornito dai modelli di previsione sviluppati da scienziati quali Sverdrup e Munk.

Quindi proprio all'interno di una gigantesca operazione per salvare più vite umane possibili, furono elaborati molti dei principi di modellazione che sono stati poi ripresi nei decenni successivi stimolando lo sviluppo di modelli previsionali che, a partire dalla conoscenza del vento, simulano i meccanismi attraverso cui il vento trasferisce la propria energia al mare nella forma di onde di superficie. I modelli oggi utilizzati risolvono le equazioni di bilancio dell'energia del moto ondoso che a loro volta includono i processi attraverso cui le onde sono generate, propagate nello spazio anche per lunghe distanze, le interazioni tra le onde stesse, e la dissipazione dell'energia del moto ondoso sia in mare aperto sia lungo la costa. Infatti, la fonte principale di dissipazione del moto ondoso sono proprio le coste dove gran parte dell'energia delle onde viene dissipata per interazione con i bassi fondali e in parte assorbita dai litorali.

I modelli di previsione del moto ondoso sono tra i modelli meno incerti tra quelli utilizzati nel campo della geofluidodinamica e, in generale, la principale fonte di errore questi modelli è costituita proprio dalla inaccuratezza nella previsione del vento.

Esistono oggi molti servizi di previsione meteomarina attivi nel Mediterraneo, che forniscono prodotti quali bollettini e mappe.

È molto importante che i modelli di previsione del moto ondoso utilizzino una forzante atmosferica (ovvero, dati di previsione del vento) di buona qualità.

Nel far questo, vengono utilizzati, a monte, modelli di previsione meteorologica ad area limitata (Limited Area Models o LAM) che, a loro volta hanno bisogno di opportune condizioni iniziali e di condizioni al contorno. Questi dati a loro volta provengono da modelli a scala globale, quali il modello globale GFS (Global Forecasting System) del principale servizio americano fornito dal NOAA, o il modello globale dell'ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) che rappresenta il più importante ed affidabile riferimento per le previsioni meteorologiche in Europa.

Il Consorzio LaMMA fornisce da oltre 15 anni un servizio meteomarino, per la previsione dello stato del mare. Il canale principale attraverso cui vengono fornite le informazioni è il sito web del LaMMA www.lamma.rete.toscana.it. Attualmente le previsioni meteomarine del LaMMA hanno una risoluzione di circa 10 km su un'area ampia estesa a tutto il Mediterraneo, e fino a 3 km nell'area del Mediterraneo Nord-Occidentale (Mar Ligure e Nord Tirreno).

La previsione del moto ondoso è realizzata utilizzando il modello WW3 (WaveWatch III), un modello sviluppato a partire dalla fine degli anni '90. In altri centri di previsione meteo sono utilizzati anche altri modelli quali WAM (il primo) e SWAN, quest'ultimo modello nato soprattutto per risolvere le scale costiere. Come forzante meteo, vengono utilizzati i modelli WRF di previsione atmosferica (con risoluzione fino a 3 km) o anche i modelli sviluppati in Italia quali BOLAM e MOLOCH. In Figura 1 è riportata, come esempio, una delle mappe fornite dal LaMMA e riferita al 25 Agosto 2018. Le cronache riportano, in quelle ore, la morte di un uomo nei pressi di San Vincenzo, in condizioni proibitive per la balneazione a causa della forza del mare e delle intense correnti generate dalle onde. In questa circostanza, come in molte altre simili, le previsioni forniscono correttamente il quadro generale relativo allo stato dell'atmosfera e del mare, e certamente non è intervenendo sul miglioramento della capacità previsionale che si può pensare di ridurre questo tipo di rischio, quanto piuttosto sulla consapevolezza dei pericoli.

La qualità di una buona previsione meteomarina si può misurare soprattutto in termini di affidabilità, ovvero della capacità di prevedere un dato fenomeno, quali l'intensità e gli effetti di una mareggiata su un dato tratto costiero, con un sufficiente anticipo (non meno di 3-5 giorni).

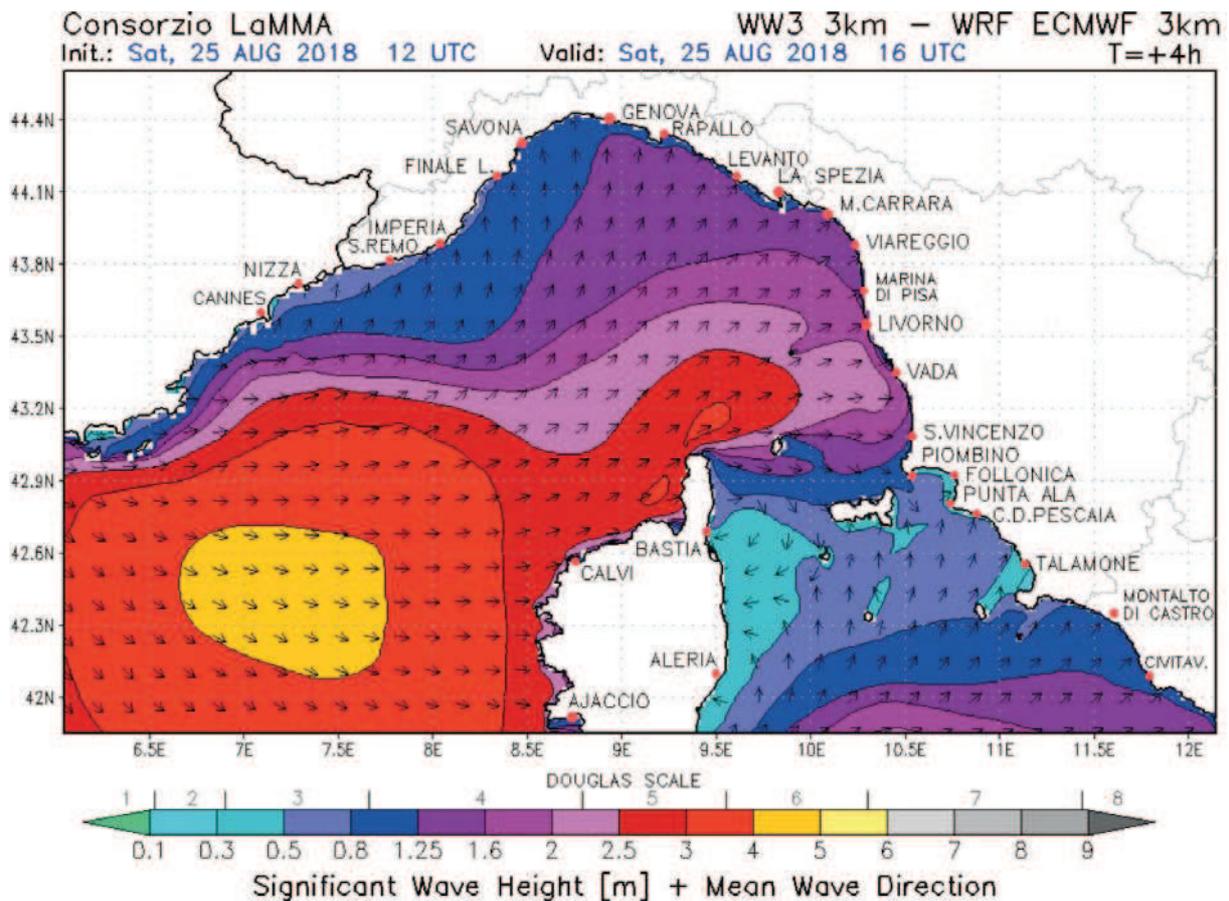


Figura 1. Esempio di mappa di previsione del moto ondoso prodotta dal Consorzio LaMMA, valida per le ore 16 UTC del 25 Agosto 2018.

Parlando di sicurezza, è anche importante il dettaglio con cui viene fornita la previsione: a scala locale, vicino alla costa avvengono infatti molti processi fondamentali, quali rifrazione, frangimento, diffrazione, riflessione delle onde o la trasmissione dovuta alla presenza di ostacoli, ad esempio barriere. Questi fenomeni di solito non sono risolti da parte dei modelli di previsione meteomarina ed è quindi necessario, quando si vuole arrivare ad un livello di dettaglio molto spinto, utilizzare dei modelli appositi che girano in cascata ai modelli di propagazione delle onde a larga scala. Modelli di questo tipo sono utilizzati per valutare, ad esempio, l'impatto delle mareggiate sulla costa, ma anche l'insorgere di specifiche condizioni idrodinamiche che regolano appunto l'insorgere di rip current.

Sistemi di previsione idrodinamica delle acque costiere e delle situazioni di potenziale pericolo: possibilità e limiti

La maggior parte dei fenomeni idrodinamici d'interesse nelle acque costiere sono caratterizzati dall'interazione tra forzanti atmosferiche e oceanografiche quali vento, pressione atmosferica, marea, e l'azione del moto ondoso a scala litoranea, in particolare all'interno della zona dei frangenti (surf zone).

Per modellare queste interazioni è necessario utilizzare modelli di simulazione accoppiata onda-correnti. In pratica le onde, in acque litoranee, trasferiscono una parte dell'energia alle correnti a scala litoranea che possono avere sia componenti dirette in senso parallelo alla linea di riva (la classica corrente long-shore), sia ortogonalmente a questa (componente cross-shore).

È noto come, in alcune situazioni, si possano formare correnti di ritorno, o di risacca, o rip current, che hanno prevalentemente componenti in senso cross-shore, e possono essere estremamente pericolose. Si tratta di correnti a getto che si originano surf zone e possono manifestarsi in diversi tipi di spiaggia durante diverse

condizioni di moto ondoso e di marea. Tali correnti si estendono tipicamente dalla riva verso il largo, oltre la riva dei frangenti, e presentano due regimi idrodinamici:

1. regime interno alla surf zone, dove il flusso della corrente è mascherato dalle onde frangenti. In questa fascia la rip current può essere identificata come una “zona d’ombra” associata a onde non frangenti sopra varchi profondi, caratterizzata da una sorta di increspatura schiumosa e da un diverso colore dell’acqua (sulle tonalità del marrone) dovute al trasporto in sospensione dei sedimenti;
2. regime esterno della surf zone, dove il getto si diffonde all’interno di una zona di ricircolo.

Le rip current hanno velocità intermittenti che possono rapidamente crescere a causa di larghi gruppi d’onda in arrivo o instabilità nella circolazione vicino a riva, con velocità fino ad alcuni metri al secondo. Esistono vari tipi di rip current che si manifestano in corrispondenza di vari tipi di costa. Un’ottima rassegna è fornita dall’eccellente lavoro di Dalrymple et al. (2011).

La maggior parte delle rip current ha un controllo morfologico (legato cioè alla presenza di conformazioni batimetriche, forme di fondo, o anche strutture costiere sommerse), e sono forzate dalla rifrazione e dal frangimento delle onde sopra una batimetria irregolare. Il caso forse più comune è dato dalla presenza di barre litoranee, parallele o sub-parallele alla linea di riva, in cui è inciso un varco più profondo (denominato rip channel), in cui s’incanalano le correnti di ritorno. Sono frequentemente generate quando la direzione delle onde incidenti è prossima alla perpendicolare alla linea di riva e comunemente osservate su spiagge con pendenza relativamente dolce dove la surf-zone è più larga. Su spiagge ripide le correnti di rip sono meno intense perché il frangimento avviene in prossimità della riva e la surf-zone è molto ridotta. Tuttavia, sono state anche osservate situazioni di rip current in regime transiente che possono essere causate da fenomeni più complessi, quali ad esempio meccanismi d’instabilità idrodinamica (shear instabilities) d’intense correnti long-shore. Le correnti di rip possono infine generarsi in seguito all’interazione tra correnti e strutture. Questo caso comprende:

- a. la presenza di barriere emerse e sommerse lungo la riva, che possono essere sormontate dalle onde, con conseguente innalzamento del livello del mare dietro la barriera e generazione di correnti di ritorno ai lati della stessa;
- b. la presenza di pennelli che interrompono la corrente longshore, che viene così deviata verso il largo;
- c. la combinazione di strutture parallele e trasversali, che formano celle di circolazione particolarmente pericolose;
- d. nelle pocket beach, in corrispondenza degli estremi della spiaggia.

I modelli idrodinamici, e in particolare i modelli di simulazione accoppiata onda-corrente, sono in grado di rappresentare molte delle tipologie di rip current precedentemente descritte, e in particolare la fenomenologia più diffusa, ovvero quando le rip current hanno un controllo morfologico.

In questo caso lo schema classico di interazione onda-corrente prevede che le onde, frangendo in modo non uniforme sopra le barre o le strutture sommerse e i varchi, siano causa di un intenso gradiente delle componenti di spinta del moto ondoso (il cosiddetto radiation stress), e questo può indurre la formazione delle correnti di ritorno. Questi concetti sono stati introdotti da Longuet-Higgins e Stewart (1962) e, nonostante oggi siano state sviluppate anche altre formulazioni, sono la base per descrivere in maniera sufficientemente esaustiva la dinamica di molti dei principali fenomeni idrodinamici della fascia costiera, tra cui proprio le rip current. Come passo successivo, si tratta di capire qual è la capacità non genericamente di un modello, ma di un sistema previsionale operativo, di prevedere le condizioni che caratterizzano l’insorgere di situazioni di potenziale pericolo. Per quanto le rip current rappresentino un rischio difficilmente valutabile sulla base di modelli operativi a scala locale, sono stati realizzati sistemi di previsione basati su indicatori di tipo semaforico, associati a diversi livelli di rischio.

Sulla base di questi indicatori, ad esempio, il sito americano del National Weather Service (<https://www.weather.gov/>) fornisce una previsione operativa del rischio associato a questo fenomeno, attribuendo, in base alle condizioni meteorologiche previste nelle diverse zone in cui è implementato il servizio, diversi livelli di rischio, divisi in tre categorie: basso, medio, e alto.

Per determinare il rischio a scala locale di questo fenomeno, per tipologie di aree costiere le situazioni descritte sinteticamente in precedenza, l’approccio più corretto da utilizzare deve prevedere una serie di step successivi, quali:

1. utilizzo di modelli complessi 2D (o eventualmente 3D) a scala locale, per simulare le condizioni di insorgenza di rip current per un numero statisticamente rilevante di stati di mare (vento, moto ondoso). La risoluzione dei modelli costieri dovrebbe essere piuttosto spinta (< 5-10 m) per tenere conto dei dettagli morfologici della costa e dei fondali e della presenza di strutture costiere, quali barriere e pennelli;

2. validazione dei dati sulla base di osservazioni costiere (es. ottenute tramite correntometri in aree specifiche, quali varchi tra barriere emerse; analisi di immagini ottenute tramite idonee tecniche di processamento di dati di webcam costiere ad alta frequenza; analisi di dati radar ad alta risoluzione costiera quali radar in banda X). Una volta validato il metodo, per fornire indicazioni previsionali relative al rischio, per aree regionali molto estese, è opportuno valutare l'utilizzo di metodi/modelli più semplici, basati sull'utilizzo di pochi parametri integrati (es. moto ondoso, vento, pendenza del fondale, conformazione della spiaggia, ecc.), per definire opportuni indici di rischio. Come esempio di applicazione, descriviamo una possibile implementazione di un sistema previsionale che parte dall'analisi di alcune situazioni a scala locale. Abbiamo implementato un modello di simulazione accoppiata onda-corrente in un'area costiera piuttosto ampia, compresa tra la foce del fiume Fiora e Capalbio (Figura 2). Si tratta dell'area interregionale tra Toscana e Lazio, su cui sono stati fatti alcuni studi durante la realizzazione del progetto CAMP-Italy. L'attività è stata realizzata per conto della Regione Toscana e del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Mare, in collaborazione con il Consorzio LaMMA e l'Università di Firenze.



Figura 2. Area del rilievo batimetrico.

Il modello utilizzato è il Delft3D, in particolare del modulo 3D-FLOW accoppiato con il modello di onde SWAN, particolarmente adatto per lo studio della propagazione del moto ondoso in aree costiere in presenza di fondali bassi ed irregolari. Il modello implementato, nell'area di maggior dettaglio, ha una risoluzione

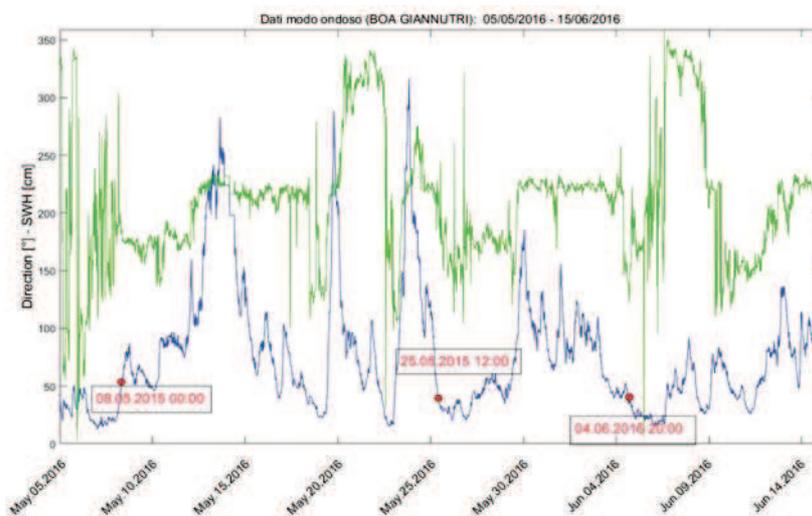


Figura 3. Moto ondoso nel periodo in esame, rilevato dalla boa ondometrica di Giannutri. Sono evidenziati gli eventi di rip currents con la data di inizio del fenomeno simulato dai modelli di simulazione.

spaziale di circa 10 m, un'estensione di circa 12 km lungo costa con un'ampiezza di circa 550 m. In questa simulazione sono stati analizzati in dettaglio alcuni fenomeni di rip current in corrispondenza di particolari situazioni di vento e moto ondoso. La simulazione è riferita ad un periodo di circa quaranta giorni (tra il 5 maggio 2016 ed il 15 giugno 2016), (Figura 3).

Nell'ambito del progetto CAMP-Italy sono stati svolti due rilievi di quest'area (spiaggia emersa e sommersa), subito prima e subito dopo il periodo studiato, e questo ha permesso di svolgere le simulazioni avendo a riferimento dati batimetrici certi. Il modello idrodinamico è stato forzato con i dati del modello meteorologico WRF operativo presso il LaMMA, con 3 km di risoluzione, e con i dati di moto ondoso del modello WW3 con risoluzione pari a 3 km sulla Costa Toscana. Dall'analisi dell'intera serie delle correnti idrodinamiche

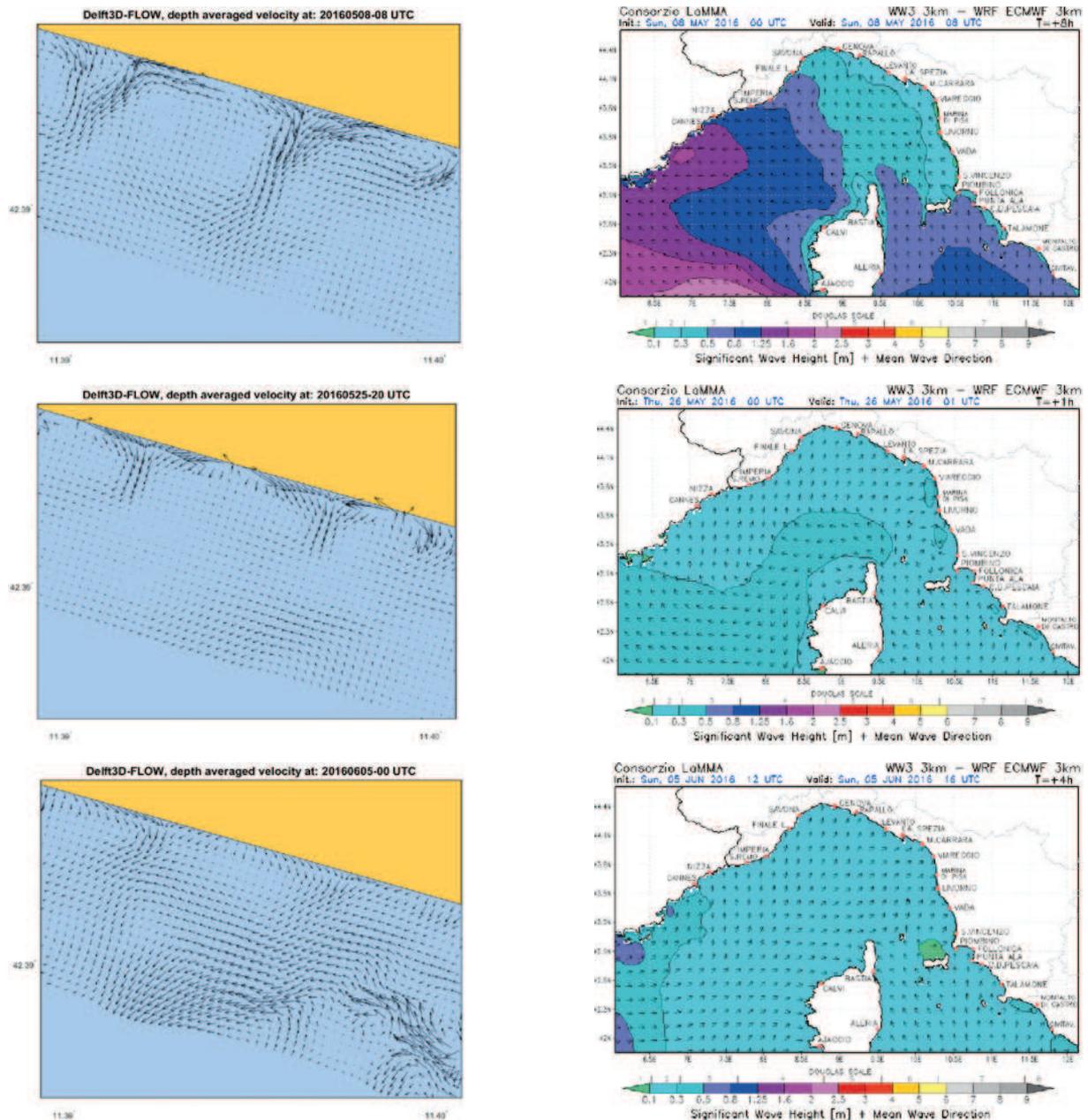


Figura 4. Eventi di rip current selezionati in prossimità di Capalbio, simulati con modello Delft3D; a fianco mappa sinottica di previsione del moto ondoso nelle ore corrispondenti.

simulate, è stato possibile estrarre le condizioni in cui si è manifestata la presenza significativa di rip current. Gli eventi in esame si sono generati in alcune situazioni ricorrenti, in particolare in presenza di situazioni non molto energetiche (altezza d'onda significativa intorno ai 50 cm) e con direzione dell'onda sensibilmente ortogonale alla linea di riva, o comunque poco inclinata (vedi Tabella 1 e Figura 4).

Tabella 1. Descrizione sintetica degli eventi. Dir min e max rappresentano le direzioni associate rispettivamente all'SWH min e max misurata dalla boa di Giannutri nell'intervallo di tempo osservato.

Evento [dd/mm/aaaa hh]	Durata [h]	SWH _{min} [m]	Dir _{min} [°]	SWH _{max} [m]	Dir _m [°]
08/05/2018 00 - 08/05/2018 12	12	0.5	176	0.7	178
08/05/2018 00 - 08/05/2018 12	12	0.3	170	0.4	195
04/06/2016 20 - 05/06/2016 08	12	0.4	145	0.3	196

Previsione della qualità ambientale delle acque costiere

Tra le altre situazioni di potenziale pericolo riguardanti la sicurezza balneare, specialmente negli ultimi anni, si è manifestata una crescente attenzione verso quei fenomeni ambientali che possono incidere sulla salute. Queste situazioni di pericolo dipendono da vari fattori, dipendenti dallo stato fisico, biogeochimico e di contaminazione delle acque litoranee, che richiedono perciò di essere sistematicamente monitorate. Di conseguenza, negli ultimi anni, all'interno delle pratiche di oceanografia operativa che si vanno via via consolidando, sono stati proposti dei servizi, al momento prototipali, finalizzati alla previsione del rischio associato alla qualità e allo stato ecosistemico delle acque costiere.

Per quanto riguarda la tutela delle acque di balneazione, questo aspetto è disciplinato da una direttiva europea (Bathing Directive, 2006/7/CE) e dalle normative di recepimento che per l'Italia è il D. Lgs 116/2008. La normativa si completa di alcune importanti indicazioni che derivano dall'applicazione di alcuni decreti ministeriali (DM 30/3/2010). Il problema è molto complesso, anche per questo la normativa incoraggia l'adozione di modelli di simulazione numerica per comprendere meglio gli aspetti legati agli episodi di inquinamento intenso e di breve periodo.

La principale fonte di incertezza legata alla previsione di questi fenomeni è la conoscenza delle sorgenti inquinanti di origine terrestre, che normalmente derivano da pratiche di gestione degli impianti di depurazione dell'acqua non ottimali, quali il bypass degli impianti di depurazione, oppure da scarichi abusivi. Spesso gli sforamenti dei limiti legislativi sono associati alla presenza di piogge nelle ore precedenti, tuttavia una volta che il pennacchio inquinante si trova in mare la concentrazione dei microinquinanti organici dipende in maniera sensibile anche da altri fattori, quali il ricambio delle acque, la dispersione, la temperatura del mare nella fascia litoranea.

Modelli a scala litoranea, simili a quelli descritti nel paragrafo precedente, con risoluzioni spinte, costituiscono la base su cui impostare dei modelli previsionali riguardanti la qualità delle acque costiere. In Italia, al momento, sistemi previsionali di questo tipo sono stati adottati dalla sola regione Emilia-Romagna, mentre altre regioni, quali la Liguria e la Toscana stanno facendo uno sforzo per poter dare dei criteri operativi utili alla gestione del problema. Le pratiche di gestione attualmente in uso, sono fondamentalmente basate sull'imposizione di divieti che scattano solo una volta che è stato osservato lo sfioramento dei parametri e pertanto solo a seguito di un campionamento che viene eseguito, dalle Agenzie Regionali per la Protezione Ambientale (ARPA), con frequenza di circa una volta al mese, durante la stagione balneare, da Maggio a Ottobre. Questo modo di procedere ha mostrato notevoli limiti per motivi legati alla necessità di misurare la concentrazione di inquinanti microrganici tramite analisi di laboratorio. Quest'ultime richiedono non meno di 36-48 ore per essere completate, per cui è possibile che il divieto scatti quando la criticità è rientrata. Una possibile soluzione potrebbe essere data da un cambio del paradigma di gestione, stavolta basato sull'utilizzo di ordinanze preventive.

Queste ordinanze potrebbero senz'altro beneficiare dal supporto della modellistica previsionale, ad esempio utilizzando le stime relative alla dispersione dei contaminanti nella fascia. In questo senso è in corso una collaborazione tra Regione Toscana e ARPAT i cui primi risultati sono in corso di valutazione.

Un altro fenomeno di potenziale pericolo è rappresentato dal proliferare di specie algali pericolose (Harmful Algal Blooms, HABs), ovvero fioriture di microalghe che direttamente o indirettamente sono pericolose per

la salute umana e per l'ecologia di una regione. Alcune tossine prodotte da microalghe riescono a raggiungere l'uomo, tramite inalazione di aerosol e contatto, mediante organismi vettori che accumulano al loro interno le sostanze tossiche.

Le fioriture di alcune di queste alghe, come ad esempio, l'*Ostreopsis ovata* (*O. ovata*), sono molto diffuse anche lungo le coste italiane, e nell'ultima decade i bloom di quest'alga sono divenuti più frequenti, intensi e largamente distribuiti in molte aree del Mediterraneo (Vila et al., 2001; Aligizaki e Nikolaidis, 2006).

Il monitoraggio puntuale (in situ) di qualità delle acque costiere è il metodo più utilizzato per osservare i parametri indicatori di possibili fenomeni che possono essere pericolosi per la balneazione. Tuttavia, alla luce dei progressi nel campo dell'osservazione satellitare delle acque costiere e della capacità di risolvere scale di dettaglio tramite modelli numerici previsionali, è possibile lavorare alla costruzione di sistemi previsionali di supporto alla gestione della qualità delle acque di balneazione anche per prevedere le condizioni favorevoli alla proliferazione di specie algali pericolose. Il telerilevamento costiero, nonostante alcune note problematiche quali la correzione atmosferica, presenta ampie prospettive di sviluppo per i prossimi anni, ed è pertanto uno strumento molto importante per il monitoraggio della concentrazione di parametri ecosistemici, quali la clorofilla di superficie, come indicatore dello stato trofico delle acque, per l'implementazione della direttiva UE "Marine Strategy" (Cristina et al., 2015).

I nuovi satelliti ESA, Sentinel-3, Ocean and Land Color Instrument (OLCI) e Sentinel-2, Multi Spectral Instrument (MSI), mostrano caratteristiche molto promettenti per il telerilevamento delle acque costiere. È quindi possibile osservare e studiare le dinamiche fisiche e biogeochimiche delle acque costiere e i potenziali impatti delle attività umane lungo i litorali, i porti, gli ambienti di transizione quali lagune ed estuari.

Come esempio di applicazione, proponiamo il possibile utilizzo di dati satellitari come strumento per l'osservazione sinottica e quotidiana delle aree target, permettendo dunque un monitoraggio frequente e la possibilità di individuare, tramite serie temporali, le combinazioni di parametri fisici e biogeochimici che possono determinare condizioni di allerta per le HABs.

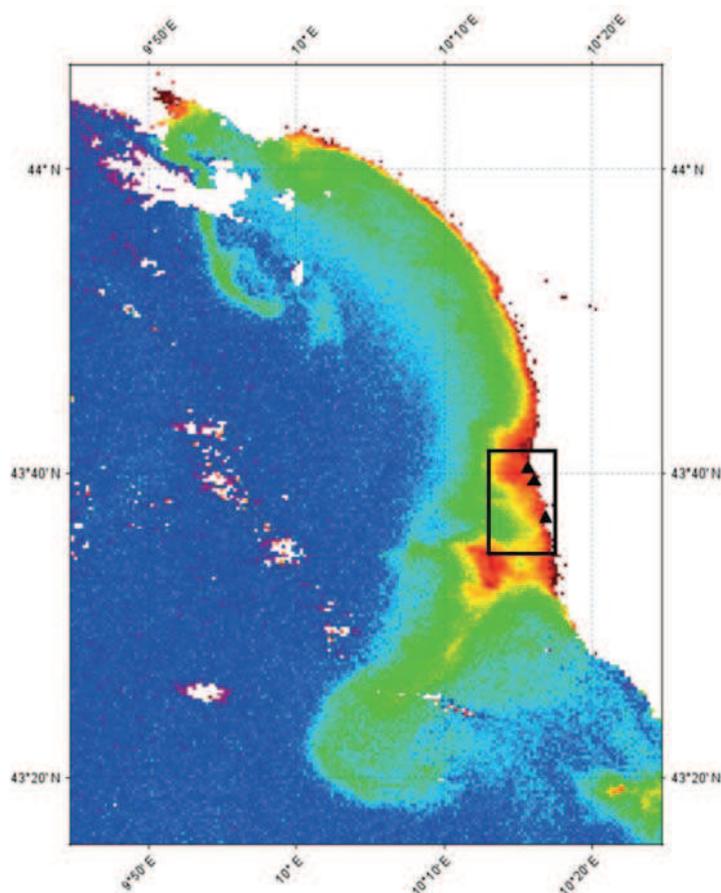


Figura 5. Clorofilla da Sentinel 3A FR OC4ME, (31/7/2017). Il riquadro nero mostra l'area in cui sono state effettuate le osservazioni satellitari. I triangoli neri sono le stazioni di monitoraggio di *O.ovata* (ARPAT).

In questa applicazione vengono rilevate le condizioni in cui si può verificare un evento potenzialmente dannoso legato alla fioritura algale di *O. ovata*. Questa fioritura, che può causare danni all'organismo marino e agli esseri umani, è principalmente causata dal verificarsi di giorni di condizioni meteorologiche e marine stabili (alta pressione atmosferica), in aree con ridotto moto ondoso (presenza di scogliere naturali o artificiali), e di temperatura dell'acqua relativamente alta. Le condizioni di rischio di fioritura sono rilevate confrontando i dati biogeochimici e fisici di un'area derivata da satellite - MODIS Aqua e OLCI Sentinel 3 - con soglie specifiche. I parametri di riferimento utilizzati sono:

- lo stato trofico, valutato come concentrazione superficiale di clorofilla (Chla);
- la temperatura dell'acqua, valutata come Temperatura superficiale del mare (SST);
- la Water Clarity, valutata come coefficiente di attenuazione della diffusione a 490 nm (KD490).

Considerando che *O. ovata* vive in acque poco profonde e per la maggior parte della sua vita su rocce e macroalghe, non è possibile un rilevamento satellitare diretto di parametri fisici/biogeochimici, ma i valori di SST, Chla e KD490 mediati su un'area più ampia, che include quella monitorata, possono essere usati come proxy per la segnalazione di una possibile allerta. Un'analisi esplorativa (Lapucci et al., 2019) effettuata alla foce dell'Arno, area in cui si trovano tre punti di monitoraggio ARPAT di concentrazione di *O. ovata* (Figura 5) mostra che è possibile mettere in relazione gli episodi di fioriture algali pericolose con questi parametri. Le osservazioni derivano dai satelliti MODIS AQUA e Sentinel 3 OLCI (SST, Chla, KD490). I parametri meteomarine sono ottenuti dalle boe più vicine (Gorgona, Gombo).

I risultati dell'analisi svolta per gli anni 2010-2015, indicano che un'interazione tra temperatura superficiale del mare (25° C) preceduta da giorni di moto ondoso appropriato per favorire la risospensione delle cellule nella colonna d'acqua e seguito da giorni di mare calmo sono fattori che favoriscono la fioritura e il bloom (Tabella 2). Si osserva inoltre come nei giorni in cui si manifesta il bloom i dati satellitari sono sopra una soglia prefissata, mentre nei periodi in cui il bloom è assente i dati satellitari (almeno quelli OLCI, con maggiore rappresentatività costiera) sono quasi sempre sotto questa soglia.

Tabella 2. dati satellitari e di *O. ovata* giugno - settembre 2016 e 2017. In rosso i dati sopra soglia, in arancione quelli prossimi alla soglia. I bloom si verificano in corrispondenza del superamento simultaneo.

	2016				2017				
	27/07	18/07	01/08	31/08	20/06	05/07	10/07	20/07	17/08
O. ovata (cell/l) Threshold 10000	8960	440	14360	960	9560	29800	60480	1760	4520
OLCI Chla (mg/m ³) Threshold 0.3	0.499	0.162	0.970	0.272	0.869	0.539	0.472		
MODIS Chla (mg/m ³) Threshold 0.3	0.281		0.404		0.322	0.352	0.254	0.215	0.250
OLCI KD490 (mg/m ³) Threshold 0.04	0.063	0.034	0.085	0.042	0.086	0.044	0.060		
MODIS KD490 (mg/m ³) Threshold 0.04	0.048		0.060		0.053	0.056	0.045	0.039	0.037
MODIS SST (°C) Threshold 25	26.22	24.26	27.62		25.8	26.3	25.9	25.61	
Bloom	X		X		X	X	X		

Si ritiene che questa applicazione possa essere implementata come vero e proprio servizio di previsione delle condizioni favorevoli alla fioritura, mediante dati di previsione idrodinamica e biogeochimica da modelli ad alta risoluzione.

Discussione e conclusioni

La realizzazione di sistemi previsionali a scala litoranea e costiera necessari per supportare applicazioni o servizi per la tutela della vita umana o della salute richiede, come descritto nei paragrafi precedenti, non può prescindere da una serie di componenti tecniche che includono:

- 1) utilizzo di modelli a scala costiera e altissima risoluzione;
- 2) disponibilità di rilievi geomorfologici recenti o comunque di un quadro aggiornato di informazioni;
- 3) disponibilità di un certo numero di dati di osservazione di onde, fenomeni idrodinamici costieri e qualità delle acque, anche da immagini satellitari, in numero sufficiente da permettere la calibrazione e la successiva validazione dei modelli numerici;
- 4) la definizione di indicatori e delle relative soglie, definiti a scala locale sulla base dell'indagine precedentemente avviata, per identificare le situazioni di potenziale rischio.

Per quanto i servizi di oceanografia operativa si stiano impegnando a fornire dati a risoluzione crescente, con maggiore dettaglio temporale, utilizzando modelli migliorati, possibilmente utilizzando dati disponibili a scala di bacino, quali immagini satellitari dei nuovi Sentinel-1, i servizi che si innestano su quei prodotti sono ancora lontani da poter essere utilizzati per fornire servizi a scala locale, lungo i litorali ad esempio.

Il gap fra i prodotti forniti dai servizi di analisi e previsione ufficiali (Copernicus) e la necessità di disporre di osservazioni e modelli ad altissima risoluzione è ancora troppo ampio.

Diverso è ovviamente il discorso riguardanti possibili applicazioni prototipali su aree limitate. Una soluzione tecnicamente interessante può essere realizzata utilizzando, come variabili predittive non tanto i risultati di modelli a piccola scala, quanto le variabili a larga scala quali: moto ondoso, temperatura e clorofilla.

Questi potrebbero essere utilizzate per la costruzione di appositi indici legati al rischio.

In questo lavoro, si è descritto lo stato d'implementazione di alcuni potenziali servizi operativi finalizzati a supportare la richiesta d'informazioni per la salvaguardia delle vite umane o per la tutela della salute. Si è mostrato come oggi ci sono tutti gli elementi per pervenire alla realizzazione di sistemi previsionali a scala locale, e non più solo ad ampia scala, innestandosi sui dati provenienti dall'ordinaria previsione meteorologica o meteomarina, che ha raggiunto livelli di affidabilità molto elevati.

Il miglioramento delle capacità di calcolo permette, infatti, di realizzare modelli ad altissima risoluzione costiera per simulare varie situazioni di potenziale pericolo, legate a vari tipi di: impatto delle mareggiate, rip current, episodi d'inquinamento intenso e di breve periodo, condizioni favorevoli allo sviluppo di specie algali pericolose.

All'incremento delle capacità prestazionali dei modelli si accompagna anche la disponibilità di dati satellitari ad altissima risoluzione con cui è possibile aggiornare alcune caratteristiche fisiche o biogeochimiche delle acque costiere, quali: temperatura, torbidità o clorofilla.

Le potenziali applicazioni che coinvolgono solo sistemi la cui dinamica è nota con minore incertezza, è senza dubbio più matura. È il caso della previsione dei fenomeni favorevoli all'innescò di rip current che, come noto, costituiscono uno dei maggiori pericoli per la balneazione.

Bibliografia

- Aligizaki K., Nikolaidis G., 2006. *The presence of the potentially toxic genera *Ostreopsis* and *Coolia* (Dinophyceae)*. In the North Aegean Sea, Greece. *Harmful Algae*, 5: 717–730.
- Dalrymple R.A. MacMahan J.H., Reniers J.H.M., Nelko J.H.M., 2011. *Rip Currents, Annual Reviews*. In *Fluids Mechanics*, 43: 551-581.
- Lapucci C., Taddei S., Doronzo B., Fattorini M., Melani S., Betti G., Maselli F., Ortolani A., Gozzini B., Brandini C., 2019. *Earth observation as an aid to coastal water monitoring: potential application to harmful algal bloom detection*. In: G. Chirici & M. Giannetto (Eds.), *Trends in earth observation*, 1: 171-175.
- Longuet-Higgins M.S. e Stewart R. W., 1962. *Radiation stress and mass transport in gravity waves, with application to 'surf-beats'*. *Journal of Fluid Mechanics*, 10: 529–549.
- Roelvink, J.A., 2003. *Implementation of roller model, draft Delft3D manual*. Delft Hydraulics Institute.
- Sverdrup H.U. e Munk W.H., 1947. *Wind, sea and swell. Theory of relations for forecasting*. U.S. Navy Hydrographic Office, Washington, Pub. No. 601, 44 pp.
- Tolman H.L., 1991. *A third-generation model for wind waves on slowly varying, unsteady and inhomogeneous depths and currents*. *Journal of Physical Oceanography*, 21: 782–797.

Tolman H.L., Balasubramanian B., Burroughs L.D., Chalikov D.V., Chao Y.Y., Chen H.S., Gerald V.M., 2002. *Development and implementation of wind generated ocean surface wave models at NCEP*. Weather and Forecasting, 17: 311–333.

Vila M., Garcés E., Masó M., 2001. *Potentially toxic epiphytic dinoflagellate assemblages on macroalgae in NW Mediterranean*. Aquatic Microbial Ecology, 26: 51–60.

Ricevuto il 20/06/2019

Accettato il 30/06/2019

Fioriture algali: microalghe marine e cianobatteri, i pericoli per la balneazione

Maura Manganelli

Istituto Superiore di Sanità, Dipartimento Ambiente e Salute, viale Regina Elena 299, 00161 Roma, Italia.
Email: maura.manganelli@iss.it

Riassunto

Circa il 2% delle specie di microalghe marine e cianobatteri dà luogo a fioriture in grado di indurre effetti sulla salute. Oltre all'enorme quantità di biomassa che deve essere degradata, le specie algali coinvolte possono produrre delle tossine, pericolose anche per l'uomo. I fattori ambientali che regolano la produzione di tossine sono ancora poco conosciuti, e la crescente diffusione di fioriture tossiche a causa della combinazione di eutrofizzazione e cambiamenti climatici rende questo un problema crescente. L'uomo può essere esposto alle tossine o per ingestione di alimenti e/o acqua contaminati o durante lo svolgimento di attività ricreative come la balneazione. Durante queste attività, infatti, l'uomo può accidentalmente ingerire acqua contaminata (durante il nuoto o giochi in acqua o attività sportive) o essere esposto tramite contatto diretto con le alghe e le tossine o attraverso l'inalazione dell'aerosol prodotto dal moto ondoso o dai venti che spirano dal largo verso la costa o dall'attività stessa (canottaggio, moto d'acqua, ecc.). In Italia le fioriture sono regolarmente monitorate durante la stagione balneare nell'ambito del controllo delle acque di balneazione, secondo le linee guida pubblicate nel 2014 dall'Istituto Superiore di Sanità, integrate nel 2018 nella normativa vigente. Un ruolo importante nella prevenzione del rischio è comunque riservato alla comunicazione al pubblico e agli operatori del settore balneare che, opportunamente informati, possono svolgere importanti attività di segnalazione oltre a ridurre il rischio di esposizione durante lo svolgimento della propria attività lavorativa.

Parole chiave: alghe tossiche, cianobatteri, cianotossine, attività ricreative, aerosol, gastroenteriti, dermatiti.

Abstract

About 2% of marine microalgae and aquatic cyanobacteria species can overgrow to such a density to become visible and sometimes to make the water colored, producing harmful blooms. Blooms can be harmful because of the enormous amount of biomass that must be degraded, depleting oxygen from the bottom of the basin, or by clogging the respiratory/filtration organs of other organisms (fish, benthic filter-feeding). They can also be harmful because the involved algal or cyanobacterial species can produce toxins, whose ecological role is still unknown, but which are dangerous for other animals and humans. The environmental factors (e.g. growth rate, nutrients and chemical forms of N and P, light intensity, temperature) that regulate the production of toxins are still poorly understood and are usually species-specific. However, studies conducted in the last forty years in the framework of the Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO have shown a significant increase in the spread and abundance of the blooms. They have also noted that the combination of eutrophication and climate change has an important role as one of their causes, making harmful blooms a growing concern. Humans may be exposed to toxins by ingestion of contaminated food and/or water (for freshwater cyanobacteria) or during recreational activities such as bathing. During these activities, in fact, people can accidentally ingest contaminated water (during swimming, water games or sports activities) or be exposed by direct contact with algae and toxins, by inhaling the aerosol produced by the waves, the winds that blow from the open sea coastward or the activity itself (rowing, jet skiing, etc.). In Italy the

only dangerous toxic algae for bathing activities is *Ostreopsis cf. ovata*, a tropical dinoflagellate which in 2005, in Genoa, in weather conditions favourable to the formation of onshore aerosols, caused an important outbreak of more than 200 people (both swimmers and coastal visitors), 20% of which hospitalized for influenza-like illness and respiratory symptoms. The symptoms were mainly associated to inhalation of marine aerosol or more rarely to direct contact. Since then, blooms of *O. cf. ovata* have been reported from almost all Italian regions. Italian lakes, that people use in summer for bathing and recreational activities and in winter for aquatic sport activities, are interested by few species of toxic cyanobacteria, *Microcystis aeruginosa*, *Dolichospermum lemmermannii* and *Chryso-sporum ovalisporum* in summer, and *Planktothrix rubescens* in winter, which produce mainly microcystins, rarely anatoxin-a and cylindrospermopsin. In Italy, the blooms of algae and cyanobacteria are regularly monitored during the bathing season according to Directive 2006/7/EC on bathing water, implemented with the decree 30 March 2010 of the Ministry of Health, which in 2018 integrated the two guidelines on freshwater cyanobacteria and marine algae, published in 2014 by the Istituto Superiore di Sanità. The guidelines develop a risk-based approach, to define the exposure scenarios, thresholds levels and actions to do according to various conditions. Since blooms can evolve suddenly in case of changing weather and escape the controls, an important role in risk prevention is given to communication to the public, in order to enable people to recognize a risky situation. The guidelines also suggest to involve the operators of the seaside sector (lifeguards, swimming and diving schools trainers, pharmacists, general practitioners) in the warning system as they, when properly informed, can carry out important signalling activities in addition to reducing the risk of exposure during the course of their working activity.

Keywords: harmful algal blooms, cyanobacteria, microalgae, toxins, bathing activities, recreational activities.

Introduzione

Le alghe (eucariote) e i cianobatteri (procarioti), organismi autotrofi prevalentemente fotosintetici, svolgono un ruolo fondamentale come produttori primari in tutti gli ambienti acquatici (laghi, bacini artificiali e oceani). Nelle zone costiere infralitorali, a bassa profondità, le alghe pluricellulari bentoniche e alcune piante acquatiche convivono con le alghe e i cianobatteri unicellulari planctonici, che sono i soli produttori nelle zone al largo, ad alta profondità. La loro presenza è dunque fondamentale per un corretto funzionamento delle reti trofiche degli ecosistemi acquatici, di cui costituiscono il primo livello. Normalmente la loro densità è controllata dalla pressione predatoria e/o dalla disponibilità dei nutrienti ma in determinati momenti le condizioni ambientali (comprese le condizioni idrodinamiche e atmosferiche) sono tali da permettere ad alcune specie di raggiungere densità talmente elevate da diventare visibili ad occhio nudo, in alcuni casi conferendo all'acqua un colore rossastro o bruno o verde, e dare luogo a quelle che sono definite fioriture. Le fioriture possono creare danni all'ecosistema semplicemente per l'elevata quantità di biomassa da degradare, che sottrae ossigeno al fondale, ostruisce gli apparati di filtrazione di altri organismi (per esempio le branchie nei pesci o gli apparati filtratori di organismi bentonici). Tuttavia possono essere tossiche anche perché l'organismo che fiorisce produce tossine, cui molti organismi sono suscettibili, incluso l'uomo. Le fioriture hanno anche importanti implicazioni economiche perché oltre alla naturale diffidenza che si verifica nei frequentatori, causano accumulo di materiale in putrefazione sulle spiagge e odori nauseabondi che allontanano i turisti.

Le proliferazioni di tutti quegli organismi che, indipendentemente dalla loro densità, hanno effetti avversi sulla salute umana, e impattano su prodotti della pesca, acquacultura e su altre risorse umane, e causano danni ad interessi socioeconomici, vengono chiamate *Harmful Algal Blooms* (HAB) (Anderson et al., 2012) e il loro studio è affrontato a livello mondiale nell'ambito di un programma dell'*Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO*, iniziato nel 1990, per la ricerca, la formazione e il coordinamento fra i vari paesi membri (Anderson et al., 2010).

Dagli studi compiuti negli ultimi quarant'anni è evidente un aumento significativo su scala mondiale del numero di fioriture tossiche, del tipo di organismi tossici e delle tossine prodotte e delle conseguenti perdite economiche, anche se non sono ancora chiare tutte le cause di questo incremento. La diffusione delle specie algali in habitat nuovi può essere causata da fattori naturali, come la presenza di correnti e tifoni in grado di spostare i sedimenti contenenti cisti, o da fattori antropici, come lo scarico di acque di galleggiamento delle navi in mari diversi da quelli di provenienza o la coltivazione di molluschi d'importazione (Anderson et al., 2012). Tuttavia, il deterioramento della qualità dell'acqua dovuta all'eutrofizzazione e i cambiamenti climatici sono fondamentali per l'aumento delle fioriture e delle loro densità (Heisler et al., 2008; Paerl e Otten, 2013).

Relativamente all'aumento del numero di tossine conosciute, non è da escludere anche una maggiore capacità analitica che permette di identificare più facilmente anche piccole concentrazioni di vari metaboliti secondari tossici. Si ritiene che attualmente siano conosciute solo una piccola parte delle tossine effettivamente prodotte, soprattutto da parte dei cianobatteri (Buratti et al., 2017).

L'importanza sanitaria di questi organismi riguarda la possibilità di esposizione della popolazione alle tossine attraverso diverse vie.

Negli ambienti marino-costieri, dove gli HABs sono principalmente a carico di alghe, l'esposizione alle tossine algali avviene principalmente per ingestione di cibi contaminati lungo la catena alimentare, ma per alcune specie può avvenire anche durante lo svolgimento di attività ricreative e di balneazione, per inalazione di aerosol, per ingestione accidentale di acqua contaminata e per contatto (WHO, 2003). Anche l'esposizione alle cianotossine prodotte in acque dolci superficiali, dove i cianobatteri sono i principali organismi tossici, si può verificare durante le attività ricreative attraverso le vie già citate.

Ulteriori importanti vie di esposizione alle cianotossine sono poi l'ingestione di acqua potabile contaminata e l'uso di acqua superficiale non adeguatamente trattata per via parenterale (Buratti et al., 2017).

Alghe marine

Una dettagliata descrizione delle tossine marine conosciute, delle loro caratteristiche chimiche e della loro tossicità, si può trovare sul sito del Centro Ricerche Marine di Cesenatico, il laboratorio nazionale di riferimento per le biotossine algali (<http://www.centroricerchemarine.it>), su alcune pubblicazioni della FAO e dell'EFSA (EFSA, 2009a, 2009b; FAO, 2004) e in un volume edito da Gopalakrishnakone et al. (2015).

Per quanto riguarda i rischi per la balneazione e le attività connesse, come già accennato sono poche le specie interessate, in quanto generalmente l'esposizione avviene attraverso la contaminazione di prodotti ittici.

L'inalazione di aerosol contenente tossine o cellule e l'esposizione cutanea attraverso il contatto, oltre che l'ingestione involontaria di acqua durante il nuoto o altre attività svolte in acqua sono le vie di esposizione tipiche e possono essere simultanee.

L'esposizione inalatoria è associata a sintomi infiammatori delle vie respiratorie superiori ed inferiori, sindromi febbrili respiratorie, tosse, irritazione delle mucose. Numerosi studi hanno confermato la causalità dell'esposizione all'aerosol durante le fioriture dell'alga *Karenia brevis*, che produce brevitossine, in Florida e le infiammazioni dei tratti respiratori denunciate da numerosi bagnanti (Backer et al., 2003; Cheng et al., 2005; Fleming et al., 2011).

Per quanto riguarda l'esposizione da contatto, invece, sono stati riportati dei casi aneddotici d'infiammazioni cutanee in seguito al contatto con acque contenenti elevate concentrazioni di *Ostreopsis cf. ovata*, coralli del genere *Palythoa* o *Zoanthus*, che producono palitossine, o direttamente tramite contatto con i coralli (Baldini et al., 2014). Nel Mediterraneo, dove le tossine algali negli alimenti sono regolarmente controllate, la comparsa di *Ostreopsis cf. ovata*, un dinoflagellato bentonico conosciuto da molto tempo nelle zone tropicali e subtropicali, ma che in Italia è stato rilevato dal 1989 (Tognetto et al., 1995), ha cominciato a causare problemi durante la balneazione (Figura 1).

In Italia e in Francia molti casi di sindrome febbrile-respiratoria sono stati riportati durante attività ricreative balneari in coincidenza di estese fioriture di *Ostreopsis cf. ovata* lungo le coste, dall'inizio degli anni 2000.

Il caso più importante si è verificato a Genova nel 2005, quando più di 200 persone, di cui circa il 20% ospedalizzato per poche ore, hanno riportato sintomi dopo aver stazionato per un po' di tempo sul litorale (Baldini et al., 2014; Brescianini et al., 2006).

La sindrome simil-influenzale nei bagnanti o in persone che stazionavano lungo il litorale, con segni e sintomi quali irritazione delle prime vie aeree, tosse, rinorrea, difficoltà respiratorie, dolori muscolari e articolari, irritazione a carico delle mucose oculari e della cute e febbre, tutti sintomi che si risolvono per lo più spontaneamente nelle 24-72 ore successive alla loro insorgenza, è stata associata all'esposizione all'aerosol durante le fioriture intense. Gli episodi d'intossicazione si sono verificati effettivamente soltanto in presenza di vento forte verso riva e mareggiate, con forte produzione di aerosol, in corrispondenza di densità molto elevate di *O. cf. ovata* in colonna d'acqua (≥ 100.000 cell/L).

Sono stati anche segnalati casi di tossicità locale cutanea e oculare reversibile, associati ad attività di balneazione e ad esposizione ad aerosol marino in concomitanza di proliferazioni di *O. cf. ovata*. Comunque la numerosità dei casi segnalati è generalmente molto modesta rispetto al totale dei bagnanti.



Figura 1. Filamenti mucillaginosi formati da *Ostreopsis cf. ovata* in colture di laboratorio.

O. cf. ovata produce le ovatossine, molecole analoghe alle palitossine (Ciminiello e Penna, 2014; Rossi et al., 2010). Le palitossine sono una famiglia di circa 20 composti, comprese le ovatossine, e ogni tossina presenta delle caratteristiche tossicologiche diverse: la palitossina, che prende il nome dai coralli tropicali *Palythoa toxica* e *tuberosa* che la producono, è una delle più tossiche, mentre gli studi attualmente disponibili suggeriscono che le ovatossine siano meno tossiche della palitossina e di altre varianti (Pelín et al., 2016). La palitossina altera il funzionamento della pompa sodio/potassio della membrana cellulare, una funzione fondamentale per la trasmissione dell'impulso nervoso (Pelín et al., 2015). I sintomi sono caratterizzati all'inizio da disturbi gastrointestinali (sapore metallico in bocca, nausea, vomito e diarrea) seguiti da bruciore/formicolio alla bocca o alla gola, contrazioni del muscolo scheletrico e cardiaco, problemi cardiovascolari e emolisi (lisi dei globuli rossi). Nelle regioni tropicali ha dato luogo ad avvelenamenti anche letali in seguito ad ingestione di organismi marini contaminati.

Nel bacino del Mediterraneo tali effetti non sono stati riportati, probabilmente per la minore tossicità delle ovatossine. Non sono noti neanche casi d'intossicazione a seguito di ingestione di acqua durante attività di balneazione, ma sono state segnalate morie di molte specie di organismi acquatici, verosimilmente come conseguenza dell'effetto di molecole PITX-simili.

Dato che con frequenze ed intensità variabili ormai tutte le coste italiane sono interessate da fioriture estive di *O. cf. ovata* (con picchi fra luglio e settembre a seconda delle regioni), per proteggere la salute della popolazione e le attività economiche in settori quali il turismo balneare, la pesca e l'acquacoltura, la densità dell'alga durante la stagione balneare è regolarmente monitorata. Inoltre, il Ministero della Salute ha recentemente integrato la normativa sulla balneazione con le linee guida dell'Istituto Superiore di Sanità del 2014 (Funari et al., 2014b, 2015; Ministero della Salute, 2018) che hanno aggiornato quelle precedenti (Ministero della Salute, 2010), sulla base delle nuove conoscenze scientifiche e dei dati degli ultimi anni.

Infine, alcune informazioni pratiche sulle fioriture di *Ostreopsis ovata* e le palitossine si possono trovare sul sito www.issalute.it dell'Istituto Superiore di Sanità.

Cianobatteri d'acqua dolce

I cianobatteri sono organismi antichissimi (la cui origine risale a più di 3500 milioni di anni fa (Schopf, 2002), che nel corso dell'evoluzione hanno occupato tutte le nicchie ecologiche, anche le più estreme (dalle sorgenti termali agli iceberg, dalle acque dolci alle croste desertiche, in simbiosi con altri organismi) (Whitton e Potts, 2002).

Negli ambienti acquatici danno luogo a estese e abbondanti fioriture in condizioni di elevate concentrazioni

di nutrienti, limitato ricambio idrico, elevate temperature e stabilità termica (Paerl e Huisman, 2009). Molte specie producono metaboliti secondari, il cui ruolo ecologico è tuttora sconosciuto, che hanno effetti tossici su alcuni organismi, compreso l'uomo e rappresentano pertanto un problema sanitario (Funari e Testai, 2008). In Tabella 1 sono riportate le numerose classi di cianotossine conosciute e i loro principali effetti. La loro produzione dipende dalla presenza del genotipo tossico e da diversi fattori ambientali che ne regolano il rapporto con il genotipo non tossico e l'espressione genica (Neilan et al., 2013). Tuttavia le indicazioni sui fattori ambientali importanti sono specie-specifici e a volte anche contrastanti, perché ceppi diversi della stessa specie reagiscono in modo differente (Buratti et al., 2017). Le vie di esposizione durante le attività ricreative e di balneazione sono le stesse delle alghe marine: ingestione accidentale di acqua, contatto e inalazione. Il rischio è determinato dalle proprietà fisico-chimiche e tossicologiche delle cianotossine presenti e dagli scenari e livelli di esposizione, e si possono avere sia effetti locali (ad esempio irritazione degli occhi e della pelle, e sintomi gastrointestinali dovuti a irritazione e sensibilizzazione della mucosa) ed effetti sistemici (che colpiscono gli organi interni). I pochi eventi aneddotici e studi epidemiologici disponibili sono stati accuratamente esaminati (Buratti et al., 2017; Funari e Testai, 2008; Stewart et al., 2006; Testai et al., 2016).

Tabella 1. Le principali cianotossine conosciute, le specie che le producono e il tipo principale di tossicità.

Cianotossine	Cianobatteri	Tipo di tossicità
<u>Microcistine</u> (>90 congeneri)	<i>Microcystis</i> spp., <i>Planktothrix</i> spp., <i>Dolichospermum</i> , <i>Nostoc</i> , <i>Synechocystis</i> , <i>Cyanobium bacillare</i> , <i>Arthrospira fusiformis</i> , <i>Limnothrix redekei</i> , <i>Phormidium formosum</i> , <i>Hapalosiphon hibernicus</i>	Epatotossine, neurotossine
Nodularine	<i>Nodularia spumigena</i> (brackish water)	Epatotossine
<u>Cilindrospermopsine</u>	<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> , <i>Umezakia natans</i> , <i>Chrysochlorum ovalisporum</i> , <i>Aphanizomenon flos-aquae</i> , <i>Raphidiopsis curvata</i> , <i>Anabaena lapponica</i> , <i>Anabaena bergii</i>	Citotossine
<u>Anatossina-a</u>	<i>Dolichospermum</i> spp., <i>Aphanizomenon</i> (<i>A. flos-aquae</i> , <i>A. issatschenkoii</i>), <i>Cylindrospermum</i> , <i>Microcystis</i> spp., <i>Planktothrix</i> spp., <i>Raphidiopsis mediterranea</i>	Neurotossine
Homoanatossina-a	<i>Oscillatoria formosa</i> , <i>Raphidiopsis mediterranea</i>	Neurotossine
Anatossina a-(s)	<i>Anabaena flos-aquae</i> , <i>A. lemmermannii</i>	Neurotossine
Saxitossine	<i>Aphanizomenon</i> , <i>Anabaena</i> , <i>Lyngbya</i> , <i>Cylindrospermopsis</i> spp.	Neurotossine
Endotossine Lipopolisaccaridiche (LPS)	Tutti i cianobatteri	Tossine irritanti e gastrointestinali
Aplisiatossine, Lingbiatossine Debromoaplisiatossine	<i>Lyngbya majuscula</i> (marine waters), <i>Oscillatoria nigro-viridis</i>	Tossine irritanti e gastrointestinali
Microviridine J	<i>Microcystis</i>	Sconosciuto

"Le tossine sottolineate sono quelle trovate finora in Italia."

In estrema sintesi, effetti sistemici (disturbi gastrointestinali acuti progrediti in sintomi simil-influenzali con febbre, mal di testa e mialgia, fino a polmonite atipica ed epatotossicosi) sono stati osservati dopo ingestione involontaria di acqua in seguito a cadute accidentali dalla barca o dal parapendio, in seguito al riflesso immersione-deglutizione, che è ancora più stimolato a temperature dell'acqua inferiori a 25°C. Lo svolgimento di sport acquatici in inverno può dunque rappresentare un rischio più elevato. Gli effetti associati ad attività ricreative durante la stagione balneare sono rash cutanei, irritazione, gonfiore e piaghe in caso di esposizione cutanea; sintomi gastrointestinali dopo ingestione di acqua e sintomi respiratori in caso di inalazione. In caso di presenza di neurotossine sono stati segnalati anche sintomi di confusione, disturbi visivi, oltre a mal di testa e febbre (Hilborn et al., 2014). Effetti locali di irritazione e sensibilizzazione sono stati associati più al contatto con le cellule che alla presenza di cianotossine (Bernstein et al., 2011; Geh et al., 2015). La maggior parte di questi sintomi comunque regredisce in poche ore senza nessun intervento.

L'OMS ha suggerito dei valori empirici di allerta (World Health Organization, WHO, 2003) e ogni Paese ha adottato delle procedure di prevenzione individuali (Chorus, 2012; Funari et al., 2017).

In Italia molti laghi sono interessati dalla presenza di specie cianobatteriche anche tossiche, e le specie più importanti per frequenza e abbondanza sono *Microcystis aeruginosa*, *Dolichospermum lemmermannii* e *Chryso-sporum ovalisporum* in estate, e *Planktothrix rubescens*, (Figura 2) in tardo autunno-inverno (Manganelli et al., 2014), tutte produttrici di microcistine, tranne *C. ovalisporum* che produce cilindrospermopsina, e *D. lemmermannii* che può produrre anche anatoxina-a.



Figura 2. Una fioritura superficiale di *Planktothrix rubescens* in un lago italiano. Foto: M. Pannocchia, A. Cerutti (<http://rsaonline.arpa.piemonte.it/rsa2006/rsa/capitoli/natura/plancton.htm>).

Le prime tre specie possono causare disagi e problemi relativi ad attività di balneazione, mentre *P. rubescens*, che fiorisce d'estate sotto il termocline e in superficie solo d'inverno, è più importante per l'uso potabile dell'acqua (Manganelli et al., 2010) o durante lo svolgimento di sport acquatici invernali. La presenza dei cianobatteri è controllata dalle autorità locali attraverso piani di monitoraggio ben regolamentati, e i rischi di esposizione acuta sia per attività ricreative e di balneazione che per uso potabile dell'acqua, sembrano essere sotto controllo.

Anche per i cianobatteri il Ministero della Salute ha integrato nello stesso decreto la normativa sulla balneazione con le linee guida dell'Istituto Superiore di Sanità del 2014 (Funari et al., 2014a; Ministero della Salute, 2018) che hanno aggiornato quelle precedenti (Ministero della Salute, 2010). Mancano ancora molte informazioni sul profilo tossicologico delle cianotossine attraverso le vie di esposizione principali con esposizione a dosi ripetute per brevi periodi (tossicità sub-acuta/subcronica), i dati sull'accumulo delle cianotossine negli organismi eduli, al momento insufficienti a delineare uno scenario espositivo accurato, e la necessità di procedere alla creazione di un database nazionale dei dati di sorveglianza sanitaria da incrociare con i dati di monitoraggio sulle fioriture. Le due linee guida sulle fioriture di *Ostreopsis cf. ovata* e sulle fioriture dei cianobatteri, che sono state redatte in collaborazione con gli esperti delle autorità locali preposte al controllo della balneazione, condividono un approccio basato sulla valutazione del rischio per proteggere la popolazione da esposizioni pericolose ed evitare la chiusura delle attività di balneazione, se non è effettivamente necessario. Le linee guida prevedono attività di monitoraggio per determinare il livello di rischio (nullo, allerta, emergenza) sulla base del numero di cellule e di concentrazioni limite di tossine determinate sulle informazioni scientifiche disponibili, e conseguenti azioni da intraprendere da parte delle autorità competenti (aumento della frequenza di monitoraggio, informazioni al pubblico, e altre azioni fino alla sospensione della balneazione o la chiusura della spiaggia).

Dato che nonostante il monitoraggio regolarmente effettuato si possono verificare fioriture improvvise in particolari condizioni meteorologiche e che sport acquatici e attività ricreative possono essere svolte anche

al di fuori della stagione di balneazione (aprile-settembre) quando il controllo è sospeso, le linee guida evidenziano la necessità di un'adeguata comunicazione al pubblico (es. tramite cartellonistica sul posto nelle spiagge a rischio, sui siti web, ecc.), che permetta di riconoscere situazioni rischiose. Inoltre, si suggerisce la possibilità di promuovere un sistema integrato di sorveglianza degli eventi sanitari associati agli organismi produttori di tossine, coinvolgendo anche gli operatori che, per la loro attività lavorativa, sono a contatto con un grande numero di bagnanti e frequentatori di spiagge e litorali, come i bagnini, i pescatori, le scuole di nuoto e immersione e i farmacisti. Nelle zone dove le fioriture di organismi tossici sono frequenti, gli operatori di questi settori dovrebbero essere informati prima della stagione balneare con apposito materiale (es. opuscoli, brochure, siti web) o attraverso incontri.

In questo modo potrebbero essere in condizione di riconoscere alcuni primi sintomi nelle persone che hanno avuto qualche tipo di contatto con la fioritura (contatto con l'acqua o pratica di sport acquatici o permanenza nelle vicinanze delle fioriture in presenza di aerosol) e indirizzarle verso la struttura sanitaria che procederebbe all'opportuna verifica. L'autorità sanitaria, previa verifica e informazione sull'effettiva presenza di fioriture, potrebbe valutare l'opportunità di procedere, con informazione e prevenzione nei confronti del pubblico, e con la richiesta di intensificare le attività di monitoraggio. Queste segnalazioni avrebbero l'indubbio vantaggio di prevenire l'insorgere di episodi epidemici e di esposizioni potenzialmente più pericolose e per l'individuazione di aree critiche non ancora segnalate. Inoltre, l'informazione offerta alle categorie di lavoratori sopra descritti, fornirebbe a quelle categorie potenzialmente esposte per la propria attività lavorativa, un necessario strumento di prevenzione.

Bibliografia

- Anderson D., Reguera B., Pitcher G., Enevoldsen H., 2010. *The IOC International Harmful Algal Bloom Program: History and science impacts*. Oceanography, 23: 72-85.
- Anderson D.M., Alpermann T.J., Cembella A. D., Collos Y., Masseret E., Montresor M., 2012. *The globally distributed genus Alexandrium: Multifaceted roles in marine ecosystems and impacts on human health*. Harmful Algae, 14: 10-35.
- Backer L., Fleming L., Rowan A., Cheng Y., Benson J., Pierce R., 2003. *Recreational exposure to aerosolized brevetoxins during Florida red tide events*. Harmful Algae, 2: 19-28.
- Baldini M., Durando P., Sosa S., Testai E., Tubaro A., 2014. *Effetti osservati sulla salute umana*, In: Funari E., Manganelli M. e Testai E. (Eds.), *Ostreopsis cf. ovata: linee guida per la gestione delle fioriture negli ambienti marino-costieri in relazione a balneazione e altre attività ricreative*. Rapporti ISTISAN 14/19. Istituto Superiore di Sanità, Rome: 45-56.
- Bernstein J., Ghosh D., Levin L., Zheng S., Carmichael W., Lummus Z., Bernstein I., 2011. *Cyanobacteria: an unrecognized ubiquitous sensitizing allergen?* Allergy Asthma Proc., 32: 106-110.
- Brescianini C., Grillo C., Melchiorre N., Bertolotto R., Ferrari A., Vivaldi B., Icardi G., Gramaccioni L., Funari E., Scardala S., 2006. *Ostreopsis ovata algal blooms affecting human health in Genova, Italy, 2005 and 2006*. Euro Surveillance: Bulletin Europeen sur les Maladies Transmissibles. European Communicable Disease Bulletin, 11(9).
- Buratti F.M., Manganelli M., Vichi S., Stefanelli M., Scardala S., Testai E., Funari E., 2017. *Cyanotoxins: producing organisms, occurrence, toxicity, mechanism of action, and human health toxicological risk evaluation*. Archives of Toxicology, 91: 1049-1130.
- Cheng Y. S., Zhou Y., Irvin C.M., Pierce R. H., Naar J., Backer L.C., Fleming L.E., Kirkpatrick B., Baden D.G., 2005. *Characterization of Marine Aerosol for Assessment of Human Exposure to Brevetoxins*. Environmental Health Perspectives, 113: 638-643.
- Chorus I., 2012. *Current approaches to Cyanotoxin risk assessment, risk management and regulations in different countries*. Federal Environment Agency (Umweltbundesamt), Dessau-Roßlau, Germany. 117 pp.
- Ciminiello P. e Penna A., 2014. *Caratteristiche chimiche delle palitossine e fonti biogenetiche*, In: Funari E., Manganelli M. e Testai E. (Eds.), *Ostreopsis cf. ovata: linee guida per la gestione delle fioriture negli ambienti marino-costieri in relazione a balneazione e altre attività ricreative*. Rapporti ISTISAN 14/19. Istituto Superiore di Sanità, Rome: 28-31.
- EFSA, 2009a. *Marine biotoxins in shellfish – Summary on regulated marine biotoxins. Scientific Opinion of the Panel of Contaminants in the Food chain*. EFSA Journal, 1306: 1-23.

- EFSA, 2009b. *Marine biotoxins in shellfish – Palytoxin group. Scientific Opinion of the Panel of Contaminants in the Food chain*. EFSA Journal, 1393: 1-38.
- FAO, 2004. *Marine biotoxins*. Food and Nutrition Paper, 80: 5-49.
- Fleming L.E., Kirkpatrick B., Backer L.C., Walsh C.J., Nierenberg K., Clark J., Reich A., Hollenbeck J., Benson J., Cheng Y.S., Naar J., Pierce R., Bourdelais A.J., Abraham W.M., Kirkpatrick G., Zaias J., Wanner A., Mendes E., Shalat S., Hoagland P., Stephan W., Bean J., Watkins S., Clarke T., Byrne M. e Baden D. G., 2011. *Review of Florida red tide and human health effects*. Harmful Algae, 10: 224-233.
- Funari E., Manganelli M., Buratti F.M., Testai E., 2017. *Cyanobacteria blooms in water: Italian guidelines to assess and manage the risk associated to bathing and recreational activities*. Science of The Total Environment, 598: 867-880.
- Funari E., Manganelli M., Testai E., 2014a. *Cianobatteri: linee guida per la gestione delle fioriture nelle acque di balneazione*, Rapporti ISTISAN 14/20. Istituto Superiore di Sanità, Rome.
- Funari E., Manganelli M., Testai E., 2014b. *Ostreopsis cf. ovata: linee guida per la gestione delle fioriture negli ambienti marino-costieri in relazione a balneazione e altre attività ricreative*, Rapporti ISTISAN 14/19. Istituto Superiore di Sanità, Rome.
- Funari E., Manganelli M., Testai E., 2015. *Ostreopsis cf. ovata blooms in coastal water: Italian guidelines to assess and manage the risk associated to bathing waters and recreational activities*. Harmful Algae, 50: 45-56.
- Funari E., Testai E., 2008. Human health risk assessment related to cyanotoxins exposure. Critical Reviews in Toxicology, 38: 97-125.
- Geh E., Ghosh D., McKell M., de la Cruz A., Stelma G., Bernstein J., 2015. *Identification of Microcystis aeruginosa peptides responsible for allergic sensitization and characterization of functional interactions between cyanobacterial toxins and immunogenic peptides*. Environmental Health and Perspective, 123: 1159-1166.
- Gopalakrishnakone P., Haddad V., Kem W., Tubaro A., Kim E., 2015. *Marine and freshwater toxins*. Springer, Dordrecht. 476 pp.
- Heisler J., Glibert P. M., Burkholder J. M., Anderson D. M., Cochlan W., Dennison W. C., Dortch Q., Gobler C. J., Heil C. A., Humphries E., Lewitus A., Magnien R., Marshall H. G., Sellner K., Stockwell D. A., Stoecker D. K., Suddleson M., 2008. *Eutrophication and harmful algal blooms: A scientific consensus*. Harmful Algae, 8: 3-13.
- Hilborn E., Roberts V., Backer L., Deconno E., Egan J., Hyde J., Nicholas D., Wiegert E., Billing L., Diorio M., Mohr M., Hardy J., Wade T., Yoder J., Hlavsa M., 2014. *Algal bloom associated disease outbreaks among users of freshwater lakes--United States, 2009-2010*. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). MMWR Morb Mortal Wkly Rep, 63: 11-15.
- Manganelli M., Scardala S., Stefanelli M., Vichi S., Mattei D., Bogialli S., Ceccarelli P., Corradetti E., Petrucci I., Gemma S., Testai E., Funari E., 2010. *Health risk evaluation associated to Planktothrix rubescens: An integrated approach to design tailored monitoring programs for human exposure to cyanotoxins*. Water Research, 44: 1297-1306.
- Manganelli M., Viaggiu E., Barone R., Buzzi F., Caviglia F., Congestri R., Copetti D., Angelis R.D., Godeas F., Guzzella L., Masala E., Naselli-Flores L., Salmaso N., Scardala S., 2014. *Situazione nazionale: corpi idrici interessati da cianobatteri tossici*. In: Funari E., Manganelli M. e Testai E. (Eds.), *Cianobatteri: linee guida per la gestione delle fioriture nelle acque di balneazione*. Rapporti ISTISAN 14/20. Istituto Superiore di Sanità, Rome: 116-143.
- Ministero della Salute, 2010. *Decreto 30 marzo 2010. Definizione dei criteri per determinare il divieto di balneazione, nonché modalità e specifiche tecniche per l'attuazione del decreto legislativo 30 maggio 2008, n. 116, di recepimento della direttiva 2006/7/CE, relativa alla gestione della qualità delle acque di balneazione*. Gazzetta Ufficiale - Serie Generale, n. 119, del 24 Maggio 2010.
- Ministero della Salute, 2018. *Decreto 19 aprile 2018. Modifica del decreto 30 marzo 2010, recante: «Definizione dei criteri per determinare il divieto di balneazione, nonché modalità e specifiche tecniche per l'attuazione del decreto legislativo 30 maggio 2008, n. 116, di recepimento della direttiva 2006/7/CE, relativa alla gestione della qualità delle acque di balneazione»*. Gazzetta Ufficiale - Serie Generale, n. 196, del 24 Agosto 2018.
- Neilan B. A., Pearson L. A., Muenchhoff J., Moffitt M.C. e Dittmann E., 2013. *Environmental conditions that influence toxin biosynthesis in cyanobacteria*. Environmental Microbiology, 15: 1239-1253.

- Paerl H. W., Huisman J., 2009. *Climate change: a catalyst for global expansion of harmful cyanobacterial blooms*. Environmental Microbiology Reports, 1: 27-37.
- Paerl H. W. e Otten T. G., 2013. *Harmful Cyanobacterial Blooms: Causes, Consequences, and Controls*. Microbial Ecology, 65: 995-1010.
- Pelin M., Forino M., Brovedani V., Tartaglione L., Dell'Aversano C., Pistocchi R., Poli M., Sosa S., Florio C., Ciminiello P., Tubaro A., 2016. *Ovatoxin-a, A Palytoxin Analogue Isolated from Ostreopsis cf. ovata Fukuyo: Cytotoxic Activity and ELISA Detection*. Environmental Science & Technology, 50: 1544-1551.
- Pelin M., Sosa S., Tubaro A., 2015. *Palytoxins: Toxicological Profile*, In: Gopalakrishnakone P., Haddad Jr V., Kem W.R., Tubaro A., Kim E., Marine and Freshwater Toxins. Springer Netherlands, Dordrecht: 1-14.
- Rossi R., Castellano V., Scalco E., Serpe L., Zingone A., Soprano V., 2010.- *New palytoxin-like molecules in Mediterranean Ostreopsis cf. ovata (dinoflagellates) and in Palythoa tuberculosa detected by liquid chromatography-electrospray ionization time-of-flight mass spectrometry*. Toxicon, 56: 1381-1387.
- Schopf J., 2002. *The fossil record: tracing the roots of the cyanobacterial lineage*, In: Whitton B. e Potts M. (Eds.), The ecology of cyanobacteria. Their diversity in time and space. Kluwer Academic Publishers, New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow: 13-35.
- Stewart I., Webb P., Schluter P. e Shaw G., 2006. *Recreational and occupational field exposure to freshwater cyanobacteria - a review of anecdotal and case reports, epidemiological studies and the challenges for epidemiologic assessment*. Environmental Health: A Global Access Science Source, 5: 1-13.
- Testai E., Scardala S., Vichi S., Buratti F.M., Funari E., 2016. *Risk to human health associated with the environmental occurrence of cyanobacterial neurotoxic alkaloids anatoxins and saxitoxins*. Critical Reviews in Toxicology, 46: 385-419.
- Tognetto L., Bellato S., Moro I. e Andreoli C., 1995. *Occurrence of Ostreopsis ovata (Dinophyceae) in the Tyrrhenian Sea during summer 1994*. Botanica Marina, 38: 291-295.
- Whitton B. e Potts M., 2002. *Introduction to the Cyanobacteria*, In: Whitton B. e Potts M. (Eds.), The Ecology of Cyanobacteria. Their diversity in time and space. Kluwer Academic Publishers, New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow: 1-11.
- WHO, 2003. *Guidelines for Safe Recreational Water Environment. Coastal and Fresh Waters*. World Health Organization, Geneva.

Ricevuto il 14/05/2019

Accettato il 11/07/2019

Qualità delle acque di balneazione: normativa europea e nazionale

Evelina Provenza

Comitato Medico Scientifico SNS
Società Nazionale di Salvamento. Via Luccoli, 24, 16123 Genova GE
Email: e.provenza@arpacal.it

Riassunto

La Direttiva Europea sulle acque di balneazione è finalizzata alla tutela della salute dei bagnanti. Il D.lgs. 116/08 per la prima volta offre la possibilità di un approccio integrato nei riguardi della problematica ed introduce degli strumenti, senza dubbio innovativi, rispetto alla vecchia normativa, nello specifico: i profili delle acque di balneazione, la classificazione delle acque in 4 classi di qualità e l'inquinamento di breve durata.

Parole chiave: D.lgs. 116/08, acque di balneazione, aree omogenee, qualità delle acque di balneazione.

Abstract

The European Bathing Water Directive aimed at safeguarding the health of bathers. For the first time, the Decree-Law No. 116/08 offers the possibility of an integrated approach to the problem as well as, it introduces innovative tools compared to the previous law, in particular: the bathing water profiles, the classification of water quality in 4 classes and the short-term pollution.

Key words: Decree-Law No. 116/08, bathing water, homogenous area, bathing water quality.

Introduzione

L'attività di gestione delle acque di balneazione si basa non solo sul controllo e sul monitoraggio delle stesse, ma soprattutto sulla prevenzione, sull'informazione in tempo reale e sul coinvolgimento della gente, che potrà segnalare eventuali anomalie osservate e contribuire così alla tutela della salute dei bagnanti.

Applicazione della normativa D.lgs. 116/08 in recepimento della Direttiva 2006/7/CEE

La Direttiva Europea nella gestione delle acque di balneazione si basa su moderne e più attuali conoscenze scientifiche, che permettono di tutelare la salute dei bagnanti in modo più efficace [1].

Il quadro normativo in materia di acque di balneazione è regolamentato dalla "Direttiva Balneazione" (Dir. 2006/7/CE), recepita dal D.lgs. 116/2008, a sua volta seguito dal decreto attuativo D.M. 30 marzo 2010, (Gazzetta ufficiale n. 97, 24 maggio 2010), che illustra i criteri per definire i divieti di balneazione e le tecniche di applicazione del D.lgs. [2].

Il decreto si applica alle acque superficiali, dove presumibilmente può essere praticata la balneazione e dove non esiste un motivo di divieto permanente di balneazione. Non è applicato alle piscine e alle acque sottoposte a trattamenti per fini terapeutici, perché i controlli in queste matrici sono di competenza delle ASP, ovvero delle Aziende Pubbliche di Servizi.

La principale finalità del decreto è illustrata nell'articolo 1 che recita testualmente: "La presente direttiva è finalizzata a preservare, proteggere e migliorare la qualità dell'ambiente e a proteggere la salute umana dai

rischi dell'inquinamento delle acque di balneazione". L'applicazione della normativa passa attraverso le seguenti quattro fasi:

1. monitoraggio delle acque di balneazione,
2. classificazione delle acque di balneazione,
3. gestione della qualità delle acque,
4. informazione al pubblico.

Una delle novità di tale Direttiva è senza dubbio, l'introduzione di uno strumento innovativo che è il "Profilo delle acque di balneazione". Esso rappresenta uno strumento previsionale per la conoscenza e la valutazione dei fattori di rischio ambientale che potrebbero danneggiare la salute dei bagnanti. A tal fine si dovranno identificare le eventuali cause di inquinamento e la loro origine, attraverso la conoscenza delle caratteristiche fisiche, geomorfologiche e idrodinamiche dell'area in esame, oltre che le relazioni fra le acque di balneazione e i corsi d'acqua sfocianti nelle acque marine.

L'atto normativo nazionale di recepimento della nuova direttiva, il D.lgs 116/08, prevede notevoli cambiamenti nella raccolta e gestione dei dati per valutare la qualità delle acque di balneazione, in particolare:

- la determinazione di solo 2 parametri batteriologici: Escherichia coli ed Enterococchi intestinali, ritenuti i migliori indicatori di contaminazione fecale, rispetto ai 17 della vecchia normativa (DPR 470/86),
- la frequenza dei controlli mensili durante la stagione balneare, secondo un calendario stabilito prima dell'inizio della stagione, per un numero minimo di 4 campioni all'anno per ogni punto di prelievo. Tale monitoraggio viene effettuato da Aprile a Settembre dalle ore 9.00 alle 16.00 dei giorni destinati all'attività,
- il giudizio di qualità basato su calcolo statistico dei dati microbiologici. Il giudizio viene espresso ogni anno al termine della campagna di monitoraggio sulla base dei risultati analitici della stagione balneare in questione e alle tre precedenti; in base alla valutazione verranno classificate le acque di balneazione in acque di qualità eccellente, buona, sufficiente e scarsa.
- gli interventi con le necessarie misure di gestione sulle fonti di inquinamento evidenziate, finalizzate al miglioramento della qualità delle acque,
- "l'informazione al pubblico" dettagliata e tempestiva, in modo da dare ai bagnanti la possibilità di tutelarsi, oltre che di esprimere suggerimenti, osservazioni o reclami.

Monitoraggio delle acque di balneazione

Il monitoraggio si svolge attraverso l'individuazione di aree omogenee e l'identificazione di un punto rappresentativo di tutta l'area, allo scopo di razionalizzare l'attività e ridurre il numero dei punti della vecchia normativa. Una volta definite le aree di balneazione, individuandone limiti ed estensioni, viene fissato il punto dove effettuare prelievi e misure, secondo quanto previsto dal piano di monitoraggio. Il punto di misura è localizzato nel luogo in cui si prevede il maggior afflusso di bagnanti o maggior rischio per l'utenza.

Il calendario di campionamento viene stabilito prima dell'inizio della stagione balneare ed i prelievi devono essere fatti con intervalli minori di un mese nell'arco di tutta la stagione balneare, con un prelievo effettuato prima dell'inizio. Nel caso non dovesse essere rispettata la data stabilita nel cronoprogramma, il campionamento deve essere effettuato non oltre 4 giorni dalla data programmata, giustificandone sempre le cause del rinvio (condizioni meteorologiche, ecc.).

In caso di inquinamento di breve durata deve essere effettuato un prelievo aggiuntivo entro 72 ore, per confermare la fine dell'evento ed un campione aggiuntivo 7 giorni dopo la conclusione dell'inquinamento di breve durata.

Nell'eventualità di risultati di non conformità, dopo il primo superamento dei limiti (E.coli > 500, enterococchi >200 in UFC/100 ml), scatta immediatamente l'ordinanza del Sindaco per il divieto temporaneo su tutta l'acqua di balneazione e l'immediata informazione ai bagnanti; dopo un primo esito analitico favorevole successivo all'episodio di inquinamento, sempre con ordinanza sindacale, viene revocato il provvedimento di interdizione alla balneazione.

Il campionamento è effettuato in un arco temporale che va dalle 9.00 alle 16.00, alla profondità di 30 cm sotto il pelo libero dell'acqua, ad una distanza dalla battigia di 80-120 cm.

Il prelievo di acqua viene effettuato con contenitori sterili ed le analisi vengono effettuate nel più breve tempo possibile e non oltre le 24 ore.

In linea con quanto stabilito dalla normativa, i risultati del monitoraggio sono pubblicati sul “Portale Acque” del Ministero della Salute all’indirizzo www.portaleacque.it (Figura 1). Ogni cittadino può avere informazioni in tempo reale circa la qualità delle acque marine dell’area interessata.

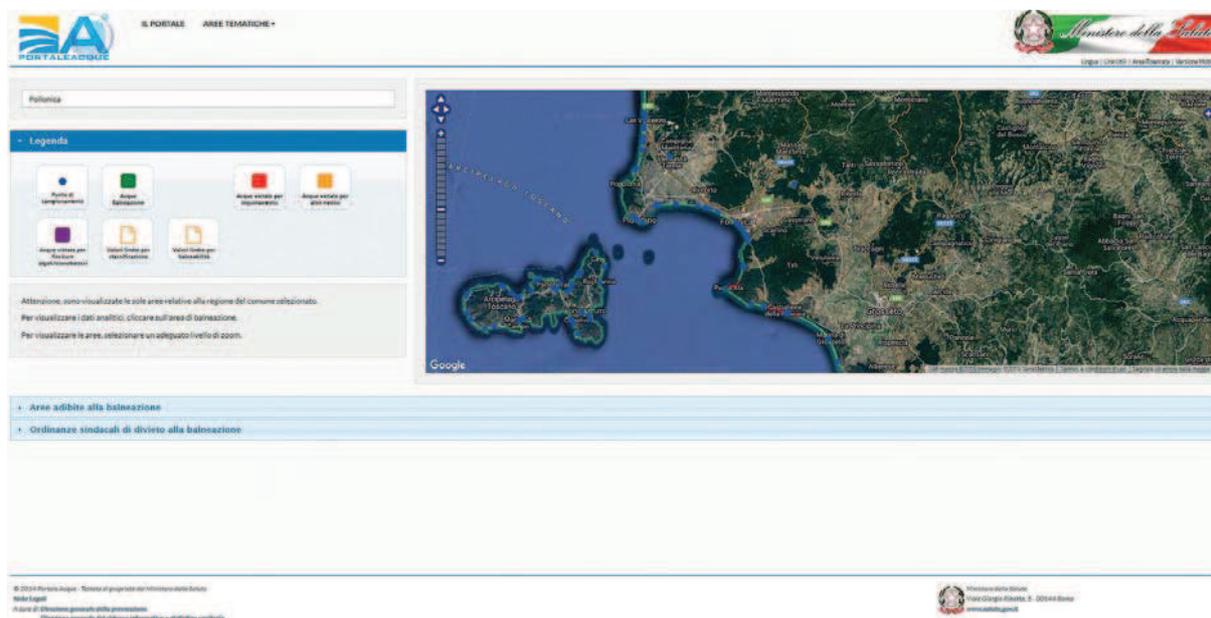


Figura 1. Il Portale Acque del Ministero della Salute (www.portaleacque.it).

Oltre al monitoraggio dei suddetti due parametri microbiologici, utilizzati per la classificazione delle acque, la normativa ne prevede altri quali:

- i cianobatteri,
- il fitoplancton,
- la presenza di sostanze bituminose, vetro, plastica e altri rifiuti.

Tali parametri non servono per la classificazione, ma sono tenuti sotto controllo, in quanto, nel caso si dovesse ravvisare un pericolo per la salute, fanno scattare alcune strategie di gestione, quale l’informazione, con lo scopo di ridurre il rischio di esposizione ai bagnanti.

Parallelamente al monitoraggio delle acque di balneazione, viene effettuato il monitoraggio delle microalghe potenzialmente tossiche con particolare riguardo all’*Ostreopsis ovata*.

Il monitoraggio prevede la ricerca quali-quantitativa delle microalghe che potenzialmente possono produrre tossine su macroalghe e sulla colonna d’acqua. In caso di fioriture, il sito deve essere monitorato giornalmente e devono essere previste misure di gestione specifiche. Il campionamento prevede l’osservazione dei siti monitorati, l’acquisizione di parametri chimico-fisici in situ e la compilazione della scheda di campionamento, con le rilevazioni delle coordinate del punto di prelievo.

Nel caso in cui nel corso del monitoraggio, o a seguito di segnalazioni, si evidenzino:

- una fioritura in atto in una acqua di balneazione, segnalata da presenza di biofilm marrone su substrati duri e molli (rocce, ciottoli),
- presenza di schiume superficiali,
- segnali di alterazione degli organismi marini o
- notizia di malori in bagnanti,

è opportuno mettere in atto un piano di gestione dell’evento basato sulle Linee Guida del Ministero della Salute.

Bibliografia

- [1] La nuova direttiva europea sulle acque di balneazione- Funari; Gramaccioni.
- [2] Decreto legislativo 116/08 del 30 maggio 2008- “ Gestione integrata acque di balneazione”.

Ricevuto il 01/09/2019

Accettato il 10/09/2019

L'annegamento: fisiopatologia e realtà attuale

Alfredo Rossi¹ e Paolo Curato²

¹Direttore Generale Sanitario – Società Nazionale di Salvamento, Genova.
Email: selika2@libero.it

²Comitato Medico-Scientifico– Società Nazionale di Salvamento, Genova.
Email: paolocurato@libero.it

Riassunto

La morte per annegamento ammonta, secondo i dati della World Health Organization (WHO), a circa 400.000 casi / anno nel mondo; si verifica principalmente nelle aree in via di sviluppo, dove è la prima o seconda causa di morte per la fascia di età da 5 a 14 anni.

In Italia, dopo un decremento significativo registrato a partire dagli anni '60 e fino al 1995, il numero delle morti per annegamento è stabile attorno alle 400 vittime/anno.

Questo lavoro ha lo scopo di definire, alla luce delle evidenze in Letteratura internazionale, i fattori di rischio, le modalità di accadimento, la fisiopatologia, gli aspetti clinici e le sindromi correlate all'evento sommersione-annegamento.

La rivisitazione e la condivisione di questi elementi può contribuire a migliorare l'approccio all'annegamento soprattutto in ottica di previsione e prevenzione, secondo le indicazioni più recenti emesse dalla WHO.

Parole chiave: Annegamento, sommersione, sincope, fisiopatologia, nuoto, tanatologia.

Abstract

According to the World Health Organization (WHO) data, death by drowning amounts to around 400,000 cases / year in the world; it occurs mainly in developing areas, where it is the first or second cause of death for the age from 5 to 14 years.

In Italy, after a significant decrease started from the 1960s and until 1995, the number of deaths by drowning is now stable around 400 victims per year.

This work aims to define, in the light of the evidence in international Literature, the risk factors, the modalities of occurrence, the pathophysiology, the clinical aspects and the syndromes related to the submersion-drowning event.

The review and sharing of these elements can contribute to improving the approach to drowning, above all in terms of foresight and prevention, according to the most recent indications issued by the WHO.

Keywords: Drowning, submersion, syncope, pathophysiology, swimming, thanatology.

Premessa

Il rapporto dell'uomo con l'elemento idrico è antichissimo. L'approccio al mare, ai laghi e ai corsi d'acqua, giustificato dapprima dalle necessità alimentari (la cattura del pesce) è divenuto nel tempo più solido, per l'affermarsi della navigazione, delle tecnologie e in generale della conoscenza.

L'uomo, nel tempo, ha gradualmente sperimentato la possibilità di galleggiare e di muoversi in acqua, ma anche il senso di benessere psicofisico che l'acqua (e l'ambiente marino in particolare) possono offrire. Per contro il pericolo di morte per annegamento è stato fin da subito evidente.

Oggi la situazione è mutata. Il nuoto è riconosciuto come valore naturale di una popolazione che vede il pro-

prio habitat costituito per il 75% dall'acqua, poiché tale è la percentuale dell'elemento idrico sulla superficie del globo terrestre. Il nuoto è anche disciplina sportiva e, più in generale, è oggetto di approfonditi studi di fisiopatologia medica. L'annegamento, tuttavia, rappresenta ancora oggi una causa importante di mortalità, contando circa 400.000 decessi l'anno in tutto il mondo (400 in Italia). Una rivisitazione tecnico-scientifica della sindrome da sommersione-annegamento è quindi importante e può costituire un passo essenziale nella strategia di prevenzione, controllo e trattamento di un evento, l'annegamento, ancora così rilevante.

Definizioni

La definizione di annegamento in Letteratura ha subito continue modificazioni, in ordine alla parallela evoluzione dei concetti fisiopatologici e delle evidenze medico-scientifiche.

Attualmente si ritengono validate nel mondo scientifico internazionale e anche da parte della SNS due definizioni, non in antitesi tra di loro, ma rappresentative di due modalità di approccio speculativo:

- 1) *Definizione "spot" o "a fotogramma"*: l'annegamento è una forma di asfissia acuta da causa esterna meccanica determinata dalla occupazione dello spazio alveolare polmonare da parte di un liquido (di solito acqua) introdotto attraverso le vie aeree superiori.
- 2) *Definizione "dinamica" o "a film"*: l'annegamento è una sindrome complessa, un processo caratterizzato da fasi successive, tra loro concatenate. A seconda dell'evoluzione temporale degli eventi (ed in assenza di soccorso) la sequenza delle diverse fasi conduce a morte. Il processo di annegamento tuttavia può essere interrotto, con recupero completo o con conseguenze reversibili (semi-annegamento o annegamento incompleto), qualora sia possibile una operazione tempestiva di salvataggio-soccorso. Nei casi letali il termine annegamento è anche utilizzato in Medicina Legale per definire, da un punto di vista classificativo, la causa di morte. La chiave di volta del processo di annegamento, in senso fisiopatologico, è costituita dall'inalazione di liquido attraverso le vie respiratorie.

Da un punto di vista semantico occorre anche fare chiarezza su alcuni concetti ed espressioni lessicali, collegati al processo di annegamento, come espresso in Tabella 1. Ciò rende più facile la comprensione degli eventi ed i rapporti causa-effetto che possono condurre alla morte per annegamento. Come si può notare dalla tabella, i termini "immersione" e "sommersione", anche se da alcuni vocabolari possono sembrare concettualmente equivalenti, nel contesto invece della patologia acquatica si distinguono, in quanto rappresentano due situazioni separate dal fatto che l'accesso alle vie aeree si trovi rispettivamente al di sopra o al di sotto del liquido.

Tabella 1. Terminologia e significati.

Terminologia	Significato	Conseguenze
Immersione	La vittima è immersa in acqua, ma con bocca e naso al di sopra della superficie.	Ipotermia, perdita progressiva di forze, possibile inalazione.
Sommersione	L'ingresso delle vie aeree della vittima (bocca/naso) si trova sott'acqua.	Inalazione certa, possibile allagamento.
Inalazione	Ingresso di liquido nelle prime vie respiratorie (laringe, trachea)	Laringospasmo iniziale → ipossia + iperpernia – perdita di coscienza.
Allagamento	Il liquido raggiunge le vie respiratorie inferiori (bronchi, alveoli polmonari).	Asfissia – distruzione surfattante – edema polmonare – arresto respiratorio – arresto cardiaco.
Annegamento	Comprende tutto il processo fisiopatologico.	Può essere interrotto da soccorso efficace. In caso di esito letale è anche la definizione anatomo-patologica della causa di morte.

In realtà i due eventi possono anche costituire due momenti temporalmente sequenziali: una prolungata immersione, infatti, può essere seguita (per progressiva perdita di forze e di controllo) dalla sommersione e quindi dall'inalazione di liquido nell'albero respiratorio. Per tali ragioni e per chiarezza e semplicità didattica

ci siamo attenuti alle codifiche internazionali (Beeck et al., 2005), ribadite in una recente pubblicazione (Deranged Physiology, 2017), della quale riportiamo il testo integrale:

- *Drowning*: the process of experiencing respiratory impairment from submersion or immersion in a liquid”;
- *Submersion*: the airway is below the surface of the liquid;
- *Immersion*: the airway is above the surface of the liquid (eg. taking a bath).

Se escludiamo la patologia cardiaca o cerebrale, la sequenza sommersione-annegamento implica quale principale organo bersaglio l'apparato respiratorio e segnatamente il polmone. L'arresto cardiaco in questi casi è secondario e successivo a quello respiratorio.

Fisiopatologia

Richiami anatomo-funzionali

Per meglio comprendere la sequenza fisiopatologica dell'annegamento occorre un cenno sintetico sulla funzione degli organi ed apparati principalmente coinvolti.

Una trattazione esaustiva andrebbe ben oltre le finalità delle tematiche del presente articolo. Vengono pertanto volutamente sottolineate solo quelle caratteristiche o quelle funzioni che giocano un ruolo importante o essenziale nella sequenza sommersione-annegamento. Sono inoltre un utile riferimento per meglio comprendere il meccanismo di alcune delle sindromi (potenzialmente letali) collegate all'attività in acqua.

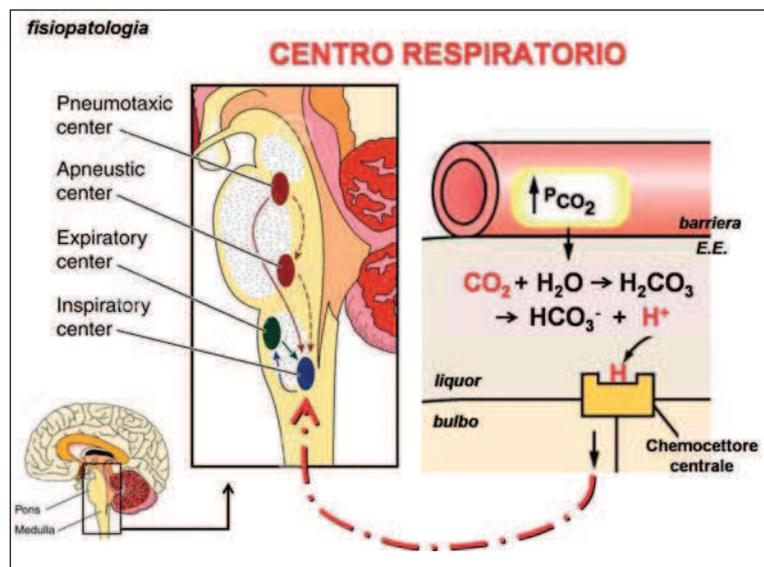


Figura 1. Centro bulbare di controllo respiratorio.

Il controllo della sequenza ritmica respiratoria (inspirazione attiva ed espirazione a restituzione elastica) viene realizzato a livello bulbo-pontino mediante l'interazione di almeno 4 nuclei neuronali (Figura 1). Queste aree vengono attivate sia da afferenze provenienti da recettori periferici (bronchiali, pleurici, toracici), sia dall'aumento del livello serico e quindi liquorale della CO_2 . Quest'ultima in particolare non agisce come tale, ma attraverso la sua dissociazione e la liberazione locale di idrogeno (H^+), che quindi costituisce l'elemento stimolante terminale. La CO_2 è l'attivatore chimico più potente per la stimolazione del centro inspiratorio.

La camera alveolare è rivestita da epitelio monostratificato sovrastato da un sottile film costituito da acqua e surfattante (Figura 2). L'alveolo è a stretto contatto con il capillare polmonare: il trasferimento quindi dell'ossigeno dall'aria al sangue e il deflusso dell'anidride carbonica dal sangue verso l'aria alveolare sono in condizioni fisiologiche molto rapidi. Ogni affezione in grado di modificare la barriera alveolo-capillare comporta una più o meno severa disfunzione delle funzioni ventilatorie e dello scambio dei gas. Ciò ovviamente accade anche a seguito dell'inalazione-allagamento alveolare da parte di acqua (dolce, marina, contaminata). Il surfattante polmonare (SURFace ACTive AgeNT) è un tensioattivo (fosfatidilcolina) simile ai saponi, sintetizzata da cellule epiteliali specializzate dell'alveolo polmonare (Figura 3).

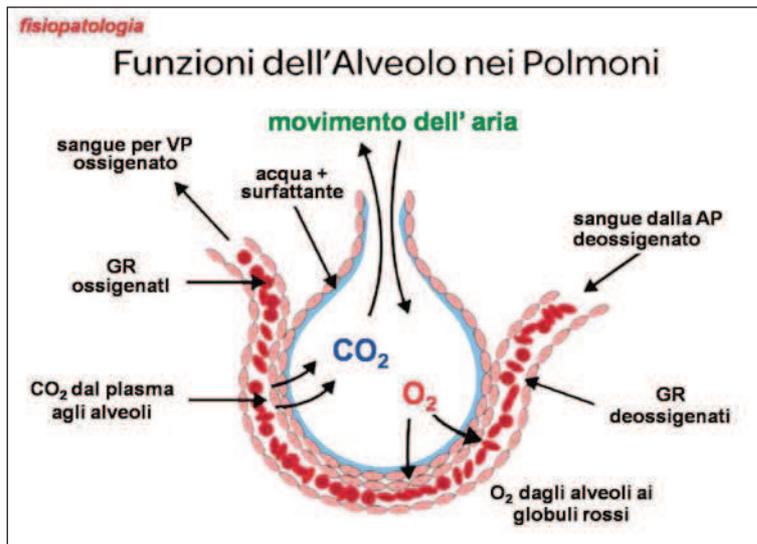


Figura 2. Alveolo polmonare.

La sua funzione consiste nel ridurre la tensione di superficie. Ciò modifica la legge di Laplace sulla pressione di collasso alveolare. La pressione negli alveoli di dimensioni diverse, grazie al surfattante, si equalizza, impedendo il collasso degli alveoli più piccoli e la dilatazione abnorme di quelli più grandi.

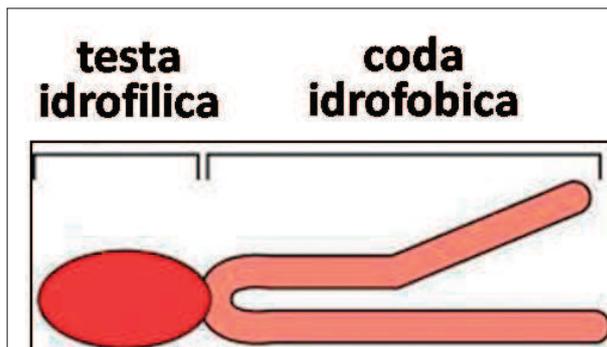


Figura 3. Surfattante polmonare.

La sequenza delle fasi di annegamento

Lo Schema 1 in Figura 4 illustra la sequenza degli eventi fisiopatologici che spiegano la compromissione respiratoria determinata dall'inalazione di liquido.

L'inalazione di liquido in laringe produce immediatamente una contrazione spastica (laringospasmo), che comporta, nell'ordine, i seguenti effetti:

- impedisce sia la ventilazione sia la fonazione (la vittima non è in grado di chiedere aiuto);
- induce una fase di apnea (arresto di respiro);
- provoca, di conseguenza, la riduzione dell'ossigeno circolante e l'accumulo di anidride carbonica.

L'ipossia a livello cerebrale può arrivare al limite critico e produrre perdita di coscienza. La combinazione ipossia/ipercapnia, ma soprattutto quest'ultima, stimola quindi i centri cerebrali del respiro inducendo risoluzione del laringospasmo e apertura del laringe per la ripresa della respirazione.

Se ciò accade in sommersione il liquido annegante raggiunge rapidamente gli spazi respiratori inferiori: bronchi, bronchioli e alveoli (allagamento).

L'allagamento alveolare determina asfissia meccanica e grave compromissione e distruzione del surfattante, con conseguente collasso degli alveoli più piccoli e successivo arresto respiratorio.

Anche il cuore risente sfavorevolmente dell'ipossia, che può determinare la comparsa di alterazioni del ritmo (tachicardia, bradicardia, dissociazione elettro-meccanica, asistolia), fino all'arresto cardiaco. Il laringospasmo gioca un ruolo chiave nel processo di annegamento. Può essere ben interpretato come un tentativo riflesso automatico

per impedire l'allagamento bronco-alveolare da parte del liquido annegante. In alcuni casi, tuttavia non superiori al 10-15%, il laringospasmo è molto tenace e non si risolve: le vittime quindi non presentano all'esame necroscopico una presenza significativa di liquido nelle vie respiratorie inferiori. Ciò ha contribuito a coniare dal punto di vista classificativo il termine di "annegamento secco". Più recentemente l'utilizzo di moderne tecniche di imaging, quali la RM o la TC multislice ha permesso di individuare anche nella maggior parte delle vittime con annegamento secco la presenza di liquido nelle vie respiratorie e soprattutto nelle vie digestive, a conferma del fatto che la patogenesi del decesso è davvero da ricondursi all'annegamento e non a "morte in acqua" (vedi oltre).

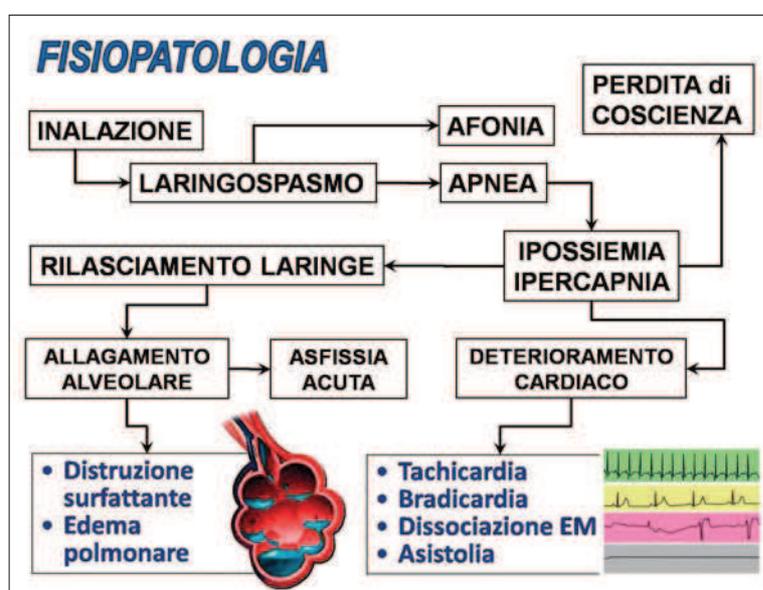


Figura 4. La fisiopatologia della sommersione-annegamento.

Variazioni in rapporto al liquido annegante

Esistono alcune differenze nella fisiopatologia da annegamento a seconda della densità e della composizione del liquido annegante. Possiamo in sintesi considerare l'acqua dolce, l'acqua salata (marina), l'acqua contaminata. In Tabella 2 si riporta la classificazione delle acque in base alla densità dei soluti (frazione massica). Si consideri che il 70% circa di tali soluti è costituito da cloruro di sodio.

Tabella 2: Classificazione delle acque in funzione della densità dei soluti.

Tipo di acqua	Sali (frazione massica)
Dolce	0.05 ‰
Salmastra	0.5 – 30 ‰
Salata (mare)	30 – 50 ‰
Salamoia	> 50 ‰
Plasma umano (NaCl)	9 ‰

In sintesi:

- Acqua dolce: è ipo-osmotica (cioè con concentrazione salina minore) rispetto al sangue. L'acqua contenuta negli alveoli quindi, per riequilibrare l'osmolarità, tende ad attraversarne le pareti per entrare nei capillari ematici. Il risultato è un aumento del volume liquido in circolo (ipervolemia), con sovraccarico cardiaco. Inoltre, la riduzione di osmolarità del sangue comporta rottura (emolisi) dei globuli rossi, liberazione di emoglobina e di potassio e conseguente danno renale (IRA = insufficienza renale acuta) e cardiaco.
- Acqua salata: è iper-osmotica rispetto al sangue, quindi richiama liquido dai capillari negli alveoli. Ne deriva edema polmonare (non cardiogeno) con aggravamento della quota liquida alveolare mentre, a livello circolatorio, si ha riduzione volumetrica, emoconcentrazione e quindi shock ipovolemico.



Figura 5. Schema dell'annegamento in acqua dolce.

- Acqua contaminata: numerose tipologie di agenti chimico-tossici o di microrganismi (batteri, funghi) o ancora di materiali in sospensione (alghe, fanghiglia) possono essere presenti sia in acqua dolce che marina. In tal caso, oltre alle caratteristiche specifiche e relative alla diversa concentrazione salina, vi saranno conseguenze aggiuntive e determinanti a carico dell'apparato bronco-alveolare, quali: ostruzione meccanica delle vie aeree ed atelettasia, broncopolmonite ed embolia di materiale infetto, con formazione di ascessi cerebrali o sepsi sistemica.

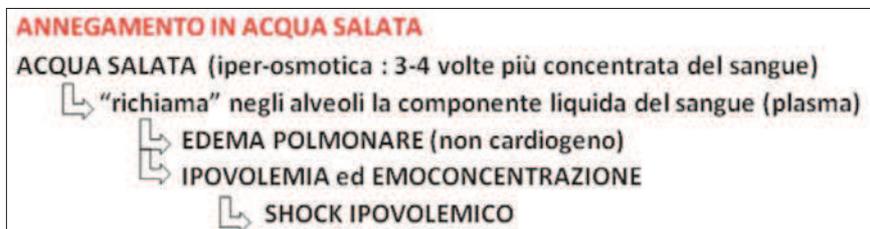


Figura 6. Schema dell'annegamento in acqua salata.

Caratteristiche cliniche della sequenza di annegamento

Da un punto di vista più strettamente clinico nella sequenza sommersione-annegamento si succedono 5 fasi, caratterizzate da momenti chiave e da azioni, per lo più involontarie, che rappresentano inizialmente la reazione di difesa dell'individuo e quindi l'adattamento progressivo e irreversibile alla condizione di sommersione.

- 1) Fase della sorpresa (altresi detta preasfittica o inspiratoria): rapida inspirazione di aria nei polmoni (tentativo di fuga dall'annegamento). Provocata da stimoli cutanei, termici e meccanici, a seguito del contatto della cute con il mezzo liquido.
- 2) Fase di resistenza: apnea iniziale, che dura circa 1 min, dovuta al laringospasmo riflesso indotto da contatto del liquido con la mucosa delle prime vie aeree. S'impedisce così l'allagamento dell'albero respiratorio.
- 3) Fase dispnoica: il laringospasmo cede e il soggetto compie sott'acqua atti respiratori involontari, attraverso i quali introduce grandi quantità di acqua nei polmoni e nel primo tratto dell'apparato digerente. Questa fase dura circa un minuto.
- 4) Fase apnoica: durata media di circa un minuto, durante la quale avviene l'arresto definitivo della funzione respiratoria (morte apparente).
- 5) Fase terminale o del boccheggiamento: atti respiratori involontari e senza alcuna azione ventilatoria polmonare. In questa fase si ha l'arresto del battito cardiaco.

L'annegamento secondario

È la conseguenza a distanza dell'inalazione/allagamento polmonare. Può verificarsi da qualche ora ad alcuni giorni dopo l'interruzione del processo di annegamento con recupero della vittima. Dal punto di vista patogenetico i fattori più significativamente correlati al danno polmonare sono l'irritazione chimica della superficie alveolare, la compromissione degli scambi alveolo-capillari, la distruzione del surfattante e la sovrapposizione batterica. I quadri clinici dell'annegamento secondario possono essere molto severi e condurre la vittima a morte anche dopo giorni dall'evento:

- alveolite, con ipossiemia e ipercapnia;
- formazione di ascessi polmonari e quindi possibili sepsi sistemica;
- ARDS (Acute Respiratory distress Syndrome). È questa una sindrome gravata da mortalità elevata (>

50%) e caratterizzata da estesa lesione anatomico-funzionale delle membrane alveolo-capillari, con aumento della permeabilità e trasudazione di liquido sieroso-ematico negli spazi interstiziali e nell'alveolo. L'ipossiemia è marcata e tendenzialmente refrattaria alla semplice somministrazione di ossigeno. E' necessario ricovero in Unità di Terapia Intensiva.

Modalità e tipologie di annegamento

Da un punto di vista probabilistico l'evento sommersione-annegamento, sebbene possa verificarsi in ogni

- 1) **Annegamento dei non nuotatori**
 - Prevalenza= 50%
 - Avviene vicino a riva.
 - Fattori predisponenti: bella giornata, mare calmo, presenza di buche del fondale, affollamento, svalutazione del pericolo, eccesso di confidenza, supporti di galleggiamento non idonei o pericolosi.
 - E' tipicamente silenzioso: il soggetto non segnala; i bagnanti vicini non se ne accorgono.
 - Periodo di sommersione, prima della perdita di coscienza, generalmente rapido: in un bambino di 1-4 anni può essere limitato a 30-60s!
- 2) **Annegamento dei nuotatori in difficoltà**
 - Prevalenza= 40%
 - Avviene lontano da riva: il nuotatore inizia ad avvertire disagio e difficoltà nel controllo dei gesti. Può insorgere disorientamento o panico.
 - Fattori predisponenti: mare mosso (correnti, vento, frangenti), stanchezza, esaurimento muscolare, crampi.
 - Generalmente è segnalato: il nuotatore inizialmente invia segnali di pericolo, agitando le braccia o tentando un richiamo vocale.
- ▼ 3) **Annegamento improvviso (morte in acqua)**
 - Prevalenza= 10%
 - Può avvenire dovunque.
 - E' silenzioso ed è conseguente a: anossia cerebrale acuta/arresto respiratorio/arresto cardiaco, che si sviluppano in seguito a:
 - a) patologie internistiche acute: coronaropatie, infarto, ischemia/emorragia cerebrale, patologie addominali acute, ecc.
 - b) patologia traumatica severa (tuffo in acqua bassa, collisione)
 - c) idrocuzione (water shock);
 - d) sincope da apnea.



Figura 7. Schema delle tipologie di annegamento.

condizione di balneazione, riconosce una diversa prevalenza a seconda delle circostanze e delle modalità di esercizio dell'attività natatoria. In particolare, gli eventi più frequenti e quindi più meritevoli di attenzione e prevenzione da parte dei Bagnini di Salvataggio sono quelli rappresentati in Figura 7.

È importante sottolineare che la tipologia di "annegamento improvviso" è in realtà caratterizzato spesso dall'assenza di inalazione significativa, dato che il momento iniziale è una sincope con arresto cardiorespiratorio improvviso: è quindi più corretto dal punto di vista patogenetico e classificativo identificare questo tipo di exitus come "morte in acqua".

Sindromi correlate al rischio di annegamento

Idrocuazione

L'idrocuazione è di fatto una sincope secondaria ad immersione rapida in acqua, specialmente fredda. La patogenesi più accreditata è la seguente: stimoli originati principalmente dall'area cefalica (volto, cavità buccali e nasali, occhi, orecchio) inducono una intensa vasocostrizione (*diving reflex*) ed inoltre uno stimolo inibitorio sui centri bulbari respiratorio e cardioregolatore. Ne deriva arresto cardiorespiratorio che conduce a sincope (perdita di coscienza), potenzialmente reversibile.

Il bagnante non ha tempo di lottare per impedire la sommersione. L'aspetto caratteristico è classicamente descritto come "annegato pallido". Le conseguenze di un'idrocuazione possono essere amplificate da processi digestivi in corso, che deviano parte del flusso ematico verso il territorio splanchnico (inteso come insieme dei visceri addominali, in particolare dell'apparato digerente) e quindi aggravano la vasocostrizione sistemica. L'idrocuazione è nota da tempo e viene erroneamente definita "gestione", che in medicina ha tutt'altro significato.

Sincope da apnea

La sincope da apnea è nota dalla letteratura anglosassone come "shallow-water blackout". Si verifica tipicamente al termine dell'apnea, alla fine della risalita, in acqua bassa ed è favorita dall'iperventilazione eseguita improvvidamente (ed erroneamente) prima dell'immersione.

È una sincope ipossica, dovuta alla riduzione critica di ossigeno a livello cerebrale.

Meccanismo patogenetico: i centri bulbari di controllo respiratorio sono sensibili sia alla riduzione di ossigeno che (soprattutto) all'aumento dell'anidride carbonica. Durante la fase di apnea l'O₂ viene consumato, mentre si accumula CO₂. Negli ultimi metri di risalita si verificano le seguenti condizioni:

- a causa della diminuzione della pressione esterna le pressioni parziali dei gas diminuiscono, quindi diminuisce ulteriormente l'ossigeno disponibile a livello cerebrale.

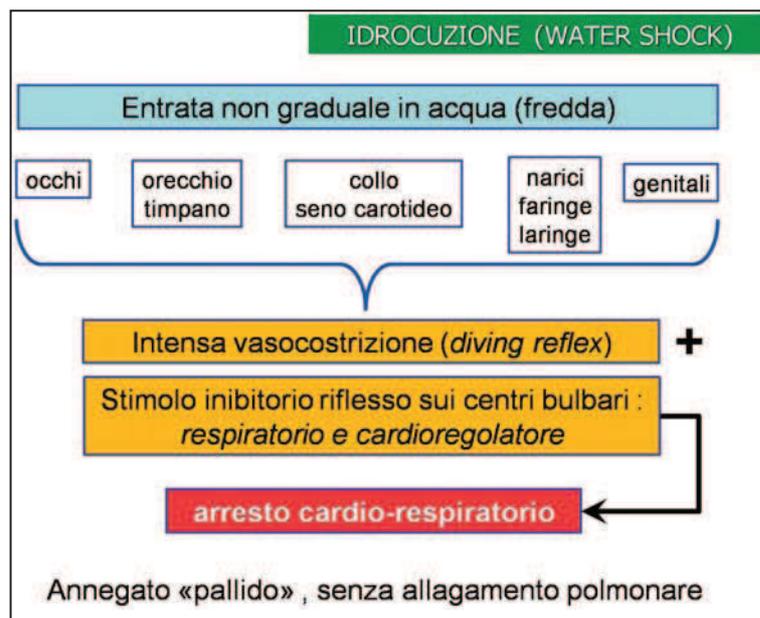


Figura 8. Idrocuazione.

- In caso di affioramento la prima inspirazione, se effettuata in modo brusco, profondo e massimale, può stimolare le terminazioni nervose presenti a livello pleurico e nell'albero respiratorio causando l'inibizione riflessa (paradosa) del centro respiratorio. Una bassa risposta del centro respiratorio, sommata all'ipossia, può precipitare la sincope. Per tale motivo non si devono mai attendere in profondità i primi segni dell'impellente necessità di respirare e, giunti in superficie, si deve evitare di respirare repentinamente.
- Un'iperventilazione forzata prima dell'apnea non produce in realtà un significativo aumento di O_2 disponibile, ma (a causa della maggior diffusibilità) riduce nettamente la quota di CO_2 . Ne consegue che quando in risalita il livello di CO_2 accumulata giunge al punto di stimolazione del centro respiratorio il valore di O_2 è molto basso, sotto il limite dell'ossigenazione cerebrale. Pertanto si verifica la sincope anossica, se ciò avviene in sommersione e senza possibilità di soccorso la conseguenza sarà la morte per annegamento.

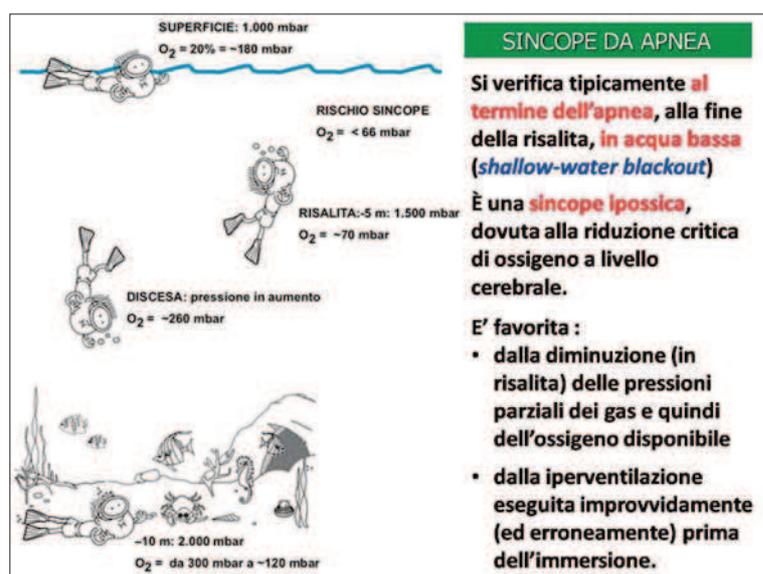


Figura 9. Sincope da apnea.

L'influenza del pasto

E' di antica tradizione la raccomandazione di non accedere all'acqua nella fase post-prandiale e di lasciar intercorrere almeno 2-3 ore tra il pasto ed il bagno in mare o in piscina.

Dall'analisi della Letteratura specifica tuttavia non emergono studi controllati nei quali si evidenzi una significativa correlazione tra il pasto (quindi lo stato di ripienezza gastrica) e l'annegamento. E' ben noto al contrario che i nuotatori professionisti si alimentano continuamente per poter sostenere ed ottimizzare le performances in allenamento e in gara. Ciononostante, almeno dal punto di vista fisiopatologico, qualche considerazione va fatta e, più in generale, una raccomandazione alla prudenza appare opportuna.

Occorre anzitutto sfatare il concetto popolare e giornalistico secondo il quale l'entrata in acqua dopo un pasto provocherebbe una "congestione". *Congestione* in medicina significa invece "Aumento della quantità di sangue in un organo o in una parte del corpo, sia per iperemia attiva arteriosa, sia per iperemia passiva venosa (deflusso ostacolato, iperemia stagnante)".

Ciò che in realtà può accadere è un blocco della funzione digestiva, con gastroparesi. Questo evento è dovuto sia al raffreddamento improvviso della parete addominale, sia al riflesso di vasocostrizione con riduzione del flusso ematico diretto al territorio splanchnico e diversione periferica verso l'apparato muscolo scheletrico. Il blocco digestivo a sua volta può innescare un riflesso vagale che può condurre a bradicardia e ipotensione (simile in parte a quanto accade per il diving reflex). Il risultato finale è quindi una sequenza di lipotimia, sincope, con perdita di coscienza e annegamento.

Va peraltro sottolineato che questo genere di incidente è favorito dalla concomitanza di alcuni fattori favo-

renti, quali la temperatura dell'acqua (fredda!), la quantità e la composizione del pasto (abbondante, ricco di lipidi), la mancanza di allenamento e la presenza di comorbidità (alterazioni dei valori pressori di base, cardiopatie aritmogene, assunzione di farmaci particolari).



Figura 10. Influenza del pasto.

Note di tanatologia forense

Il riscontro autoptico di un cadavere rinvenuto in un elemento liquido (esterno o anche domestico) è obbligatorio in quanto si configura la “morte per causa violenta”, sia in assenza che in presenza di elementi sospetti per dolo o colpa. La tanatologia forense è ricca di notazioni e descrizioni macro- e microscopiche che, con l'adeguamento alle continue acquisizioni tecnologiche, costituiscono oggi un corpus molto vasto e dettagliato. In sostanza, possiamo affermare che ogni organo, apparato o distretto del corpo di un annegato presenta alterazioni significative e spesso caratteristiche se non addirittura patognomoniche. Qui ci limitiamo volutamente e schematicamente alle caratteristiche essenziali riscontrabili all'esame esterno e alla dissezione dei polmoni.



Figura 11. Fungo schiumoso.

Esame del cadavere

- Ipostasi rosso-chiare (per riossigenazione dell'emoglobina) al viso, spalle e zona toracica anteriore (posizione prona del cadavere)
- Cute anserina - macerazione - cianosi - segni di putrefazione (può essere rallentata se il cadavere è immerso in acqua fredda: tende a progredire rapidamente dopo l'estrazione del cadavere)
- Fungo schiumoso alla bocca ed alle narici (Figura 11). Questa schiuma si forma a livello bronchiale per commistione del muco con l'aria residua ed il liquido annegante durante la fase dispnoica. Viene poi progressivamente espulsa per l'aumento della pressione che viene esercitata sul diaframma dalle anse intestinali rigonfie dai gas.

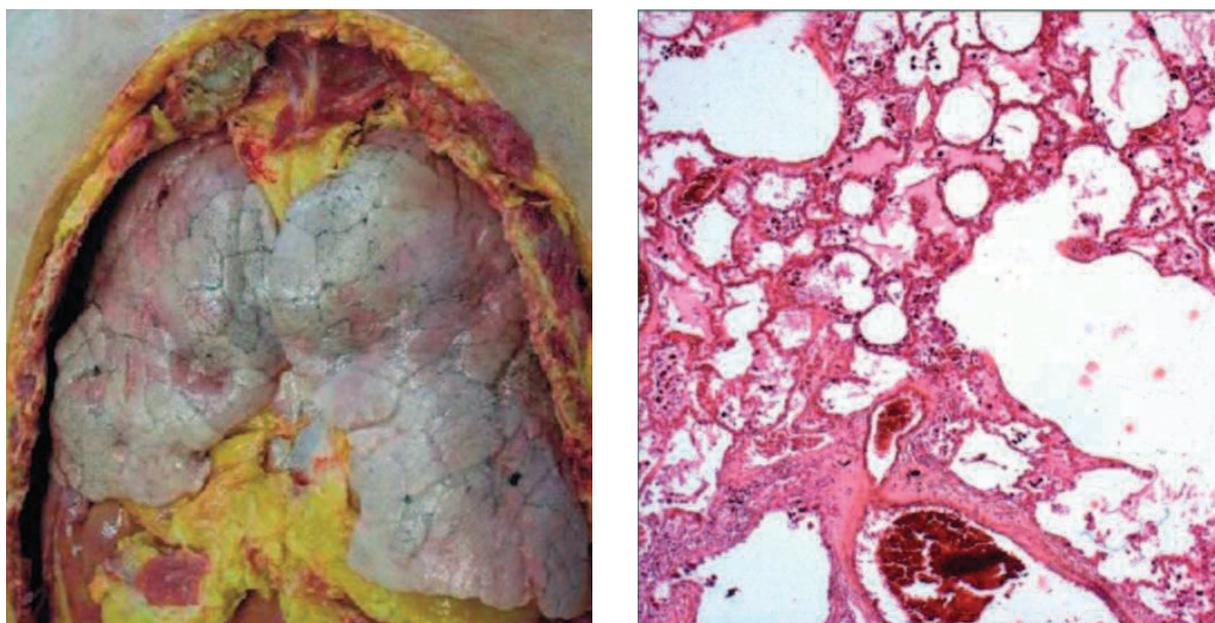


Figura 12. Microscopia ottica (iperidroaeria).

Segni interni

- Polmoni: rossi congesti aumentati di volume e peso - presenza di liquido annegante (schiuma, particelle, corpi estranei) - schiuma rosea nell'albero tracheobronchiale -.
- Istologia polmonare: iperidroaeria (aree di enfisema alternate ad aree di edema liquido) – microemorragie - presenza di siderociti (cellule istiocitarie che hanno inglobato granuli di emosiderina, pigmento che deriva dalla distruzione dei globuli rossi) - riscontro di diatomee (microalghe unicellulari, delle dimensioni di 10-200 μm , presenti diffusamente sia in acqua marina che in acqua dolce).
- Apparato digerente: presenza di liquido annegante nello stomaco e nel digiuno.

Bibliografia

- Beeck E. F. van, Branche C. M, Szpilman D, Modell J. H., Bierens, J. J. L. M., "2005". *A new definition of drowning: towards documentation and prevention of a global public health problem*. Bulletin of the World Health Organization: the International Journal of Public Health, 83: 853-856.
- Deranged Physiology, 2017. *Trauma, Burns and Drowning Thermal Injuries and Drowning. Chapt. 4.0.7 - Immersion submersion and drowning*. Free online resource for Intensive Care Medicine. Available on <https://derangedphysiology.com/main/required-reading/trauma-burns-and-drowning/Chapter%204.0.7/immersion-submersion-and-drowning>.

Ricevuto il 17/05/2019

Accettato il 30/06/2019

Verso un Piano Nazionale per la prevenzione degli annegamenti. Il ruolo dei Comuni Costieri

Gabriele Lami^{1,2}

¹Collaboratore demanio marittimo ANCI Toscana, Viale Giovine Italia, 17 50122 Firenze.

²GNRAC - Gruppo Nazionale per la Ricerca sull'Ambiente Costiero
Email: gabrielelami68@gmail.com

Riassunto

L'uso balneare della fascia costiera si è affiancato all'utilizzo in precedenza privilegiato delle attività produttive e di traffico marittimo. Il miglioramento delle condizioni economiche di ampie fasce sociali ha portato ad un aumento esponenziale della fruizione collettiva, per attività turistica e ricreativa, nelle aree costiere, in particolare sulle spiagge.

Questo aumento della fruizione turistico ricreativa ed in particolare balneare, ha comportato lo sviluppo di numerose attività balneari, con la costruzione di importanti complessi edilizi con diversi servizi per l'utenza. Tra i diversi servizi l'impresa turistica ha l'obbligo di fornire un servizio di sicurezza della balneazione mediante personale professionalmente abilitato.

La sicurezza della balneazione è quindi un obbligo esclusivamente per i concessionari di aree demaniali ad uso balneare mentre la spiaggia libera non vede altre previsioni che la installazione di cartellonistiche di pericolo.

Con l'assunzione da parte dei comuni costieri della competenza gestionale del pubblico demanio marittimo, si è assistito ad una riqualificazione dei servizi anche per la spiaggia libera con una progressiva estensione di sistemi finalizzati ad una sicurezza della balneazione.

L'estensione di questi servizi, se da un lato è stata un'importante qualificazione dell'offerta turistica, dall'altro è risultata particolarmente onerosa con la conseguente esigenza di reperire le risorse per il loro esercizio.

Nell'ambito della riforma della normativa in materia di concessioni demaniali marittime, è necessario definire un percorso per la individuazione di risorse finanziarie da assegnare ai Comuni per il sostentamento dei piani collettivi di sicurezza della balneazione.

Parole chiave: balneazione, spiaggia libera, gestione concessioni demaniali, piani collettivi comuni costieri, risorse finanziarie.

Abstract

The seaside use of the coastal strip has been flanked by the previously privileged use of productive activities and maritime traffic. The improvement of the economic conditions of large social groups has led to an exponential increase in collective use, for tourist and recreational activities, in coastal areas, particularly on beaches.

This increase in recreational tourist use and in particular seaside resort, has led to the development of numerous seaside activities, with the construction of important building complexes with different services for users. Among the various services, the tourism company has the obligation to provide a bathing safety service through professionally qualified personnel.

The safety of bathing is therefore an obligation exclusively for concessionaires of state-owned areas for bathing use, while the free beach does not see other forecasts than the installation of danger signs.

With the assumption by the coastal municipalities of the managerial competence of the public maritime state prop-

erty, there has been a requalification of the service also for the free beach, with a progressive extension of systems aimed at a bathing safety.

The extension of these services, if on one hand it was an important qualification of the tourist offer, on the other hand it was particularly onerous with the consequent need to find the resources for their exercise. As part of the reform of the legislation on maritime state property concessions, it is necessary to define a path for the identification of financial resources to be assigned to the Municipalities for the maintenance of collective bathing safety plans.

Keywords: *bathing, free beach, management of state concessions, collective plans of coastal municipalities, financial resources.*

La gestione demaniale marittima per uso turistico ricreativo

L'utilizzo della fascia costiera per finalità turistico-ricreative è relativamente recente, inquadrabile in un periodo storico collocabile tra la fine dell'ottocento ed i primi anni del secolo scorso, quando il miglioramento delle condizioni di salubrità delle zone costiere in conseguenza delle bonifiche delle zone umide, unitamente al progresso delle cure mediche, hanno permesso una ripresa della vita sociale ed una utilizzazione degli spazi prospicienti le coste, in precedenza abbandonate per il rischio sanitario ed i pericoli delle incursioni dal mare.

Le zone costiere iniziano nuovamente ad assumere una rilevanza economica e sociale con un conseguente importante fenomeno d'incremento demografico delle città e delle stesse aree limitrofe al mare, che vede un progressivo utilizzo delle aree demaniali marittime per attività turistico-balneari, con modalità diversificate, in relazione alla presenza di costa rocciosa o sabbiosa ed esercitate con strutture sempre più complesse, che richiama anche fruitori da zone lontane dalle principali località poste sulla costa.

La trasformazione del Demanio marittimo, con la sempre maggiore rilevanza dell'uso turistico e ricreativo rispetto a quella commerciale ed industriale, si sviluppa nel secondo dopoguerra con il passaggio da un utilizzo per poche categorie facoltose ad un utilizzo massivo da parte di una sempre più numerosa fascia della popolazione, con l'aumento del benessere economico e della conseguente motorizzazione di massa.

Con questo tumultuoso sviluppo si avvia la strutturazione di un sistema economico che utilizza il mare e le spiagge come materia prima, innescando un'economia balneare, con una crescita esponenziale, avviando l'utilizzo intensivo dei territori costieri che oggi conosciamo, con effetti di assoluto rilievo anche sulla disciplina giuridica delle aree demaniali e delle modalità di esercizio delle funzioni.

Il quadro normativo di riferimento non ha visto modificazioni di rilievo fino all'anno 2001, con una gestione delle aree demaniali marittime prerogativa esclusiva dell'Autorità Marittima sia per quanto concerne la disponibilità dei beni stessi che la disciplina della sicurezza della balneazione, quando, in forza del trasferimento delle funzioni amministrative sono subentrati i comuni nella competenza demaniale [1]. Il trasferimento delle funzioni si è sviluppato con la finalità di una decisa valorizzazione delle realtà locali, desumibile, tra l'altro, dalla sussunzione del principio di sussidiarietà di ispirazione europea, contenuto nel testo dell'articolo 4, comma 3 Legge 15 marzo 1997 n. 59 da cui trae origine il D.Lgs. 31 marzo 1998 n. 112 strumento normativo che lo ha reso efficace [2].

L'acquisizione delle funzioni è avvenuta in quadro amministrativo sostanzialmente identico a quello utilizzato dalle Capitanerie di Porto, con la conseguenza, per gli Enti gestori, di operare con un bagaglio normativo caratterizzato da una legislazione scarna e limitata, disciplinata attraverso un gran numero di circolari ministeriali e disposizioni interpretative alle quali nel tempo era demandato un ruolo di direzione per lo svolgimento delle procedure seguite dall'Autorità marittima.

Un quadro regolatorio che era già assolutamente insufficiente per un'adeguata gestione delle complesse dinamiche conseguenti l'utilizzazione della fascia costiera da parte delle imprese balneari, che anche sotto il particolare profilo dell'organizzazione della sicurezza della balneazione, mostra tutta la sua limitata capacità di rispondere all'aumento delle esigenze di tutela.

La sicurezza della balneazione: la disciplina regolatoria

Esempio evidente della scarsa coerenza del quadro normativo per il Demanio marittimo in particolare per l'uso turistico ricreativo, si rinviene proprio nella "latitudine" della regolazione riguardante la sicurezza della balneazione, che la Legge considera in modo organico e dettagliato esclusivamente per quanto attiene al pro-

filo di tutela igienico sanitaria dell'utenza turistica, senza alcuna particolare considerazione per disposizioni finalizzate alla prevenzione dell'annegamento.

La disciplina normativa in materia di sicurezza della balneazione è contenuta in uno specifico Decreto Legislativo, attuativo di una direttiva comunitaria: «finalizzato a proteggere la salute umana dai rischi derivanti dalla scarsa qualità delle acque di balneazione...» in cui sono dettagliati i termini per garantire la tutela igienico sanitaria dei fruitori delle aree di balneazione [3].

In altre parole, la disciplina di cui si tratta, di origine comunitaria, non è stata introdotta per garantire una balneazione sicura e prevenire l'annegamento, ma solo per stabilire un sistema omogeneo di regole per tutti gli Stati componenti l'Unione Europea allo scopo di prevenire rischi alla salute umana derivanti dall'inquinamento delle acque di balneazione.

Nell'attuale quadro regolatorio, che caratterizza la disciplina della sicurezza balneare intesa come “balneazione – prevenzione dell'annegamento”, l'ordinamento nazionale attribuisce una competenza praticamente esclusiva all'Autorità marittima, in particolare al Corpo delle Capitanerie di Porto – Guardia Costiera - che agisce attraverso atti amministrativi di contenuto generale, poi adeguati a livello locale con specifiche ordinanze dei Comandanti delle Capitanerie e dei Circondari marittimi, emanati ai sensi del Codice della Navigazione e di altre Leggi speciali [4].

Allo stato attuale, la struttura portante della normativa in materia si limita alle disposizioni nazionali in materia di Demanio marittimo (Codice della navigazione e relativo regolamento di esecuzione), in cui è individuata la struttura amministrativa cui è conferita la potestà di stabilire regole e procedure ritenute opportune per la prevenzione del potenziale rischio di annegamento.

In questo primo limitato contesto, si sono poi aggiunti i riferimenti alle convenzioni internazionali, sottoscritte per lo più in relazione alla prevenzione degli abbordi in mare e dei rischi della navigazione, dalle quali sono state tratte indicazioni per integrare le pratiche elaborate durante i decenni precedenti [5].

Nel corso degli anni, l'attenzione della disciplina regolatoria predisposta dalle autorità competenti è stata sostanzialmente orientata nei confronti dei titolari di stabilimenti balneari o comunque d'impianti in concessione demaniale marittima, per finalità turistico-ricreative, in cui le spiagge così dette “di libero uso” rimanevano in una condizione per le quali la prevenzione si limitava all'obbligo di installare cartellonistica plurilingue di avviso dei potenziali pericoli derivanti dalla balneazione.

In pratica, i provvedimenti adottati nel corso degli anni hanno imposto al solo concessionario turistico ricreativo, con una prassi consolidata, l'obbligo di garantire la presenza di un servizio di sicurezza mediante personale abilitato al salvamento, nel caso in cui la concessione sia rilasciata anche per attività di balneazione. L'Autorità marittima ha operato e opera tuttora, disciplinando la procedura e le modalità con le quali si ottiene l'abilitazione di “assistente bagnante”, disponendo poi, attraverso un obbligo generale per i concessionari, la presenza del personale abilitato durante l'orario di balneazione [6].

La sintesi che possiamo delineare, vede quindi un obbligo generalizzato di disporre un servizio di sicurezza della balneazione solo per concessionari con finalità turistiche ricreative, in particolare i balneari, mentre sulle spiagge libere tutto è riassunto nell'unico obbligo imposto dalle disposizioni vigenti di un sistema di «informazione» mediante idonea cartellonistica plurilingue utile per avvisare della balneazione “non sicura” per assenza del servizio di salvamento. Questo quadro di regolazione ha iniziato ad entrare in crisi fin dai primi anni 2000, quando, come effetto proprio del trasferimento delle funzioni, si è avviato il mutamento della funzione delle stesse spiagge libere, con il conseguente generarsi di una “domanda” di maggiori servizi da parte dei suoi fruitori.

La spiaggia libera

Il mutamento della funzione

Con l'acquisizione da parte gli Enti Locali delle funzioni amministrative, in materia di demanio marittimo, divenuti soggetti attivi nella capacità di disporre delle aree demaniali, si è modificato l'approccio gestionale alle «spiagge libere», non più percepite come una zona residuale rispetto ad una offerta turistica complessiva di un territorio. In pratica, dai primi anni duemila, si è concretizzato un mutamento della funzione della spiaggia libera, divenuto strumento di implementazione dell'offerta turistica con la conseguente necessità di avviare una «riflessione» concreta sui servizi da garantire e proporre per la sua nuova qualificazione.

La capacità amministrativa degli Enti locali nel disporre delle aree demaniali, in precedenza affidate in via esclusiva all'Autorità Marittima, infatti, ha permesso, in modo lento, ma con una costante accelerazione,

di rendere la spiaggia libera uno strumento utile per integrare, sia in modo diretto, organizzando iniziative, manifestazioni ed altre possibili attrattive, sia indiretto, con la predisposizione di servizi che ulteriormente la qualificano come elemento di pregio per attrarre presenze sul territorio, la promozione turistica.

Questa esigenza di implementazione di servizi è anche conseguenza del mutamento delle abitudini della popolazione nella fruizione del tempo libero e la parcellizzazione in diverse categorie della “utenza turistica”, rispetto agli schemi che ordinariamente si conoscevano derivanti dalle esperienze del passato.

Le spiagge libere sono divenute spesso luogo in cui l’utenza giovanile trova il suo momento di aggregazione, rispetto alla precedente modalità in cui si privilegiava l’interno di stabilimenti balneari, così come la maggiore mobilità consentita dagli attuali mezzi di trasporto, ha permesso oggi di raggiungere in modo più semplice località in precedenza poco o per nulla frequentate, ambite anche per la loro peculiare qualità ambientale, con un accrescere del rischio per la distanza dai punti di soccorso. Questi sono due esempi di modalità della fruizione delle aree demaniali da cui è derivata la formazione di una domanda di “servizi” da parte di tale segmento di utenza frequentante le spiagge libere. Il mutamento del modo di fare “vacanza”, con un approccio non più monotematico e con periodi costanti e inquadrati, ma con frazionamenti temporali in momenti diversi dell’anno e con modalità articolate, si aggiunge alle precedenti caratteristiche, con la ricerca di soluzioni in cui la flessibilità della fruizione diviene elemento principale delle proprie scelte per il tempo libero. In questo quadro aumenta la «domanda» di maggiore qualità: ad una semplice offerta di modesta rilevanza, sottesa ad un obbligo proprio di garanzia di igiene e sanità pubblica, quali per esempio la gestione dei rifiuti con la predisposizione di cestini di raccolta, si è aggiunta anche una maggiore richiesta di pulizia dell’arenile propriamente detto, con l’esigenza quindi di procedere con la vagliatura periodica della spiaggia, spingendosi oggi fino ad arrivare a manifestare l’esigenza di garantire anche un servizio di sorveglianza della balneazione, in piena analogia ai servizi di un impianto balneare.

Il servizio di sicurezza balneare

Come evidenziato in precedenza, la spiaggia libera ha subito un mutamento funzionale in conseguenza della modifica dei comportamenti dell’utenza e delle nuove possibilità gestionali attribuite dalla Legge agli Enti locali nella gestione dei beni demaniali.

Questo nuovo modo di “vivere” la spiaggia libera ha comportato, come naturale conseguenza, anche un aumento della domanda di servizi: nelle «spiagge urbane» in particolare è stata richiesta una sempre maggiore presenza e qualità del sistema di pulizia, così come nelle zone di pregio «ambientale» molto più frequentate grazie alla maggiore mobilità della popolazione.

Il servizio di sicurezza balneare si colloca in questo quadro di nuova funzione generale delle spiagge libere quale strumento per diversificare l’offerta turistica.

L’Ente sul quale ricadono gli effetti e le conseguenze di questa mutazione genetica è il Comune, soggetto amministrativo che al termine del percorso di decentramento delle funzioni è stato individuato quale soggetto attivo per il rilascio delle concessioni e la gestione delle aree demaniali per uso turistico ricreativo.

Le normative di settore prevedono l’intervento delle Amministrazioni comunali per l’organizzazione di servizi quali la pulizia della spiaggia e degli arenili, ma la quantità e la qualità del servizio dipendono molto dalla frequentazione delle aree pubbliche oltre che dalle politiche di promozione turistica del territorio.

Gli obblighi specifici però non si estendono anche alla predisposizione di sistemi di “sicurezza della balneazione”, materia che rimasta saldamente incardinata in capo all’Autorità marittima non oggetto di alcun trasferimento di competenza della sua gestione.

L’azione delle Amministrazioni locali, nell’organizzazione di un sistema di sicurezza della balneazione, qualora volontariamente intrapresa, deve trovare, nel quadro normativo generale, un suo fondamento giuridico che permetta di giustificare i relativi oneri finanziari.

Come individuare, in questo scarno contesto regolatorio un elemento giuridicamente rilevante per giustificare l’azione concreta del Comune per lo sviluppo di un servizio di sicurezza della balneazione?

Per cercare una possibile risposta è necessario effettuare un’analisi logico sistematica del quadro normativo generale, superando il limite della visione delle singole leggi di settore per individuare i possibili elementi giuridicamente rilevanti in grado di rispondere al quesito.

La normativa nazionale, in attuazione dell’articolo 118 della Costituzione, disegna il ruolo del Comune, ente “costituzionalmente rilevante” in relazione al proprio territorio di competenza [7].

Il Testo Unico Enti Locali (TUEL), per sua stessa declinazione, attua i contenuti della Costituzione, individuando il Comune come ente esponenziale della collettività locale con il compito specifico di promuovere il suo sviluppo. Tra gli strumenti utili per attuare gli obiettivi che la normativa gli assegna, rientra lo sviluppo economico, di cui il turismo, all'interno del quale ricade pienamente quello balneare che rappresenta, in ogni realtà locale dove è presente, una delle componenti di maggiore rilievo per il suo impatto finanziario. L'assegnazione delle competenze gestionali in materia di demanio marittimo, come in precedenza evidenziato, si inquadra in più ampio disegno finalizzato a favorire l'attuazione degli obiettivi costituzionali assegnati al Comune.

In tale ambito, pertanto può essere correttamente inquadrata, come elemento qualificante e complementare all'iniziativa economica di tipo privato nell'ambito turistico, l'organizzazione di un sistema di sicurezza balneare, giustificando un ruolo attivo dell'Amministrazione locale nell'organizzazione di tali servizi specificamente destinati alle aree di libero uso.

L'individuazione delle risorse finanziarie per l'organizzazione di un sistema pubblico di sicurezza balneare è la maggiore criticità da superare qualora si intenda procedere all'“erogazione del servizio”.

Un possibile percorso per il reperimento di risorse può essere individuato nelle disponibilità derivanti da progettuali nazionali o comunitarie per diverse azioni di intervento sociale o di miglioramento territoriale, oppure tra le disponibilità dirette del bilancio dell'Ente, cercando un “veicolo amministrativo” in cui inquadrare l'organizzazione di un servizio di sicurezza della balneazione e le relative risorse finanziarie.

E' tra le diverse funzioni che la Legge assegna ad un Ente locale che sono da individuare i possibili percorsi amministrativi in cui inserire la gestione di un programma di sicurezza della balneazione ed all'interno delle quali rinvenire e reperire i finanziamenti necessari per la sua concreta attuazione.

Da una prima analisi delle funzioni di un Ente locale è possibile individuare tre eventuali ambiti in cui ritenere corretto l'inserimento di un servizio pubblico di sicurezza balneare:

- 1) L'organizzazione dei servizi sanitari locali;
- 2) L'organizzazione dei servizi di «Protezione Civile»;
- 3) La gestione delle aree demaniali marittime ad uso turistico ricreativo.

Le singole funzioni sopra indicate rappresentano ciascuna un eventuale strumento operativo per inquadrare l'organizzazione di un servizio pubblico di sicurezza balneare, ma per ciascuna di esse sono presenti una serie di potenziali criticità che possono non garantire una compiuta capacità di realizzarlo.

La sicurezza balneare

Integrazione del profilo sanitario del cittadino

Nel suo ruolo di ente esponenziale della collettività locale e nella funzione di favorire lo sviluppo del territorio, il Comune è individuato, dai Piani nazionali e regionali, quale soggetto per la predisposizione dei programmi sanitari tra cui quelli di prevenzione [8].

Come è noto, ad oggi il Sistema Sanitario Nazionale (SSN) sviluppa la propria attività attraverso i Livelli essenziali di assistenza (LEA) che indicano le prestazioni e i servizi da fornire a tutti i cittadini, gratuitamente o dietro pagamento di una quota di partecipazione (ticket), con le risorse pubbliche raccolte attraverso la fiscalità generale (tasse).

I LEA sono articolati in diversi livelli operativi tra cui vi è l'area di Prevenzione collettiva e sanità pubblica, che comprende tutte le attività di prevenzione rivolte alle collettività ed ai singoli.

Nell'ambito di quest'area d'intervento rientra anche l'azione cosiddetta di sorveglianza e prevenzione che include tra i possibili profili di rilievo anche la promozione di stili di vita sani e la definizione di programmi organizzati per le diverse possibili categorie di rischio, non solo patologico ma anche appunto di tipo comportamentale.

L'inserimento di programma pubblico di sicurezza dalla balneazione, si inquadra con il considerare la prevenzione dall'annegamento come parte del sistema complessivo di protezione sanitaria per il cittadino, perseguendo l'obiettivo cercando di ridurre l'incidenza del rischio di un sinistro derivante dalla balneazione.

La scelta di questa soluzione, possibile in relazione al ruolo che gli Enti locali si vedono riconosciuti nell'organizzazione dei servizi sanitari, può trovare la sua coerenza con la sovrapposizione delle due figure del cittadino, sia sotto il profilo sanitario, come appunto soggetto quale “persona umana” sia come utente delle aree pubbliche.

L'inserimento in questo ambito amministrativo, un piano di sicurezza della balneazione avrebbe un suo specifico finanziamento nell'ambito degli stanziamenti del servizio sanitario nazionale, con una idonea programmazione tale da permettere il suo consolidamento e gestione complessiva sotto il controllo pubblico. È importante sottolineare, che alla disponibilità di risorse nazionali, si possono aggiungere anche quelle delle Regioni le quali, come hanno fatto fino ad oggi, possono garantire servizi e prestazioni ulteriori rispetto a quelle incluse nei LEA, utilizzando risorse proprie. La previsione di un inserimento tra i LEA di garantire la sicurezza della balneazione può trovare anche il suo finanziamento con la finalizzazione di parte del gettito dei canoni corrisposti per l'uso delle aree demaniali, sia marittime che lacuali.

Si deve ricordare, infatti, che non vi sono solo le spiagge o le aree demaniali marittime frequentate per la balneazione, ma vi sono anche le zone lacuali, non meno importanti e frequentate dall'utenza su cui porre l'opportuna attenzione, per la piena analogia dei rischi derivanti da una fruizione non corretta e pericolosa per la propria incolumità. L'inserimento quindi di tale previsione nell'ambito dei LEA troverebbe giustificazione anche per la presenza del medesimo rischio per le Regioni non bagnate dal mare ma in cui sono presenti importanti aree lacustri, si pensi alla Lombardia, con un numero relevantissimo di presenze turistiche. Allo stato attuale, però non vi sono previsioni di tali programmazioni nell'ambito delle procedure sanitarie nazionali e/o regionali con la conseguenza di rimanere una potenziale risorsa ma non al momento concretamente disponibile.

Un programma di protezione civile

Il Comune ha anche un importante ruolo nel sistema di protezione civile nazionale [9].

Con il Decreto Legislativo 2 gennaio 2018 n. 1 si è provveduto al riordino della normativa in materia, cogliendo altresì l'occasione di disporre una razionalizzazione delle disposizioni vigenti ed aggiornandole per tenere conto dell'esperienza intervenuta dalla precedente disciplina organica risalente all'anno 1992.

Tra gli elementi rilevanti, per quanto qui interessa, è opportuno evidenziare l'introduzione di una specifica definizione delle attività di protezione civile, che sono riassunte come: «quelle volte alla previsione, prevenzione e mitigazione dei rischi, alla gestione delle emergenze e al loro superamento».

L'aspetto della prevenzione è poi declinato nella medesima disciplina specificando che: «consiste nell'insieme delle attività di natura strutturale e non strutturale, svolte anche in forma integrata, dirette a evitare o a ridurre la possibilità che si verifichino danni conseguenti a eventi calamitosi anche sulla base delle conoscenze acquisite per effetto delle attività di previsione».

Questo rinvio ad una disciplina che sembra finalizzata esclusivamente ad un obiettivo di: «evitare o a ridurre la possibilità che si verifichino danni conseguenti a eventi calamitosi», può apparire poco coerente con un piano di sicurezza della balneazione ma in realtà anche il sinistro derivante da un annegamento può essere ricondotto a questa definizione di evento calamitoso.

Vi sono molte zone in cui la balneazione è consentita dalla qualità delle acque, ma risulta pericolosa per molteplici condizioni che però vedono comunque una rilevante presenza di utenti a cui si rende necessario fornire una risposta in termini di sicurezza, anche solo per non vedere depauperata una risorsa economica per il territorio con la imposizione di un divieto permanente di balneazione per motivi incolumità pubblica [10].

Un sistema di prevenzione per l'annegamento può quindi essere inserito come uno specifico segmento del più ampio programma di protezione civile che il Comune è obbligato a redigere per la gestione del suo territorio, in presenza di condizioni tali da imporre una azione preventiva per motivi di incolumità pubblica.

Il Programma di Protezione Civile non ha solamente una finalità di organizzare l'azione dei servizi di soccorso al verificarsi di una calamità naturale, ma anche la possibilità di predisporre interventi concreti per una prevenzione del rischio, nel cui ambito bene può inserirsi anche la sicurezza balneare, qualora presenti condizioni di criticità nella fruizione delle aree demaniali di libero uso.

L'attività di protezione civile è finanziata con risorse disponibili tra i diversi livelli di Governo ed il singolo ente avrebbe la possibilità di ottenere risorse anche nazionali qualora sia avvenuto l'inserimento anche di questo tipo funzione nella propria programmazione operativa [11].

In questo ambito possono assumere rilievo, se inserite nella programmazione di "protezione civile", azioni di prevenzione orientate alla realizzazione di infrastrutture di sicurezza utilizzabili dall'utenza in caso di evento calamitoso derivante dalla balneazione, nelle more dell'intervento di personale specializzato, così come anche realizzare un sistema di presidio diretto delle aree libere a rischio per l'incolumità pubblica.

Anche in questo ambito vi sono quindi elementi che consentono di inquadrare un'organizzazione di un servizio di sicurezza della balneazione dedicato alle aree libere, demaniali marittime o lacuali, destinate ad un turismo balneare.

La gestione demanio marittimo turistico ricreativo

Come in precedenza evidenziato, dall'anno 2001, la competenza alla gestione amministrativa dei beni demaniali marittimi ed in particolare, il rilascio delle concessioni per uso turistico ricreativo è stata attribuita ai Comuni costieri.

Nel corso degli anni, in attuazione allo sviluppo della pianificazione urbanistica della fascia costiera predisposta dai Comuni, sono state pubblicate numerose procedure per l'assegnazione di nuove concessioni demaniali.

Tra i diversi criteri per l'affidamento della concessione sono stati valutati anche servizi aggiuntivi proposti dagli aspiranti concessionari, tra cui, spesso, anche la previsione estendere il controllo diretto, con la presenza di assistenti bagnanti integralmente a loro carico, anche in zone di spiaggia libera, oppure di contribuire alle spese alle spese che l'Ente locale sostiene per l'approntamento del servizio di prevenzione dell'annegamento per le aree di libero uso.

L'evidenza pubblica ha permesso alla pubblica amministrazione di ottenere risorse per l'organizzazione di sistemi pubblici di sicurezza della balneazione, sia mediante un contributo a parziale copertura dei costi, sia mediante una assunzione diretta con il presidio di aree pubbliche a spese dell'aggiudicatario, che, in qualità di concessionario, avrebbe dovuto limitarsi a garantire il servizio previsto per le aree di propria concessione esclusiva. In altre parole, l'affidamento mediante evidenza pubblica delle concessioni demaniali permetterebbe di ottenere, in modo anche differenziabile in relazione alle diverse realtà locali, la disponibilità di risorse utili per la gestione di sistemi di sicurezza balneare per le aree di libero uso. La criticità discende dal fatto che si tratta di fattispecie limitate alle sole nuove concessioni, assegnate dalle amministrazioni locali in relazione agli sviluppi della pianificazione territoriale ed all'implementazione delle offerte turistiche, condizione al momento non estendibile, in assenza di una variazione legislativa, alle numerose concessioni turistico ricreative oggi vigenti e derivanti dalle assegnazioni effettuate nei decenni precedenti.

Le risorse del bilancio comunale

Alle possibili soluzioni in precedenza delineate, si aggiunge anche la possibilità che l'Ente locale provveda direttamente, con risorse disponibili nel proprio bilancio, derivanti dal gettito generale delle imposte e tributi locali, ad organizzare un sistema di sicurezza pubblica della balneazione.

L'Ente locale è dotato di una propria autonomia finanziaria, intendendosi, con tale definizione, la possibilità di stabilire aliquote e le eventuali esenzioni o riduzioni dei tributi e delle imposte, nei limiti di quanto disposto dai principi dettati dalla Legge statale.

Nel caso degli Enti Locali, autonomia finanziaria non è da intendersi come possibilità di istituire imposte o tributi propri, ma della libertà di determinare le aliquote applicabili, nei limiti massimi e minimi consentiti dalla normativa statale in base al principio dell'articolo 23 della Costituzione ed essere destinatari del relativo gettito [12]. In assenza di un vincolo di destinazione, inteso come finalità specifica dell'imposta o del tributo, il gettito derivante dalla tassazione generale confluisce nel bilancio dell'Ente locale che provvede, con la propria programmazione di bilancio, all'allocazione delle risorse disponibili tra le diverse previsioni ed obiettivi di sviluppo del territorio.

Tra le diverse voci di imposizione emerge in particolare, per quello che qui interessa, la c.d. Imposta di Soggiorno, che è un contributo fisso, il cui costo varia da città a città, che gli albergatori o comunque i titolari di attività ricettive, richiedono a turisti e viaggiatori ospitati nelle loro strutture [13]. Tale imposta è stata introdotta con la finalità di consentire ai Comuni, con un rilevante flusso turistico di acquisire ulteriori risorse da destinare, in modo vincolato, per la valorizzazione del territorio in funzione di qualificare l'offerta turistica. In alternativa all'imposta di soggiorno i Comuni con sede nelle isole minori o nel cui territorio insistono isole minori possono adottare un'imposta di sbarco, che viene riscossa insieme al prezzo del biglietto da parte delle compagnie di navigazione esercenti i collegamenti di linea, con la medesima disciplina normativa per quanto concerne le modalità di gestione e di finalizzazione del gettito derivante dalla sua applicazione. Questo è un "canale" di finanziamento da cui poter trarre risorse per finanziare i programmi pubblici di sicurezza

balneare, ma presenta la criticità che non tutte le realtà locali si trovano nella medesima situazione: ci sono condizioni oggettive diverse che influenzano il gettito, per esempio territori in cui la accoglienza turistica è strutturata principalmente su seconde case non gestite con modalità imprenditoriali che non sono quindi soggette all'imposizione.

È noto che ci sono realtà locali in cui le risorse disponibili sono in grado di sostenere la spesa di un sistema pubblico di salvamento, ma vi sono anche territori che pur risultando di particolare interesse turistico, con una alta frequentazione di spiagge ed aree balneabili, hanno però una limitata disponibilità finanziaria, per la loro scarsa urbanizzazione e con una modesta capacità ricettiva.

Con questa frammentazione delle condizioni territoriali è evidente che l'utilizzo del gettito della fiscalità generale è una possibilità, che come le altre in precedenza illustrate, non in grado di essere replicato per tutte diverse realtà locali quale metodologia per sostenere gli oneri di un sistema pubblico di sicurezza della balneazione.

Quali possibili soluzioni?

Le diverse esperienze sviluppate in alcuni ambiti locali, dimostrano che l'introduzione di un sistema di sicurezza pubblica delle spiagge libere è un importante valore aggiunto nell'offerta turistica di un territorio ed un evento irreversibile, una volta organizzato, per gli effetti negativi sull'immagine dell'Ente nel caso della sua smobilitazione.

L'organizzazione di un sistema di sicurezza pubblica della balneazione non è una questione di volontà degli Enti locali, quanto di certezza delle risorse finanziarie necessarie per il suo mantenimento ed implementazione, in particolare nei casi in cui le aree di libero uso presentano una importante rilevanza rispetto alle superfici occupate da aree in concessione ad imprese private.

E' possibile anche attivarsi ricercando eventuali forme di sinergia e collaborazione con le imprese balneari insediate nella zona per estendere un sistema di controllo e sicurezza il più omogeneo possibile, ma sono accordi non automaticamente replicabili in tutte le realtà per le profonde differenze tra i diversi territori. Come abbiamo visto, i diversi possibili percorsi amministrativi in cui si potrebbe incardinare il servizio, da un lato non sono replicabili ad ogni realtà locale, dall'altro non offrono la garanzia della disponibilità di risorse certe e di sicura affidabilità in grado di consentire la gestione dei programmi pubblici di sicurezza della balneazione e la loro implementazione in progetti di medio - lungo termine. La soluzione alle criticità delle soluzioni in precedenza illustrate è l'individuazione di risorse finanziarie permanenti per organizzare e mantenere un programma pubblico di sicurezza della balneazione.

Dall'analisi della normativa vigente in materia demaniale marittima ed in particolare delle disposizioni inerenti il calcolo dei canoni per l'uso dei beni stessi, è possibile individuare i necessari interventi per ottenere questa possibile stabilità dei flussi finanziari.

Si tratta di procedere, nell'ambito della più ampia riforma del sistema di gestione dei beni demaniali marittimi, ad una specifica modifica delle modalità di determinazione dei canoni da corrispondere per l'utilizzo dei beni demaniali marittimi in grado di permettere un incremento dell'attuale gettito eliminando altresì le ingiustificate discriminazioni tra concessionari conseguenti le attuali regole di calcolo. In secondo luogo, applicare in modo diverso rispetto a quanto avvenuto fino ad ora disposizioni vigenti che attribuiscono parte del gettito dei canoni demaniali marittimi alle Regioni costiere, che ad oggi non ha visto finalizzare tali proventi anche alla sicurezza della balneazione.

Nei paragrafi successivi saranno analizzati i profili sopra indicati, dimostrando gli spazi disponibili per il reperimento di risorse finanziarie adeguate per sostenere gli oneri di programmi pubblici di sicurezza della balneazione.

La modifica delle modalità di determinazione dei canoni demaniali

Al momento del trasferimento delle funzioni di gestione amministrativa in materia di demanio marittimo, i Comuni non hanno avuto alcun beneficio finanziario dall'esercizio di tale compito: il gettito dei canoni è rimasto integralmente devoluto allo Stato, senza alcuna compartecipazione degli Enti locali. Tale situazione è un'ingiustificata discriminazione rispetto, ad esempio, a quanto avvenuto con il trasferimento alle Regioni delle funzioni amministrative per le concessioni del demanio idrico e lacuale, dove alla competenza gestionale è stata accompagnata la possibilità di stabilire nuovi canoni senza alcuna limitazione e secondo le modalità ritenute più consone dai singoli Enti gestori.

Nell'ambito delle funzioni in materia di demanio marittimo, il trasferimento si è invece concretizzato come un "puro costo" per gli Enti Locali, chiamati a gestire la fase amministrativa, prima nella competenza statale, con proprio personale e senza alcuna risorsa finanziaria per la copertura dei conseguenti oneri. L'evoluzione gestionale che ha interessato le aree demaniali marittime di libero uso in precedenza illustrata e la consapevolezza del ruolo assunto nella gestione amministrativa delle funzioni, rende pienamente giustificata la richiesta di una revisione della distribuzione delle somme derivanti dai canoni demaniali marittimi, in favore degli enti gestori.

Si tratta di una modifica normativa da inquadrare in una più ampia azione di revisione della normativa in materia demaniale ma necessaria anche per risolvere l'ingiustificata decisione di non attribuire alcuna risorsa agli Enti Locali per l'esercizio delle funzioni amministrative.

Come di seguito sarà illustrato, sono presenti ampie possibilità che dalla revisione del sistema di calcolo sia possibile garantire il necessario flusso per il finanziamento dei programmi di sicurezza della balneazione ma anche il mantenimento dell'attuale gettito per lo Stato quale proprietario delle aree demaniali marittime.

Allo stato attuale la normativa prevede che i canoni per l'uso dei beni demaniali marittimi siano calcolati con il c.d. metodo tabellare, cioè con applicazione di valori unitari stabiliti dalla Legge speciale e riferiti al metro quadro di superfici occupata. Ai sensi delle disposizioni vigenti il calcolo avviene con una semplice moltiplicazione delle superfici concessionate, senza alcuna valutazione della modalità di utilizzo delle aree stesse o alla destinazione d'uso beni insistenti su di essi.

La previsione normativa classifica tre diverse occupazioni per le aree demaniali marittime:

- a) area scoperta, destinata prevalentemente alla posa di materiale balneare o di altri elementi per attività turistico ricreativa, come giochi da tavolo, natanti da noleggio, attrezzatura varia;
- b) area occupata da impianti di "facile rimozione", quali cabine, spogliatoi, servizi igienici e collettivi, ma anche ristoranti, pubblici esercizi e negozi di vicinato;
- c) area occupata da impianti definiti di "difficile rimozione", di solito strutture in cemento e muratura con diversi utilizzi e finalità.

A queste tre diverse tipologie di occupazione, cui si aggiunge la particolare categoria dell'utilizzo di beni costruiti sul Demanio marittimo divenuti proprietà dello Stato al quale viene applicato un canone specifico qualora destinato ad attività commerciali, è riferito un valore al metro quadro con il quale calcolare la somma dovuta per l'uso del bene demaniale.

In Tabella 1 è rappresentato uno schema di calcolo esemplificativo dell'importo del canone annuale dovuto da un concessionario di una spiaggia di 1000 metri quadri, sulla quale si considerano presenti circa 200 metri di strutture qualificate di "facile rimozione" di cui possiamo presumere una destinazione d'uso di 150 metri quadri come ristorante – bar e di 50 metri quadri come cabine, spogliatoi e servizi igienici, mantenendo la restante superficie destinata alla posa di materiale balneare.

Tabella 1. Impianto balneare di 1000 metri quadri di superficie complessiva – canone annuo.

Uso	m ²	€ m ²	Valore
Area scoperta (utilizzo come ombreggio)	800	1,28313	€ 1.026,50
Impianti di facile rimozione (ristorante - bar)	150	2,13857	€ 320,79
Impianti di facile rimozione (cabine altre strutture)	50	2,13857	€ 106,93
			€ 1.454,22

L'importo annuale del canone dovuto all'Erario, con applicazione dei valori al metro quadro determinati per l'anno 2018, per le diverse tipologie, di occupazione ammonta complessivamente ad € 1.454,22. Senza entrare nel merito del valore assoluto di quanto emerge dal calcolo, è però evidente, come principio di buon senso, che questo sistema di calcolo comporta profonde sperequazioni tra le diverse modalità di occupazione dello spazio demaniale, in particolare proprio in riferimento all'uso cui sono destinate le strutture insistenti sulle stesse o anche per le diverse modalità di utilizzo delle aree scoperte.

In altre parole, la modalità di calcolo non discrimina, per esempio, tra occupazioni di aree demaniali mediante strutture da destinare quali cabine, che hanno una loro autonoma redditività, rispetto ai servizi igienici o

agli spazi collettivi, così come gli impianti destinati alla somministrazione, trattando invece tutte occupazioni allo stesso modo in relazione alla semplice tipologia costruttiva, applicando il medesimo valore al metro quadro per il calcolo del canone di concessione da corrispondere all'Erario.

In pratica, l'occupazione di un'area demaniale per mantenere una cabina di facile rimozione è valutata allo stesso valore al metro quadro per una struttura, sempre di facile rimozione, per mantenere un ristorante. Semplicemente diversificando i valori al metro quadro sia in relazione all'uso cui sono destinati i manufatti insistenti sulle aree stesse, ma anche in relazione alle diverse finalità cui sono destinate le aree scoperte stesse, sarebbe possibile ottenere un incremento del gettito a parità di altre condizioni. E' infatti contrario ad ogni principio di buon senso, che ad un'area scoperta destinata alla posa di materiale balneare sia applicato il medesimo valore al metro quadro anche nel caso di posa di natanti e pedalò destinati al noleggino.

Così come non è equo applicare lo stesso valore al metro quadro, indipendentemente dalla qualità del materiale, sia essa di legno, muratura, cemento, ma comunque destinate tutte alla somministrazione oggi previsto per una cabina, uno spogliatoio o di un servizio igienico.

La proposta di modifica della modalità di calcolo altro non sarebbe che di tornare all'applicazione di un principio che era già contenuto nel Regolamento di Codice della Navigazione, poi ripreso da altre leggi speciali nel corso dei decenni scorsi, ma purtroppo perduto dagli anni Novanta, con una regressione che oggi mostra tutte le sue criticità con questa nuova fase gestionale [14].

Senza arrivare ad un dettaglio di analisi così specifico come richiesto dalla formulazione codicistica, il semplice superamento del concetto di mera occupazione passando ad utilizzare il criterio di "utilizzo funzionale" del bene demaniale, con diversi valori tabellari da applicare in relazione proprio alla finalità per il quale viene consentito l'uso dell'area demaniale e delle attività da svolgere nei manufatti di cui si autorizza l'occupazione, comporterebbe un incremento del gettito mantenendo comunque i principi del sistema tabellare da anni applicato alla materia. In modo molto empirico, ma con l'obiettivo di rappresentare in modo evidente il concetto sopra espresso, in Tabella 2 è possibile vedere i potenziali effetti conseguenti l'applicazione la modifica del sistema di calcolo.

Prendendo come riferimento la medesima configurazione della precedente concessione di 1000 metri quadri, si è provveduto sia alla diversificazione degli importi in funzione dell'uso a cui sono destinate sia a stabilire valori al metro quadro diversi per ciascuna di esse.

In particolare, a parte l'importante incremento per le aree scoperte finalizzate alla posa di materiale balneare (aumentate in modo significativo dall'importo di un euro al metro quadro per anno a quello di cinque euro mq. per anno) è stata effettuata la variazione delle categorie d'uso per le strutture destinate al pubblico esercizio di Bar da quello di ristorazione e delle cabine, con specifici valori di riferimento.

Tabella 2. Impianto balneare di 1000 metri quadri di superficie complessiva – canone annuo ad importi variati.

Uso	m ²	€ m ²	Valore
Area scoperta ombreggio	800	5	€ 4.000,00
Impianto di facile rimozione (ristorante)	100	10	€ 1.000,00
Impianto di facile rimozione (BAR)	50	7	€ 350,00
Impianto di facile rimozione (cabine)	40	5	€ 200,00
Impianto di facile rimozione (magazzino servizi igienici etc.)	10	2	€ 20,00
			€ 5.570,00

Assumendo i valori al metro quadro inseriti come un semplice riferimento per il calcolo, è evidente la possibilità di ricavare un incremento del gettito dei canoni demaniali marittimi, nel cui differenziale tra l'attuale valore e quello potenziale, rinvenire gli spazi per consentire la compartecipazione al gettito degli Enti locali e contestualmente permettendo anche di salvaguardare gli obiettivi di bilancio dello Stato. L'introduzione di questa nuova modalità di determinazione dei canoni, permetterebbe quindi un flusso finanziario da un lato qualificabile come un giusto riconoscimento per le funzioni oggi esercitate in modo praticamente "gratuito" dagli Enti Locali, dall'altro renderebbe disponibili risorse per il finanziamento dei programmi pubblici di sicurezza della balneazione delle spiagge di libero uso. Tale riforma avrebbe anche il pregio di intervenire per

correggere situazioni discriminanti tra gli stessi concessionari, quali, ad esempio le occupazioni di pochi metri quadri consentite per il deposito delle attrezzature da spiaggia destinate al noleggio, cui segue un utilizzo, anche se non ad uso esclusivo, di una distesa di arenile in modo simile ad uno stabilimento balneare ma senza i connessi obblighi di sorveglianza.

Siamo in presenza di erogatori di servizi turistico ricreativi, numerosi nell'ambito della gestione delle aree demaniali i quali assolvono i loro obblighi con il pagamento di un canone "minimo" senza sostenere alcun altro onere rilevante per la propria attività imprenditoriale, condizione non più giustificabile [15].

La perequazione territoriale: il compito della Regione

È noto che non tutti i territori possono contare su un numero di concessioni demaniali in grado di consentire un flusso finanziario per sostenere gli oneri di un sistema pubblico di sicurezza della balneazione. Analizzando la normativa vigente, è possibile individuare anche strumenti per un'azione "perequativa" nell'ambito territoriale regionale, recuperando risorse da aree in cui vi sono numerose concessioni demaniali ad uso turistico ricreativo da distribuire, in una logica "mutualistica" per i territori in cui il numero sia limitato o tale da non comportare un gettito rilevante ed efficace per l'organizzazione del servizio. Si tratta di avvalersi dei flussi finanziari, previsti da due diverse previsioni normative ad oggi vigenti introdotte dal Legislatore nazionale nel 1970, al momento della costituzione delle Regioni e l'altra nel 1993, con una delle numerose variazioni del sistema di calcolo dei canoni demaniali marittimi direttamente connessi all'utilizzo di beni demaniali marittimi e la cui adeguata funzionalizzazione e gestione permette di acquisire risorse utili per i programmi pubblici di sicurezza della balneazione e la perequazione territoriale.

Nel 1970, con l'obiettivo di costituire l'autonomia finanziaria delle Regioni appena introdotte nell'ordinamento nazionale in attuazione della Costituzione, la Legge statale istituì la possibilità di applicare sulle somme dovute all'Erario dai concessionari di beni demaniali e patrimoniali statali una "addizionale regionale", da versare direttamente all'Ente regionale, calcolata come una maggiorazione percentuale all'importo dovuto per il canone demaniale [16]. Tale percentuale era limitata dalla Legge statale ad un range predeterminato, entro il quale la Regione aveva facoltà di scegliere il suo ammontare, vincolo superato nell'anno 2011 quando l'addizionale regionale è stata trasformata in un tributo proprio delle singole Regioni.

Allo stato attuale, le Regioni applicano, con percentuali molto differenziate, questa addizionale alle somme dovute dai concessionari demaniali marittimi, riscuotendo direttamente l'importo previsto ed utilizzando tali risorse nell'ambito delle previsioni del bilancio regionale per finalità diverse ma non riconducibili direttamente al sostegno di eventuali programmi pubblici di sicurezza balneare [17]. La diversa modulazione della percentuale potrebbe già permettere la possibilità di acquisire, senza la necessità di attendere l'introduzione dell'auspicato diverso sistema di determinazione dei canoni demaniali marittimi, la disponibilità di un flusso finanziario utile per progetti pubblici di sicurezza della balneazione finalizzati ad enti locali con ridotte disponibilità finanziarie.

A questo primo flusso si potrebbe aggiungere l'altra potenziale risorsa derivante dall'applicazione concreta della normativa di valorizzazione turistica delle aree demaniali marittime ad uso turistico ricreativo.

Nell'anno 1993, il legislatore nazionale introdusse la possibilità per le Regioni di eseguire una classificazione delle aree demaniali marittime ad uso turistico ricreativo, con l'obiettivo di sollecitare una ponderazione delle diverse "qualità" delle zone balneari determinando per ciascuna di essa una adeguata "valenza" turistica. La normativa permetteva una classificazione del territorio in tre fasce, di alta, media e bassa valenza turistica, cui seguiva una differenziazione dei valori unitari al metro quadro applicabili per la determinazione dei canoni di concessione.

Per stimolare le Regioni ad effettuare tale classificazione, la Legge stabilì che il 10% delle maggiori somme riscosse dallo Stato dalle concessioni comprese nelle aree ricomprese nella classificazione in "alta valenza turistica", fosse attribuita alle Regioni stesse [18].

Dall'introduzione della disposizione nell'ordinamento, la classificazione per la valenza turistica è stata effettuata solo da due Regioni, per non subire le gravi ripercussioni politiche conseguenti l'inserimento nella categoria di alta valenza turistica che comporta un sostanziale raddoppio degli importi unitari dei canoni demaniali marittimi.

Ad oggi, per questa scelta politica delle Regioni, si verifica il paradosso che permette l'applicazione di misure unitarie per il calcolo dei canoni demaniali marittimi di identico importo tra realtà molto rinomate ed aree

invece non ancora affermate, con evidenti sperequazioni, assolutamente ingiustificate. Il flusso derivante da questa operazione di classificazione turistica delle aree demaniali potrebbe generare, nel suo complesso, un gettito significativo, ma il potenziale introito, è però fortemente condizionato dalla reale volontà della Regione di procedere alla classificazione [19].

Sono stati quindi evidenziati due flussi finanziari, quelli derivanti dalla c.d. addizionale regionale sia quelle potenzialmente provenienti dalla riclassificazione della valenza turistica, che nell'attuale quadro normativo sarebbe attivabili per acquisire le risorse da destinare ai programmi pubblici di sicurezza balneare.

Le somme complessivamente riscosse e provenienti da questi due flussi, avrebbero la possibilità di essere vincolate per alimentare un fondo specifico per la valorizzazione delle spiagge di libero uso e comunque delle aree pubbliche in cui vi è una rilevante fruizione e conseguente esigenza di sicurezza della balneazione.

In presenza di queste disponibilità finanziarie i Comuni che, pur essendo meta di un rilevante flusso turistico, non hanno sufficienti risorse per sostenere in autonomia gli oneri derivanti dalla gestione di progetti pubblici di sicurezza della balneazione sarebbero sicuramente stimolati nella loro organizzazione e promozione anche per gli evidenti benefici in termini di immagine sull'utenza turistica del proprio territorio.

Conclusioni

molte realtà locali in cui si sono sviluppate autonome iniziative, spesso in collaborazione con concessionari balneari, per dare soddisfazione alla crescente domanda di servizi per le aree demaniali di libero uso. Si tratterebbe, come si è cercato di dimostrare, di una organizzazione rientrante a pieno titolo in un sistema di «prevenzione» dei potenziali rischi per il cittadino – utente delle aree demaniali libere destinate alla balneazione, quindi strumento di indubbia finalità di pubblico interesse

L'esperienza sviluppata dalle Amministrazioni che in questi anni hanno avviato iniziative simili permette già oggi di delineare alcune caratteristiche di cui un sistema pubblico di sicurezza della balneazione non può prescindere essere realmente efficace.

La sicurezza della balneazione deve essere organizzata dalle Amministrazioni territoriali, in attuazione di un compito istituzionale assegnato dalla Legge o da Piani nazionali condivisi con le Regioni costiere ed interessare in modo coordinato, tutta la fascia costiera balneabile senza distinzione tra zone concessionate e zone libere, con un servizio completo ed integrato, con responsabili ben noti ed individuati.

La distinzione concessionario – spiaggia libera è da superare per ottimizzare il servizio, renderlo concretamente efficace eliminando ogni interferenza tra il personale dedicato alla sicurezza della balneazione e l'impresa balneare, specificando così nettamente il ruolo dell'imprenditore da quello dell'operatore destinato al salvamento. Elemento dirimente perché sia possibile l'organizzazione e realizzazione di un servizio pubblico di sicurezza della balneazione è la disponibilità di risorse certe e di sicura esigibilità per il suo finanziamento e da qui la previsione di una sostanziale modifica della normativa vigente per la determinazione dei canoni demaniali marittimi da cui sia possibile trarre le risorse necessarie, attribuendo parte del maggior gettito agli Enti gestori con appositi vincoli di destinazione.

La revisione del sistema di determinazione deve essere accompagnata anche dall'aggiornamento della definizione del demanio "turistico ricreativo", che introdotto nel 1977 come specifica funzionalizzazione delle finalità per l'uso dei beni demaniali, vede una identificazione delle categorie in esso comprese ormai obsoleta ed inattuale [20].

Con l'introduzione di una nuova definizione è possibile ulteriormente approfondire e specificare le diverse redditività delle attività sviluppate sulle aree demaniali con una maggiore perequazione tra i diversi concessionari oltre che ulteriori e più significative possibilità di articolazione del gettito.

Il compito perequativo deve essere affidato alle disponibilità finanziarie delle Regioni, utilizzando le risorse derivanti dai flussi finanziari disponibili a legislazione vigente, attraverso la leva dell'addizionale regionale e della valorizzazione della valenza turistica, per dare il giusto rilievo alle diverse realtà territoriali, costituendo un fondo unico per sostenere le progettualità dei comuni costieri che non raggiungono disponibilità adeguate per la organizzazione di servizi efficienti.

Il Piano Nazionale di Prevenzione degli Annegamenti non può quindi prescindere da queste considerazioni per non essere un documento privo di reale efficacia: deve quindi disciplinare e dettagliare le modalità "tecniche" più adeguate per organizzare un sistema di sicurezza pubblica della balneazione ma al contempo imponendo le necessarie revisioni della normativa demaniale, con la diversa modalità di determinazione dei

canoni e la ripartizione del relativo maggior gettito agli Enti Locali con vincolo di destinazione per garantire il suo finanziamento e non vanificare gli auspicati obiettivi di riduzione del rischio.

Note

- [1] Codice della Navigazione - R.D. 30 Marzo 1942, n. 327 - Articolo 30 ("*Uso del demanio marittimo*"): «*L'amministrazione della marina mercantile regola l'uso del demanio marittimo e vi esercita la polizia*».
- [2] Legge 15 Marzo 1997 n. 59 - Art.1 - 2° comma «*Sono conferite alle regioni e agli enti locali, nell'osservanza del principio di sussidiarietà di cui all'articolo 4, comma 3, lettera a), della presente legge, anche ai sensi dell'articolo 3 della legge 8 giugno 1990, n. 142, tutte le funzioni e i compiti amministrativi relativi alla cura degli interessi e alla promozione dello sviluppo delle rispettive comunità, nonché tutte le funzioni e i compiti amministrativi localizzabili nei rispettivi territori in atto esercitati da qualunque organo o amministrazione dello Stato, centrali o periferici, ovvero tramite enti o altri soggetti pubblici*».
D. Lgs. 31 marzo 1998 n. 112 – Art. 105. Funzioni conferite alle regioni e agli enti locali: «*1. Sono conferite alle regioni e agli enti locali tutte le funzioni non espressamente indicate negli articoli del presente capo e non attribuite alle autorità portuali dalla legge 28 gennaio 1994, n. 84, e successive modificazioni e integrazioni. 2. Tra le funzioni di cui al comma 1 sono, in particolare, conferite alle regioni le funzioni relative: - omissis - l) al rilascio di concessioni di beni del demanio della navigazione interna, del demanio marittimo e di zone del mare territoriale per finalità diverse da quelle di approvvigionamento di fonti di energia; tale conferimento non opera nei porti e nelle aree di interesse nazionale individuate con il decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri del 21/12/1995*».
- [3] D.Lgs. 30 maggio 2008, n. 116 Attuazione della direttiva 2006/7/CE relativa alla gestione della qualità delle acque di balneazione e abrogazione della direttiva 76/160/CEE. (GU Serie Generale n.155 del 04-07-2008).
- [4] Art. 59 del Regolamento di esecuzione del Codice della Navigazione D.P.R. 15 febbraio 1952, n. 328: «*A norma degli articoli 30, 62 e 81 dal codice il capo di circondario per i porti e per le altre zone demaniali marittime e di mare territoriale della sua circoscrizione, in cui sia ritenuto necessario, regola con propria ordinanza pubblicata nell'albo dell'ufficio...*».
- [5] Si veda ad esempio la Legge 3 aprile 1989 n.147 inerente la Convenzione di Amburgo per il salvataggio in mare.
- [6] Esemplare sull'argomento, la circolare del Ministero della Marina Mercantile n. 35 del 9 settembre 1960 avente ad oggetto l'estensione delle vigenti disposizioni nei riguardi della S.N.S. di Genova anche al brevetto di assistenti bagnanti alla F.I.N. come titolo valido per disimpegnare attività di bagnino di salvataggio presso tutti gli stabilimenti balneari!
- [7] *Il Comune è l'Ente locale che rappresenta la propria comunità, ne cura gli interessi e ne promuove lo sviluppo* – Articolo 3, 2° comma del D. Lgs. 18 agosto 2000 n.267 e s.m.i.
- [8] Legge 23 dicembre 1978 n.833 (*Istituzione del servizio sanitario nazionale*) – Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri del 12 gennaio 2017 pubblicato in Gazzetta Ufficiale 18 marzo 2017 (Supplemento ordinario n.15).
- [9] D.Lgs. 2 gennaio 2018 n.1 - (*Codice Protezione Civile*) - Art. 12, 1° comma: «*Lo svolgimento, in ambito comunale, delle attività di pianificazione di protezione civile e di direzione dei soccorsi con riferimento alle strutture di appartenenza, è funzione fondamentale dei Comuni*».
- [10] Possiamo avere la presenza di opere di difesa dall'erosione costiera, situazioni di instabilità delle falesie e delle aree aggettanti le zone demaniali che rendono di fatto pericolosa la fruizione come anche in conseguenza della particolare morfologia della costa, in alcune condizioni del mare, possiamo avere difficoltoso l'accesso con rischi per l'incolumità dei bagnanti e dei fruitori delle aree demaniali libere.
- [11] D.Lgs. 2 gennaio 2018 n.1 - (*Codice Protezione Civile*) - Art. 37 - Contributi finalizzati al potenziamento della capacità operativa, al miglioramento della preparazione tecnica, nonché allo sviluppo della resilienza delle comunità.
- [12] Art. 23 Cost. «*nessuna prestazione personale o patrimoniale può essere imposta se non in base alla legge*».
- [13] D.Lgs. 14 marzo 2011, n. 23 – (*Disposizioni in materia di federalismo Fiscale Municipale*) Art. 4 - 1° comma - Imposta di soggiorno - *I comuni capoluogo di provincia, le unioni di comuni nonché i comuni inclusi negli elenchi regionali delle località turistiche o città d'arte possono istituire, con deliberazione del*

consiglio, un'imposta di soggiorno a carico di coloro che alloggiano nelle strutture ricettive situate sul proprio territorio, da applicare, secondo criteri di gradualità in proporzione al prezzo, sino a 5 euro per notte di soggiorno. Il relativo gettito è destinato a finanziare interventi in materia di turismo, ivi compresi quelli a sostegno delle strutture ricettive, nonché interventi di manutenzione, fruizione e recupero dei beni culturali ed ambientali locali, nonché dei relativi servizi pubblici locali.

- [14] D.P.R. 15 febbraio 1952 n.328 – Articolo 16, 4° comma: «*La misura del canone per le singole concessioni deve essere concordata fra il capo del compartimento e l'intendente di finanza in relazione alla entità delle concessioni stesse, allo scopo che si intende conseguire e ai profitti che può trarne il concessionario.*»
- [15] È opportuno precisare che il canone minimo da corrispondere per l'uso di beni demaniali marittimi è determinato, ai sensi dell'articolo 9 del DI 19 luglio 1989, nella somma di € 354,01 a decorrere dal 1 gennaio 2018.
- [16] Legge 16 maggio 1970, n. 281 (Provvedimenti finanziari per l'attuazione delle regioni a statuto ordinario) – Articolo 2. - *Imposta sulle concessioni statali. L'imposta sulle concessioni statali si applica alle concessioni per l'occupazione e l'uso di beni del demanio e del patrimonio indisponibile dello Stato siti nel territorio della Regione, ad eccezione delle concessioni per le grandi derivazioni di acque pubbliche. Le Regioni determinano l'ammontare dell'imposta in misura non superiore al triplo del canone di concessione.*
- [17] Legge regionale 11 agosto 1995, n. 85 - Determinazione dell'ammontare dell'imposta regionale sulle concessioni statali del demanio marittimo: 1. «*L'imposta regionale sulle concessioni statali dei beni del demanio e del patrimonio indisponibile è commisurata, limitatamente alle concessioni marittime, al 25 per cento del canone statale di concessione.*» – Nella Regione Toscana, fino all'anno di imposta 2012 l'imposta era stabilita nella misura del 15% del canone statale di concessione.
- [18] Comma 1 dell'articolo 03 del decreto-legge 5 ottobre 1993, n. 400, convertito, con modificazioni, dalla legge 4 dicembre 1993, n. 494. come sostituito dal comma 251 dell'articolo unico della Legge 27 dicembre 2006 n. 296: «*...l'accertamento dei requisiti di alta e normale valenza turistica è riservato alle regioni competenti per territorio con proprio provvedimento. Nelle more dell'emanazione di detto provvedimento la categoria di riferimento è da intendersi la B. Una quota pari al 10 per cento delle maggiori entrate annue rispetto alle previsioni di bilancio derivanti dall'utilizzo delle aree, pertinenze e specchi acquei inseriti nella categoria A è devoluta alle regioni competenti per territorio.*»
- [19] La legge 27 dicembre 2006 n.296 ha provveduto alla variazione del meccanismo riducendo a due, (categoria A e categoria B) le tre categorie in precedenza previste nell'anno 1993.
- [20] La individuazione della finalità turistico ricreativa delle aree demaniali marittime è stata enucleata nell'articolo 59 del DPR 24 luglio 1977 quale fondamento della delega delle funzioni in materia alle Regioni. Con la Legge 4 dicembre 1994 n.494 di conversione del D.L. 5 ottobre n.400 sono stati dettagliati gli utilizzi che con la Legge 8 marzo 2001 n. 172 sono stati considerati rientranti nella definizione ed in particolare: Art. 01. - 1. *La concessione dei beni demaniali marittimi può essere rilasciata, oltre che per servizi pubblici e per servizi e attività portuali e produttive, per l'esercizio delle seguenti attività: a) gestione di stabilimenti balneari; b) esercizi di ristorazione e somministrazione di bevande, cibi precotti e generi di monopolio; c) noleggio di imbarcazioni e natanti in genere; d) gestione di strutture ricettive ed attività ricreative e sportive; e) esercizi commerciali; f) servizi di altra natura e conduzione di strutture ad uso abitativo, compatibilmente con le esigenze di utilizzazione di cui alle precedenti categorie di utilizzazione.*

Ricevuto il 15/04/2019

Accettato il 06/07/2019

L'organizzazione del servizio di salvataggio sulle spiagge italiane. I piani collettivi

Dario Giorgio Pezzini^{1,2}

¹Società Nazionale di Salvamento. Via Luccoli, 24, 16123 Genova GE

²GNRAC - Gruppo Nazionale per la Ricerca sull'Ambiente Costiero
Email: dpezzini@alice.it

Riassunto

Fare il bagnino non è un lavoro normalmente pericoloso, anche se richiede un certo coraggio, doti acquatiche e buone capacità fisiche. Sicuramente non è sottoposto agli stessi rischi di un bancario o di un insegnante e talvolta la vita all'aria aperta gli offre qualche diversivo in più. Eppure, se un bagnino interviene in un contesto che mette a repentaglio la vita di altri, com'è possibile che lui non corra alcun pericolo? Un principio fondamentale del salvamento in acqua è che debba essere garantita innanzitutto la sicurezza del soccorritore. L'efficienza del servizio di salvataggio ha, come Giano, una faccia bifronte: più sicuro e meglio organizzato è il soccorso per gli stessi bagnini, di tanto ci guadagnano le potenziali vittime. D'altro canto, condizioni di insicurezza del soccorso si riflettono inevitabilmente sulla qualità degli interventi. In questo articolo affronteremo, anche se in termini essenziali, il problema dell'organizzazione del servizio di salvataggio sulle spiagge. In particolare, è possibile sottolineare che:

- l'organizzazione di squadra;
- l'uso di attrezzature più sicure;
- il rispetto di procedure scritte e regolamentate.

aumentano sensibilmente l'efficienza del soccorso e, nello stesso tempo, la sicurezza del soccorritore. Questi miglioramenti sono il frutto di un'organizzazione collettiva del servizio di salvataggio sulle spiagge che ha origine in Romagna negli anni '70, poi esportato su altri litorali pressoché in tutta l'Italia.

Parole chiave: bagnini di salvataggio, capo-spiaggia, piano collettivo di salvataggio, *beach safety manager*.

Abstract

Safeguarding rescuers' safety is a basic principle of water rescue. Effectiveness of rescuing is a two-faced Janus: the safer the rescuer, the safer the victims. Vice versa bad, insecure conditions are reflected in the poor quality of lifeguarding. In this paper we shall essentially face the problem of beach lifeguarding organization. In particular, it is possible to point out that:

- *lifeguards team organization*
- *safer equipment*
- *compliance with written, regulated procedures of behaviour*

increase both effectiveness of rescuing and rescuers' safety.

Improvements in the Italian system of beach lifeguarding have originated from collective organization of rescuing which has been used in Romagna beaches on the Adriatic coast since the seventies, exported anywhere into the rest of Italy ever since.

Keywords: *lifeguard, head lifeguard, beach safety plan, beach safety manager.*

Il servizio collettivo: l'organizzazione di squadra nel salvataggio

Il sistema di soccorso utilizzato sulle spiagge italiane ha da sempre trascurato gli aspetti organizzativi del salvataggio (Pezzini 2005, 2017). Associato al regime delle spiagge private in concessione, ha fatto del singolo concessionario di uno stabilimento balneare l'organizzatore del servizio: nella maggioranza dei casi ciascun nucleo di intervento è costituito da un solo bagnino che ha scarsi e informali collegamenti organizzativi con gli altri. Il bagnino di salvataggio inoltre, essendo dipendente di uno stabilimento balneare, è spesso adibito illegalmente ad altri compiti che ne riducono drasticamente l'efficienza (Pezzini, 2018).

In molte località dell'Adriatico, fin dagli anni '70, le stesse associazioni dei balneari organizzate in consorzio hanno tuttavia cominciato a gestire il servizio collettivamente staccandolo dal singolo stabilimento; ad ovest, a cominciare dal Mar Tirreno (Marina di Carrara e Marinella di Sarzana 1997), hanno dato l'incarico di gestire il servizio a cooperative di bagnini. Altrove, soprattutto al Sud, sono state le autorità locali ad assegnare il compito di garantire la sicurezza della balneazione, anche sulle spiagge libere, ad associazioni di volontariato o a cooperative. In tal modo il servizio di salvataggio, decentrato tra i vari stabilimenti balneari, si è accentrato in un'unica organizzazione e, a questo scopo, sono stati approntati i primi piani collettivi di sorveglianza e salvataggio per l'intera spiaggia (Pezzini, 2005; Pezzini 2017), (Figura 1).



Figura 1. Marinella di Sarzana (SP), Cooperativa Mare sicuro, 1997.

La procedura prevista per realizzare un piano collettivo è semplice: l'associazione dei balneari e il Comune, se partecipa del piano, lo propone alla Capitaneria di porto che, apportandovi normalmente qualche modifica, lo autorizza; nel contempo viene assegnato il compito di gestirlo ad una impresa autonoma, di solito una cooperativa di bagnini o la stessa associazione sindacale dei balneari in consorzio.

Lo stabilimento balneare che non aderisce all'iniziativa resta obbligato a prestare il servizio di salvataggio in modo conforme a quanto prescritto dall'ordinanza di sicurezza balneare.

I vantaggi di un *piano collettivo* derivano soprattutto dall'organizzazione di squadra del servizio, gestito da un unico centro operativo per tutta la spiaggia: divisione del lavoro, coordinazione tra le postazioni, sovrapposizione di zone di competenza e rinforzi per la maggiore affluenza di pubblico, certezza delle regole.

Con questo sistema gestionale, il bagnino non è il dipendente di uno stabilimento privato e non corre il rischio, quindi, di essere adibito a compiti estranei a quelli per i quali è stato assunto, gli unici di cui è investita la società organizzatrice del servizio. Il vantaggio più grande è tuttavia che, anche quando è un bagnino ad intervenire da solo, interviene come parte di una squadra: è sempre una squadra che entra in gioco e non un singolo giocatore anche se talvolta è il singolo giocatore ad avere la palla. Di seguito si elencano altri vantaggi:

- è facilitato l'inserimento di nuovi bagnini e i più giovani trovano l'appoggio di un gruppo di bagnini già esperti e affiatati;
- la cooperativa organizza stages di formazione, corsi di aggiornamento ed esercitazioni;
- la rotazione delle postazioni – il bagnino non ha una postazione fissa per tutta la stagione - fa acquisire esperienza in tempi molto più brevi ed un bagnino ne ricava un'accentuata professionalizzazione;
- raccogliendo con cura i moduli di segnalazione degli incidenti e i rapporti dei salvataggi, il centro operativo può acquisire preziose informazioni statistiche ricavando un quadro oggettivo dei pericoli del fondale, delle caratteristiche della spiaggia, dei tipi di incidenti; può esercitare un controllo sulle modalità effettive e l'efficienza del servizio;
- la squadra può essere rafforzata nei momenti critici (forte affluenza di pubblico, condizioni estreme del mare, ecc.) al di là dei minimi previsti dalla stessa ordinanza di sicurezza balneare;
- l'ente organizzatore ha un interesse specifico (anche commerciale!) a tutelare la sicurezza dei propri soci acquistando nuove attrezzature o attrezzature migliori (la cooperativa investe in sicurezza). La sicurezza non è solo un obbligo da osservare, ma una merce da vendere;
- la Capitaneria di porto (e le altre organizzazioni deputate all'emergenza, 118 e Vigili del fuoco, forze dell'ordine) hanno un unico interlocutore per l'intera spiaggia;
- poiché il piano si estende su un tratto indifferenziato del litorale, vengono coperti anche i tratti di spiaggia libera compresi tra una postazione e l'altra. In molte località i Comuni hanno cominciato a partecipare ai piani collettivi, anche finanziariamente, entrando nella logica che la spiaggia libera in concessione comunale sia qualcosa che li riguarda (!) e per la quale devono trovare delle risorse. In vari contesti il risultato forse più grande è stato proprio quello di convogliare in un unico fondo risorse private (provenienti dai concessionari privati) e risorse pubbliche (provenienti dai Comuni, o dalle Regioni) per far fronte, con un piano collettivo, ad una situazione emergenziale che riguarda tutta la spiaggia e tutela gli interessi di tutti gli operatori commerciali della zona, (Figura 2);



Figura 2. Brevi tratti di spiaggia libera inseriti nel piano di salvataggio, Cesenatico (Forlì – Cesena).

- l'ente incaricato del servizio si organizza sulla spiaggia con una gerarchia di responsabilità ed effettua un controllo continuo sulla efficienza e il rispetto del regolamento di servizio da parte dei propri dipendenti. Uno strumento organizzativo diretto a questo fine è il ruolo di *capo-spiaggia* (*capo-bagnino o coordinatore*), una figura pressoché sconosciuta sulle spiagge italiane (è presente in Italia soltanto negli stabilimenti balneari più grandi, con un numero di bagnini consistente). Questo controllo continuo, interno all'organizzazione, si aggiunge a quello esterno ed intermittente della Capitaneria di porto o di altre autorità di polizia;
- un'altra figura professionale che emerge in questa nuova organizzazione del lavoro è il "*beach safety manager*". Il suo compito più specifico è quello di preparare il piano collettivo e, talvolta, ma non sempre, di gestirlo. Deve essere in grado di analizzare i rischi presenti sulla spiaggia, costruire una squadra adatta alle necessità del luogo ma, prima di tutto, valutare le risorse, pubbliche e private, che possono essere utilizzate nella costruzione del piano. Deve avere, a questi scopi, una buona conoscenza della regolamentazione del demanio marittimo, cognizioni di diritto del lavoro e del turismo, ecc. Deve saper raccordare, insomma, amministrazione e gestione dell'attività di salvataggio. (Whatling, 1994; Williams e Micallef, 2009; Brewster, 2003).

Regolamento di servizio

È la stessa *ordinanza di sicurezza balneare* emessa dalla Capitaneria di porto che fissa le linee generali del piano che, poi, devono essere specificate e adattate ad una situazione particolare da un regolamento interno dell'ente che gestisce il servizio.

Il *piano di sicurezza ed il piano di emergenza* presuppongono, infatti, un *regolamento di servizio*: un insieme di regole assemblate in un documento scritto, dirette alla squadra dei soccorritori. Esso indica le normali procedure operative di tutti i giorni (verificare l'efficienza delle attrezzature di salvataggio, collocarle al loro posto, issare la bandiera che dà inizio al servizio, stazionare sulla postazione di salvataggio, ecc.), ma stabilisce anche quelle regole che, con un carattere di eccezionalità, sono preordinate per fronteggiare un'emergenza. Perché scrivere queste regole? Può sembrare un'inutile complicazione, alla quale, infatti, la maggior parte delle spiagge italiane si sottrae volentieri. Si tratta però di un errore grossolano prodotto da una mentalità che in Italia è dura a morire.

I vantaggi più evidenti che derivano da un documento scritto sono i seguenti:

- se scritte, queste regole ti obbligano a pensarle in modo chiaro e logico;
- ciascuno conosce bene quali siano i suoi compiti perché esse definiscono precisamente il ruolo di ciascuno. In una emergenza ciò significa lavorare "in automatico" con gli altri: fare la propria parte sapendo che gli altri faranno la loro;
- le procedure possono essere adattate col tempo a nuove situazioni e, quindi, aggiornate e migliorate;
- le procedure possono essere oggetto di discussione tra i bagnini che devono renderle operative e, quindi, la loro esperienza sul campo contribuisce ad arricchirle e a renderle più realistiche;
- scritte, contribuiscono a eliminare fraintendimenti o interpretazioni errate.

La caratteristica più importante che il regolamento deve possedere è che le regole siano *realistiche e realizzabili*, non un libro dei sogni scritto da chi non ha esperienza diretta di salvataggi, (Whatling, 1994; Société de sauvetage Canada, 1999; Brewster, 2003; Pezzini, 2005).

Analisi dei rischi e piano operativo

Il *piano di sicurezza ed emergenza* deve indicare, in primo luogo, i pericoli caratteristici e gli incidenti più probabili di una spiaggia e, in secondo luogo, come fronteggiarli: deve contenere, oltre ad una *analisi dei rischi*, anche un *piano operativo*. Nella grande maggioranza dei casi i bagnini sono del posto e conoscono bene "le problematiche del luogo".

Spesso, tuttavia, si preparano solo nei confronti dell'incidente che si presenta con maggiore frequenza: il piano deve essere impostato anche sul *massimo incidente ipotizzabile*, cioè sullo scenario peggiore da fronteggiare (e poi anche tutto il resto). Ovviamente, nella redazione di un piano, non si deve pensare né allo sbarco dei marziani né all'affondamento del Titanic, ma a quell'incidente che, pur rientrando nel rischio tipico dell'attività, è il peggiore che si possa immaginare: per esempio: un annegamento plurimo in condizioni proibitive del mare, una persona scomparsa in acqua, un arresto cardiaco, ecc.: situazioni che, per essere affrontate al meglio, richiedono un'organizzazione preventiva (South African Lifesaving, 1999; Whatling, 2003; Griffith, 2011; Anfuso et al., 2017).

La spiaggia e i compiti di primo soccorso

Molti incidenti nei quali il bagnino svolge un ruolo da protagonista accadono sull'arenile. D'estate sulle rive del mare si riversano milioni di persone qualcuna delle quali può sentirsi male, svenire, subire una crisi cardiaca o un attacco epilettico. Sono incidenti tipici dei *luoghi affollati* e la spiaggia d'estate è il luogo affollato per eccellenza. Il piano di emergenza, quindi, deve prevedere una procedura per attivare i soccorsi:

- chiamare il 118;
- attendere l'ambulanza all'entrata dello stabilimento liberando le vie d'accesso;
- tenere lontano le persone estranee dal luogo dell'incidente;
- aiutare se necessario il personale della pubblica assistenza a trasportare l'infortunato dalla spiaggia all'ambulanza;
- garantire nel frattempo la sorveglianza degli altri bagnanti. (Ristori, 2012; Rossi, 2016).

Dislocazione delle postazioni

Nel caso in cui sia il singolo concessionario che deve collocare una postazione di salvataggio, vi sono pochi problemi: ciascuno stabilimento balneare avrà la propria postazione dislocata, di solito, in posizione centrale sul fronte mare in concessione (Figura 3).



Figura 3. Dislocazione delle postazioni, Cervia (Ravenna).

Quando l'intera spiaggia è assoggettata ad un unico piano di sorveglianza, le postazioni di salvataggio vengono dislocate invece in base ai principi seguenti:

- ciascuna postazione di salvataggio deve controllare una porzione più o meno equivalente. Il fronte che ciascuna postazione deve sorvegliare si ottiene dividendo il fronte mare complessivo per il numero delle postazioni autorizzate dal piano. In tal caso l'autorizzazione può prevedere un settore di sorveglianza, assegnato a ciascuna postazione, più ampio di quello previsto dalla ordinanza di sicurezza balneare. La maggiore ampiezza è giustificata dalla aumentata efficienza del servizio;
- le postazioni di salvataggio devono essere collocate in modo tale che non vi siano punti morti, non controllati, ma che un intero tratto di litorale sia sorvegliato senza interruzioni, coprendo anche i tratti di spiaggia libera;

- i settori di sorveglianza sono attigui: dove finisce l'uno comincia l'altro. D'altra parte, la responsabilità di ciascuna postazione di salvataggio si estende sui settori contigui con aree sovrapposte, dirette ad eliminare qualsiasi incertezza. Quando qualcuno è in difficoltà nell'acqua o sta annegando non è mai affare di una sola postazione;
- le postazioni di salvataggio devono essere posizionate anche tenendo conto dei pericoli del fondale o delle difficoltà connesse alla sorveglianza (presenza di una buca, per esempio, o una maggiore affluenza di pubblico);
- devono essere collocate secondo il criterio della migliore visibilità (cioè, nella posizione in cui garantiscono la visibilità migliore);

Anche il tipo di postazione viene stabilito dal piano. Le postazioni devono essere sopraelevate (con un piano di calpestio ad almeno 1.5 m di altezza) perché garantiscono una visibilità incredibilmente migliore. Non solo i bagnini vedono meglio, ma anche sono più visibili da un pubblico che potrebbe averne bisogno nell'immediato. In tutto il mondo, il bagnino staziona su una torretta. In Italia, sulle spiagge dove i bagnini utilizzano un ombrellone come postazione, sia detto per inciso, si segue una logica che vede il bagnino più come un servitore della spiaggia che non l'addetto alla sicurezza dei bagnanti. In certi orari la sorveglianza può essere fatta anche dal pattino di salvataggio, una specie di unità mobile che s'intervalla con le postazioni a terra (Figura 4).



Figura 4. Postazione a mare, Cesenatico (Forlì – Cesena).

Segnalare i pericoli ai bagnanti

Le persone che frequentano una spiaggia sono bagnanti, persone che vanno al mare in vacanza, “vacanzieri”. Gli incidenti dovuti alla ignoranza delle cose più elementari (l'esistenza di correnti di ritorno, di buche, degli effetti del vento di terra, ecc.) rivelano che essi non hanno che una conoscenza approssimativa dell'ambiente che frequentano. Inoltre, lo frequentano “in vacanza”, cioè con un atteggiamento che abbassa la soglia di guardia di fronte ai pericoli. Questa è la ragione per cui anche i pericoli più evidenti devono essere loro segnalati e, se la segnalazione è fatta con mezzi impersonali (bandiere, per esempio), deve essere loro fatta

notare e spiegata con pazienza, (Regnauld, 1999; Cruz Roja Espanola, 2009; Royal Life Saving Society Australia, 1999). Il bagnino assolve il ruolo importantissimo sulle spiagge di “educatore”: insegna ai bagnanti ad usare una spiaggia come di deve. (Whatling, 1994; Brewster, 2003).

Ad un sistema di segnalazione mediante cartelli e bandiere, si deve aggiungere l'intervento attivo dei bagnini che, col fischio e a voce, tengono lontano i bagnanti dai pericoli (Pezzini, 2005). L'organizzazione della segnaletica prevede:

- un insieme di cartelli posizionati in luoghi ben visibili per chi accede alla spiaggia, che indica, in più lingue, i pericoli tipici del litorale (acqua profonda, correnti di ritorno, scogli sommersi, ecc.);
- un sistema di segnalazione (fatto di bandierine rosse o altri indicatori) che deve essere attivato nei giorni critici per localizzare i pericoli, (Figura 5);
- i bagnini devono intervenire tenendone lontano i bagnanti. Il loro comportamento è parte attiva della “segnaletica”.

E' importante che il sistema sia conosciuto dagli utenti e, in questo, è essenziale, come abbiamo detto, l'atteggiamento “istruttivo” dei bagnini. “I cartelli sono inutili perché non li guarda nessuno!”: verissimo, se il posizionamento della segnaletica resta un capitolo a parte, staccato dalla vita della spiaggia. I bagnini hanno l'obbligo di “educare” i bagnanti intervenendo tutte le volte che questi non osservano le regole della spiaggia o si espongono a pericoli senza saperlo.

Un tipo di segnalazione poco diffuso in l'Italia, ma efficacissimo è la delimitazione orizzontale delle aree a rischio: le zone pericolose, prospicienti per esempio una buca o una corrente di ritorno, sono delimitate da bandierine rosse piantate sulla battigia quando le condizioni del mare rendono questi tratti pericolosi per la generalità dei bagnanti. Il traffico dei bagnanti è poi dirottato solo sulle zone sicure, escluse dalle bandiere.



Figura 5. Delimitazione orizzontale dei pericoli

L'uso della bandiera rossa

Nei paesi dell'Europa occidentale, senza eccezione, è usato sulle spiagge un sistema di tre bandiere, per dare indicazioni di massima ai bagnanti, che riprende le indicazioni del semaforo:

- *la bandiera verde* indica una situazione di normalità durante la quale si può fare il bagno sotto la sorveglianza di una squadra di bagnini (*verde* = assenza di pericolo su una spiaggia sorvegliata);
- *la bandiera gialla* indica che è pericoloso fare il bagno (*gialla* = condizioni relative di pericolo: fate attenzione!);
- *la bandiera rossa*, indica il divieto di balneazione (*rossa* = condizioni proibitive del mare, vietato entrare in acqua).

In Italia, invece, la bandiera rossa non distingue tra le condizioni minime e quelle estreme di pericolo col risultato che essa perde di significato e indica soltanto un avvertimento, e non un divieto. (Pezzini 2002; Pezzini, 2017)

Le ordinanze balneari prescrivono al concessionario e al bagnino di segnalare le condizioni di pericolo issando la bandiera rossa. Ma chi deve issarla? Anche il concessionario può essere ritenuto responsabile di una mancata segnalazione: di fatto sono però i bagnini che decidono, in un'autonomia pressoché totale, di segnalare il pericolo. Non esiste un meccanismo istituzionale che attivi la segnalazione, lasciata invece all'iniziativa del singolo bagnino. Un tempo (anni '50, '60) era la stessa Capitaneria di porto che individuava in un *bagno pilota* lo stabilimento balneare incaricato della decisione (o al quale era comunicato l'ordine di issare la bandiera): gli altri stabilimenti balneari dovevano conformarsi. Quest'uso si è poi perso nel tempo e non manca il caso che su una spiaggia compaiano spesso bandiere diverse, e quindi indicazioni diverse (Pezzini, 2002). Questi problemi non sussistono se il servizio di salvataggio è organizzato in squadra: è il capo-spiaggia che è incaricato di issare la bandiera rossa sul pennone della *postazione pilota*, le altre postazioni devono adeguarsi.

Attrezzature di salvataggio

E' l'ordinanza di sicurezza balneare della Capitaneria di porto che indica quali attrezzature di salvataggio siano obbligatorie sulla spiaggia. Ciò non toglie che, oltre ad esse, possano esserne utilizzate anche altre più efficienti o più sicure. L'uso di queste, però, deve essere indicato nel piano (che è, come detto, autorizzato dalla Capitaneria): in nessun caso il bagnino è libero di usare un'attrezzatura non prevista. Abbiamo già sottolineato il fatto che una impresa addetta alla sicurezza (una cooperativa di bagnini, per esempio), tende spontaneamente ad "investire in sicurezza": a integrare le attrezzature in dotazione con altre o a sostituirle con altre più sicure.

Un piano collettivo può prevedere, per esempio, l'uso di una o più moto d'acqua, uno strumento di raccordo quasi indispensabile quando il servizio è organizzato in squadra, (Genovali et al., 2006)

In particolare, sono stati utilizzati da varie cooperative speciali giubbotti autogonfiabili (che qualche ordinanza balneare ha magari consigliato "in via sperimentale", ma nessuna li ha resi obbligatori). Quelli in produzione in Italia, sono simili al "*gilet de sécurité*" tipo "*Secumar*", utilizzato dai colleghi francesi sulle loro spiagge. Di neoprene, aderiscono al corpo del soccorritore senza impedire o rallentare l'avvicinamento al pericolante (anzi aumenta la galleggiabilità del nuotatore facilitandogli la nuotata). Il giubbotto - che è un vero e proprio *personal safety device* - può essere reso obbligatorio dal piano o dal regolamento di servizio dell'ente incaricato che ne specifica le regole d'uso (Pezzini, 2005). Il piano collettivo migliora le condizioni di sicurezza dei bagnini e l'efficienza del soccorso integrando le scarse norme delle ordinanze (che prevedono un minimo obbligatorio) con quelle del regolamento di servizio.

L'obbligo di rispettare le procedure e di redigere un rapporto

In un salvataggio, e durante il servizio in generale, si devono rispettare le *procedure d'intervento* stabilite dal regolamento. Avvistato un pericolante, per esempio, si deve segnalare, fischiando e indicandolo con un braccio, anche ai bagnini vicini prima di intervenire in acqua (per non correre il rischio di trovarsi in una situazione che da soli non si è in grado di fronteggiare e di cui nessuno si è accorto). Si tratta di un'elementare procedura, una breve serie di norme da rispettare in sequenza: "avvistato un pericolante, lo segnalo al bagnino più vicino, solo dopo intervento".

Nella procedura sono implicati anche i bagnini limitrofi: udito un fischio e l'indicazione di emergenza, devono dare assistenza al compagno intervenuto (o allargare la mia zona di sorveglianza a quella lasciata scoperta dall'intervento). Nel caso di una persona scomparsa sott'acqua, c'è una mobilitazione generale: tutti devono intervenire perché si gioca, nel giro di secondi, il tutto per tutto. Sono queste procedure che danno al salvataggio una vera organizzazione di squadra.

L'obbligo di redigere un breve rapporto sugli incidenti è eguale importanza, e fa parte di una procedura di intervento: fatto un salvataggio, devo redigere un rapporto. Molte Capitanerie, purtroppo, l'hanno reso obbligatorio solo sulla carta senza riuscire ad implementarlo nella pratica.

E' importante che il rapporto (in forma standard, basato su uno schema a domande predisposte) possa essere redatto facilmente da un bagnino, che non impiegherà, nella normalità dei casi, più di un minuto o due a compilarlo! Un solo rapporto non fa primavera, ma avere i rapporti su tutti gli incidenti avvenuti su una spiaggia per una intera stagione, o nel corso degli anni, ha un valore inestimabile per chi deve organizzarne la sicurezza. Anche in questo caso sono soprattutto cooperative di bagnini che redigono e li raccolgono con accuratezza nell'ambito di un piano collettivo.

Elaborare statisticamente i dati dei rapporti e avere, quindi, un'immagine corretta di ciò che accade su una spiaggia non è il solo vantaggio ottenuto. Il rapporto viene compilato appena accaduto l'incidente: fresco nella memoria dei suoi compilatori, può essere utilizzato successivamente come una testimonianza o una prova di ciò che è avvenuto (attestante per esempio l'osservanza della ordinanza balneare, del regolamento di servizio, che il salvataggio è stato fatto a regola d'arte). Nel rapporto sono indicati anche eventuali testimoni o altri bagnini che, pur non avendo partecipato al soccorso, erano stati presenti al fatto. Il documento, quindi, può assumere valore di prova in un'eventuale controversia.

La redazione del rapporto fornisce inoltre al bagnino intervenuto una buona occasione per ripensare ciò che ha fatto e alla direzione del servizio un mezzo di controllo sull'operato dei propri dipendenti. Alcune voci del rapporto danno, infatti, indicazioni preziose sulla loro attività e sull'osservanza del regolamento di sicurezza.

Conclusioni

Una migliore organizzazione del lavoro, attrezzature più sicure, maggiore professionalità del servizio sono principi elementari della sicurezza sul lavoro che si riflettono sull'efficienza del sistema di soccorso sulle spiagge. Viene da chiedersi perché i piani collettivi non siano utilizzati su tutto il litorale italiano poiché è questa la comune soluzione dell'Europa occidentale (ma anche degli USA, Canada, Australia, Nuova Zelanda, Sud Africa, etc.), (Pezzini, 2017; South African Lifesaving, 1999; Société de Sauvetage Canada, 1999; The Royal Life Saving Society, New Zealand, 1985; Royal Life Saving Society, Australia 1999; Brewster, 2018).

Inoltre, la spiaggia non è affare solo dei balneari, ma riguarda tutti gli operatori commerciali di un comune, e tutti quindi dovrebbero contribuire, assieme alle autorità locali, ad un servizio di salvataggio che garantisca la sicurezza delle spiagge private e libere, indifferentemente affidando il servizio ad un soggetto terzo il cui unico compito sia la sicurezza della balneazione.

Purtroppo, per far questo, sarebbe necessaria da parte del legislatore italiano una lungimiranza (come quella che, per parlare solo dei nostri vicini, in Francia ha prodotto da tempo una efficientissima *loi littorale* o in Spagna, più recentemente, una *ley de costas*) che, per il momento, non sembra possedere (Pezzini, 2017).

Bibliografia

- Anfuso G., Pezzini D.G., Pranzini E., 2017. *Beach Management Safety*, in: C. Botero, O. Cervantes, Ch. W. Finkel - Beach Management Tools, Springer Verlag, Munchen. 960 pp.
- Brewster C.B., 2003. *Open Water Lifesaving, the United States Lifesaving Association Manual*, Pearson Custom Publishing, Boston. 416 pp.
- Brewster C.B., 2018. *Open Water Lifesaving, the United States Lifesaving Association Manual*, Pearson education Inc, New York. 424 pp.
- Cruz Roja Espanola, 2009. *Manual de socorrismo acuático*. 181 pp.
- Genovali L., Droghetti R., Pezzini D. G., 2006. *Manuale di salvamento con la moto d'acqua*, SNS, Genova. 64 pp.
- Griffith T., 2011. *Safer Beaches*, Human Kinetics, Champaign. 142 pp.
- Pezzini D.G., 2002. *Bandiera rossa! L'uso delle bandiere sulle spiagge italiane*, SNS, PDF, Genova. 11 pp.
- Pezzini D.G., 2005. *Il Manuale del bagnino di salvataggio, per bagnini ed istruttori SNS*, SNS, Genova, nuova edizione. 304 pp.
- Pezzini D.G., 2017. *Il regime concessorio delle spiagge italiane e il servizio di salvataggio in una prospettiva europea*, Studi costieri, 26: 17 - 28.

- Pezzini D.G., 2018. *La responsabilità legale del bagnino di salvataggio: obblighi sulle spiagge e nelle piscine*, Convegno Comune di Forte dei Marmi sulla sicurezza delle spiagge – SNS, Forte dei Marmi, 26 aprile 2018. 9 pp.
- Régnault H., 1998. *Les littoraux*, Armand Colin, Parigi. 96 pp.
- Ristori R., 2012. *Soccorso in ambiente acquatico*. Società Nazionale di Salvamento, Genova. 128 pp.
- Rossi A., 2016. *Manuale BLSA: Basic Life Support and Defibrillation*. Società Nazionale di Salvamento, Genova. 140 pp.
- Royal Life Saving Society, Australia, 1999. *Swimming and Lifesaving*. 170 pp.
- Société de sauvetage, Canada, 1999. *Alerte, la pratique de la surveillance aquatique*. 211 pp.
- The Royal Life Saving Society, New Zealand, 1985. *Swimming and Life Saving*. 224 pp.
- South African Lifesaving, 1999. *Lifesaver's Handbook*, Durban. 174 pp.
- Whatling S., 1994. *Beach Lifeguarding*, Royal Lifesaving Society UK. 228 pp.
- Williams A. e Micallef A., 2009. *Beach Management*, Earthscan Lmt., Londra. 445 pp.

Ricevuto il 15/06/2019

Accettato il 10/07/2019

Sicurezza della balneazione: la norma UNI 11745:2019

Francesco Simonetti

Comitato medico-scientifico Società Nazionale di Salvamento.
Via Luccoli, 24, 16123 Genova GE.
Email: simonettifrancesco40@yahoo.it

Riassunto

Dal 30 aprile 2019 è disponibile sul sito UNI la norma 11745:2019 dal titolo: “Sicurezza della società e del cittadino – Qualificazione delle aree di balneazione ai fini della sicurezza dei bagnanti”. L’elaborazione della norma ha richiesto circa tre anni di attività, comprendenti approfondimenti concettuali, dialettica di idee, ricerche sul campo, superamento di visioni consuetudinarie.

La domanda principale alla quale la norma risponde è la seguente: data un’area in cui viene praticata l’attività di balneazione, come se ne può valutare il livello di sicurezza rispetto ad altre? O, in altre parole: Come facciamo a giudicare un’area di balneazione più sicura di un’altra? La risposta può essere data solo da un sistema di misurazione della “sicurezza” delle aree, perché soltanto ciò che è misurabile è confrontabile. Il presente articolo illustra il procedimento logico per la realizzazione di tale sistema.

Parole chiave: area di balneazione, sicurezza della balneazione, fonti di rischio, bagnini di salvataggio, patologie in ambiente acquatico.

Abstract

Since April 30th 2019 is available the norm 11745:2019 on the UNI site: “Society and Citizen Safety – qualification of bathing areas in order to bather safety”. Working out the norm has required about three years’ activity, investigation of concepts, dialectics of ideas, empirical research, overcoming of consuetudinary ideas.

The main question the norm answers is the following: given an area where bathing is practised, how can we survey its safety level in comparison to other ones? In other words: how can we deem a bathing area safer than another one? The only answer is a safety measurement system of bathing areas since only what is measurable is comparable. This paper illustrates the logical process to carry out such a system.

Keywords: *bathing area, bathing safety, risk sources, lifeguards, pathologies of aquatic environments.*

L’area di balneazione

Per valutare la sicurezza in una determinata parte di spazio dove si pratici la balneazione, il riferimento alle dimensioni date da termini come costa, spiaggia, litorale sono scarsamente utili perché o troppo ampi (è il caso di costa e litorale, che indicano la linea di confine tra terra e acqua) o troppo ristretti (la spiaggia è un settore di costa bassa, costituito da sabbia o ghiaia, e quindi il termine esclude le coste alte e rocciose; considerazioni analoghe valgono per battigia e arenile).

La norma fa invece riferimento alle aree marine, lacustri e fluviali, nelle quali si può fare il bagno, censite dal Portale delle Acque del Ministero della Salute. Esse sono precisamente delimitate da punti di inizio e di fine, misurano in media 1000 metri di lunghezza, presentano una sostanziale omogeneità per caratteristiche geo-morfologiche e per tipo di pressione antropica (Figura 1). Il Portale delle Acque fa riferimento alle acque

di balneazione, poiché il suo scopo è rendere nota al pubblico la loro qualità e gli eventuali rischi per la salute dei bagnanti. L'area di balneazione è definita di conseguenza come quell'area costiera (mare) o ripariale (laghi e fiumi) contigua all'acqua di balneazione, dove possono affluire e sostare le persone che praticano la balneazione, e nelle quali possono essere presenti servizi e infrastrutture per la loro assistenza, ristoro, comfort e svago. Ma essa include anche l'acqua di balneazione corrispondente e il relativo fondale. L'area di balneazione comprende pertanto tre elementi: una parte emersa, l'acqua di balneazione, il fondale. In conclusione, l'area di balneazione è lo specifico e definito luogo fisico nel quale avviene la balneazione, si manifestano le fonti di rischio e possono essere presenti le misure di sicurezza, (Portale delle acque – www.portaleacque.salute.gov.it).



Figura 1. Spiaggia di S. Terenzo (Lerici).

Le fonti di rischio

Possono essere:

- di natura geomorfologica;
- di natura fisica, chimica, organica;
- vulnerabilità individuali.

Le fonti di rischio di natura geomorfologica più rilevanti sono:

- ripidità della battigia superiore al 5%, che comporta una pendenza particolarmente ripida del fondale antistante;
- elementi del fondale, naturali o antropici (barre, pennelli, scogliere parallele, ecc.), che favoriscono il formarsi di correnti concentrate o rip current; queste, sviluppandosi alla superficie dell'acqua, trasportano i bagnanti verso il largo;
- buche o dislivelli improvvisi del fondale;
- scogli o scogliere contro cui i bagnanti possono essere scaraventati dalle onde o dalle correnti, o battere tuffandosi;
- superfici rese sdruciolevoli dalla presenza di alghe, che possono determinare cadute e traumi;
- caduta di massi, in litorali posti ai piedi di falesie.

Le fonti di rischio di natura fisica, chimica, organica possono essere:

- caldo, freddo e raggi solari;
- eccessivo moto ondoso dovuto al vento o imbarcazioni in transito, onde improvvise di piena in acque interne, anche per manovre di opere idrauliche;
- collegate alla qualità dell'acqua (microrganismi patogeni da inquinamento fecale umano o animale, microrganismi liberi del genere *Vibrio*, *Aeromonas*, *Amoeba*, *Leptospira*, etc.);
- da contaminazione della sabbia (escreti animali);
- da alghe e loro prodotti tossici (microalghe, cianobatteri);
- da agenti fisici e chimici (inquinanti chimici, eccessiva acidità o alcalinità dell'acqua);
- da organismi acquatici pericolosi (meduse, pesci come la tracina, il trigone, lo scorfano, echinodermi come il riccio di mare, ecc.).

Le vulnerabilità individuali riguardano i singoli soggetti che fruiscono dell'area di balneazione. Sono caratteristiche specifiche e distinte in grado di indurre maggiore sensibilità ad una o più fonti di rischio e di incidere sulla probabilità di un evento indesiderato e sull'entità delle conseguenze negative. Esse hanno un peso elevato nell'incidentalità balneare e sono rappresentate dai comportamenti dei bagnanti o da altri fattori che possono influire sull'interazione con l'ambiente nel quale si svolgono le attività di balneazione, come ad esempio:

- acquaticità, intesa come attitudine a muoversi nell'acqua con facilità;
- competenze natatorie;
- ignoranza, noncuranza o errata valutazione dei pericoli;
- incapacità di superare situazioni di difficoltà in acqua;
- carenza di sorveglianza, come nel caso di bambini che sfuggono al controllo dei genitori;
- alterazioni metaboliche;
- assunzione di alcool;
- malattie;
- età;
- deficit di varia natura.

Conseguenze negative per la salute

Le fonti di rischio possono dar luogo alle seguenti conseguenze negative:

- annegamento, dovuto a fattori ambientali, comportamenti imprudenti, malori in acqua o altro;
- traumi da impatto contro superfici dure (rocce, fondale, elementi in acqua, fissi o in movimento) o oggetti aguzzi e taglienti (pezzi di vetro, aghi di siringhe, rocce appuntite, margini di conchiglie o gusci di molluschi) che possono causare fratture, lussazioni, contusioni, emorragie e ferite di vario genere;
- ipotermia (da prolungata immersione in acque fredde), ipertermia (colpo di sole, colpo di calore, crampi e collasso da calore) e ustioni cutanee per eccessiva esposizione ai raggi solari;
- infezioni dovute a ingestione, inalazione o contatto con organismi patogeni (batteri, virus, funghi e parassiti);
- avvelenamenti o intossicazioni per ingestione, inalazione o contatto con fioriture algali tossiche e acque contaminate da prodotti chimici, ovvero per contatto, punture o morsi di animali nocivi (per esempio: meduse, trigoni, serpenti d'acqua, ecc.).

Tali conseguenze negative possono essere classificate in cinque diversi livelli di priorità, secondo la loro gravità (Rossi, 2018):

- a) priorità estremamente elevata: morte o disabilità permanente e grave (es: annegamento, lesioni spinali, morsi di alcuni animali pericolosi);
- b) priorità molto alta: disabilità o inabilità prolungata (es: esiti di annegamento, infezioni da *Escherichia coli* 0157 e *Salmonella typhi*);
- c) priorità media: patologie di media durata, che richiedono l'intervento medico (es: cancro cutaneo per esposizione solare cronica, leptospirosi, morsi di molti animali acquatici);
- d) priorità bassa: patologie di breve durata, in grado di risolversi spontaneamente (es: diarree, infezioni del tratto respiratorio superiore);

- e) priorità molto bassa: patologie che non producono significativa inabilità (es: intossicazioni da cianobatteri, punture di insetti).

Ai fini della gestione dei rischi nelle aree di balneazione, la massima attenzione va posta nella prevenzione delle conseguenze negative a priorità più elevata (A e B anche se le loro probabilità di accadimento sono rare o modeste. Esse sono:

- L'annegamento e le sue sequele. Il processo di annegamento, in assenza di alcun intervento, procede irreversibilmente fino alla morte; esso può, tuttavia, essere interrotto, con recupero completo o con conseguenze più o meno reversibili, se interviene tempestivamente il salvataggio e il soccorso dell'annegato. Quando non vi sia un'evoluzione fatale, l'annegamento può causare gravi danni cerebrali con disabilità a lungo termine, come problemi di memoria, difficoltà di apprendimento, e nei casi più gravi, lo stato vegetativo permanente o lo stato di minima coscienza.
- I traumi cranio-vertebrali con lesioni spinali. Tuffi in acque basse o cadute e urti contro gli scogli sono le cause più frequenti. Essenziale, nel trattamento, è sospettare sempre la presenza delle lesioni, adottando le misure conseguenti, ossia l'immobilizzazione del tratto cervicale della colonna mediante collare cervicale e il posizionamento dell'infortunato su tavola spinale. Manovre incongrue o non giustificate da parte dei soccorritori possono aggravare irreversibilmente una condizione instabile.
- L'arresto cardiaco, che determina la morte cardiaca improvvisa, consiste nell'improvvisa cessazione della funzione cardiaca, da ascrivere ad aritmie cardiache maggiori. La defibrillazione precoce (entro 5 minuti dall'evento) può consentire la sopravvivenza. Alcuni Autori pongono l'arresto cardiaco al primo posto (56%) tra le morti in ambiente balneare.

Analisi dei rischi

La misurazione quantitativa del rischio per ciascun'area di balneazione è pressoché impossibile, in quanto è estremamente difficile considerare la lista completa dei fattori che potrebbero essere coinvolti e le molteplici interazioni tra loro. Per di più, in molti casi, non sono disponibili sufficienti e affidabili dati statistici e storici. Un problema che appare arduo risolvere, anche utilizzando le indicazioni semi-quantitative di una matrice di rischio, è legato alla frequenza molto bassa delle conseguenze negative più severe.

Ne consegue che il rischio di annegamento sarebbe valutato nella generalità delle aree di balneazione come medio, risultato poco significativo e con effetti inadeguati sul livello di priorità delle azioni correttive da intraprendere. Infine, anche se la misurazione del rischio fosse possibile, vale la constatazione pratica che gli individui generalmente non tengono conto di tale misurazione. La psicologia comportamentale ci insegna che essi, nel decidere in condizioni d'incertezza, utilizzano delle euristiche, ovvero delle scorciatoie del pensiero di natura intuitiva, che possono indurre errori di giudizio e scelte sbagliate.

Misure di prevenzione e protezione

Rispetto alle fonti di rischio, possono essere adottate misure di riduzione dei rischi di carattere generale o specifico, tra cui:

- segnaletica di avviso o divieto;
- zone delimitate o inibite;
- informazioni sulla sicurezza della balneazione;
- bagnini di salvataggio e dotazioni per il primo soccorso;
- facilità di accesso ai servizi di emergenza.

Le conseguenze negative più gravi possono essere ridotte di numero e severità, sia impedendo l'avvio della catena degli eventi che le determinano, attraverso misure preventive di primo livello (informazioni, segnalazioni, raccomandazioni, sorveglianza, dissuasione), sia interrompendone la progressione mediante misure di protezione o prevenzione di secondo livello (salvataggio, primo soccorso, soccorso avanzato). Le stesse misure possono mitigare ed evitare anche le conseguenze negative meno gravi. La presenza cumulativa e sinergica di più misure di prevenzione e protezione - indicabili anche come misure di sicurezza o misure di riduzione dei rischi - è fondamentale per la sicurezza dei bagnanti poiché:

- oggettivamente rilevabile;

- maggiormente efficace nella riduzione delle conseguenze dannose;
- più prontamente percepita e favorevolmente valutata dall'utente.

Le misure di prevenzione e protezione dei bagnanti sono:

1. Segnaletica (cartelli) di divieto o di fonti ambientali di rischio (conformi alla ISO 20712:1). I cartelli devono essere ben posizionati, chiari e comprensibili anche da stranieri, leggibili e adeguatamente mantenuti. L'omogeneità geo-morfologica e idrologica dell'area di balneazione, data per definizione, rende l'informazione valida per tutta la sua estensione.
2. Boe di delimitazione. Alcune boe indicano generalmente il confine esterno della "zona dei nuotatori", altre volte possono individuare la "zona del bagno". La delimitazione rappresenta per i bagnanti una chiara e comprensibile indicazione di un limite da non superare ed è anche una protezione dalle imbarcazioni, alle quali è vietato l'accesso alle zone delimitate.
3. Segnali con bandiere conformi alla ISO 20712:2. È un mezzo rapido di comunicazione, ben visibile a tutti. Issare la bandiera appropriata è compito del bagnino di salvataggio.
4. Servizio di sorveglianza e di salvataggio. Sono attività proprie del bagnino di salvataggio. La sorveglianza si esercita in due momenti:
 - l'osservazione visiva dei bagnanti, per cogliere segnali anche deboli di situazioni che possono evolvere negativamente;
 - l'informazione sui rischi presenti nell'area di balneazione, con la contemporanea indicazione dei comportamenti da assumere o da interrompere.

La sorveglianza è facilitata da una postazione sopraelevata a terra (torretta), ma può anche compiersi in acqua dall'imbarcazione di servizio, che funge da unità mobile di sorveglianza. Il salvataggio è rappresentato dall'intervento in acqua, possibilmente con l'ausilio di un galleggiante o a bordo di un natante, finalizzato a rimuovere la vittima dalle condizioni di rischio.

5. Primo soccorso. Rientra tra le competenze del bagnino di salvataggio, che ha il vantaggio di trovarsi già sul luogo dell'evento. La conoscenza dell'ambiente acquatico e la correttezza esecutiva delle manovre accrescono l'efficacia dell'intervento.
6. Dispositivi per il primo soccorso:
 - dispositivi di supporto al primo soccorso. Le manovre di primo soccorso possono essere eseguite senza alcuna attrezzatura aggiuntiva. Tuttavia, si conseguono risultati migliori utilizzando dispositivi che le rendono più efficaci e accrescono la sicurezza dell'operatore, tra cui, principalmente ma non esaustivamente: la maschera oronasale per rianimazione, il telino da interposizione, il pallone autoespandibile con maschera per adulti, l'aspiratore portatile, il pulsiossimetro, le attrezzature per la somministrazione di ossigeno.
 - dispositivi di supporto al primo soccorso pediatrico, costituiti da cannule e maschere oronasali pediatriche ed elettrodi pediatriche per defibrillatore.
 - Defibrillatore Semiautomatico Esterno, applicato entro cinque minuti dall'esordio dei sintomi, (Rossi, 2016);
 - dispositivi per trauma cranio-vertebrale: collare cervicale e tavola spinale.
7. Soccorso avanzato, portato da soccorritori sanitari con mezzi mobili di vario tipo (auto medica, auto-idro-eli ambulanza) entro venti minuti dalla chiamata, intervallo di tempo generalmente considerato indicatore di qualità media del servizio. La tempestività dell'intervento è cruciale, pena l'interruzione della catena del soccorso e la possibile vanificazione di ogni altra misura di sicurezza.
8. Diffusione attiva di consigli per la balneazione sicura, di informazioni di fonti di rischio localizzate e temporanee, di aggiornamenti sulle condizioni meteo-marine. Può avvenire mediante cartelli, diffusione sonora, distribuzione di volantini, applicazioni per smartphone, ecc.
9. Piano di sicurezza balneare. L'applicazione del piano di sicurezza in una singola area di balneazione o estesa a più aree adiacenti, realizzato da esperti della sicurezza balneare e concordato tra i portatori di responsabilità e interessi, sia pubblici sia privati, è garanzia di una valutazione approfondita e dell'adozione di misure di sicurezza specificamente adattate. Consente di ottimizzare le misure di sicurezza e di conferire maggiore uniformità alla loro distribuzione. Può prevedere l'adozione di soluzioni ad hoc, che impieghino misure e mezzi diversamente distribuiti o non considerati nel presente documento (Pezzini 2016, Pranzini 2012).

La misurazione della sicurezza dell'area di balneazione

Il procedimento consiste delle seguenti fasi:

- a) identificazione dell'area di balneazione;
- b) rilevamento delle fonti di rischio per i bagnanti;
- c) rilevamento delle misure di sicurezza presenti;
- d) analisi e valutazione dei dati;
- e) calcolo dell'indice di sicurezza;
- f) classificazione dell'area di balneazione.

La scheda di rilevamento

Le prime tre fasi indicate precedentemente sono assolte mediante una scheda di rilevamento (Figure 2, 3 e 4), individuate per ciascuna area di balneazione, contenente i dati identificativi, quelli relativi alle fonti di rischio e alle misure di sicurezza, e le osservazioni e note del compilatore. La scheda è organizzata in quattro sezioni:

- a) Prima sezione (Figura 2). Contiene i dati che identificano l'area di balneazione, ricavabili dal Portale delle Acque, ossia:
 - denominazione;
 - Regione;
 - Provincia;
 - Comune;
 - lunghezza in m (L_{ADB});

Sez. 1 - DATI IDENTIFICATIVI			
1. Denominazione			
2. Regione	3. Provincia	4. Comune	5. Lunghezza (m)

Figura 2. Scheda di rilevamento dei dati. Sezione 1 con dati identificativi dell'area di balneazione.

- b) Seconda sezione (Figura 3). Elenca le principali fonti geomorfologiche di rischio e indica se queste siano segnalate mediante appositi cartelli:
 - fondale ripido;
 - scogli, scogliere ed opere emerse;
 - scogli, scogliere ed opere sommerse;
 - correnti di ritorno;
 - buche;
 - caduta di sassi da falesie;
 - improvviso innalzamento del livello delle acque, per onde di piena o manovra di opere idrauliche (applicabile solo alle acque interne).
 - altre fonti di rischio, come inquinamenti, contaminazioni o organismi acquatici pericolosi possono essere segnalate nell'ultima sezione.

Sez. 2 - FONTI DI RISCHIO GEOMORFOLOGICO	CARTELLI DI SEGNALAZIONE			
6. Fondale ripido	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
7. Scogli, scogliere e opere emerse	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
8. Scogli, scogliere e opere sommerse	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
9. Correnti di ritorno	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
10. Buche	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
11. Caduta sassi (da falesie)	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
12. Onde di piena (solo per fiumi e laghi)	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>

Figura 3. Scheda di rilevamento dei dati. Sezione 2 con le fonti di rischio.

- c) Terza sezione (Figura 4). Indica la presenza delle misure di sicurezza, coincidenti di massima. Per la maggior parte di esse è possibile anche indicare il numero o l'estensione percentuale rispetto alla lunghezza dell'area di balneazione. Le misure da identificare sono:
1. boe di delimitazione dell'area del bagno: indicarne l'esistenza o meno, e in caso affermativo, l'estensione percentuale del tratto delimitato rispetto a L_{AdB} ;
 2. boe di delimitazione delle acque sicure: indicarne l'esistenza o meno, e in caso affermativo, l'estensione percentuale del tratto delimitato rispetto a L_{AdB} ;
 3. Bagnino di Salvataggio: riportare il numero dei bagnini stabilmente presenti (N_b);
 4. dispositivi di supporto al primo soccorso: riportare, se presenti, il numero dei pacchetti o kit di primo soccorso (K_{BLS});
 5. dispositivi di supporto al primo soccorso pediatrico: riportare, se presenti, il numero dei pacchetti o kit per primo soccorso pediatrico (K_{PBLS});
 6. Defibrillatori Semiautomatici Esterni: riportare, se presenti, il numero di quelli applicabili entro cinque minuti dall'evento sintomatico di insufficienza cardiaca acuta (N_{DAE});
 7. dispositivi per il trattamento precoce di traumi cranio-spinali: riportare, se presenti, il numero dei collari cervicali disponibili (N_{CC});
 8. dispositivi per il trattamento precoce di traumi cranio-spinali: riportare, se presenti, il numero delle tavole spinali disponibili (N_{TS});
 9. soccorso avanzato: valutare se il tempo medio di arrivo nell'area di balneazione di soccorritori sanitari, con mezzi mobili di vario tipo (auto medica, auto-idro-eli ambulanza), sia superiore o inferiore a venti minuti dalla chiamata;
 10. istruzioni di sicurezza della balneazione: riportare se esse vengano o meno impartite.
 11. Piano di Sicurezza Balneare: riportare se sia adottato o meno.

Sez. 3 - MISURE DI SICUREZZA			
			% N
13. Boe di delimitazione dell'area del bagno. Se SI, indicare la % dell'AdB delimitata	NO <input type="checkbox"/>	SI <input type="checkbox"/>	%
14. Boe di delimitazione delle acque sicure. Se SI, indicare la % dell'AdB delimitata	NO <input type="checkbox"/>	SI <input type="checkbox"/>	%
15. Bagnini. Se SI, indicare quanti	NO <input type="checkbox"/>	SI <input type="checkbox"/>	N
16. Kit per primo soccorso. Se SI, indicare quanti	NO <input type="checkbox"/>	SI <input type="checkbox"/>	N
17. Kit per primo soccorso pediatrico. Se SI, indicare quanti	NO <input type="checkbox"/>	SI <input type="checkbox"/>	N
18. Defibrillatori. Se SI, indicare quanti	NO <input type="checkbox"/>	SI <input type="checkbox"/>	N
19. Collari cervicali. Se SI, indicare quanti	NO <input type="checkbox"/>	SI <input type="checkbox"/>	N
20. Tavole spinali. Se SI, indicare quante	NO <input type="checkbox"/>	SI <input type="checkbox"/>	N
21. Soccorso avanzato in 20'	NO <input type="checkbox"/>	SI <input type="checkbox"/>	////
22. Istruzioni di sicurezza a mezzo di cartelli, volantini, applicazioni per smartphone, ecc.	NO <input type="checkbox"/>	SI <input type="checkbox"/>	////
23. Piano di Sicurezza	NO <input type="checkbox"/>	SI <input type="checkbox"/>	////

Figura 4. Scheda di rilevamento dei dati. Sezione 3 con le misure di sicurezza.

- d) Quarta sezione: Consiste di un campo a testo libero, riservato all'annotazione di eventuali ulteriori fonti di rischio (per esempio, presenza frequente di organismi acquatici pericolosi, fonti di rischio localizzate e/o episodiche), dati, note e osservazioni aggiuntive (per esempio, caratteristiche locali che rendano difficile il raggiungimento dei dispositivi, istruzioni di sicurezza inadeguate).

La valutazione dei dati della scheda

Dopo aver redatto la scheda di rilevamento, si attribuisce a ogni misura di sicurezza un valore numerico, funzione della sua presenza e/o distribuzione nell'area di balneazione (fattore distributivo). Esso è compreso tra il valore massimo di 1 (elemento presente e/o adeguato) e quello minimo di 0 (elemento assente), am-

mettendo valori intermedi tra 0,99 e 0,50 (elemento parzialmente adeguato) e tra 0,49 e 0,01 (elemento insufficiente). A tale valore si applica, se previsto, un fattore di correzione, indicativo dell'importanza e priorità della misura, variabile tra 0,5 e 2. I singoli indici così ottenuti rappresentano il contributo che ciascuna misura conferisce alla sicurezza complessiva dell'area. Giova sottolineare che:

- l'applicazione tardiva di alcune misure di sicurezza (defibrillatore, soccorso avanzato) ne vanifica molte altre;
- la lunghezza dell'area di balneazione è elemento essenziale per la valutazione della distribuzione e quindi dell'adeguatezza delle misure presenti;
- l'assenza o il numero inadeguato dei bagnini di salvataggio può rendere inoperanti o inadeguate numerose altre misure di sicurezza (dispositivi per il primo soccorso e la defibrillazione pediatrica e per adulti; dispositivi per il primo soccorso nei traumi cranio-vertebrali);
- a presenza del bagnino di salvataggio garantisce anche la continuità della catena di soccorso, nell'attesa di soccorritori sanitari qualificati;
- le misure di sicurezza più rilevanti sono:
 - presenza e numero adeguato di bagnini di salvataggio;
 - dotazione di defibrillatore semiautomatico esterno applicabile entro cinque minuti dall'insorgenza dei sintomi;
 - intervento del pronto soccorso avanzato entro venti minuti dalla chiamata;
 - implementazione di un piano di sicurezza balneare.

Le modalità di calcolo dei valori delle misure di sicurezza sono compiutamente indicate dalla norma, alla quale si rinvia. Sommariamente, riguardo a:

1. L'informazione sulle fonti geomorfologiche di rischio mediante cartelli: è sufficiente un cartello per area di balneazione; perché la misura sia adeguata, tutte le fonti di rischio rilevate devono essere segnalate.
2. Segnalazioni in acqua mediante boe: si rilevano le lunghezze, espresse in percentuale, della delimitazione mediante boe delle aree del bagno e/o delle acque sicure, comparate alla LAdB. Si attribuisce il valore espresso dal dato percentuale migliore. L'assenza di aree delimitate comporta valore 0.
3. Bagnino di Salvataggio: si considera adeguata la distribuzione di almeno un bagnino per area di balneazione (se LAdB < 80 m) o ogni 80 m (se LAdB ≥ 80 m). Al valore calcolato si applica il fattore di correzione 1,5.
4. Dispositivi di supporto al primo soccorso: si considera adeguata la distribuzione di un kit per area di balneazione (se LAdB ≤ 80 m) o ogni 80 m (se LAdB > 80 m); in ogni caso, l'adeguatezza della misura deve tener conto del numero dei bagnini di salvataggio presenti, poiché la mera presenza dei dispositivi in assenza degli operatori che devono impiegarli non è condizione sufficiente per rendere efficace la misura.
5. Dispositivi di supporto al primo soccorso pediatrico: si considera adeguata la dotazione di un kit per area di balneazione (se LAdB < 800 m) o ogni 800 m (se LAdB ≥ 800 m). Tale criterio è giustificato dal fatto che la frequenza di annegamenti e traumi pediatrici è in rapporto di circa 1:10 rispetto a quella degli adulti.
6. Anche in questo caso si tiene conto del numero dei bagnini di salvataggio presenti. Al valore calcolato si applica il fattore di correzione 0,5.
7. Defibrillatore Semiautomatico Esterno: si considera adeguata la dotazione di un defibrillatore pronto per l'uso per area di balneazione (se LAdB < 800 m) o ogni 800 m (se LAdB ≥ 800 m). Il criterio è ricavato empiricamente affinché il dispositivo possa essere raggiunto e applicato entro 5' circa dalla manifestazione dei sintomi. Il valore è attribuito con modalità identiche a quelle applicate al punto precedente. Al valore calcolato si applica il fattore di correzione 1,5.
8. Dispositivi per il trattamento iniziale dei traumi cranio-spinali: si considera adeguata la dotazione di un collare cervicale e di una tavola spinale per area di balneazione (se LAdB < 2000 m) o ogni 2000 m (se LAdB ≥ 2000 m). Il criterio è ricavato su base empirica, perché i dispositivi possano essere applicati prima dell'arrivo del soccorso avanzato. L'adeguatezza della misura deve considerare il numero dei bagnini di salvataggio presenti. Ai valori così calcolati si applica il fattore di correzione 0,5.
9. Soccorso avanzato entro 20' dalla chiamata: Tale misura può essere assente (valore 0) o presente (valore 1). Si applica il fattore di correzione 1,5.

10. Istruzioni di sicurezza della balneazione: tale misura può essere assente (valore 0) o presente (valore 1).
 11. Piano di sicurezza balneare: tale misurazione può essere assente (valore 0) o presente (valore 1). Si applica il fattore di correzione 2.

Tabella. Matrice di valutazione delle misure di sicurezza

Misure di sicurezza	Presente	Adeguate	Parzialmente adeguate	Insufficiente	Assente
Cartelli di pericolo					
Boe					
Bagnini					
Kit primo soccorso					
Kit primo soccorso pediatrico					
Defibrillatori					
Collari cervicali					
Tavole spinali					
Soccorso avanzato in 20'					
Istruzioni di sicurezza					
Piano di sicurezza					

Il calcolo dell'Indice di sicurezza

Il metodo descritto attribuisce ad ogni area di balneazione un Indice di Sicurezza (IS) che la qualifica in base alla presenza, distribuzione e rilevanza delle misure di sicurezza. Tale indice, che si ricava in modo semplice e speditivo da un numero limitato di dati, ha valore di indicazione molto significativa anche se non esaustiva. Per ciascuna area, in relazione ai dati rilevati nella scheda corrispondente, si calcolano i valori delle singole misure di sicurezza con le modalità prima descritte. La somma dei singoli indici compone l'indice di sicurezza dell'area di balneazione.

Tale indice può variare da 0 (valore minimo) a 12 (valore massimo). Oltre alla rappresentazione sintetica costituita dall'indice di sicurezza, è utile disporre di una matrice come quella rappresentata in tabella 2, in cui le misure di sicurezza sono valutate in relazione a presenza, assenza, adeguatezza (totale o parziale) o insufficienza. L'analisi della matrice:

- evidenzia le misure di sicurezza assenti o carenti;
- suggerisce la loro migliore distribuzione;
- indica le misure più efficaci per incrementare l'indice di sicurezza.

La classificazione dell'area di balneazione

In base al valore dell'indice di sicurezza, l'area di balneazione può essere classificata in uno dei seguenti livelli di sicurezza:

1. Basso: IS <4: le misure di sicurezza sono prevalentemente assenti e/o insufficienti;
2. Medio: IS compreso tra 4 e 6: le misure di sicurezza sono prevalentemente presenti, ma insufficienti o parzialmente adeguate;
3. Buono: IS >6 fino a 8: le misure di sicurezza sono prevalentemente presenti e/o adeguate, anche se talune solo parzialmente;
4. Molto buono: IS >8: le misure di sicurezza sono tutte o quasi tutte presenti e/o adeguate. In particolare, deve essere obbligatoriamente presente la misura "Soccorso avanzato entro venti minuti dalla chiamata".

L'indice di sicurezza ha un rapporto di proporzionalità inversa con l'indice di rischio (IR), cioè a un indice di sicurezza alto corrisponde un indice di rischio basso e viceversa. Pertanto, l'indice di rischio risulta rispettivamente a) Alto; b) Medio; c) Basso; d) Molto basso, (Figura 5).

La comunicazione al pubblico del livello di sicurezza dell'area di balneazione può anche avvenire, oltre che con le modalità sopra descritte, attraverso rappresentazioni intuitive, suggestive del livello da rappresentare (codici colore, emoticon, numero di stelle, ecc.).

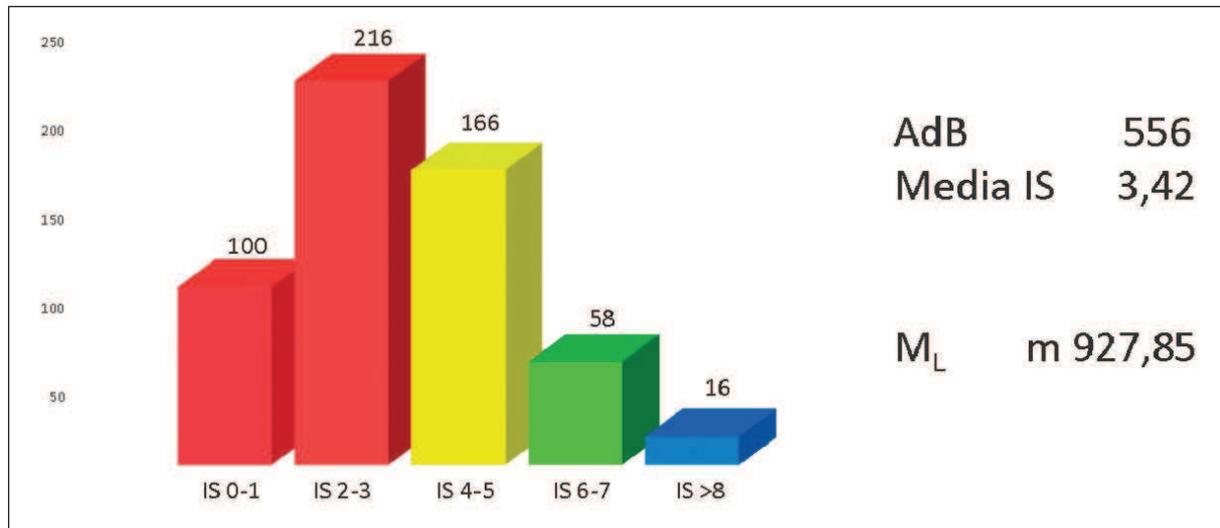


Figura 5. Distribuzione delle aree di balneazione per indice di sicurezza.

Uno studio di fattibilità ed attendibilità del metodo è stato effettuato mediante il rilevamento dei dati relativi a 556 aree di balneazione, scelte in modo casuale; il campione rappresenta il 10% circa del totale delle aree di balneazione. I risultati sono esposti nella tabella 3. L'indice di sicurezza medio rilevato è di 3,42; il 57% delle aree esaminate è classificabile a basso livello di sicurezza, il 30% a livello medio, il 10% a livello buono e solo il 3% a livello molto buono. Il metodo di valutazione e la classificazione proposti dalla norma sembrano pertanto strumenti molto utili per aumentare il livello di sicurezza delle attività di balneazione, riducendo allo stesso tempo il numero delle morti e delle disabilità a queste connesse.

Bibliografia

- Pezzini D. G., 2016. *Manuale di salvamento*, Società Nazionale di Salvamento, Genova, 263 pp.
 Pranzini E., 2012. *La sicurezza nella fascia costiera*, Progetto PERLA, pp. 58.
 Rossi A., 2016. *Manuale BLS/D; Basic Life Support and Defibrillation*. Salvamento Agency, 95 pp.
 Rossi A., 2018. *Le patologie in ambiente acquatico*. Salvamento Agency, 64 pp.

Ricevuto il 15/06/2019

Accettato il 10/07/2019

Percezione della sicurezza sulle spiagge

Ilaria Rodella¹, Corinne Corbau^{2,3}, Umberto Simeoni^{2,3}

¹Università di Padova, via martiri della libertà, 8 35121 Padova.

Email: rdlri@unife.it; ilaria.rodella@unipd.it

²Dipartimento di Fisica e Scienze della Terra, Università di Ferrara, via Saragat, 1 44122 Ferrara.

³GNRAC - Gruppo Nazionale per la Ricerca sull'Ambiente Costiero

Email: cbc@unife.it; g23@unife.it

Riassunto

Questo studio analizza la percezione degli utenti delle spiagge italiane e la loro conoscenza delle pratiche di sicurezza in spiaggia. Nel corso di un'indagine realizzata nel 2017 sono stati raccolti 719 questionari compilati dagli utenti delle spiagge, provenienti da due litorali costieri: San Benedetto del Tronto (Ascoli Piceno, regione Marche) sulla costa adriatica e Battipaglia, Eboli ed Agropoli (Salerno, regione Campania) sulla costa tirrenica. Dall'analisi dei risultati è emerso come le località oggetto dell'indagine siano interessate soprattutto da un turismo di tipo familiare, non residente ma abituale. La scelta della località è legata principalmente alle caratteristiche del mare e alla ricerca di relax e tranquillità, oltre alla gestione della spiaggia e alla vicinanza da casa. Al contrario alcune caratteristiche quali sicurezza, paesaggio e peculiarità del patrimonio culturale non sembrano muovere gli utenti nella scelta della spiaggia. Tra le caratteristiche ed i servizi valutati più positivamente si registrano l'accesso in spiaggia, la qualità di lettini e ombrelloni, bar e ristoranti. Al contrario sport e divertimento, attività ricreative e parcheggio sono stati valutati sufficienti. Sorveglianza e sicurezza sono stati giudicati ottimi e mentre nei litorali indagati la presenza di strutture pericolose, di forti correnti, di buche e più in generale il pericolo di annegamento è molto bassa. Il servizio di salvataggio è importante per gli utenti, nonostante non ci sia grande consapevolezza delle autorità vigenti in materia di sicurezza e degli strumenti normativi adottati (ed es. ordinanza balneare). I principali pericoli segnalati in spiaggia secondo gli intervistati sono i vetri e le lattine che possono ferire i bagnanti e le buche. Gli utenti sono comunque consapevoli dei pericoli in mare e dichiarano una buona conoscenza delle forme di segnaletica (soprattutto le bandiere rossa e bianca). Inoltre, secondo il loro parere, la sicurezza dovrebbe essere garantita anche in spiagge libere ed è ritenuta importante la presenza di un defibrillatore in spiaggia per il pronto intervento. Infine, l'indagine ha dimostrato come tra utenti e operatori di salvataggio in molti casi vi sia un rapporto di conoscenza e di fiducia, che potrebbe incidere anche sulla frequentazione della spiaggia stessa.

Parole chiave: sicurezza, spiagge, percezione utenti, Italia

Abstract

This study analyzes the users' perception of Italian beaches and their knowledge of safety practices. During a survey carried out in 2017, 719 questionnaires were collected at two coastal sites: San Benedetto del Tronto (Ascoli Piceno, Marche region) on the Adriatic sea and Battipaglia, Eboli and Agropoli (Salerno, region Campania) on the Tyrrhenian sea. Results show that the users were not resident in the coastal sites but had habitual frequentation. The reasons of beach choice were mainly linked to sea characteristics, search of relax and quiet, quality of beach management and their proximity to home. On the contrary, some characteristics such as security, landscape and cultural heritage did not affect the users' choices. Access to the beach, sunbeds, umbrellas, bars and restaurants were positive evaluated features on the beaches. On the other hand, sports and entertainment, recreational activities and parking have been assessed as sufficient. Surveillance and safety have been judged to be excellent and, at

the surveyed beaches, the presence of dangerous structures, strong currents, holes on the sea bottom and drowning dangers were low observed. Safety service was important for users, although their knowledge of safety authorities and adopted regulatory instruments (e.g. bathing ordinance) were low. The main beach hazards, according to the interviewees, were glasses fragments/cans and holes. As regards sea dangers, users had a good knowledge of flags (especially red and white flags). Users declared a preference for safety service also at free beaches not only at beach establishments and private beaches and they gave high importance to the presence on the beach of a defibrillator for first aid intervention. Finally, survey showed significative relations among users and rescue operators, which could increase the attendance of the beach itself.

Keywords: *safety, beach, beachgoers perception, Italy.*

Introduzione

La sicurezza della balneazione è probabilmente uno dei parametri più importanti, a livello internazionale, che incide sulla scelta turistica. Un motivo importante per aumentare la sicurezza delle spiagge, in particolar modo per amministrazioni pubbliche e concessionari, è dato dal fatto che 9 dei 29 criteri per l'attribuzione della Bandiera Blu riguardano la sicurezza (FEE 2008). In alcuni stati, come ad esempio in California (King 2005), la spesa pubblica per la sicurezza in spiaggia è rilevante, ma in molti paesi, soprattutto quelli poco sviluppati, la sicurezza in spiaggia è ancora scarsamente considerata dalle autorità vigenti (Pranzini et al., 2018) ed è giudicata insufficiente dagli utenti (ad esempio in Bangladesh, Hassan e Shahnewaz 2014; in Taiwan, WanJiun e ShyueCherng, 2010; in Ghana, Hammerton et al., 2013).

Ogni anno si verificano in tutto il mondo molti incidenti e annegamenti nelle acque costiere. Analisi storiche indicano che in Italia la mortalità per annegamento è diminuita da circa 1200-1300 morti/anno dai primi anni '70 a poco meno di 230 nel 2016 (ISTAT, 2018). Le principali cause di annegamento in Italia, individuate da un recente studio (Funari and Giustini, 2011; Pezzini, 2017a) sono: il mare mosso e le correnti di ritorno, la mancanza del servizio di salvataggio, segnaletica assente per l'avvertimento del pericolo ai bagnanti, annegamento del soccorritore propiziato da un primo annegamento, mancanza dell'attrezzatura di salvataggio (sagola, salvagente, defibrillatore, ecc.). I bambini si sono dimostrati il gruppo più esposto ai rischi legati all'attività in spiaggia, costituendo oltre il 50% degli annegamenti registrati all'anno (Pranzini et al., 2018). L'esperienza internazionale ha dimostrato che, ove presente un piano adeguato di salvamento dei bagnanti, si ottengono risultati significativi, ad es. in Australia (Wilks et al., 2016), dove l'annegamento è rimasto costante negli ultimi anni nonostante il numero di bagnanti sia aumentato. Ciò è stato ottenuto attraverso una diffusa sensibilizzazione delle parti interessate (Whittaker 2003, Wilks et al., 2016), segnalazioni frequenti e chiare e un efficiente sviluppo del sistema di soccorso. La prevenzione degli incidenti è il primo obiettivo nei progetti di sicurezza in spiaggia e la raccolta di dati, sia di carattere tecnico che dal punto di vista dei fruitori delle spiagge, è necessaria per la complessiva valutazione dei casi di incidente e per stilare piani di gestione balneare sicuri (Yang et al., 2014).

Dall'analisi delle criticità in tema di sicurezza della balneazione, è nato questo studio condotto a scala nazionale che riguarda la percezione turistica delle spiagge, con la collaborazione della Società Nazionale Salvamento SNS e con l'approvazione del comitato direttivo del GNRAC. L'indagine, avvenuta nel 2017, si basava sulla distribuzione di questionari ai bagnanti su diverse spiagge. L'analisi dei dati dei questionari, unitamente ad altre informazioni raccolte (tipologia di spiaggia, flussi turistici, ecc.), ha fornito un quadro delle criticità gestionali degli arenili, del salvamento, della conoscenza di tecniche di intervento per il primo soccorso.

Inquadramento dell'area di studio

Lo studio è stato realizzato in 4 località (Figura 1): San Benedetto del Tronto (Ascoli Piceno, regione Marche) sulla costa adriatica (Figura 1 a); Battipaglia, Eboli e Agropoli (Salerno, regione Campania) nella costa tirrenica (Figura 1 b).

Questi siti sono generalmente caratterizzati da una spiaggia lineare bassa e sabbiosa soggetta a varie pressioni antropiche e naturali. Alcuni tratti di costa mostrano problemi di erosione dovuti a fattori antropici, ossia alla presenza di strutture di difesa che bloccano la deriva litoranea (ad esempio i tratti settentrionali di San Benedetto del Tronto; Figura 1 a) o a fattori naturali che inducono perdita di spiaggia e erosione di cordoni dunari (ad esempio il litorale di Eboli; Figura 1 b (Chiavazzo et al., 2017)).

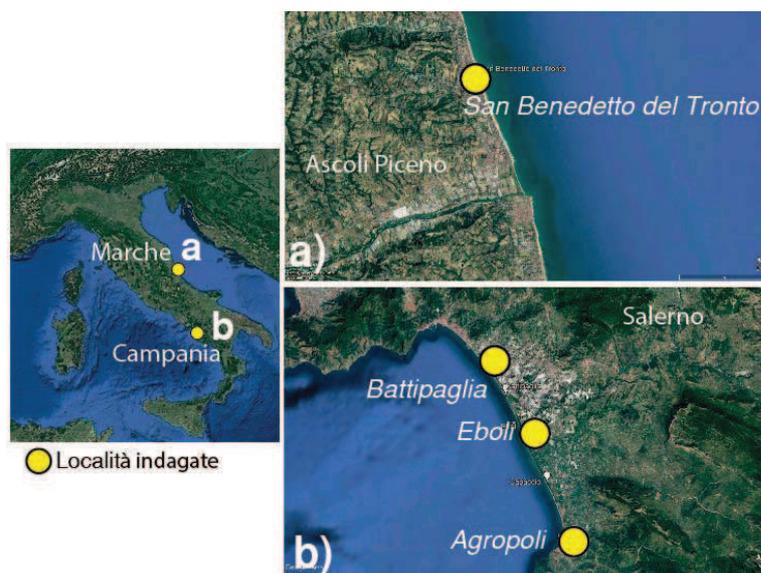


Figura 1. Inquadramento dell'area di studio: San Benedetto del Tronto (a) e Golfo di Salerno (b).

San Benedetto del Tronto (regione Marche)

A livello nazionale le Marche si collocano al 12° posto tra le regioni italiane per dimensione di ospitalità, espressa in numero di posti letto (ISNART, 2014), dato che offre un numero di strutture ricettive (alberghiere e complementari) pari a 5.654, di cui il 41,3% lungo la costa, e circa 337.000 posti letto, di cui oltre il 74% nei comuni costieri (Acciarri et al., 2017). La Regione Marche ha visto tra gli anni '60 e '70, a seguito dello sviluppo industriale e dell'incremento del turismo balneare, un forte irrigidimento del limite interno delle spiagge con lo sviluppo di strutture artificiali permanenti, sia di tipo urbanistico che marittimo. Attualmente si segnala che circa il 62% della costa marchigiana risulta trasformato (Legambiente, 2011). La spiaggia di San Benedetto del Tronto (AP) presenta un'estensione totale di 7.969 m, di cui 3.295 m attrezzati e gestiti da 114 concessioni balneari, 1.697 m destinati a spiaggia libera, 1.341 m di area portuale e 1.636 m di Riserva Naturale Regionale. La spiaggia risulta totalmente sabbiosa (sabbie fini, 0,125 - 0,25 mm) e protetta per 4,7 km da scogliere foranee distaccate emerse, mentre soltanto la zona della Riserva Naturale della Sentina a sud (circa 1,8 km), è priva di opere di difesa (Acciarri et al., 2017). Le strutture ricettive di San Benedetto del Tronto al 2017 erano 190, per complessivi 10.004 posti letto (Regione Marche, 2017a), a supporto di 159.241 arrivi turistici e 795.230 presenze (pari rispettivamente al 49,85% degli arrivi e al 46,48% delle presenze dell'intera provincia di Ascoli Piceno; Regione Marche, 2017b).

Golfo di Salerno (Battipaglia, Eboli e Agropoli, regione Campania)

La fascia costiera afferente al Golfo di Salerno in Campania è pertinenza dei comuni di Salerno, Pontecagnano Faiano, Battipaglia, Eboli, Capaccio e Agropoli (Figura 1 b). Nonostante l'antropizzazione della fascia litoranea, si conservano ancora tratti propri degli ecosistemi costieri originari rappresentati dagli ambienti dunari, anche se residuali ed in buona parte occupati da pinete impiantate negli anni '50 (Chiavazzo et al., 2017). La "Riserva Naturale Regionale Foce Sele Tanagro" garantisce il mantenimento della foce del fiume Sele e delle fasce costiere adiacenti per circa 17 km, per una profondità media di circa 300 m di fascia costiera. La stessa area è inoltre inclusa nel perimetro del Sito della Rete Natura 2000 IT8050010 "Fasce litoranee a destra e a sinistra del fiume Sele". Nell'ambito di questa fascia costiera sono comprese anche due Oasi dunari in località Torre di Mare a Capaccio e in località Campolongo ad Eboli (Legambiente, 2015). Il litorale di Battipaglia, che misura circa 4 km di lunghezza, presenta spiagge con ampiezza variabili da 30 a 70 m circa, in cui ricadono 19 stabilimenti balneari e 10 spiagge libere. L'arenile, costituito da sabbie dorate simili a quelle presenti nelle spiagge di Eboli e Capaccio, presenta dune residuali in alternanza alle strutture antropiche che insistono sulla spiaggia.

Il litorale di Eboli, che misura circa 8 km, è costituito da spiagge con ampiezze dai 15 ai 120 m, in cui sono insediati 11 stabilimenti balneari. La maggior parte delle spiagge ricadenti in questa località, sono

spiagge libere raggiungibili grazie alle strade tagliafuoco che attraversano la pineta della “Riserva Statale della Foce del Sele”.

Il litorale di Agropoli, misura circa 2 km di lunghezza (dal promontorio di Agropoli Nord a Lido Azzurro a Sud, a ridosso del promontorio del Castello di Agropoli) e spiagge di ampiezza variabile da 10 a 50 m circa, in cui sono presenti 11 stabilimenti balneari e 6 spiagge libere. Il litorale è fortemente antropizzato ed è confinato nell'entroterra dall'abitato di Agropoli e dalla linea ferroviaria e a mare da opere di difesa, barriere parallele emerse e sommerse, dighe foranee e pennelli.

I movimenti turistici della provincia di Salerno registrano 134.256 arrivi e 518.596 presenze nel 2017 (Istat, 2017).

Materiali e metodi

La raccolta dei dati inerenti la percezione della sicurezza delle spiagge è avvenuta nel 2017 attraverso la somministrazione e compilazione in forma anonima di un questionario articolato in 32 domande aperte, dicotomiche ed a scelta multipla.

Il questionario degli utenti era strutturato in tre sezioni:

1. caratteristiche demografiche dei visitatori quali sesso, età, livello di istruzione, residenza, nonché informazioni sulla frequenza e sulla motivazione della visita;
2. valutazione di servizi e infrastrutture disponibili;
3. percezione della sicurezza (definizione, conoscenza, valutazione di parametri che definiscono la sicurezza).

Per la valutazione dei parametri è stata utilizzata la seguente scala di valori associata ai vari giudizi: 0: assente; 1: insufficiente; 2: sufficiente; 3: buono; 4: ottimo; 5: eccellente.

Per la valutazione della presenza di parametri inficianti la spiaggia (quali ed es. il rumore, la presenza di strutture pericolose, la presenza di buche nei fondali, ecc.) è stata applicata, invece, la seguente scala di valori: 0: assente; 1: quasi del tutto assente; 2: poco presente; 3: presente; 4: molto presente; 5: persistente.

I dati sono stati raccolti dagli operatori di salvataggio nel periodo compreso tra giugno a settembre 2017, nella fascia oraria dalle 9:30 alle 18:30. Le analisi statistiche e descrittive dei risultati sono state eseguite utilizzando il software SPSS versione 20 e Microsoft Excel.

Risultati

Nel sondaggio del 2017 sono stati raccolti 719 questionari compilati dagli utenti delle spiagge. Più del 37% dei questionari sono stati ottenuti nella località di San Benedetto del Tronto, quasi il 30% nelle spiagge di Eboli, circa il 17% ad Agropoli e il 15% nelle spiagge di Battipaglia. I questionari di alcune località non sono stati presi in considerazione a causa della loro ridotta numerosità (Castiglione della Pescaia 6 questionari, Grottammare 1 questionario, Ascoli Piceno 2 questionari).

Profilo degli intervistati

Il 50% degli intervistati era di sesso femminile, il 47% maschile (il 3% non risponde), di età prevalentemente tra i 41 e 65 anni (36%), tra i 26 e i 40 anni (circa il 29%), inferiore a 25 anni (30%), mentre poco rappresentati sono gli utenti con età superiore ai 65 anni (3,2%). Il turismo era principalmente di tipo familiare (48%) e di coppia (23%). La maggior parte degli utenti della spiaggia non era residente nel comune in cui trascorrevano le vacanze (quasi il 53%). Dall'analisi dei dati emerge come le motivazioni per la scelta delle località di villeggiatura siano strettamente legate al mare e alla spiaggia (27%), alla ricerca di relax e tranquillità (22%), alla buona qualità dei servizi (12%) e alla vicinanza a casa (11%). Altri aspetti come la sicurezza (2%), il possesso di una casa di villeggiatura (5%), la natura e il paesaggio (2%) sono stati meno rappresentativi. Il 40% degli utenti frequentava quella spiaggia abitualmente durante la villeggiatura, il 39% saltuariamente mentre il rimanente 19% è giunto in quella località per la prima volta (il 2% non risponde; Figura 2).

Valutazione dei servizi e della sicurezza

La Tabella 1 riporta le valutazioni dei servizi presenti in spiaggia, che comprendono parcheggio, accesso alla spiaggia, rumore, affollamento, bar e ristoranti, servizi igienici, lettini - ombrelloni, sport - divertimento, attività ricreative, rapporto qualità prezzo, comfort in spiaggia e raccolta differenziata dei rifiuti.

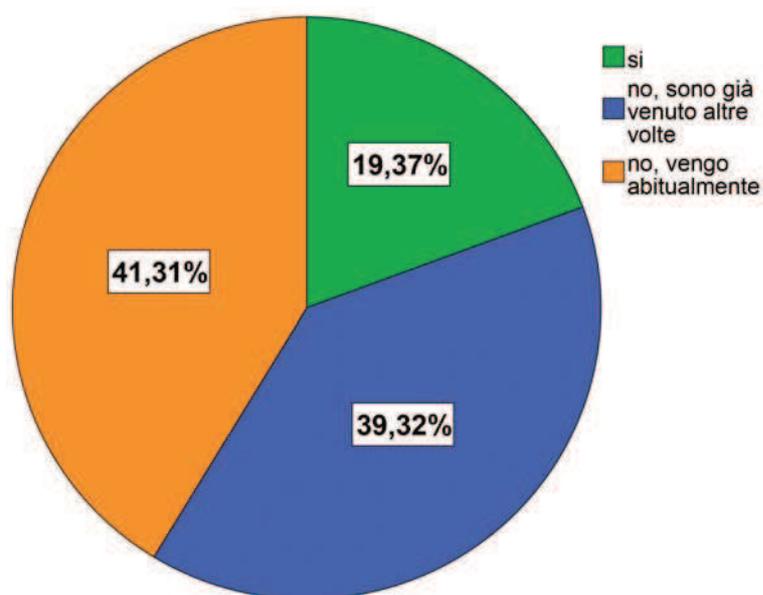


Figura 2. Frequentazione degli utenti della località.

Tabella 1. Media, deviazione standard (Dev. st.) ed errore standard (E.S.) dei valori assegnati [0 (assente) a 5 (eccellente)] per alcuni parametri della spiaggia.

Domanda	N. questionari validi	Media valore	Dev. st.	Skewness		Curtosi	
				Statistica	E. S.	Statistica	E. S.
Parcheggio	696	2.68	1.601	-.231	.093	-1.024	.185
Accesso alla spiaggia	695	3.48	1.379	-.838	.093	-.014	.185
Rumore	690	2.47	1.451	-.110	.093	-.757	.186
Affollamento	688	2.68	1.375	-.383	.093	-.463	.186
Bar e ristoranti	688	3.23	1.592	-.807	.093	-.401	.186
Servizi igienici	688	3.12	1.401	-.649	.093	-.250	.186
Lettini - ombrelloni	688	3.36	1.423	-.744	.093	-.350	.186
Sports - divertimento	686	2.64	1.459	-.196	.093	-.863	.186
Attività ricreative	685	2.55	1.447	-.169	.093	-.847	.187
Quality/prezzo	685	3.09	1.413	-.495	.093	-.513	.187
Comfort nella spiaggia	683	3.14	1.347	-.612	.094	-.236	.187
Raccolta differenziata dei rifiuti	687	2.83	1.597	-.341	.093	-.955	.186

I risultati dimostrano che i punteggi più alti, che tendono ad eccellente (punteggio 5), sono stati ottenuti dall'accesso alla spiaggia (3.48), dalla qualità di lettini e ombrelloni (3.36), da bar e ristoranti (3.23), da servizi igienici (3.12), dal confort in spiaggia (3.14) e dal rapporto qualità prezzo (3.09). Valori compresi tra 2 e 3, coincidenti al giudizio sufficiente, sono stati associati alla raccolta differenziata dei rifiuti (2.83), al parcheggio ed all'affollamento (2.68), a sports e divertimenti (2.64) al rumore in spiaggia (2.47). Gli utenti non hanno giudicato nessuno dei parametri indagati come totalmente assente o insufficiente. Tabella 1 riporta, inoltre, gli indici di distribuzione quantitativa di skewness e curtosi. Come si può osservare i valori calcolati sono inferiori a zero. L'implicazione di una skewness inferiore allo zero è molto positiva poiché sottende che la curva della distribuzione dei giudizi tenda a formarsi a destra della media, ovvero nella parte positiva dell'asse cartesiano. I valori di curtosi negativi per tutti

i parametri sono indicazione di curve di distribuzione platicurtiche a cui corrispondono alte deviazioni standard e variabilità del dato in oggetto. Al contrario, curtosi vicine allo zero, denotano distribuzioni vicine alla media dei valori ottenuti, come è il caso del parametro "accesso alla spiaggia" (-.014).

La Tabella 2 riporta le valutazioni di alcuni parametri legati alla sicurezza in spiaggia ossia: sorveglianza, sicurezza, pericolo di annegamento, presenza di buche nei fondali, presenza di strutture pericolose, presenza di forti correnti marine, presenza di torrette di salvataggio e kit di pronto soccorso. I parametri valutati in maniera positiva sono la sicurezza (4), la sorveglianza (3.97), la presenza di cassette di primo soccorso (3.56) e la presenza di torrette di salvataggio (3.32). Gli elementi di pericolo di una spiaggia sono stati valutati quasi del tutto assenti (il caso delle strutture pericolose; 1.6) o poco presenti come le buche nei fondali (2.27), forti correnti (2.31) e il pericolo di annegamento (2.48).

Tabella 2. Media, deviazione standard (Dev. st.) ed errore standard (E.S.) dei valori assegnati [0 (assente) a 5 (eccellente/alto)] per alcuni parametri di sicurezza.

Domanda	N. questionari validi	Media valore	Dev. st.	Skewness		Kurtosis	
				Statistica	E. S.	Statistica	E. S.
Sorveglianza	701	3.97	1.252	-1.567	.092	2.289	.184
Sicurezza	696	4.00	1.156	-1.543	.093	2.652	.185
Pericolo di annegamento	677	2.48	1.592	-.066	.094	-1.056	.188
Presenza di buche nel fondale	677	2.27	1.509	.097	.094	-.893	.188
Presenza di strutture pericolose	678	1.60	1.622	.649	.094	-.810	.187
Presenza di forti correnti	674	2.31	1.469	.085	.094	-.798	.188
Presenza di torrette di salvataggio	685	3.32	1.752	-.885	.093	-.541	.187
Presenza di cassetta di primo soccorso	678	3.56	1.500	-1.007	.094	.101	.187

Conoscenza ed altri aspetti legati alla sicurezza

Nell'ultima parte del questionario sono state affrontate le tematiche inerenti alcuni aspetti della sicurezza nelle spiagge. L'85,65% degli intervistati ha dichiarato di dare un valore di importanza alto alla sicurezza, il 13,62% medio e solo lo 0,6% basso (Figura 3 a). Il 56,28% degli intervistati non ha mai letto un'ordinanza balneare, contenente le forme di segnalazione in spiaggia e i relativi termini di svolgimento del servizio di salvamento (Figura 3 b).

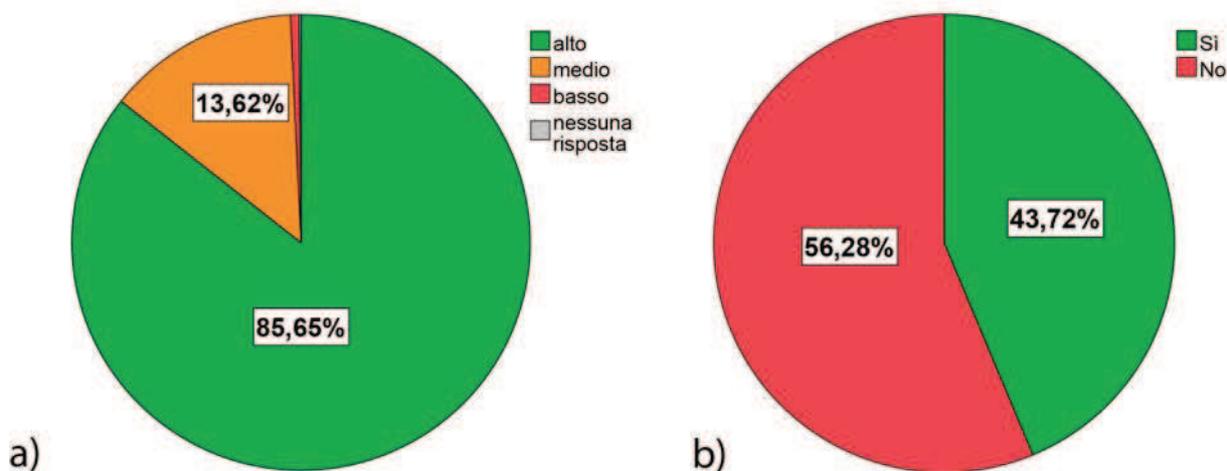


Figura 3. Importanza della sicurezza in spiaggia (a); conoscenza delle ordinanze balneari (b).

I maggiori pericoli indicati dagli intervistati in spiaggia (Figura 4 a) sono vetri e lattine (oltre il 40%), fondali profondi (circa il 30%), la presenza di buche nei fondali (18,6%) e altri pericoli (5,4%). Secondo gli utenti la sicurezza in spiaggia compete principalmente agli operatori del salvamento/bagnini (50,6%), al comune (22,3%), al gestore dello stabilimento balneare (17,1%) o ad altri (1,5%) (Figura 4 b).

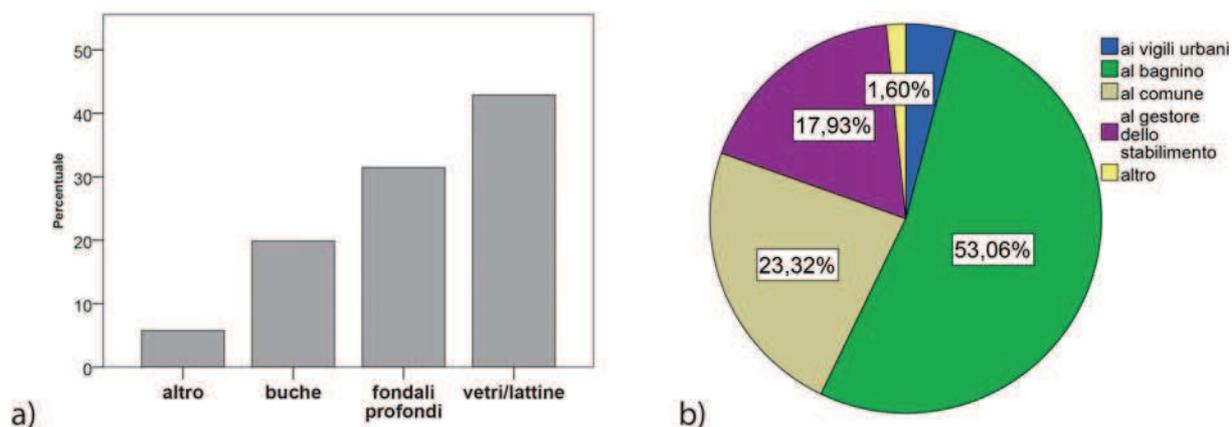


Figura 4. Principali pericoli presenti in spiaggia (a); competenza della sicurezza in spiaggia (b).

I segnali di sicurezza in spiaggia sono conosciuti dal 69,37% degli intervistati (Figura 5 a) soprattutto le bandiere colorate (45,3%), i segnali acustici (34,9%), gli avvisi dei gestori degli stabilimenti balneari tramite altoparlante (quasi il 10%) o il passaparola tra utenti della spiaggia (3,8%) (Figura 5 b).

In merito alle forme di segnalazione, la conoscenza del significato di ogni bandiera esposta in spiaggia è generalmente alta, specialmente per bandiera rossa (95,92%) e bandiera bianca (84,47%). Anche il significato della bandiera gialla è conosciuto ma con percentuali significativamente inferiori alle precedenti (56,38%) (Figura 6). Le boe giallo/rosse utilizzate nei fondali prossimi a riva, secondo gli utenti servono sia a delimitare la zona di nuoto sicura (per il 43,1%) che ad indicare una fascia di mare in cui non possono transitare le imbarcazioni (per il 35,5%; (Figura 7 a). Il servizio di sicurezza secondo gli utenti dovrebbe essere garantito anche nelle spiagge libere (90,8%) come negli stabilimento balneari (Figura 7 b).

Il 56,3% degli intervistati ha dichiarato di conoscere le tecniche di primo soccorso da utilizzare in spiaggia in caso di incidente (Figura 8 a) e ritiene che la sorveglianza da parte degli operatori di salvamento sia importante per quasi il 98% (Figura 8 b).

Gli utenti conoscono l'operatore di salvaggio (59%) e ritiene che sia impegnato soltanto nelle operazio-

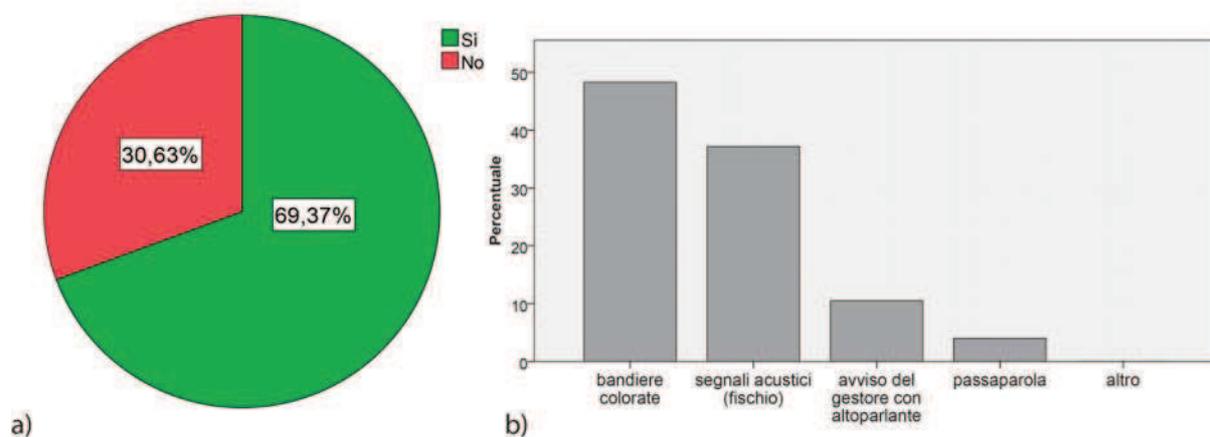


Figura 5. Conoscenza dei segnali di sicurezza (a); modalità di segnalazione dei pericoli in spiaggia (b).

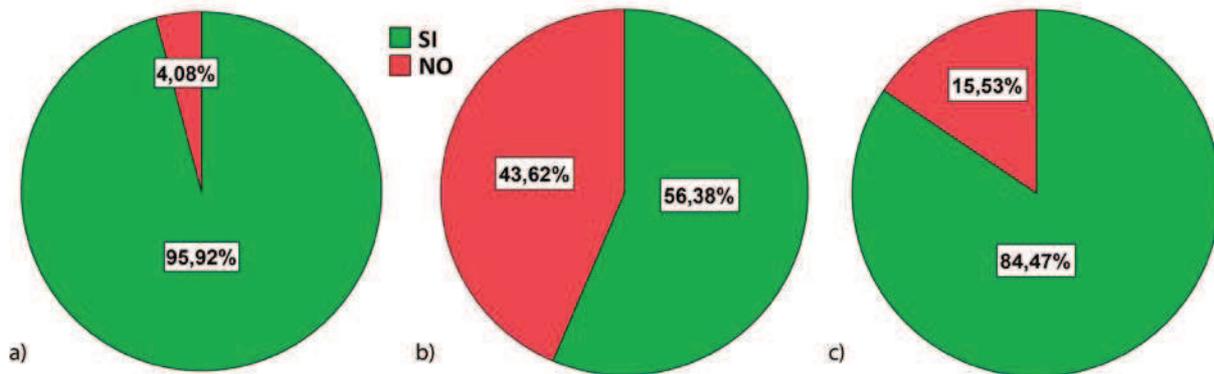


Figura 6. Conosce il significato della bandiera rossa (a), gialla (b), bianca (c).

ni di salvamento per il 58% (Figura 9). Infine, la presenza del defibrillatore in spiaggia è ritenuta alta per quasi il 78% degli utenti (media per il 17,5% e bassa solo per lo 0,8%; il 3,8% non risponde; Figura 10).

Conclusioni

Le spiagge sono ambienti a frequentazione estremamente elevata e sono zone (soprattutto dove è permessa la navigazione) intrinsecamente pericolose dove, crescendo l'utilizzo della spiaggia aumenta conseguentemente il livello di rischio per il pubblico. Per far fronte a questa situazione occorre sviluppare strategie gestionali, che includano sia la realizzazione di una buona rete di soccorso sia l'istruzione dei cittadini (Rosas et al., 2014). Per questi motivi e per raccogliere dati utili agli operatori, questo studio ha avuto come obiettivo quello di analizzare la conoscenza degli utenti in merito alla sicurezza ed alla gestione delle spiagge in Italia. Inoltre, è stata analizzata la relazione tra qualità dei servizi in spiaggia, soddisfazione, percezione della sicurezza e intenzioni dei visitatori, per migliorare la consapevolezza della sicurezza in spiaggia.

L'indagine ha evidenziato alcuni aspetti delle percezioni turistiche nei confronti di 4 litorali italiani, geograficamente e turisticamente diversi tra loro. L'indagine è stata prevalentemente rivolta ai frequentatori italiani (99%), quasi equamente distribuiti in base al sesso. Dall'analisi dei risultati è emerso come le località oggetto dell'indagine siano interessate soprattutto da un turismo di tipo familiare, non residente ma abituale. La scelta della località risulta essere legata principalmente alle caratteristiche del mare e alla ricerca di relax e

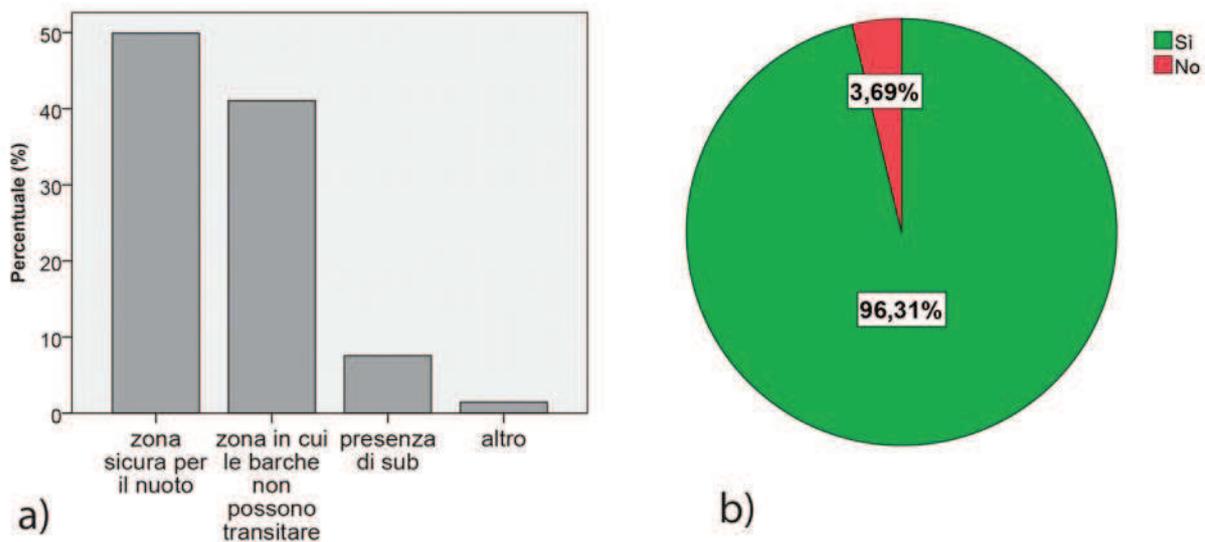


Figura 7. Significato della delimitazione attraverso boe rosso/arancione nelle acque prossime a riva(a); preferenza sul servizio di sicurezza nelle spiagge libere(b).

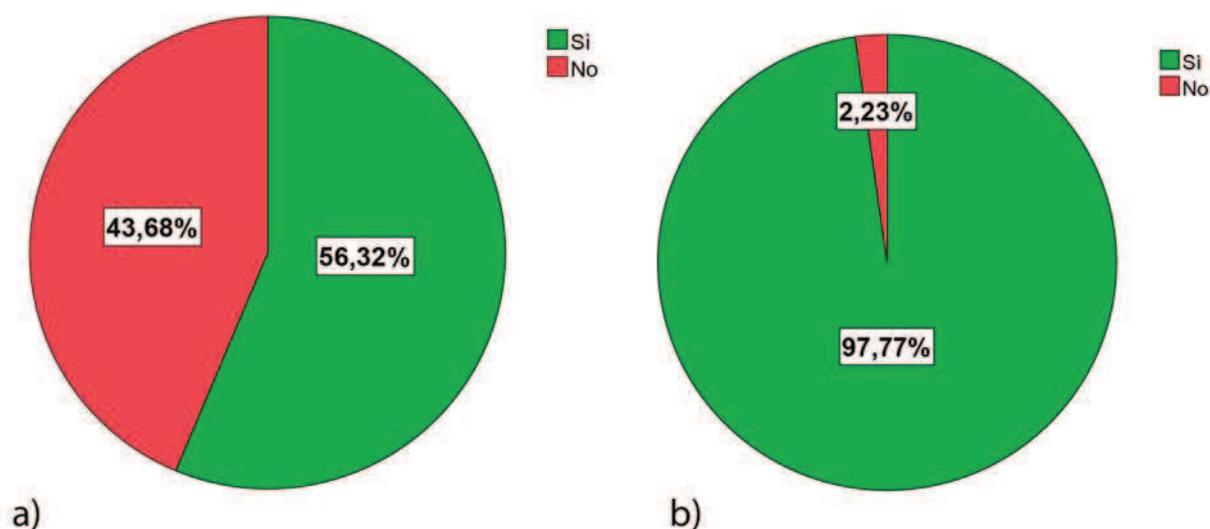


Figura 8. Conosce le tecniche di primo soccorso? (a); ritiene importante la sorveglianza? (b).

tranquillità, oltre alla gestione della spiaggia e alla vicinanza da casa, come riscontrato in precedenti studi in Campania (Chiavazzo et al., 2017) e nelle Marche (Acciarri et al., 2017). Al contrario alcune caratteristiche quali sicurezza, paesaggio e peculiarità del patrimonio culturale non sembrano muovere gli utenti nella scelta della spiaggia, come emerge da studi sulla percezione turistica nelle coste italiane (Simeoni et al., 2017, 2016). Tra le caratteristiche ed i servizi valutati più positivamente in spiaggia si registrano l'accesso in spiaggia, lettini e ombrelloni e bar e ristoranti. Al contrario sport e divertimento, attività ricreative e parcheggio sono stati valutati sufficienti. I risultati, in generale, confermano una relazione positiva tra la qualità del servizio in spiaggia e la soddisfazione dei visitatori. Questo risultato potrebbe essere utilizzato per aumentare il tasso di ritorno dei visitatori della spiaggia e migliorare la qualità di alcuni servizi. Lo studio di Baker and Crompton (2000) supporta questo risultato, concludendo che la soddisfazione degli utenti aumenta se la qualità del servizio in spiaggia è alta, e maggiore è la soddisfazione, più probabile sarà l'intenzione di tornare. Sorveglianza e sicurezza sono stati giudicati ottimi e, nei litorali indagati, sono valutati poco presenti o assenti la presenza di strutture pericolose, di forti correnti, di buche e più in generale il pericolo di annega-

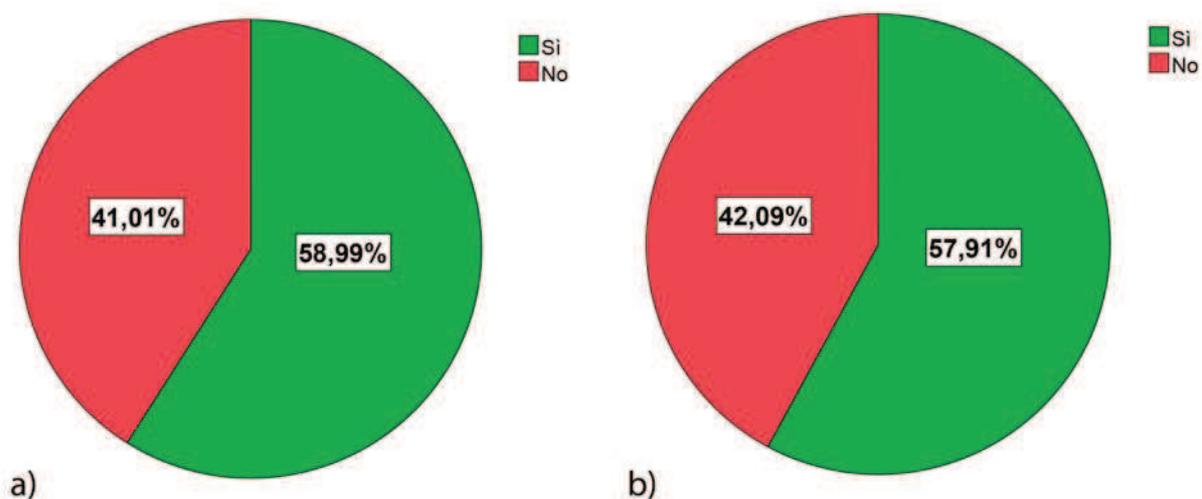


Figura 9. Conosce l'operatore/bagnino di salvataggio? (a); l'operatore/bagnino di salvataggio è impegnato solo nelle operazioni di sicurezza? (b).

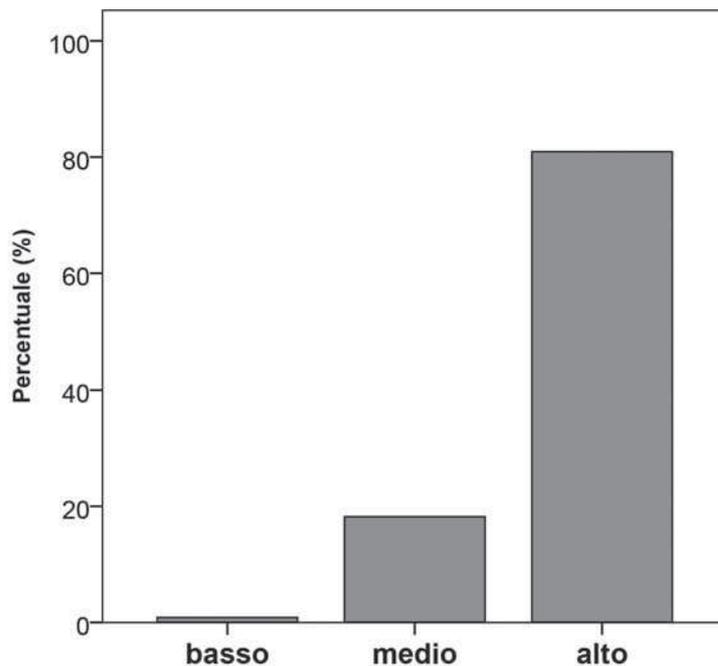


Figura 10. Importanza data dagli utenti alla presenza del defibrillatore in spiaggia.

mento. Questi risultati hanno riscontro in letteratura, infatti le regioni Marche e Campania registrano tassi di mortalità per annegamento relativamente bassi rispetto ad altre regioni (109 morti in Campania e 94 nelle Marche nel periodo 2010-2012; Funari et al., 2016). Si è inoltre dimostrato in letteratura che la percezione della sicurezza ha un ruolo di mediatore tra la soddisfazione degli utenti e la frequentazione di una spiaggia (Lee et al., 2017), concludendo che la qualità del servizio, la soddisfazione e la frequentazione di una spiaggia hanno una relazione diretta con la percezione della sicurezza.

Il servizio di salvataggio è importante per gli utenti, nonostante non ci sia grande consapevolezza delle autorità vigenti in materia di sicurezza e degli strumenti normativi adottati (ed es. ordinanza balneare). I principali pericoli segnalati in spiaggia secondo gli intervistati sono vetri/lattine e buche mentre, per quanto riguarda i pericoli in mare, si è registrata una buona conoscenza delle forme di segnaletica (soprattutto le bandiere rossa e bianca). Le ordinanze balneari in Italia, prevedono che il significato delle bandiere in uso in spiaggia venga spiegato da cartelli appositi. Probabilmente, la segnaletica ha favorevolmente influito la conoscenza delle bandiere e dei pericoli presenti. Purtroppo, il significato delle bandiere può essere difforme da un tratto di spiaggia all'altro. La bandiera rossa, infatti, non indica il divieto di fare il bagno (come pressoché in tutto il mondo), ma solo che è pericoloso farlo, lasciando libero il bagnante di decidere; in alcuni casi la bandiera rossa indica anche l'assenza del servizio di salvataggio. Inoltre, poiché non esiste un'autorità che ordina di issare la bandiera rossa, su molti tratti di litorale possono comparire bandiere di diverso colore a seconda del differente giudizio espresso dai bagnini: rosse o gialle, per esempio. Il significato della bandiera gialla varia da regione a regione e in alcune indica, come in Liguria o in Sardegna, "vento forte" (col conseguente divieto di aprire gli ombrelloni); altrove indica, invece, una riduzione della sorveglianza in determinati orari. Alcune ordinanze prevedono l'uso della bandiera bianca, non utilizzata in nessuna spiaggia del mondo, per indicare le buone condizioni meteomarine in spiagge sorvegliate (Pezzini, 2017b). Come si può capire, c'è ampia discrezione legata all'uso ed al significato dato alle bandiere segnaletiche in Italia e, nonostante un'alta percentuale di utenti abbia dichiarato di conoscerne il significato, resta da verificare (magari con ulteriori indagini a risposta libera) quale sia la loro interpretazione della segnaletica.

Gli utenti hanno dichiarato, inoltre, che la sicurezza dovrebbe essere garantita anche in spiagge libere e ritengono importante la presenza di un defibrillatore in spiaggia per il pronto intervento. In Italia il servizio di sicurezza è stato associato alle concessioni demaniali degli stabilimenti balneari e, per lunghissimi decenni (dal 1929) (Pezzini, 2017b), gli unici bagnini presenti sulla spiaggia sono stati bagnini "privati" (cioè dipendenti da datori di lavoro privati), ciascuno operante all'interno e per conto di uno stabilimento balneare (Angelone

et al., 2002; Cianchini, 2001; Corsini, 2004; Pezzini, 2005). Sui tratti di spiaggia libera, in concessione ai comuni, il Comune può sottrarsi dagli obblighi previsti invece ai concessionari privati (pulizia delle spiagge, servizio di sorveglianza garantito), collocando una cartellonistica sull'arenile con il quale si indica l'assenza del servizio di salvataggio (Pezzini, 2017b). Questa facoltà concessa ai comuni ha prodotto, in pratica, due tipi di spiaggia: quelle "private", cioè in concessione a privati ma aperte al pubblico (pulite e sorvegliate, ma a pagamento), e quelle libere, prive di sorveglianza e di servizio di salvataggio e dove si verificano la maggior parte degli episodi di annegamento (Pezzini, 2005; Funari e Giustini 2011).

L'indagine ha infine dimostrato come tra utenti e operatori di salvataggio in molti casi vi sia un rapporto di conoscenza e di fiducia che, oltre ad incidere sulla frequentazione della spiaggia, può incrementare esso stesso la conoscenza dei pericoli in spiaggia e la sensibilità degli utenti verso una condotta più prudente e consapevole.

Ringraziamenti

Si ringrazia la Società Nazionale Salvamento (SNS) per il supporto offerto nella raccolta dei questionari.

Bibliografia

- Acciarri A., Bisci C., Cantalamessa G., Pancrazio G. D., Alessandro S. D., 2017. *La percezione dell'offerta turistico-balneare delle Marche meridionali: Porto Recanati (MC), Civitanova Marche (MC), Porto Sant'Elpidio (FM) e San Benedetto del Tronto (AP)*. Studi Costieri, 25: 49–60.
- Angelone C., Basilavecchia M., Camarida G., Del Federico L., Di Giandomenico G., Tranquilli Leali R., 2002. *La gestione del demanio marittimo: dallo stato alle regioni ai comuni*. Giuffrè, Milano. 124 pp.
- Baker D.A., Crompton J.L., 2000. *Quality, satisfaction and behavioral intentions*. Annals of Tourism Research, 27: 785-804.
- Chiavazzo G., Pizzo V., Rodella I., Savares A., Tasso R., 2017. *Percezione dell'offerta turistico-balneare, risorse e problematiche ambientali delle spiagge di Battipaglia, Eboli e Capaccio (Campania)*. Studi costieri, 25: 93–104.
- Cianchini R., 2001. *La nuova disciplina del demanio marittimo*. Maggioli editore, Milano. 149 pp.
- Corsini B., 2004. *L'impresa balneare*. Hoepli, Milano. 196 pp.
- Fondazione per l'Educazione Ambientale (FEE), 2008. *Assegnazione "Bandiera Blu", Procedura Operativa Certificata ISO9001–2000*. 14 pp.
- Funari E., Giustini M., 2011. *Annegamento in Italia: epidemiologia e strategia di prevenzione*. Rapporti ISTISAN (Istituto Superiore di Sanità), 11/23. Roma. 52 pp.
- Funari E., Giustini M., Pezzini D.G., 2016. *Accidents in recreational waters: towards an integrated strategy of drowning prevention*. Rapporti ISTISAN (Istituto Superiore di Sanità), 16/10. Roma. 65 pp.
- Hassan M., Shahnewaz M., 2014. *Measuring Tourist Service Satisfaction at Destination: A Case Study of Cox's Bazar Sea Beach, Bangladesh*, American Journal of Tourism Management, 3: 32-43.
- Istat, 2017. *Capacità degli esercizi ricettivi e movimento clienti negli esercizi ricettivi*.
- Lee M. S., Chun S. B., Park C., Suh K. B., Lee C. W., 2017. *Perception of Safety as a Mediator in the Relations among Service Quality, Satisfaction, and Behavioral Intention at Korean Beach Sites*. Journal of Coastal Research, 79: 16–20.
- King P., 2005. *Do beaches benefit local communities? A case study of two California beach towns*. California and the World Ocean. Proceedings of the CWO '02 Conference, Santa Barbara, CA. pp. 704–707.
- Pezzini D.G., 2005. *Manuale di salvamento*. Società Nazionale di Salvamento, Genova. 265 pp.
- Pezzini D.G., 2017a. *L'annegamento sulle spiagge italiane*. Analisi dei dati e attività di prevenzione: 131–140.
- Pezzini D.G., 2017b. *Il regime concessorio delle spiagge italiane e il servizio di salvataggio in una prospettiva europea*: 17–28.
- Pranzini E., Pezzini D.G., Anfuso G., Botero C. M., 2018. *Beach Safety Management*. In: Botero C., Cervantes O., Finkl C. (eds) Beach Management Tools - Concepts, Methodologies and Case Studies. Coastal Research Library, 24: 397-420.
- Regione Marche, 2017a. *Capacità ricettiva per tipologia di esercizio, per comune e provincia delle Marche*. <http://statistica.regione.marche.it/LinkClick.aspx?fileticket=XD4R1pwg1XA%3d&tabid=230&portali d=0&mid=951&forcedownload=true>

- Regione Marche, 2017b. *Arrivi e presenze totali per tipo di esercizio, comune e provincia delle Marche*. <http://statistica.regione.marche.it/LinkClick.aspx?fileticket=UPg7SaHMRMw%3d&tabid=230&portalid=0&mid=951&forcedownload=true>
- Rosas V., Loi C., Nicotra I., Pranzini E., 2014. *Dinamica dei litorali e sicurezza nella balneazione*. Codice armonico 2014, Edizioni ETS, Pisa: 16-24
- Simeoni U., Corbau C., Rodella I., 2017. *La percezione dell'offerta turistico-balneare in Italia: aspettative, soddisfazione e conoscenze degli aspetti fisico-gestionali delle spiagge*. Studi costieri, 25: 5–24.
- Simeoni U., Rodella I., Corbau C., 2016. *Risultati preliminari sulla percezione turistica delle spiagge italiane*. In: Ambiente Italia 2016: 127–140.
- Yang B., Lee J., Hwang J.S., Kweon H.M., Lee J.L., 2014. *Quantitative risk assessment for beach drowning management*. Journal of Coastal Research, 30: 117–121.
- WanJiun C., Shyue Cherng L., 2010. Analysis of Tourists' Perception and Economic Value toward a Recreational Beach in Northeastern Taiwan. SEAGA 2010, Hanoi 23 – 26 Nov. 13 pp.
- Wilks J., Kanasa H., Pendergast D., Clark K., 2016. *Beach safety education for primary school children*. Int J Inj Control Saf Promot:1–10. doi:10.1080/17457300.2016.1170043
- Whittaker A., 2003. *Public awareness campaign 'play it safe by the water' campaign. Victoria (Australia)*. In: Bierens J (ed) Handbook on drowning. Prevention, rescue and treatment. Springer, Netherlands: 131–132

Ricevuto il 14/05/2019

Accettato il 18/06/2019

Le “Rip current”: rischio per la sicurezza sulle spiagge. Esempi dai litorali del Golfo di Salerno e di Gaeta

Alessio Valente^{1,2}

¹Dipartimento di Scienze e Tecnologie, Università degli Studi del Sannio. Piazza Guerrazzi, 82100 Benevento.

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

Email: valente@unisannio.it

Riassunto

Le rip current sono flussi ristretti, che si originano all'interno della zona di surf e che si estendono verso il mare almeno fino all'area di frangenza, raggiungendo velocità relativamente elevate. Esse sono considerate il primo pericolo naturale nelle spiagge di tutto il mondo, in quanto mettono in difficoltà anche nuotatori esperti. Nell'ultimo decennio, vi è stato un numero significativo di osservazioni di laboratorio e sul campo. Tali osservazioni hanno consentito il riconoscimento di tre ampie categorie basate sul meccanismo dominante che le controlla: idrodinamico, batimetrico e di confinamento. Tuttavia, a volte la conoscenza del meccanismo che le genera non consente di contrastare l'incidenza degli annegamenti, in quanto manca una giusta comunicazione tra studiosi e utilizzatori delle spiagge. Nel litorale dove sfocia il fiume Sele nel Salernitano, le rip current enfatizzano l'erosione persino delle dune, mentre nella spiaggia di baia di Serapo a Gaeta, riparata dalle ondate più energetiche, si possono generare flussi efficaci nelle aree di sopraflutto.

Parole chiave: correnti di ritorno, spiagge, sicurezza costiera, Golfo di Salerno, Gaeta, Italia.

Abstract

The rip currents are restricted flows, which originate within the surf zone and extend towards the sea at least up to the breaker zone, reaching relatively high speeds. They are considered to be the first natural danger on beaches all over the world, as they put in difficulty even experienced swimmers. In the last decade, there has been a significant number of laboratory and field observations. These observations have allowed the recognition of three broad categories based on the dominant mechanism that controls them: hydrodynamic, bathymetric and confinement. However, sometimes the knowledge of the mechanism that generates them does not allow to counteract the incidence of drownings, as there is no right communication between researchers and beach users. Along the coast where the Sele river flows into the Salerno Gulf, the rip currents emphasize even the erosion of the dunes, while in the bay of Serapo in Gaeta, sheltered from the most energetic waves, effective flows can be generated in the updrift.

Keywords: rip currents, beach, coast safety, Salerno Gulf, Gaeta, Italy.

Premessa

Molte spiagge nel mondo sono caratterizzate dalla presenza di particolari flussi d'acqua, particolarmente stretti e concentrati, che dalla linea di riva, attraverso la zona di surf, si estendono verso il largo a distanze anche ragguardevoli. Esse sono denominate correnti di ritorno o anche di riflusso, ma sono più conosciute nella letteratura specifica come *rip currents*, guidate fundamentalmente dall'azione delle onde che si infrangono (Bowen, 1969) e si trovano quindi sulle più diverse tipologie di spiaggia esposte a diverse ondate (Wright e Short, 1984; Masselink e Short, 1993; Scott et al., 2011; Loureiro et al., 2013).

Il loro ruolo per il trasporto e la miscelazione del calore delle acque costiere, delle sostanze inquinanti, dei

nutrienti e persino di alcune specie biologiche è noto soprattutto agli specialisti (Talbot e Bate, 1987; Shanks et al., 2012; Sinnet e Feddersen, 2014). Tuttavia, le rip currents hanno acquisito sempre maggiore interesse sia scientifico sia sociale, in quanto, sono ritenute causa di pericolo per le spiagge. Specie durante eventi temporaleschi tali correnti, infatti, sono in grado rapidamente di trascinare con sé verso il largo non solo grandi volumi di sedimento, ma anche quegli utenti della spiaggia che malauguratamente ne fossero coinvolti. Nel primo caso si possono accentuare localmente i fenomeni erosivi del litorale, minacciando soprattutto le infrastrutture costiere presenti su quel particolare settore della spiaggia. Nel secondo caso invece, bagnanti, anche abili nel nuotare (Drozdowski et al., 2012), spesso contro la loro volontà, se risucchiati e trascinati dalla corrente verso il largo, giungono allo sfinimento e al panico e quindi alla morte da annegamento (Brander et al., 2011). Per queste gravi conseguenze è necessario avere una chiara comprensione del fenomeno delle rip current così da promuovere un'azione di comprensione del fenomeno e migliorare la messaggistica di sicurezza di questo particolare rischio (Miloshis e Stephenson, 2011; Arun Kumar & Prasad, 2014; Woodward et al., 2015).

Morfodinamica Costiera

Quando la terra incontra il mare in corrispondenza di un accumulo di sedimenti non consolidati e modellati dall'azione del moto ondoso, il luogo diventa oggetto di attrazione per i turisti che amano fare il bagno in acque poco profonde o distendersi lungo quell'accumulo a godersi i raggi del Sole. Questa forma costiera è rappresentata dalla spiaggia, che nei molti contesti in cui si estende (geografici, geologici, climatici, ecc.), presenta caratteristiche piuttosto diverse, al punto che ogni turista potrebbe darne una definizione particolare e di rado completa. Inoltre, un'ulteriore difficoltà per il fruitore di questo luogo è che la spiaggia può cambiare d'aspetto nel corso delle stagioni e degli anni, e, in casi eccezionali, persino nella stessa giornata, quindi è un elemento del paesaggio estremamente dinamico.

La maggior parte dei sedimenti che costituiscono una spiaggia, soprattutto alle medie latitudini, è il risultato dell'alimentazione dei fiumi che sfociano in quel tratto di litorale, ed in misura minore dall'erosione delle falesie adiacenti, dalla disgregazione di gusci di conchiglie, e addirittura da residui legati all'attività antropica. Questi sedimenti nel loro complesso sono soggetti alle onde, che trovandosi in acque basse (inferiori alla metà della loro lunghezza d'onda) sono in grado di esercitare, in associazione con le correnti da esse indotte, un'efficace azione morfodinamica. Se quest'azione dovesse essere intensa al punto da allontanare un volume importante di sedimento dalla spiaggia, come accade soprattutto nei mesi invernali, oppure se addirittura essa dovesse essere esercitata su un accumulo con un insufficiente quantitativo di sedimento, per mancata alimentazione, è possibile che l'accumulo si riduca drasticamente o scompaia del tutto. Si precisa, comunque, che la spiaggia nei mesi estivi tende a recuperare il deficit di sedimento perso, se questo riesce ad essere recuperato dai fondali dove è andato disperso (Pranzini, 2004).

Quanto detto evidenzia come l'energia delle onde sia il fattore principale che controlla lo sviluppo e i cambiamenti di una spiaggia, anche se poi possono esserci condizioni locali in cui prevale una condizione energetica a minore o maggiore intensità. L'onda entrando in acqua bassa, tra le altre trasformazioni che subisce, frange, cioè dissipa in modo turbolento una parte dell'energia trasportata. Da quel momento l'onda, talora spumeggiando, risale il pendio (zona di surf) che costituisce la spiaggia sommersa, anzi in prossimità della battigia sembra volerla scavalcare (flutto montante), per poi discendere per gravità nuovamente il pendio (risacca) (Komar, 1998; Masselink et al., 2011). In questa sequenza dell'avanzare dell'onda, che sembra ripetersi in ogni spiaggia, vi sono differenze sostanziali non sempre facilmente percepibili, ad esempio, nella quantità di energia dissipata e riflessa e quindi nella morfologia della spiaggia che ne deriverebbe. La consequenzialità è da mettere in relazione alla capacità delle onde su fondali minori di erodere e depositare i sedimenti, dando luogo a forme e strutture particolari. A tal fine, sono altresì da tenere in considerazione l'esposizione della spiaggia alle onde, la pendenza della spiaggia e le dimensioni dei sedimenti costituenti la spiaggia. L'insieme di queste caratteristiche è stata utilizzata per suddividere le spiagge in riflessive, dispersive e intermedie (Wright e Short, 1984). Nelle prime si ritrovano spiagge ripide, spesso costituite da ciottoli e ghiaia, nelle seconde sono comprese quelle sabbiose a debole pendenza e con un'articolazione del pendio rappresentata da una serie di barre sommerse. In quelle intermedie abbiamo caratteri transizionali tra le due tipologie. Tuttavia, le condizioni della zona di surf possono anche essere particolari, ad esempio, nelle spiagge ancora considerate riflessive può estendersi un terrazzo cosiddetto di bassa marea, così come in quelle completamente dissipative le barre possono anche mancare totalmente e descrivere un profilo concavo verso l'alto.

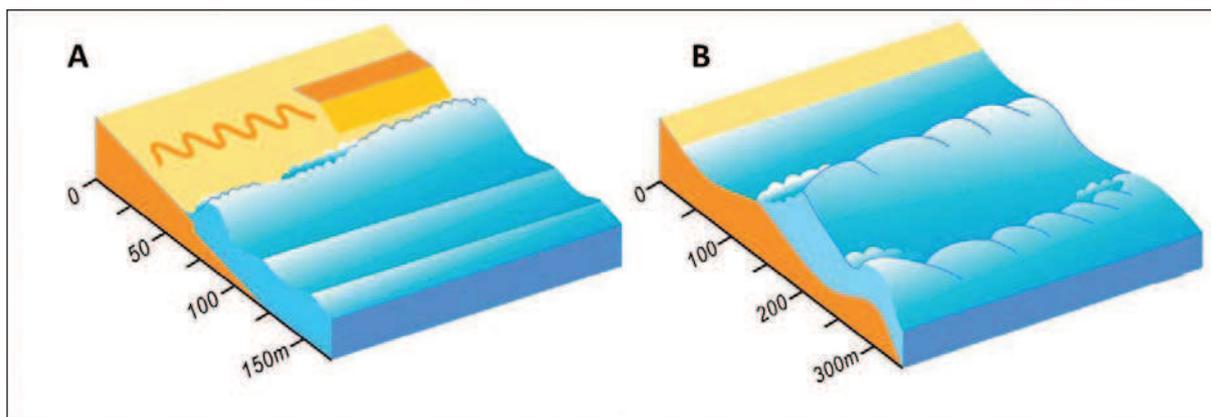


Figura 1. Morfologia delle spiagge: A Riflessive (sono indicate con idonea simbologia le possibili cuspidi e le berme); B dissipative (nel profilo sommerso sono riportate due barre) (disponibile sul sito <https://www.niwa.co.nz/coasts-and-oceans/nz-coast/>).

Nelle spiagge riflesse (Fig.1a) la dissipazione dell'onda, con relativa turbolenza, avviene in pratica sulla spiaggia emersa o nella zona immediatamente a ridosso della battigia, al punto da dire che la zona di surf è assai limitata o del tutto assente. La battigia mostra un suo gradino che risulta più pronunciato con l'aumentare dell'altezza delle onde. In queste condizioni la linea di costa può apparire molto ritmica ovvero con cuspidi di sedimento grossolano rivolte verso mare, ugualmente distanziate, e leggere depressioni a cucchiaio con materiale più fine. Tali cuspidi deriverebbero probabilmente dall'azione combinata delle onde incidenti e di quelle riflesse, che alternerebbero una differente azione erosiva sulla battigia. Comunque, laddove la spiaggia è soggetta ad un'energia del moto ondoso minore, in occasione delle tempeste, si formano sulla spiaggia emersa delle berme, cioè "nastri" residuali di sedimento relativamente più grossolano con associati gusci, integri e non, di organismi. Tali berme si possono estendere per tutta l'estensione della spiaggia.

Nelle spiagge dissipative (Fig. 1b) un ruolo importante è dato dalla presenza delle barre separate da truogoli, approssimativamente parallele alla costa. La loro presenza è enfatizzata in termini di numerosità e altezza della cresta nel profilo invernale, mentre nel periodo estivo, esse tendono ad appiattirsi e a migrare, fino a saldarsi alla riva. Su ogni ordine di barra sommersa l'onda che trasla verso riva può frangersi e quindi lasciare una parte di energia, non impedendole però di giungere sulla battigia e, in occasione degli eventi meteomarinari più intensi, di penetrare fino al piede della duna, che ne limita la porzione emersa della spiaggia. Verosimilmente, nella costruzione delle barre si deve richiamare il flusso rivolto verso il largo piuttosto che quello verso costa. Infatti, nel ridiscendere il pendio, il flusso perde velocità e abbandona il carico dei sedimenti "strappato dalla battigia" sulla zona di surf dove accrescerà una barra. L'irregolarità del fondo determinata da questi accumuli e dei truogoli che li separano può caratterizzare la porzione sommersa della spiaggia, dove si possono contare un numero rilevante di linee di frangenza (o di schiume). Spesso a far perdere di continuità longitudinale alle barre vi sono dei canali stretti, pendenti ed estesi verso il largo, che possono generarsi anche nel corso di una tempesta, ad enfatizzare qualitativamente e quantitativamente la genesi di questi flussi, noti come rip current. Essi, descritti per la prima volta da Shepard et al. (1941) della Scripps Institution of Oceanography, accadono su diverse morfologie delle spiagge, anzi si potrebbe dire che esse concorrono a modellarne soprattutto la parte sommersa. Probabilmente le spiagge più estese e piatte ne sono meno soggette, mentre quelle con i fondali più irregolari (dissipative e transitive) o con maggiore ripidità (riflessive) possono essere più "avvantaggiate". Il flusso verso il largo, che interessa l'intera colonna di acqua, nelle prime tipologie trova contributi dalle risposte differenti all'onda di traslazione che si sposta tra barre e truogoli, nelle seconde tipologie trova nelle interazioni tra onde incidenti e riflesse, già richiamati per le cuspidi, la sua "alimentazione". L'eccedenza di acqua così determinata sulla riva defluisce verso mare (collo) con una corrente che scava il canale, la cui profondità è maggiore rispetto ai suoi lati, e che con una certa ripidità supera la zona dei frangenti disperdendosi a ventaglio verso il largo (testa) (Pranzini, 2004; Komar, 1998; Masselink et al., 2011).

Rip currents sulle spiagge

Le rip current sono flussi ristretti diretti verso il mare, che si originano all'interno della zona di surf e si estendono verso il mare almeno fino all'area dei frangenti (Fig. 2); le velocità di questi flussi sono relativamente elevate. Se all'inizio si indicavano velocità di 0-1 m/s (Shepard & Inman, 1950), o anche meno (Sonu, 1972; Huntley et al., 1988; Short e Hogan, 1994), oggi per alcune di queste correnti sono state misurate velocità anche superiori a 10 m/s.

Nell'ultimo decennio, vi è stato un numero significativo di osservazioni di laboratorio e sul campo all'interno di sistemi costituiti da queste particolari correnti. Tali osservazioni suggeriscono che la resistenza a questa corrente s'incrementa con l'aumentare dell'energia delle onde e la diminuzione delle profondità dell'acqua. La corrente media massima sarebbe misurata all'interno della zona di surf, dove è presente la forza massima dovuta alla dissipazione delle onde (MacMahan et al., 2006).

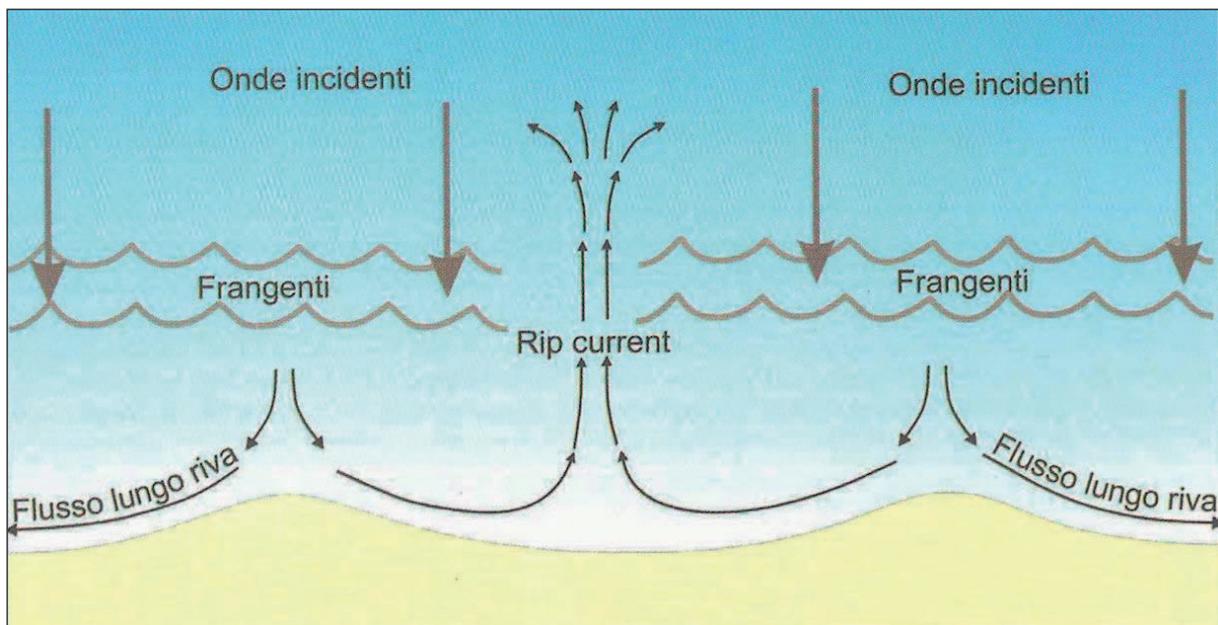


Figura 2. Rip current: circolazione dell'acqua nella spiaggia sommersa e modellazione della linea di costa (da Pranzini, 2004).

Le rip current possono essere classificate in tre ampie categorie basate sul meccanismo dominante che le controlla: (1) idrodinamico, (2) batimetrico e (3) confinamento (Castelle et al., 2016). Tuttavia, non si possono tralasciare situazioni, in cui il meccanismo di controllo per tali correnti può essere misto, cioè, ad esempio, comprendere sia condizioni idrodinamiche sia batimetriche. Per queste situazioni, il comportamento delle correnti rimane ancora incerto.

Nel caso del controllo idrodinamico le correnti sono in genere transitorie sia nel tempo che nello spazio su spiagge aperte a pendenza uniforme o con terrazzo di bassa marea. Studi quantitativi su questo tipo di controllo sono recenti e ancora limitati, tuttavia sembra che l'intensità delle correnti aumenti con l'angolo di incidenza delle onde, nonché con l'altezza e il periodo delle onde.

Le onde incidenti obliquamente su di una costa, infatti, determinano la circolazione delle correnti nella zona di surf. Più specificamente, l'onda obliqua produce un flusso diretto verso costa e una corrente parallela alla riva che nel suo fluire lungo di essa può mostrare delle instabilità, tali da dar luogo a vortici e quindi a correnti di risucchio forti e strette dirette verso il largo.

Un analogo comportamento sembra poter esser invocato anche con onde incidenti perpendicolarmente o quasi alla costa. Ad esempio, sono state osservate delle rip improvvise della durata relativamente breve (2-5 minuti) su spiagge ripide, e ciò potrebbe implicare un ruolo anche della pendenza della spiaggia.

Le rip controllate dalla batimetria della spiaggia sono relativamente persistenti nello spazio e nel tempo per un dato regime di onde e altezza di marea. Esse sono guidate da processi idrodinamici fortemente influenzati

dalla variabilità naturale rilevabile verticalmente lungo la costa ed, in particolare, nella zona di surf più interna, dove è presente un canale che l'attraversa e si allunga verso il largo, o nella zona più esterna, dove può svilupparsi un'anomalia batimetrica.

Il primo caso rappresenta la tipologia di rip current più documentata e meglio compresa data la loro natura prevedibile, la relativa facilità di misura e l'ampia casistica (Brander e Scott, 2016). Esse sono associate prevalentemente alle caratteristiche riscontrate nelle spiagge intermedie, cioè con caratteri transizionali tra quelle dissipative e riflessive (Wright e Short, 1984), dove canali profondi pressoché ortogonali alla costa possono svilupparsi tra le barre sabbiose delle zone di surf (Brander e Cowell, 2003; Castelle e Coco, 2012; Houser et al., 2013; McCarroll et al., 2015). Tali barre sono creste di sabbia, separate da solchi o truogoli paralleli alla costa, in genere presenti nel tratto di pendio sommerso immediatamente a ridosso della riva.

I canali da rip mostrano mediamente profondità, larghezza e spaziatura rispettivamente di 1 m, 10 m e 100 m (ad es. Short, 1985; Short e Brander, 1999; Brander e Cowell P.J., 2003; Turner et al., 2007, Thornton et al., 2007; Gallop et al., 2011) e possono stazionare nella loro posizione per periodi di giorni, settimane e perfino mesi. In questo caso le correnti da riflusso si generano per le variazioni di energia che subiscono le onde di traslazione a causa della diversa profondità dell'acqua (Wright e Short, 1984; Brander e Short, 2001; Haller et al., 2002). Si fa presente che queste condizioni, rilevate per fondi sabbiosi mobili, sono state avanzate anche per piattaforme costiere rocciose, ovvero banchine artificiali sommerse con canali incisi, praticamente permanenti nel tempo.

Analogamente al caso dei canali, le rip determinate dalla presenza di anomalie batimetriche più a largo della zona di surf si verificano in luoghi fissi, anche se funzionali alla variabilità dei frangenti lungo la costa. Sono considerate anomalie batimetriche tutte quelle forme rilevate o depresse che si trovano a largo della costa nella zona di piattaforma interna, normalmente piatta ed uniforme. Più specificamente, si fa riferimento a cordoni sommersi con relative depressioni, a costruzioni organogene e a caratteristiche geologiche isolate quali affioramenti del substrato roccioso, forme vulcaniche secondarie, canyon sottomarini. Tali anomalie influenzano fortemente la propagazione delle onde incidenti obliquamente la costa, creando una rifrazione che si manifesterà con una diversa altezza e angolo nei frangenti, che giungono sulla costa, e ciò creerà correnti lungo costa opposte che defletteranno a largo in una rip. Questo meccanismo è descritto più dettagliatamente da Long e Özkan-Haller (2005, 2016) per correnti di questo tipo generate a La Jolla, in California, causate da un canyon sottomarino in mare aperto. Mentre, sulle conseguenze di questo tipo di correnti in Italia si faccia riferimento a Cocco et al. (1988) e a De Pippo et al. (2004) per i canyon che incidono la piattaforma costiera nel litorale ionico lucano.

Infine, l'ultimo meccanismo di controllo delle rip è rappresentato da quelle spiagge limitate da promontori naturali o da strutture antropogeniche (frangiflutti, moli, piloni) (Short, 1992, Scott et al., 2011). Tale confinamento è in grado di esercitare efficacemente un controllo batimetrico laterale sulla generazione di flussi diretti al largo adiacenti ad essi. Si possono distinguere due tipologie diverse, a seconda di quale lato dell'ostacolo intercetta le onde che si avvicinano obliquamente alla costa. Se il lato è sottocorrente la rip, che si genera in corrispondenza del limite, dipenderà dalla geometria della regione "in ombra" dell'onda, nonché dalla forma ed estensione trasversale del limite rigido (Pattiaratchi et al., 2009; Castelle e Coco, 2012; Scott et al., 2016). Mentre se il lato è sopra corrente, l'intensa corrente lungo costa, generata dalle onde incidenti obliquamente, una volta intercettato l'ostacolo sarebbe deviata verso il mare determinando la rip (Silva et al., 2010; Scott et al., 2016). Questo meccanismo di controllo rende permanente la posizione della corrente nel tratto di costa confinato.

Criticità nella sicurezza

Le rip current rappresentano oltre l'80% degli sforzi di salvataggio dei bagnanti e sono il primo pericolo naturale nelle spiagge di tutto il mondo. Da una statistica sulle spiagge della Florida addirittura sembra che siano più le persone vittime delle rip piuttosto che degli uragani e tornado (Houser et al., 2011; Caldwell et al., 2013). Pertanto, la comprensione del modo in cui i bagnanti catturati da un flusso onshore debbano reagire o tentare di fuggire è una questione di ricerca di grande importanza sociale. Infatti, la definizione del regime di circolazione del flusso che può trasportare i bagnanti in mare aperto potrebbe non bastare come strategia ottimale per sfuggire alle rip (ad esempio McCarroll et al., 2015; Castelle et al., 2016).

A causa della tradizionale percezione del flusso di uscita, i primi consigli sulla sicurezza in spiaggia per gli

utenti che si trovavano a fare il bagno, erano "nuotare in parallelo" verso la spiaggia per sfuggire alla corrente e raggiungere la sicurezza su una sabbia poco profonda dell'adiacente barra, o semplicemente nuotare fuori dal flusso. Invece, se si dovesse considerare il tempo di ricircolo della corrente si potrebbe cercare di mantenersi "a galla" minimizzando il dispendio energetico del bagnante e confidando in esso che nell'ordine dei minuti lo potrebbe portare a profondità più basse. McCarroll et al. (2015) hanno sviluppato il primo modello numerico di bagnanti che scappano da una rip current. È stato dimostrato che il tempo di sicurezza in genere diminuisce per i bagnanti più alti con una maggiore velocità di nuoto, e che il nuoto lento e costante può avere più successo del semplice rimanere a galla. Comunque, spesso come è stato verificato, le strategie di fuga falliscono a causa della notevole variabilità naturale che è imposta alla rip current dalla morfologia della spiaggia sommersa o dall'idrodinamica. Nel caso in cui si è coinvolti da una corrente di questo tipo, quello di cui si può essere certi, è di evitare contro corrente perché le nuotate eseguite per sfuggire al flusso saranno del tutto inutili. Tuttavia, qualora il flusso si muovesse obliquamente rispetto alla costa (circa 45°), lo sforzo di tornare a terra, puntando verso riva in linea retta, potrebbe avere qualche possibilità di riuscita. Altra raccomandazione è di nuotare parallelamente mantenendosi lontano dai promontori ovvero da opere di difesa costiera, quali pennelli o moli. Infatti, flussi intensi diretti verso il largo sono innescati sul lato sopraflutto. Per questo si raccomanda, soprattutto in occasione di mareggiate, con ondate oblique alla costa di nuotare sul lato sottoflutto della struttura, ma non troppo vicino ad essa. Una strategia, utilizzata in alcuni paesi (ad esempio, USA, Australia), è la prevenzione (Houser et al., 2011; Brighton et al, 2013 Brannstrom et al., 2014). Più specificamente, nelle spiagge in cui le rip current sono frequenti sono disposte idonee segnalazioni come cartelli in corrispondenza degli accessi o come bandiere gialle e rosse a delimitare i tratti in cui si può entrare con sicurezza in mare. In taluni casi le associazioni di salvamento dovrebbero verificare la corretta posizione, e nel caso in cui l'occorrenza della rip migrasse, ricollocare in altra posizione le bandiere. Infine, potrebbe essere utile tenere a mente alcuni indicatori per identificare le rip current su una spiaggia. Un canale da rip è riconoscibile in quanto mostra un colore dell'acqua più scuro oppure un flusso che si muove verso il largo, trasportando del sedimento, si evidenzerebbe per un colore diverso delle acque. Vedere altresì in mare aperto una linea di schiuma ovvero notare un'interruzione o un indebolimento della linea dei frangenti sarebbero altri indizi per distinguere una rip current. Queste indicazioni sono utili ma la migliore strategia per migliorare la sicurezza è quella di promuovere campagne di educazione pubblica per contribuire a diminuire l'incidenza di annegamento in spiaggia.

Esempi

Litorale del Golfo di Salerno

L'analisi dei rilievi pluriennali eseguiti sul litorale campano sotteso dal Fiume Sele ha evidenziato un assetto morfologico alquanto articolato della spiaggia sommersa per i suoi 34 km di lunghezza (D'Acunzi et al., 2008). Sulla base dei caratteri morfologici, sedimentologici e dinamico-evolutivi è possibile distinguere la presente area in due settori a caratteristiche diverse (Provincia di Salerno, 2013): il primo, nord-occidentale, sotteso dai corsi d'acqua dei fiumi Picentino, Tusciano e torrente Asa ed il secondo, sud-orientale, sotteso dal F. Sele e dai corsi minori Capodifiume e Solofrone.

Il settore settentrionale, esteso circa 10 km, presenta spiagge strette e sabbioso-ciottolose, limitate verso terra da aree urbanizzate selvaggiamente senza ordine urbanistico-ambientale. La spiaggia sottomarina, in base ai dati ad oggi disponibili, entro i -5 m è caratterizzata da un sistema barra-truogolo di notevole sviluppo verticale da sistemi a barra bassofondo, caratterizzati da una cresta a profondità 1.5/2.7 m e distanza di 100 m dalla riva, ed un bassofondo tra -1 m e -2 m, senza truogolo per una estensione di quasi 100 m.

Da studi recenti relativi ad una parte della più ampia Piana del Sele si è osservato come le zone dei truogoli coincidano sulla battigia con profonde rientranze, mentre le zone di bassofondo con pronunciati lobi di protendimento (topografia ritmica "sand-wave"). Tale singolare osservazione assume importanza poiché nelle rientranze si rilevano i maggiori tassi di erosione a differenza dei protendimenti. Nei primi l'erosione è causata dall'elevata energia posseduta dalle onde, che frangono direttamente sulla battigia, mentre nei secondi le onde hanno un minor contenuto energetico a causa della rifrazione generata dai fondali più bassi. Al tratto sistema barra-truogolo, che mostra una pendenza variabile da oltre 2,5% a 1,8% (da nord a sud), seguono fondali fino alla profondità di 15 m pressoché uniformi con pendenza intorno all'1%. La granulometria dei sedimenti caratteristici è rappresentata da sabbie e ghiaie poco assortite, entro i 2 m di profondità, da sabbie

fini fino a -5 m e da sedimenti via via più sottili (sabbie molto fini) fino alla profondità di 15 m.

Il secondo settore presenta spiagge prevalentemente sabbiose, limitate verso l'interno da uno e/o due cordoni dunali, fortemente antropizzati ed in buona parte urbanizzati. La spiaggia sottomarina è caratterizzata da uno o due, sistemi di barre e truogoli entro la profondità di 5 m ed a distanze fino a 260 m dalla riva. La pendenza in questo secondo settore si attesta intono ad $1.7/1.8$ %, anche se tende a diminuire verso sud in conformità con la direzione della corrente lungo costa. Dal punto di vista tessiturale i sedimenti con le granulometrie maggiori (sabbia medio-grossolana, più raramente frammista a ciottoli) sono presenti esclusivamente in battigia, seguono sabbie medie entro i -4 m, quindi sabbie fini e molto fini entro i -5 m. I sedimenti sono prevalentemente ben assortiti tranne che nell'area di foce Sele, dove da poco assortiti passano, verso il largo, a moderatamente assortiti e quindi ben assortiti. In entrambi i settori, laddove la pendenza oscilla intorno ad $1,8\%$, sono stati rilevati diversi canali pressoché perpendicolari alla linea di riva, ad che incidendo le barre originarie parallele alla riva, le hanno fortemente ridimensionate. Tali canali sono incisi nel fondo prevalentemente tra 0 e 5 m di profondità e, in base ai caratteri granulometrici risultanti, svolgono il ruolo di evacuazione verso il largo dei flussi e dei sedimenti asportati dal fondo.

Più specificamente, si evidenzia come le barre siano costituite da sabbie fini, mentre i canali siano caratterizzati dalla presenza di sedimenti sabbiosi medi, più grossolani dei precedenti e relativamente meglio classati. La maggiore taglia dei sedimenti presenti nei canali e il migliore grado relativo di selezione dei sedimenti rispetto a quelli delle barre ben si correla all'elevata energia idrodinamica dei flussi d'acqua, diretti verso mare, nei canali incisi nel fondo da parte verosimilmente di rip current con interasse di circa 200 m (Pennetta et al, 2011). La presenza di tali correnti è stata confermata da recenti indagini (Benassai et al., 2017). Il meccanismo che li guiderebbe sembra essere legato sia alle correnti lungocosta (idrodinamico) sia alla presenza di un'articolata morfologia nella zona di surf.

Le rip current, inoltre, sono state ritenute anche responsabili della modifica del disegno della spiaggia. Infatti, la linea di riva risulta essere ritmica costituita da cavi separati da cuspidi con un intervallo medio di un centinaio di metri. I cavi sono ubicati in corrispondenza dei canali di rip e le barre in corrispondenza delle cuspidi. L'attività di erosione delle rip current sul fondo marino mobile ha ripercussioni anche sulla spiaggia emersa, inducendo processi di erosione localizzati che si traducono in discontinuità a carico del sistema dunale. Le discontinuità promuovono la genesi di blowouts e di dune paraboliche nella spiaggia intermedia, prodromici di severi processi erosivi del sistema costiero, peraltro già piuttosto evidenti nel tratto di litorale investigato.



Figura 3. Tratto del litorale del Golfo di Salerno in cui sono state evidenziate rip current: a) rilievo batimetrico eseguito dalla Provincia di Salerno (2013) e b) contemporaneo rilievo fotogrammetrico.

Spiaggia di Serapo in Gaeta

Diverso è l'esempio presso la spiaggia di baia di Serapo in Gaeta (Lazio), dove piuttosto che avere una lunga attività di monitoraggio, si considerano le osservazioni eseguite negli ultimi 50 anni (Regione Lazio, 1985; 2014). Questa spiaggia, considerata una spiaggia di baia (pocket beach) si estende per circa 1,5 km tra due promontori aggettanti verso il Mar Tirreno centrale con andamento WNW-ESE (Valente, 1999). Il promontorio occidentale si estende verso mare per 275 m, mentre quello orientale per poco più di 150 m. La spiaggia con una lieve incurvatura era fino agli inizi del secolo scorso delimitata da alte dune, oggi è confinata da stabilimenti balneari, residenze turistiche e persino strutture alberghiere, si può dire che è completamente inglobata nel tessuto urbano di Gaeta. Esempi di vegetazione dunale sono ancora presenti nel tratto centrale e in quello più orientale non occupato da stabilimenti balneari. Il cospicuo accumulo sabbioso rappresentava nell'Olocene, come testimoniano sondaggi eseguiti più all'interno, il tombolo di ponente che racchiudeva una laguna interna. Il suo netto rientro rispetto all'andamento costiero occidentale favorisce lo scarico su di essa dei sedimenti in transito a cui si aggiungono ai tributi locali. La granulometria delle sabbie varia da sabbie fini (aree occidentali) a medie (aree orientali) con una buona classazione. A luoghi si rileva la presenza di pomici fino a 5 cm. La Spiaggia di Serapo ha un'ampiezza variabile da oltre 110 m ad est a meno di 50 m ad ovest. La pendenza del fondale antistante ad essa è mediamente dell'1,1%, ma tende ad aumentare verso est, come si desume dalla cartografia dell'I.I.M. e dalla restituzione dei rilievi eseguiti dalla Regione Lazio disponibili sul loro portale. Dall'analisi delle batimetriche, infatti, risulta una spiaggia sommersa con un gradiente maggiore nelle aree orientali prossime alla falesia di Monte Orlando e minore nelle aree occidentali anche in conseguenza dell'attenuazione del moto ondoso per la presenza di uno scoglio denominato Nave di Serapo posto a ridosso del promontorio che delimita la spiaggia. Nella spiaggia sommersa sono stati rilevati almeno due ordini di barre più continui nell'area centrale con creste rispettivamente alle profondità di circa 1 m e 3 m a breve distanza dalla riva. L'interfaccia tra il mare è la spiaggia emersa assume un profilo ondulato con un paio di cavi e protondimenti, simile a quanto visto nel precedente esempio. In corrispondenza di uno dei cavi, si riconosce anche visivamente un canale pressoché perpendicolare alla costa sviluppata ai due-terzi



Figura 4. Foto di una rip current scattata dal promontorio di Monte Orlando che delimita ad est la spiaggia di Serapo in Gaeta durante ondatazione proveniente da libeccio.

della sua estensione procedendo verso est. Un altro meno pronunciato e meno allungato è invece ad ovest. Questi canali sono utilizzati dalle rip current quando le agitazioni risultano intense ed hanno provocato, sia pure in modo diseguale, disagi ed incidenti ai bagnanti. Comunque, le rip risultano essere più “efficaci” sul canale orientale quando si trova in condizioni di sopraflutto. Tale comportamento è in conformità con quanto visto per le rip in ambiti confinati.

Conclusioni

Da quanto visto in questa breve rassegna, le rip current sono degli intensi flussi d’acqua causati dal moto ondoso del mare, che si formano davanti alla spiaggia. Esse sono dirette verso il largo al di là della zona dei frangenti con velocità superiori a quelle dei nuotatori più esperti. Per questo sono ritenute su molte spiagge del mondo un pericolo concreto, su cui però non sono sempre sviluppate le necessarie precauzioni. La morfologia delle spiagge, in cui questi flussi possono generarsi, sono quelle dissipative o ancora meglio transitive, dove l’onda comincia a frangere ad una certa distanza dalla linea di riva.

Più specificamente, se questo tratto mostra pendenze che oscillano tra l’1 e il 2% l’occorrenza di queste rip sembra maggiore. Visivamente, questo si evidenzia di frequente da un truogolo a ridosso della barra piuttosto pronunciato. Le osservazioni eseguite hanno constatato che molte correnti di questo tipo si formano attraverso una combinazione di diversi meccanismi, che possono essere ricondotte a tre ampie categorie. Ogni categoria si basa sul meccanismo di forzatura dominante, che genera tipologie di correnti differenti.

Quando le rip risultano transitorie, sia nel tempo che nello spazio il meccanismo di controllo è da mettere in relazione prevalentemente con l’instabilità di forti correnti lungo costa nella zone di surf. Nel caso invece che le rip avvengano in posizioni relativamente fisse, esse sono guidati da processi idrodinamici fortemente influenzati dalla variabilità naturale nella morfologia tridimensionale lungo la costa e nella zona di surf (es. variazione della dissipazione di energia delle onde in corrispondenza del sistema barre e truogoli, presenza di interruzioni delle barre, ecc.). Analogamente avviene se la spiaggia è confinata lateralmente (promontori naturali, strutture antropogeniche: frangiflutti, pilastri). In tal caso la corrente dipende dalla deflessione dell’onda incidente contro quest’ostacolo, ovvero dalle zone d’ombra che si verificano.

La reiterazione di rip determina la formazione di canali, la cui perpendicolarità dipende dall’angolo di incidenza del moto ondoso dominante; più questo si avvicina ai 90° meno inclinato sarà il canale. La profondità dei canali da rip, persino nella zona più prossima alla spiaggia, può superare rapidamente i 2-3 metri, e ciò può essere pericoloso per nuotatori meno allenati anche quando il mare non è mosso. Comunque, l’attivazione delle rip, indipendentemente dalla presenza dei canali, avviene quando i frangenti riescono ad accumulare una massa di acqua verso la costa, o in coincidenza di un mare appena mosso. Al di là della strategia di sfuggire a queste correnti, è necessario, per impedire che questo pericolo colpisca i bagnanti, garantire maggiore sicurezza e protezione della spiaggia. Tale garanzia potrebbe scaturire da una maggiore sinergia tra ricercatori e operatori di salvamento, al fine di migliorare l’attuale educazione e consapevolezza degli utenti della spiaggia. In tal senso la collaborazione sviluppata in Italia tra GNRAC e Società Nazionale di Salvamento è di grande auspicio per rendere meno rischiosa la balneazione (Pezzini, 2004).

Bibliografia

- Arun Kumar S.V.V., Prasad K.V.S.R., 2014. *Rip current-related fatalities in India: a new predictive risk scale for forecasting rip currents*. Natural Hazards, 70: 313-335.
- Benassai G., Aucelli P., Budillon G., De Stefano M., Di Luccio D., Di Paola G., Montella R., Mucerino L., Sica M., Pennetta M., 2017. *Rip current evidence by hydrodynamic simulations, bathymetric surveys and UAV observation*. Natural Hazards and Earth System Sciences, 17: 1493-1503.
- Bowen A.J., 1969. *Rip currents 1. Theoretical Investigations*. Journal of Geophysical Research, 74: 5467-5478.
- Brander R.W., Bradstreet A., Sherker S., MacMahan J., 2011. *The behavioural responses of swimmers caught in rip currents: new perspectives on mitigating the global rip current hazard*. Int. Journal of Aquatic Research, 5: 476-482.
- Brander R.W. e Cowell P. J., 2003. *A trend-surface technique for discrimination of surf-zone morphology: rip current channels*. Earth Surf. Process. Landforms, 28: 905-918.
- Brander R.W. e Scott T. M., 2016. *Science of the Rip Current Hazard*. In: The Science of Beach Lifeguarding: Principles and Practice (Eds. M. Tipton, A. Wooler and T. Reilly). CRC Press: 67-86.

- Brannstrom C., Trimble S., Santos A., Brown H.L., Houser C., 2014. *Perception of the rip current hazard on Galveston Island and North Padre Island, Texas*. Natural Hazards and Earth System Sciences, 72: 1123-1138.
- Brighton B., Sherker S., Brander R., Thompson M., Bradstreet A., 2013. *Rip current related drowning deaths and rescues in Australia 2004-2011*. Natural Hazards and Earth System Sciences, 13: 1069-1075.
- Caldwell N., Houser C., Meyer-Arendt K., 2013. *Ability of beach users to identify rip currents at Pensacola Beach, Florida*. Natural Hazards, 68: 1041-1056.
- Castelle B. e Coco G., 2012. *The morphodynamics of rip channels on embayed beaches*. Continental Shelf Research, 43: 10-23.
- Castelle B., Scott T., Brander R. W., McCarroll, R. J., 2016. *Rip Current Types, Circulation and Hazard*, Earth Science Reviews. 163: 1-21.
- Cocco E., De Pippo T., De Lauro M.A., Monda C., 1988. *Focus erosivi sul litorale meta-pontino (Golfo di Taranto)*. Memorie della Società Geologica Italiana, 41: 703-709.
- De Pippo T., Donadio C., Pennetta M., Terlizzi F., Valente A., Vecchione C., 2004. *Il ruolo dei canyons sottomarini nella cattura dei sedimenti marini costieri nel Golfo di Taranto*. Atti A.I.O.L., 17: 125-136.
- D'Acunzi G., De Pippo T., Donadio C., Peduto F., Santoro U., Sessa F., Terlizzi F. & Turturiello M.D., 2008. *Studio dell'evoluzione della linea di costa della piana del Sele (Campania) mediante l'uso della cartografia a numerica*. Studi costieri, 14: 5-67.
- Drozdowski D., Shaw W., Dominey-Howes D., Brander R., Walton T., Gero A., Sherker S., Goff J., Edwick B., 2012. *Surveying rip current survivors: preliminary insights into the experiences of being caught in rip currents*. Natural Hazards and Earth System Sciences, 12: 1201-1211.
- Drozdowski D., Roberts A., Dominey-Howes D., Brander R., 2015. *The experiences of weak and nonswimmers caught in rip currents at Australian beaches*. Australian Geographer, 46: 15-32.
- Gallop S. L., Bryan K. R., Coco G., Stephens S.A., 2011. *Storm-driven changes in rip channel patterns on an embayed beach*. Geomorphology, 127: 179-188.
- Haller M. C., Dalrymple R. A., Svendsen, I. A., 2002. *Experimental study of nearshore dynamics on a barred beach with rip channels*. Journal of Geophysical Research, 107: 1-21.
- Houser C., Arnott R., Ulzhofer S., Barrett G., 2013. *Nearshore circulation over transverse bar and rip morphology with oblique wave forcing*. Earth Surface Process and Landforms, 38: 1269-1279.
- Houser C., Barrett G., Labude D., 2011. *Alongshore variation in the rip current hazard at Pensacola Beach, Florida*. Natural Hazards, 57: 501-523.
- Huntley D. A., Hendry M. D., Haines J., Greenidge B., 1988. *Waves and rip currents on a Caribbean pocket beach, Jamaica*. Journal of Coastal Research, 4: 69-79.
- Long J. e Özkan-Haller H., 2005. *Offshore controls on nearshore rip currents*. Journal of Geophysical Research, 110: 1-21.
- Long J. e Özkan-Haller H., 2016. *Forcing and variability of non-stationary rip currents*. Journal of Geophysical Research, 121: 520-539.
- Loureiro C., Ferreira O., Cooper J. A. G., 2013. *Applicability of parametric beach morphodynamic state classification on embayed beaches*. Marine Geology, 34: 153-164.
- MacMahan J. H., Thornton E. B., Reniers A. J. H. M., 2006. *Rip current review*. Coastal Engineering, 53: 191-208.
- Masselink G. e Short A. D., 1993. *The effect of tide range on beach morphodynamics and morphology: a conceptual beach model*. Journal of Coastal Research, 9: 785-800.
- McCarroll R. J., Castelle B., Brander R. W., Scott T., 2015. *Modelling rip current flow and bather escape strategies across a transverse bar and rip channel morphology*. Geomorphology, 246: 502-518.
- Miloshis, M. e Stephenson W. J., 2011. *Rip current escape strategies: lessons for swimmers and coastal rescue authorities*. Natural Hazards, 59: 823-832.
- Pattiaratchi C., Olsson D., Hetzel Y., Lowe R., 2009. *Wave-driven circulation patterns in the lee of groynes*. Continental Shelf Research, 29: 1961-1974.
- Pennetta M., Sica M., Abbundo R., 2011. *Canali da rip currents nella spiaggia sommersa presso la foce del Fiume Sele (Golfo di Salerno, Italia)*. Rendiconti Online Società Geologica Italiana, 17: 139-144.
- Pezzini D. G., 2014. *Manuale di Salvamento per Bagnini di Salvataggio*. Società Nazionale di Salvamento. 260 pp.

- Provincia di Salerno, 2013. *Studi specialistici di morfodinamica costiera finalizzati al Grande Progetto "Interventi di difesa e ripascimento del litorale del golfo di Salerno"*. Disponibile sul sito <http://grandeprogetto-difosalitorale.provincia.salerno.it/>
- Regione Lazio, 1985. *Studio generale sul regime delle spiagge laziali e delle Isole pontine*. IGER.
- Regione Lazio, 2014. *Atlante della dinamica costiera (2005-2011) Tav. 6*. Disponibile sul sito <http://www.cmgizc.info/>
- Scott T. M., Masselink G., Russell P., 2011. *Morphodynamic characteristics and classification of beaches in England and Wales*. *Marine Geology*, 286: 1-20.
- Scott T. M., Austin M., Masselink G., Russell P., 2016. *Dynamics of rip currents associated with groynes - field measurements, modeling and implications for beach safety*. *Coastal Engineering*, 107: 53-69.
- Shanks A. L., Morgan S. G., MacMahan J. H., Reniers A. J. H. M., 2012. *Surf zone physical and morphological regime as determinants of temporal and spatial variation in larval recruitment*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 392: 140-150.
- Shepard F. P., Emery K. O., La Fond E. C., 1941. *Rip currents: a process of geological importance*. *Journal of Geology*, 49: 338-369.
- Shepard F. P. e Inman D. L., 1950. *Nearshore circulation*. *Proceedings of the 1st Conference on Coastal Engineering*, ASCE, pp. 50-59.
- Short A. D., 1985. *Rip-current type, spacing and persistence, Narrabeen Beach, Australia*. *Marine Geology*, 65: 47-71.
- Short A. D. e Brander R. W., 1999. *Regional variations in rip density*. *Journal of Coastal Research*, 15: 813-822.
- Short A. D. e Hogan C. L., 1994. *Rip currents and beach hazards, their impact on public safety and implications for coastal management*. In Finkl, C. W. (ed.) *Coastal Hazards*, *Journal of Coastal Research*, Special Issue, 12: 197-209.
- Silva R., Baquerizo A., Losada M. A., Mendoza E., 2010. *Hydrodynamics of a headland-bay beach - nearshore current circulation*. *Coastal Engineering*, 57: 160-175.
- Sinnott G. & Feddersen F., 2014. *The surf zone heat budget: The effect of wave heating*. *Geophysical Research Letters*, 41: 7217-7226.
- Sonu C. J., 1972. *Field observations of a nearshore circulation and meandering currents*. *Journal of Geophysical Research*, 77: 3232-3247.
- Talbot M. M. B. & Bate G. C., 1987. *Rip current characteristics and their role in the exchange of water and surf diatoms between the surf zone and nearshore*. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 25: 707-720.
- Thornton E.B., Sallenger A.H., MacMahan J.H., 2007. *Rip currents, cusped shorelines and eroding dunes*. *Marine Geology*, 240: 151-167.
- Turner I. L., Whyte D., Ruessink B. G., Ranasinghe R., 2007. *Observations of rip spacing, persistence and mobility at a long, straight coastline*. *Marine Geology*, 236: 209-221.
- Valente A., 1999. *Aspetti geologici e geomorfologici del Parco Regionale di Monte Orlando (Lazio meridionale, Italia)*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., LIV. 10 pp.
- Wright L. D. e Short A. D. 1984. *Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis*. *Marine Geology*, 56: 93-118.
- Woodward E., Beaumont E., Russell P., MacLeod R., 2015. *Public understanding and knowledge of rip currents and beach safety in the UK*. *Int. J. Aquatic Res. Ed.*, 9: 46-69.

Ricevuto il 02/06/2019

Accettato il 10/07/2019

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.

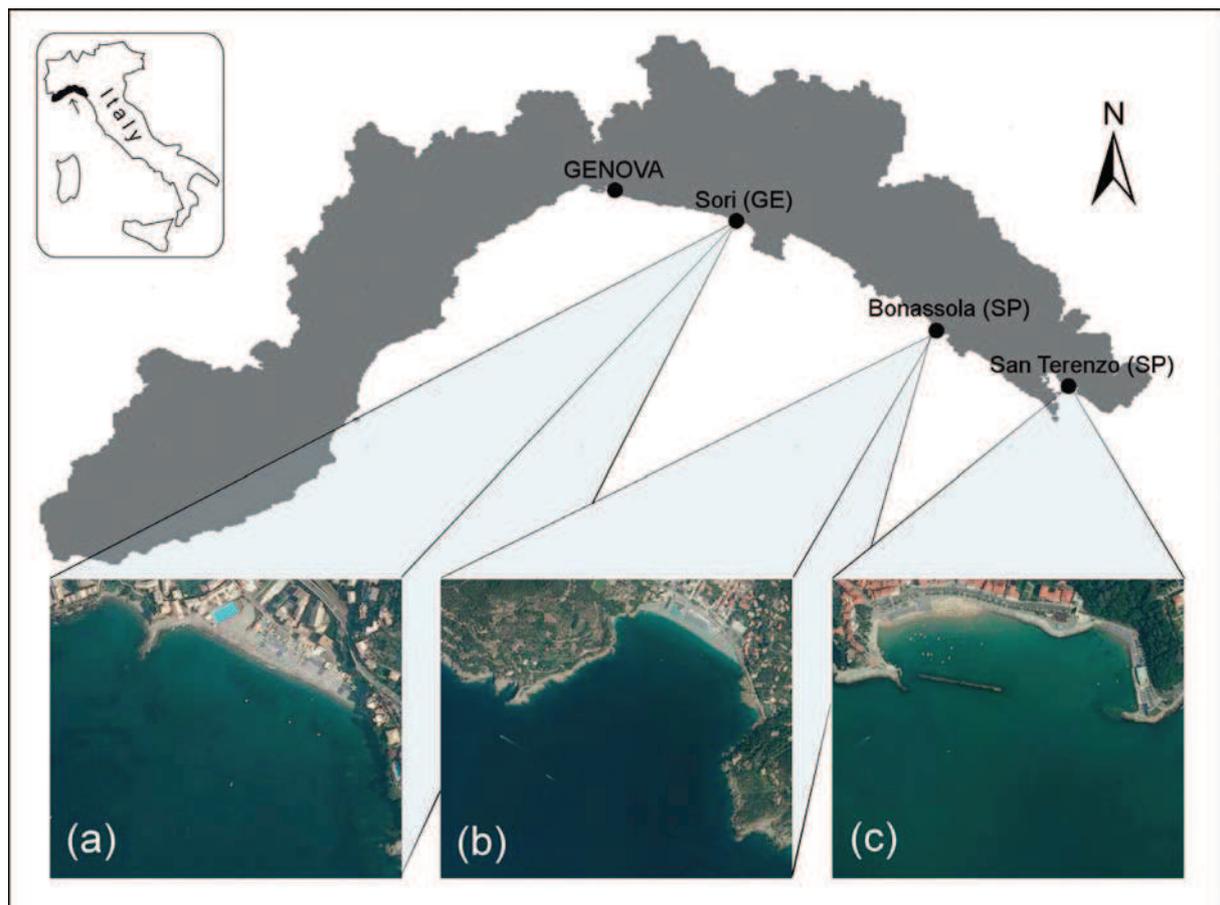


Figura 1. Le spiagge oggetto dello studio e loro ubicazione.

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).

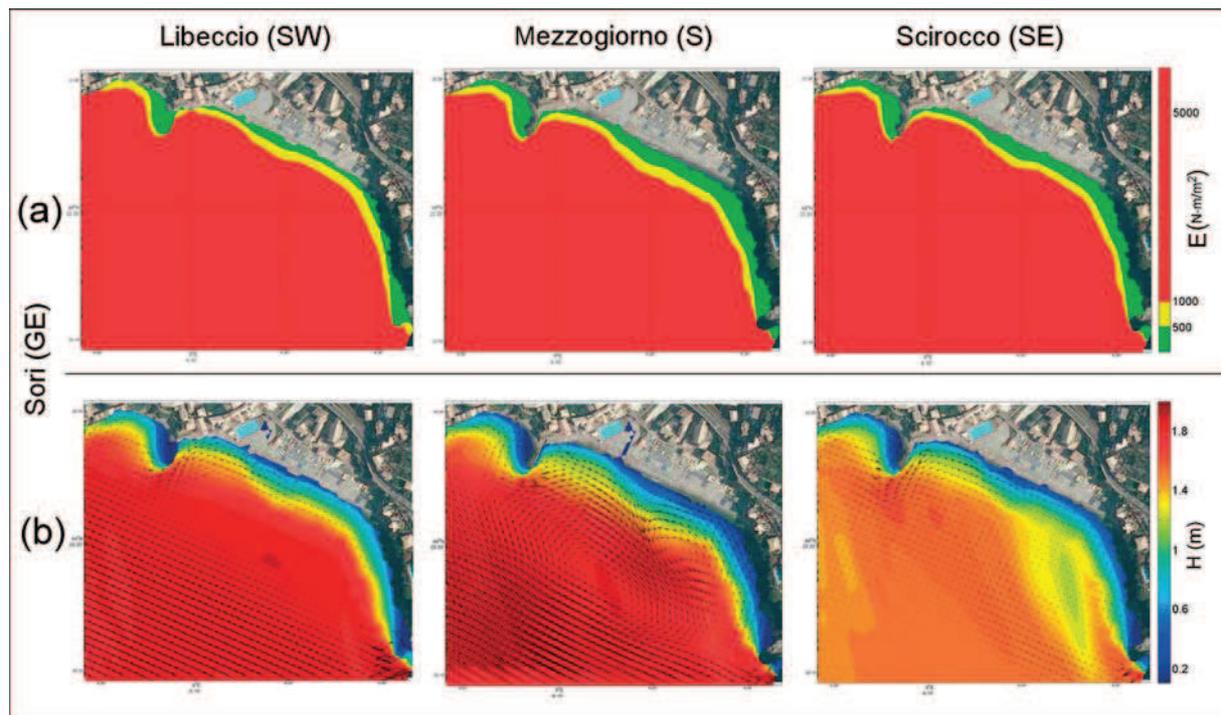


Figura 2. Valutazione dell'energia (Nm/m^2) del moto ondoso e idrodinamismo nella spiaggia di Sori in relazione alle tre principali direttrici di provenienza del moto ondoso (SW, S e SE).

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).

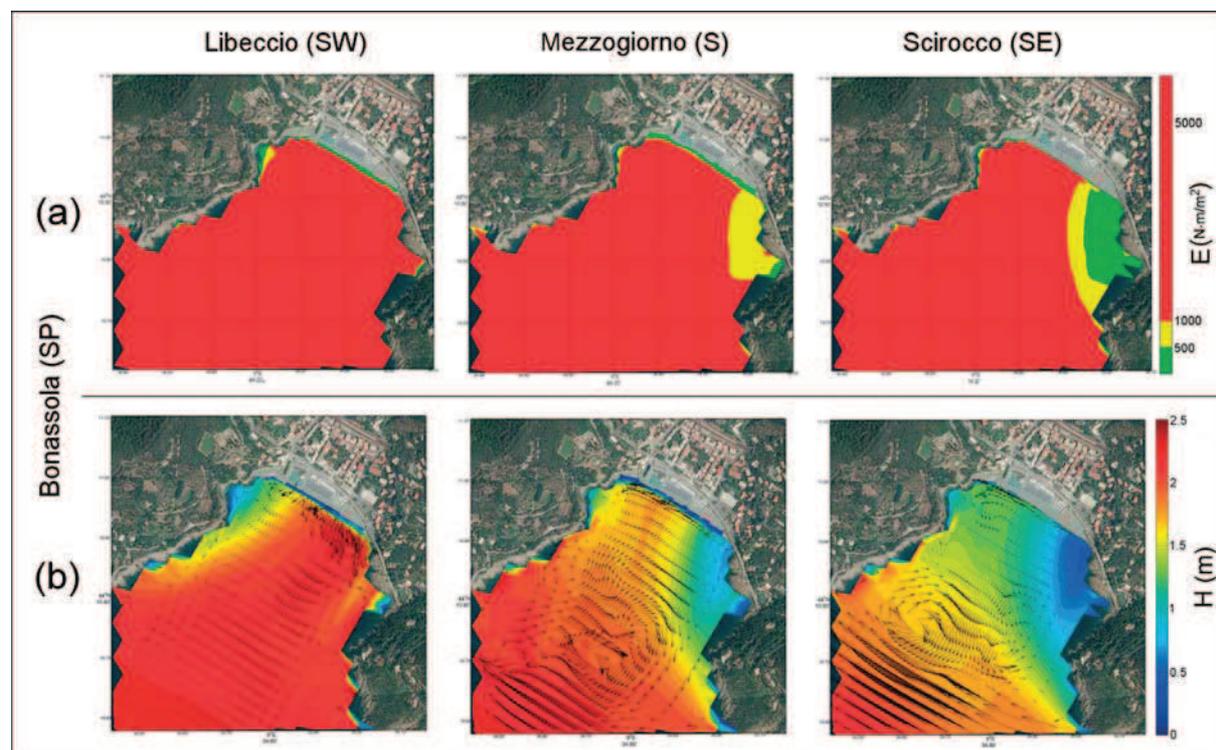


Figura 3. Valutazione dell'energia ($N \cdot m/m^2$) del moto ondoso e idrodinamismo nella spiaggia di Bonassola in relazione alle tre principali direttrici di provenienza del moto ondoso (SW, S e SE).

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.

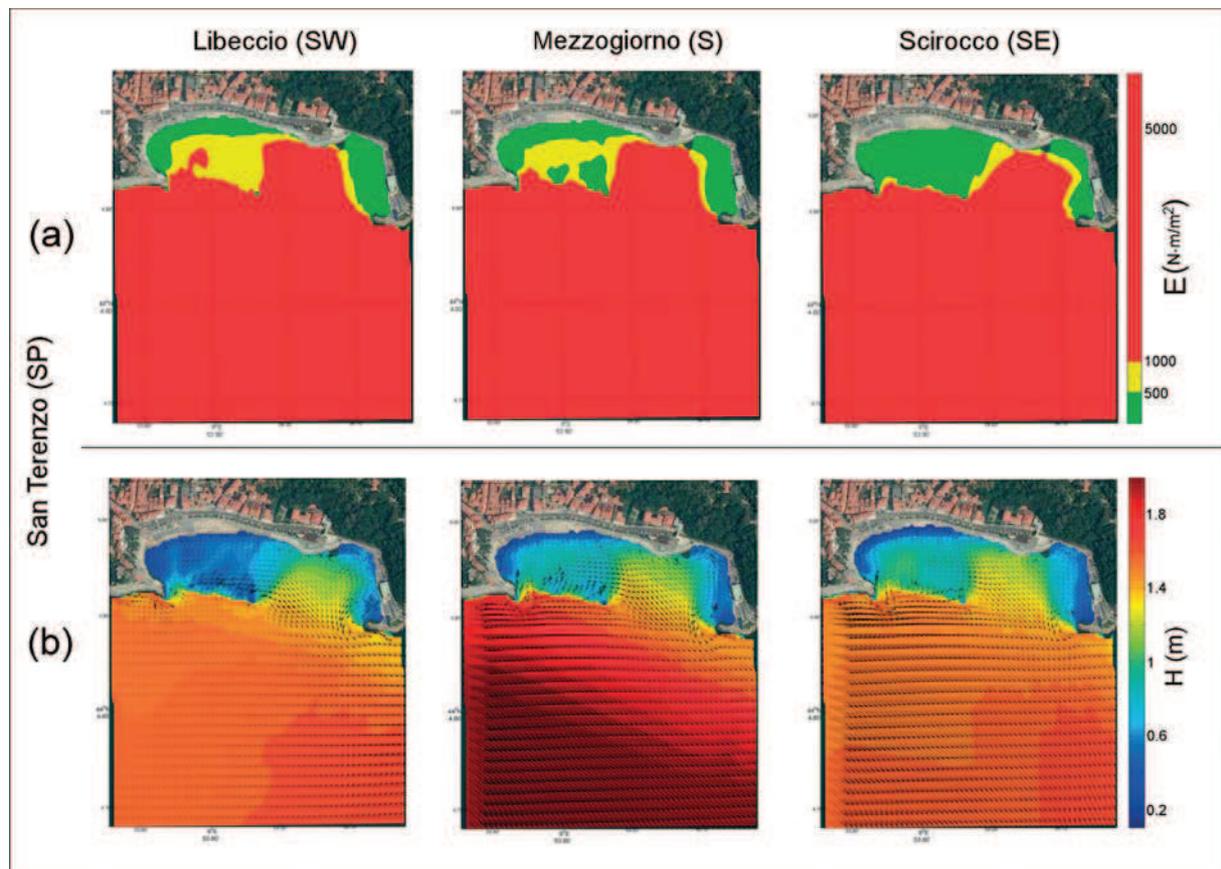


Figura 4. Valutazione dell'energia (N m/m^2) del moto ondoso e idrodinamismo nella spiaggia di San Terenzo in relazione alle tre principali direttrici di provenienza del moto ondoso (SW, S e SE).

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

Monitoraggio delle qualità ambientali delle spiagge da drone

Lorenzo Rossi^{1,2}, Irene Mammi²

¹Geocoste Snc. Via Corsi 19, 50141 Firenze.

Email: lrossi@geocoste.com

²GNRAC - Gruppo Nazionale per la Ricerca sull'Ambiente Costiero, Corso Europa, 26 - 16132, Genova.

Email: irenemam3@gmail.com

Riassunto

I metodi di rilievo basati su immagini acquisite da UAV (Unmanned Aircraft Vehicle), o più comunemente droni, sono oggi le tecniche più usate per la produzione dei modelli digitali del terreno (DTM) e le ortofoto derivate. In questo lavoro si riportano i risultati di alcune indagini sperimentali per il monitoraggio ambientale costiero utilizzando un drone economico ed altri sensori come una sonda di torbidità. Le applicazioni riguardano la mappatura dei rifiuti spiaggiati e la valutazione della torbidità delle acque durante i dragaggi. La metodologia proposta mostra che il drone può diventare un utile strumento per programmi di monitoraggio di aree costiere in ambienti sensibili.

Parole chiave: UAV, drone, monitoraggio ambientale costiero, torbidità, dragaggi, rifiuti.

Abstract

Surveying methods based on images acquired by UAVs (Unmanned Aircraft Vehicle), or more commonly drones, are today the most used systems for the production of digital terrain models (DTM) and derived orthophotos.

This paper reports the results of some experimental investigations for coastal environmental monitoring using an economic drone and other sensors such as a turbidity probe. The applications concern beach litter mapping and the assessment of turbidity of water during dredging. The proposed methodology shows that the UAV can become a useful tool for monitoring programs of coastal areas in sensitive environments.

Keywords: UAV, drone, environmental coastal monitoring, water turbidity, dredging, beach litter, Posidonia, GEOBIA.

Premessa

Le attività di monitoraggio, valutazione, rendicontazione e gestione sono componenti essenziali di ogni efficace politica di protezione costiera (Day, 2008). A tale scopo, le immagini ad altissima risoluzione ed i DTM (modelli digitali del terreno) sono tipologie di dati sempre più utilizzati nei monitoraggi degli ambienti marini (Klemas, 2015) costituendo importanti risorse sia per gli studi di gestione integrata delle zone costiere (ICZM) sia per scopi ambientali o per la sicurezza della balneazione.

Oggigiorno, questi dati sono acquisiti principalmente da sistemi LiDAR, con la fotogrammetria da drone (Papakonstantinou et al., 2016) e attraverso il telerilevamento satellitare.

La fotogrammetria da drone, spesso indicata anche con SfM (Structure from Motion), presenta, però vantaggi come la copertura completa delle aree d'interesse con un'elevatissima precisione o la capacità di fornire rapidamente immagini ad alta risoluzione spaziale unite ad un alto grado di flessibilità operativa (Nex e Remondino, 2011) ed al costo contenuto. In particolare, in campo ambientale, gli ecologisti richiedono dati raccolti a risoluzioni spaziali e temporali appropriate per descrivere i processi e per la ricostruzione degli

habitat. I droni, oltre ad essere sistemi a basso costo, sono facilmente trasportabili e in grado di raccogliere dati in breve tempo e l'utilizzo di tecniche SfM da bassa quota è aumentata soprattutto grazie allo sviluppo di queste piattaforme aeree (Yang Chao et al., 2010).

Le applicazioni sono diverse come nell'agricoltura di precisione, nell'archeologia o per il monitoraggio terrestre e marino (Lucieer et al., 2014, Turner et al., 2016).

Nella zona costiera i rilievi da drone sono principalmente utilizzati per la ricostruzioni tridimensionale della spiaggia e delle opere di difesa (Gonçalves e Henriques, 2015), per il monitoraggio della linea di riva e dei primi fondali (Mammi et al., 2017) o degli habitat emersi o sommersi (Ventura et al., 2018).

Il fine di questo studio è stato quello di effettuare una prima valutazione dei potenziali di questa metodologia rivolti ad alcune attività di monitoraggio ambientale costiero, in particolare valutare se le immagini acquisite da un drone potrebbero diventare strumenti utili a supporto della gestione costiera. A tale scopo è stato utilizzato e valutato un approccio scientifico interdisciplinare attraverso l'uso di tecniche SfM, del rilievo topografico con GPS, Side Scan Sonar e di una sonda per la misura della torbidità. Sono stati rilevati ed analizzati i dati su due aeree costiere situate presso il delta del fiume Ombrone (GR), alla foce del fiume Magra (SP) e su una spiaggia dell'Isola d'Elba (LI). Sulla prima è stata sperimentata un'applicazione per il monitoraggio dei rifiuti in spiaggia, sulla seconda lo studio è consistito nella mappatura della torbidità causata dall'attività di dragaggio, mentre all'Isola d'Elba è stato eseguito un rilievo geomorfologico del fondale marino per la mappatura della Posidonia oceanica.

Materiali e Metodi

La SfM è una metodologia di rilievo da cui si ottengono DTM ed ortofoto di un'area investigata a partire da immagini, in questo caso acquisite da drone. Per la georeferenziazione delle immagini sono anche necessari punti di controllo a terra (GCP) rilevati con GPS differenziale.

Una volta che la missione e la modalità di acquisizione delle immagini sono state programmate, il volo del drone prosegue in modalità automatica ed in autonoma. Le immagini sono registrate da una telecamera integrata sul mezzo insieme alla posizione e alle informazioni di assetto. Una alta sovrapposizione delle immagini è fondamentale per la qualità dei risultati.

Il drone utilizzato in questo studio è stato un DJI Phantom 3 equipaggiato con una fotocamera non metrica RGB da 12,4 megapixel e un obiettivo F/2,8 da 14 mm con un angolo di visione diagonale di 94°. La fotocamera è stata impostata per scattare automaticamente un'immagine ogni secondo. L'assetto e la velocità di volo sono state impostate per avere il 60% circa di sovrapposizione delle immagini al fine di ottenere modelli con risoluzioni a terra molto spinte ovvero di pochissimi cm. La precisione dipende principalmente dalla risoluzione della fotocamera, dall'altitudine e dalla velocità di volo e dal numero di GCP.

Per la misurazione della torbidità dell'acqua è stata utilizzata una sonda di profilatura multiparametrica. L'elaborazione delle immagini è stata eseguita con i software Photoscan, ENVI, eCognition ed ArcGis. Questi programmi hanno permesso la correzione e l'orientamento delle immagini, l'estrazione delle nuvole di punti, la produzione di un mosaico di ortofoto ed il riconoscimento automatico delle forme per la mappatura della Posidonia e la quantificazione della spazzatura spiaggiata.

Risultati

Rilievo dei rifiuti sulla spiaggia

Il delta del fiume Ombrone si trova nel sud della Toscana. L'unità fisiografica si estende da Punta delle Rocchette a nord fino ai Monti dell'Uccellina, a sud. L'intero delta appartiene al Parco Nazionale della Maremma. L'area di studio è di circa 0,1 km² e si trova in prossimità della spiaggia posta sull'ala sud del delta (Figura 1).

Durante la stagione estiva le spiagge del parco attirano molti bagnanti. La presenza di spazzatura, insieme all'erosione ed al legname spiaggiato sono tre dei principali problemi che affliggono l'ecosistema marino e costiero in quest'area.

Fino ad oggi, il metodo più comunemente usato per il monitoraggio dei rifiuti marini (Rees, 1995) è stato attraverso indagini in situ con campionamenti manuali (Madzema e Lasiak, 1997, Legambiente, 2016). Pochi metodi di telerilevamento (Jang et al., 2015) sono stati applicati per affrontare il problema (Kataoka et al., 2012), soprattutto utilizzando immagini da drone (Martin et al., 2018). Alcuni sistemi alternativi sono stati anche studiati per la classificazione e la catalogazione dei rifiuti in mare (Balas, 2004).

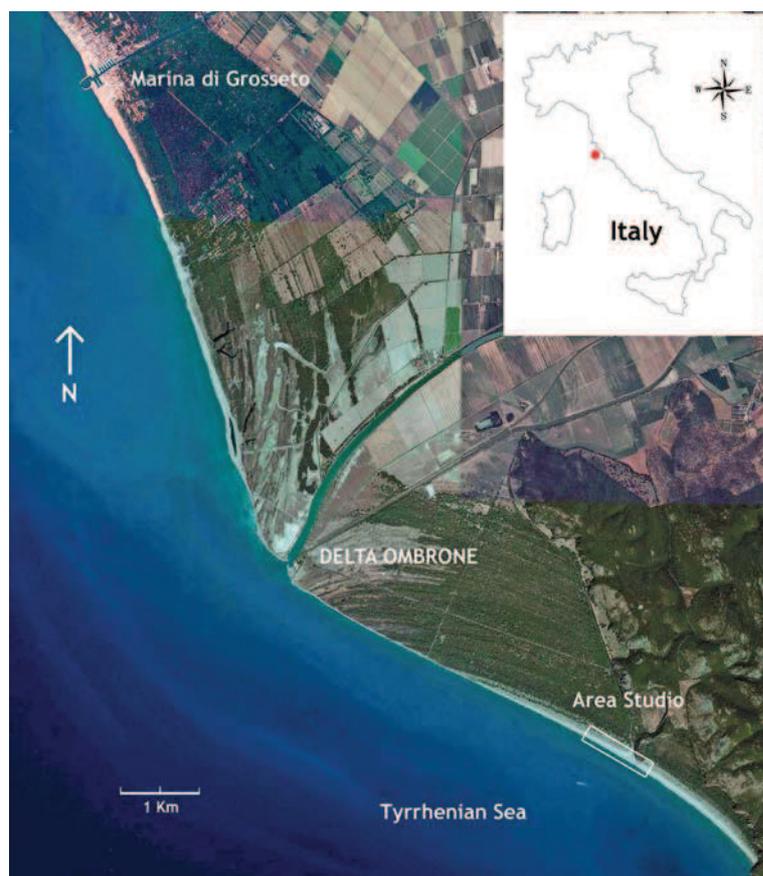


Figura 1. Area di studio sul delta del Fiume Ombrone (GR). Immagine da Google Earth.

Per monitorare la quantità di rifiuti in spiaggia è stato eseguito un rilievo tramite drone utilizzando tecniche fotogrammetriche. Per ottenere un'immagine molto accurata è stato eseguito un volo a bassissima quota (7 m) condotto ad una velocità di 3 m/s ed è stato quindi elaborato un DEM a risoluzione 0,1 x 0,1 m. Per la georeferenziazione del DEM e delle ortofoto sono stati misurati 12 GCPs con un GPS differenziale. Inizialmente è stato elaborato un GeoTIFF utilizzando il software fotogrammetrico Photoscan, in seguito l'immagine è stata elaborata per isolare e mappare i rifiuti. Per questo è stata utilizzata una metodologia di elaborazione dedicata i cui passaggi sono mostrati in Figura 2 relativa ad una porzione di spiaggia di 100 m² (Figura 2 a). Le tecniche di elaborazione ed estrazione automatica di caratteristiche dalle immagini, PBC (Pixel-based) e OBIA (Object Based Image Analysis) sono state recentemente molto sviluppate e migliorate.

In questo tipo di analisi la relazione tra gli oggetti presi in considerazione e la risoluzione spaziale è molto importante. L'alta risoluzione del nostro rilievo (pixel di 1,5 cm), dove i pixel sono più piccoli della maggior parte dei rifiuti ricercati, ha permesso una segmentazione in gruppi di pixel per applicare la classificazione tipo OBIA (Blaschke, 2010). L'accuratezza della classificazione delle immagini dipende direttamente dalla precisione della segmentazione. Al fine di identificare con il maggiore dettaglio possibile tutto il materiale presente sulla superficie della spiaggia è stato applicato uno strumento di classificazione delle soglie basato su oggetti (eCognition) per una segmentazione a scala fine (Figura 2b). I colori degli oggetti, precedentemente selezionati, sono stati quindi maggiormente evidenziati rispetto alla sabbia sottostante, in modo da consentire una migliore separazione degli stessi dal fondo e dal legname. Infine, usando l'estensione Spatial Analyst di ArcGIS, è stata calcolata l'area totale caratterizzata solo da oggetti artificiali applicando una classificazione di immagine "supervised" (Figura 2 c). Per l'area considerata di 100 m², la superficie della spiaggia coperta da rifiuti è risultata di circa 4 m² e quella coperta da legname di 26 m². Nell'area totale la superficie calcolata di "beach litter" è stata di circa 1800 m².

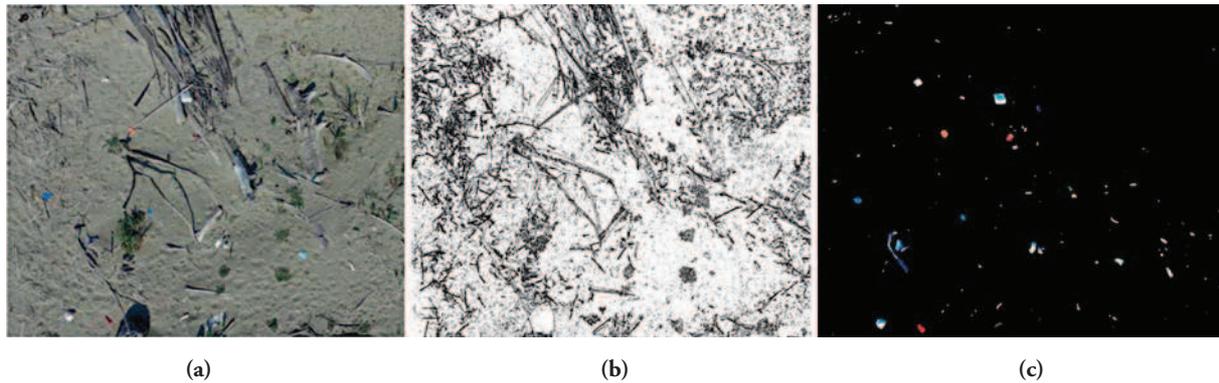


Figura 2. Particolare ingrandito della spiaggia (a); estrazione dei bordi (b); tracciamento dei colori degli oggetti (c).

I risultati sono stati verificati confrontandoli con una misurazione effettuata tramite raccolta manuale della spazzatura con il metodo di campionamento equidistante. La misurazione eseguita manualmente ha restituito una differenza del 12% di materiale in più presente sulla spiaggia, probabilmente dovuto principalmente a oggetti di plastica semi-trasparenti difficilmente riconoscibili dalle immagini prese col drone. Questa nuova metodologia potrebbe essere uno strumento utile per monitorare l'impatto del turismo lungo le nostre spiagge o quantificare la deposizione dei rifiuti in spiaggia a seguito di una mareggiata. Un punto a sfavore del metodo è l'impossibilità di rilevare oggetti piccoli e trasparenti inoltre si possono rilevare solo gli oggetti affioranti in superficie ovvero identificabili dalle immagini.

In questo studio, oltre alla quantificazione dei rifiuti in spiaggia, è stato eseguito un calcolo del volume del legname depositato e spiaggiato. Tale materiale, oltre ad essere dannoso per il turismo e la sicurezza rappresenta anche un costo di smaltimento (Bruschi e Pacciani, 2017). A tale scopo, il software PhotoScan consente non solo di generare e visualizzare nuvole di punti densi, ma anche di classificare i punti in diverse classi. La procedura di classificazione automatica prevede che la nuvola dei punti sia divisa in celle di una certa dimensione di cui viene rilevato il punto con minore elevazione e quindi più basso. La triangolazione di questi punti fornisce la prima approssimazione del modello del terreno. Nell'elaborazione sono stati impostati i seguenti parametri: angolo massimo, distanza massima e dimensione della cella. In questo modo è stato possibile separare il DEM del materiale in oggetto, ovvero del legname presente, dal DTM rappresentante il resto della spiaggia ed avente una geometria più piatta. Attraverso una differenza di superfici si è quindi potuto quantificare il volume del legname spiaggiato; per l'area totale che è risultato di circa 700 m³ (Figura 3).

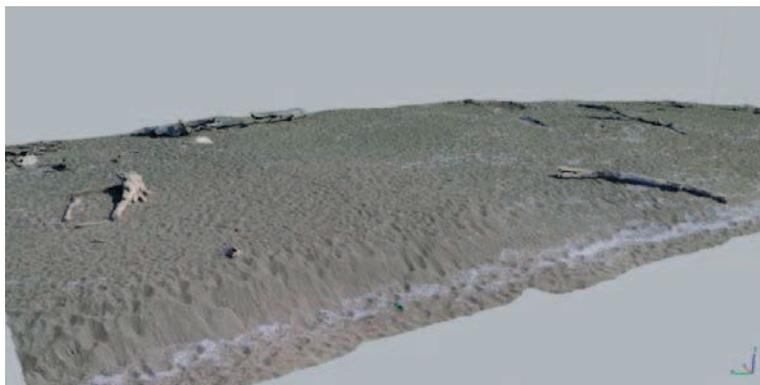


Figura 3. Nuvola dei punti 3D da rilievo drone con legname spiaggiato.

Monitoraggio della torbidità durante un dragaggio

Il fiume Magra si trova nel nord della Toscana vicino al confine con la regione Liguria (Figura 4) e sfocia nel Mar Ligure. La foce del fiume è sempre soggetta a lavori di dragaggio principalmente per la presenza di molti posti barca e luoghi di ormeggio ovvero per garantire la navigabilità.

L'area di studio in prossimità della foce del fiume si trova vicino ad una spiaggia molto frequentata durante la stagione estiva. Questo è il motivo per cui un monitoraggio ambientale accurato e costante del dragaggio, in particolare sull'espansione del pennacchio di torbidità, è fondamentale per prevenire eventuali problemi sulla balneazione. Le attività di dragaggio sono soggette a normative ambientali sempre più restringenti ed i pennacchi di torbidità che si formano in prossimità delle draghe durante queste operazioni non possono superare delle soglie specifiche di torbidità. La loro formazione è comunque legata alla tipologia d'intervento, al tipo di sedimento ed alle caratteristiche della draga, oltre che alle condizioni meteo marine.



Figura 4. Ubicazione area di studio sulla foce de Fiume Magra (SP). Immagine da Google Earth.

Le tecniche di telerilevamento da satellite sono ampiamente utilizzate per la valutazione della qualità delle acque nelle regioni costiere (Dogliotti et al., 2016), nei laghi interni, nei fiumi ed anche per il monitoraggio dei dragaggi (Wu et al., 1997; Kutser et al., 2007).

Un'indagine della torbidità condotta utilizzando un drone presenta però dei vantaggi legati all'elevato dettaglio spaziale delle immagini, all'alta frequenza e alla flessibilità del rilievo.

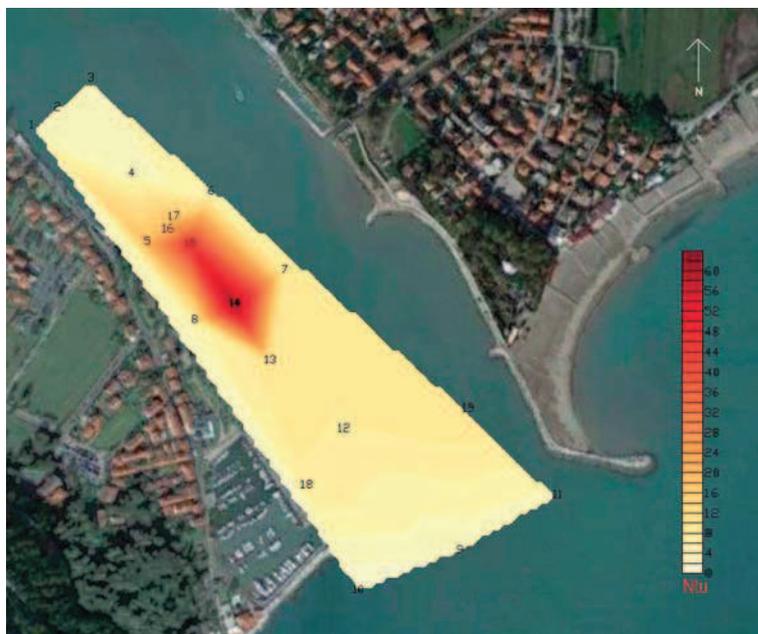
Per verificare la torbidità delle acque del fiume durante un'operazione di dragaggio nel luglio 2016, sono stati effettuati 19 misurazioni utilizzando una sonda parametrica (OBS) (Figura 5).

Durante il rilievo la draga era posizionata vicino ai campioni 15, 16 e 17, dove è stato anche rilevato un valore massimo di torbidità. La sonda è stata immersa fino alla prossimità del fondo del fiume (circa - 4 m) in modo che i valori di torbidità potessero essere raccolti a diverse profondità, attraverso una registrazione in continuo. Tutti i punti di campionamento sono stati posizionati con un GPS NRTK ed acquisiti in coordinate Wgs84 UTM32 (Tabella 1). Il range di valori di torbidità riscontrati, in termini di concentrazione di particelle in sospensione, è variato da 1,58 a 63,54 unità di torbidità nefelometrica (Ntu).

I valori di torbidità dell'acqua più elevati sono stati rilevati in prossimità della superficie, nel primo metro della colonna d'acqua, con un gradiente decrescente verso il fondo. La mappa (Figura 5) della torbidità superficiale mostra come il pennacchio sembra rimanere confinato nell'area di dragaggio. La torbidità diminuisce significativamente a monte e a valle della sorgente e presenta valori normali (pre-dragaggio) nelle stazioni vicine ai margini dell'area. Durante l'indagine era presente una lieve corrente verso mare, così come si può evincere anche dalla forma del plume (Figura 6).

Tabella 1: Valori di torbidità (Ntu) per 19 campioni ubicati nell'area di studio durante il dragaggio.

ID	Est	Nord	Ntu (sup)	Ntu (fondo)
1	578685	4878011	4.09	5.90
2	578719	4878035	4.83	4.29
3	578763	4878074	5.84	5.70
4	578817	4877947	5.40	4.22
5	578838	4877856	22.07	21.24
6	578922	4877923	6.76	5.29
7	579019	4877818	11.12	9.71
8	578900	4877752	7.01	5.48
9	579250	4877446	4.25	1.95
10	579116	4877393	2.09	2.62
11	579379	4877520	5.30	1.68
12	579097	4877608	9.75	1.76
13	579000	4877699	11.62	3.56
14	578954	4877774	62.58	4.79
15	578895	4877854	46.99	36.30
16	578865	4877873	24.34	19.32
17	578873	4877890	20.36	16.95
18	579048	4877533	9.58	3.98
19	579261	4877635	11.80	5.27
		TOT	275.77	160.01

**Figura 5. Mappa della torbidità superficiale ricavata da 19 registrazioni con sonda parametrica. Base da Google Earth.**

Al fine di acquisire le immagini aeree contemporaneamente alle attività di dragaggio è stato eseguito un rilievo da drone. Per evitare l'effetto dei riflessi solari sulla superficie dell'acqua sono state scelte le prime ore del mattino. La quota di volo è stata imposta a 250 m, questo per ottenere immagini più ampie che sono necessarie per pro-

durare il GeoTIFF finale in condizioni particolari come questa. A causa dell'alta percentuale di acqua presente nelle immagini, infatti, e quindi anche dell'impossibilità di avere GCP ben distribuiti, è complicato da parte del software elaborare un corretto calcolo del "bundle adjustment" per la generazione del modello. Ogni immagine è stata quindi posizionata e orientata utilizzando i dati interni del sensore del drone ovvero posizione dal GPS e direzione dalla girobussola, utilizzando anche la tecnica del "course made good" (CMG) che calcola la direzione dalle successive posizioni del GPS. Per cercare di ridurre la deformazione inoltre le immagini sono state tagliate ai bordi del 20% e corrette della vignettatura. Successivamente, tutte le immagini sono state unite per comporre l'ortomosaico finale. Questo è stato georeferenziato e ridimensionato utilizzando 4 GCP posti e misurati sulle rive del fiume ed infine ricampionato in scala di grigi per creare l'ortofoto finale dell'area indagata. (Figura 6).

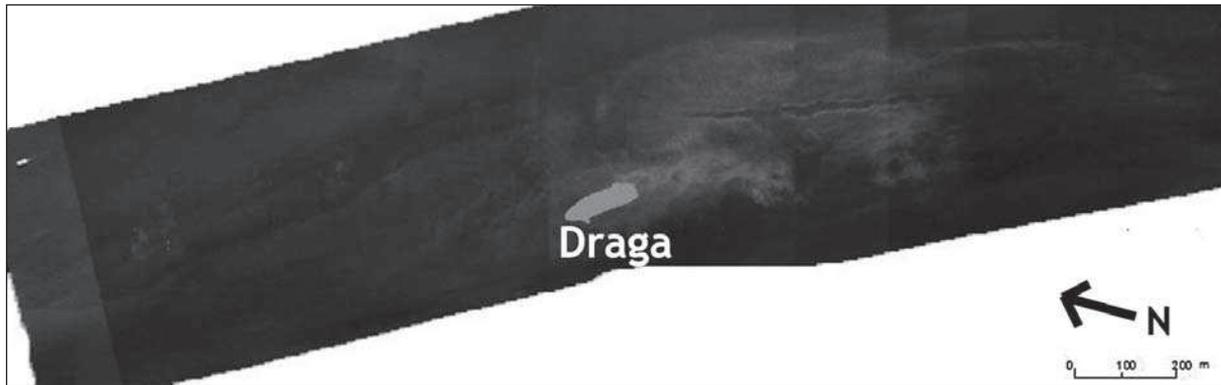


Figura 6. Ortofoto dell'area di dragaggio da rilievo da drone, ricampionata in scala di grigio.

L'accuratezza orizzontale media dell'immagine, calcolata su 10 punti di verifica, è inferiore a 3 metri, comunque sufficiente per lo scopo previsto. I valori in scala di grigio dei pixel sono stati successivamente messi in relazione ai valori Ntu rilevati con la sonda parametrica sulla superficie dell'acqua. Sono stati quindi stabiliti dei modelli di regressione per trovare le correlazioni ottimali tra i parametri di torbidità dell'acqua (Ntu) ed i valori in scala di grigio (Figura 7a). I risultati hanno mostrato una forte correlazione tra i valori misurati sul campo e quelli ottenuti dall'elaborazione delle immagini ($R^2 = 0,90$). L'equazione di regressione lineare ottenuta è:

$$y = 1.52x + 23.8, \quad (1)$$

Il risultato è una mappa della diffusione della torbidità superficiale estesa tra valori Ntu massimi e minimi (Figura 7b). Il pixel della cella della mappa è stato impostato di maglia 5x5 m, tenendo conto della precisione della metodologia.

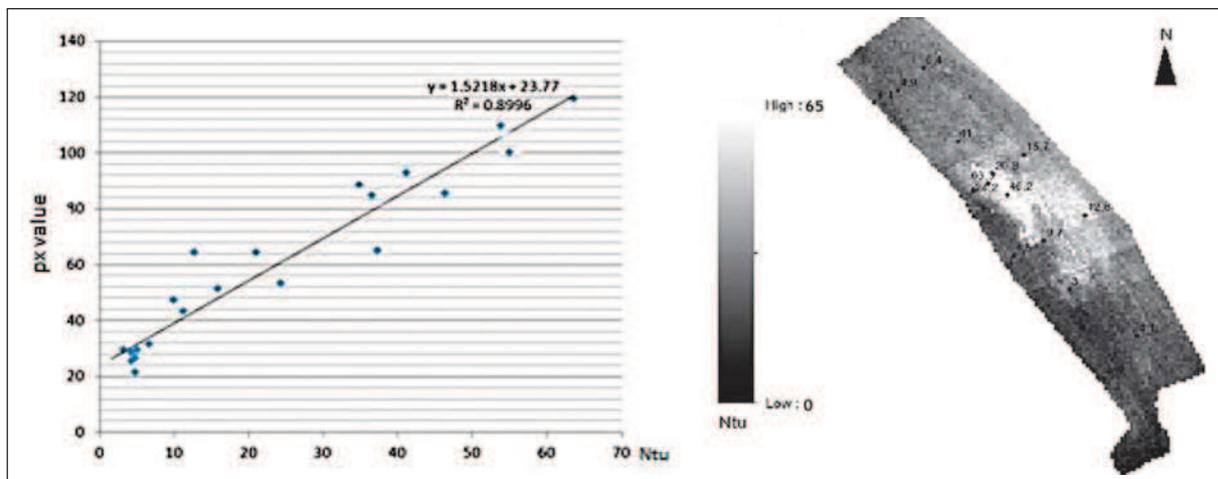


Figura 7. Regressione lineare valore del pixel/Ntu (a); mappa della torbidità superficiale ricampionata a 5x5m (b).

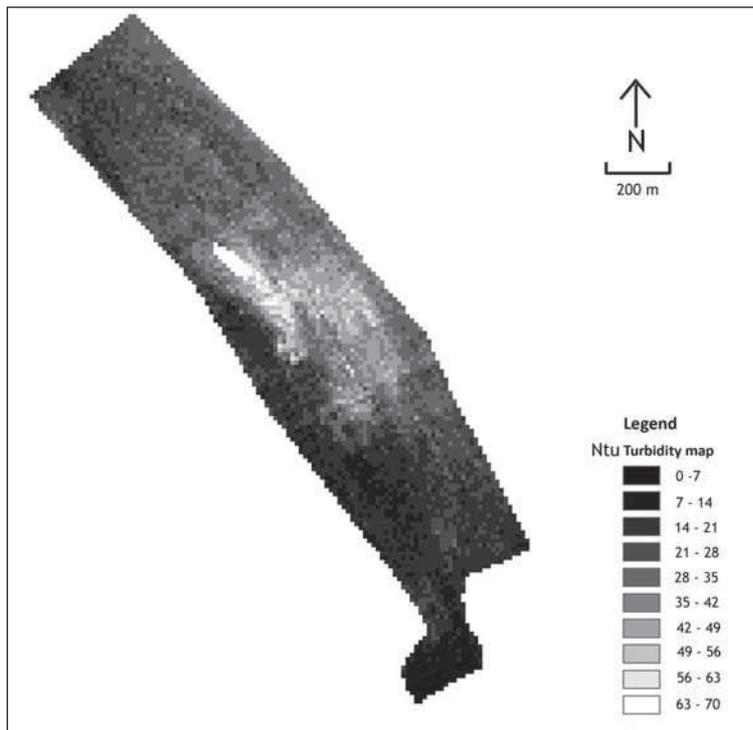


Figura 8. Mappa della concentrazione superficiale della torbidità da rilievo drone dopo la “density slicing”.

Per evidenziare le aree che sembrano uniformi nel tono di grigio e creare una mappa di concentrazione della torbidità, è stata applicata anche una tecnica di affinamento della densità all’immagine monocromatica a banda singola. E’ stata quindi effettuata una “density slicing”, ovvero i valori di scala di grigio sono stati convertiti in una serie di 10 intervalli uguali di valore Ntu a cui sono stati assegnati diverse tonalità per ciascun intervallo (Figura 8).

L’indagine è stata ripetuta anche nei giorni successivi al fine di monitorare tutte le fasi di dragaggio e prevenire eventuali problemi di inquinamento per la spiaggia adiacente. Solitamente, infatti, queste attività di monitoraggio si espletano con misurazioni puntuali con sonde parametriche da imbarcazione. Questa tecnica permette invece una mappatura areale ed estesa con la possibilità ulteriore di essere ripetuta in maniera rapida ed a basso costo.

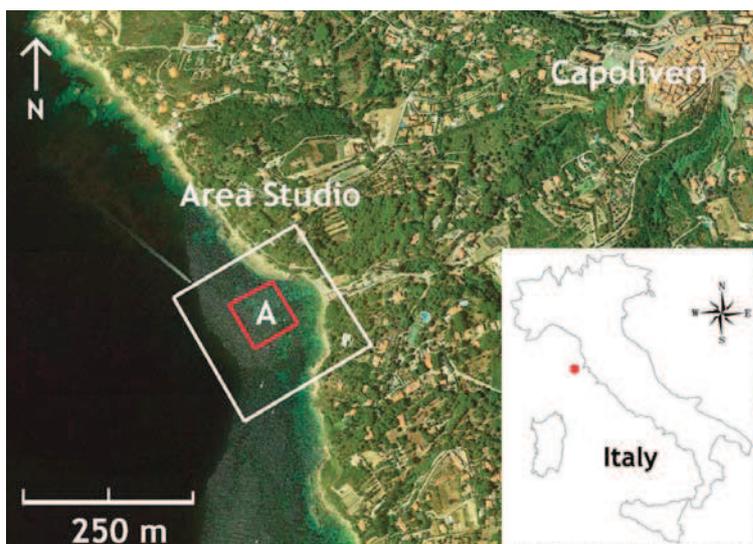


Figura 9. Area di studio. Spiaggia Madonna delle Grazie. Capoliveri, Isola d’Elba (LI). Immagine da Google Earth.

Mappatura della Posidonia

Le praterie di *Posidonia oceanica* hanno un ruolo essenziale negli ecosistemi dei bassi fondali del Mediterraneo, dove rappresentano la specie algale più diffusa. Sono considerate siti ad alta concentrazione di biomassa offrendo rifugio e fonte di alimentazione a moltissimi organismi. Questa pianta ricopre inoltre un importante ruolo nell'ossigenazione delle acque e nella stabilizzazione dei fondali proteggendo in parte le spiagge dall'erosione.

L'area di studio è la spiaggia di Madonna delle Grazie all'isola d'Elba nel comune di Capoliveri (LI). Questa "pocket beach" è caratterizzata da una piccola spiaggia di circa 100 m di lunghezza confinata da scogli e falesie appartenenti al complesso ofiolitico (Figura 9).

Nell'area di studio è stato eseguito nel Febbraio 2019 un rilievo batimetrico singlebeam, uno morfologico con Side Scan Sonar (SSS), una SfM da drone con elaborazione di ortofoto (Figura 10) e delle riprese subacquee su una area di circa 250x250 m di estensione. In figura è evidenziata una sotto area "A" utilizzata per la dimostrazione di alcune elaborazioni d'immagine.

Il SSS è uno strumento che permette di ottenere immagini acustiche georeferite dei fondali che, opportunamente interpretate, possano fornire indicazioni sugli habitat marini presenti.

Anche in questo caso l'elevata percentuale di acqua presente nelle immagini riprese dal drone ha richiesto una tecnica di georeferenziazione particolare, come precedentemente descritto per il monitoraggio della torbidità. In questo caso inoltre sono state posizionate due piccole boe ai margini dell'area le cui coordinate sono state rilevate con GPS differenziale. Queste hanno permesso di ottenere una migliore georeferenziazione. Ulteriori GCPs sono stati rilevati sulla spiaggia emersa.

Sulle ortofoto derivanti dal rilievo drone sono state applicate e testate due procedure per l'estrazione automatica dei limiti delle differenti litologie presenti, qui descritte in modo schematico.

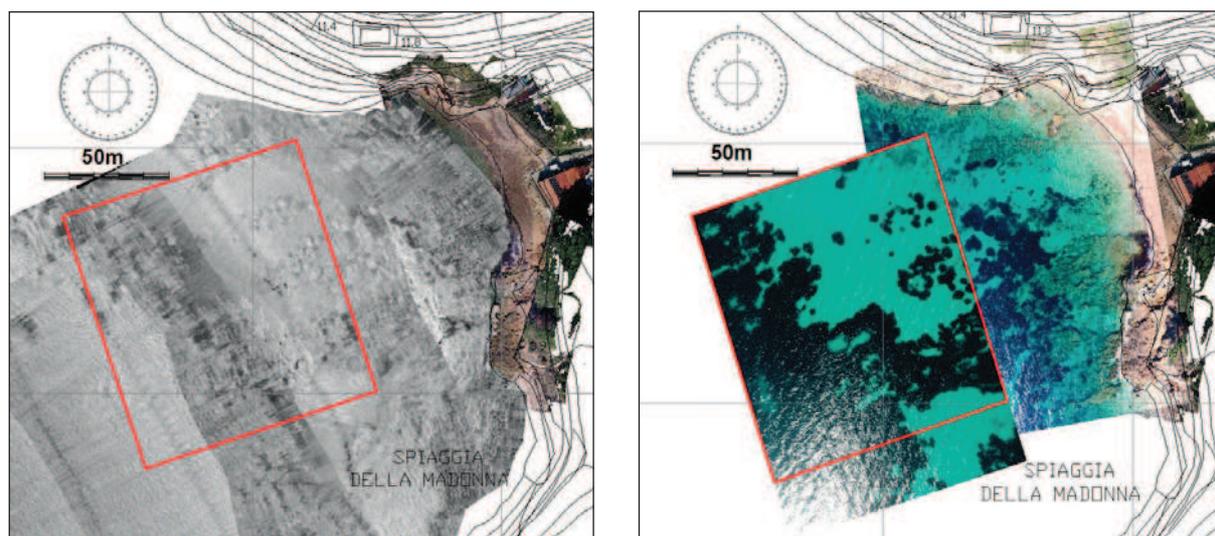


Figura 10. Immagine SSS (sx) e ortofoto da drone (dx) con limiti area A in rosso.

Inizialmente è stato effettuato un riconoscimento delle varie classi di interesse (es. posidonia/roccia/sabbia) attraverso una analisi visiva delle immagini e di un campionamento video. Tale ispezione è stata fatta con una telecamera subacquea trainata dall'imbarcazione e posizionata con GPS. All'ortofoto sono stati applicati dei filtri ed una tecnica di "density slicing" per migliorare la separazione delle varie classi di interesse. E' stato quindi applicato un filtro digitale passa alto per il tracciamento dei vari limiti. Questi sono stati successivamente vettorializzati in modo automatico (Figura 11).

Oltre a questa metodologia è stata anche applicata l'analisi GEOBIA (Geographic Object Based Image Analysis). Si tratta di una tecnica software relativamente nuova, citata precedentemente nell'applicazione sulla mappatura della "Beach litter" che imita l'interpretazione umana nella classificazione delle immagini. Questa metodologia è stata utilizzata recentemente anche per il riconoscimento della *Posidonia* da alcuni

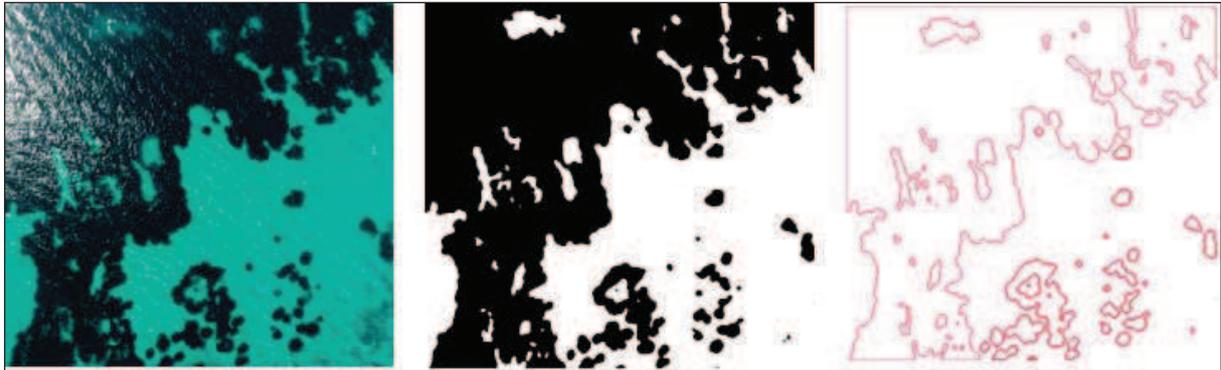


Figura 11. Elaborazioni dell'immagine nella sotto area A.

autori (Fakiris et al., 2019; Venura et al., 2018). Per questa applicazione è stato utilizzato il modulo di segmentazione e classificazione dei fondali "RSOBIA" sviluppato per ArcMap 10.x.

I risultati sono stati quindi verificati sia attraverso un'interpretazione visiva sia utilizzando il mosaico del rilievo SSS. Il grado di attendibilità riscontrato supera il 90%. E' stata infine prodotta una carta geomorfologica in ambiente CAD (Figura 12).

L'utilizzo di tecniche automatiche oltre a ridurre i tempi di elaborazione permette una gestione obiettiva del dato anche in ottica di effettuare confronti per piani di monitoraggio. Le immagini da drone garantiscono notevoli vantaggi rispetto ad immagini satellitari (Figura 9) o da SSS (Figura 10) in termini sia economici che di qualità e definizione e quindi di discriminazione delle informazioni.

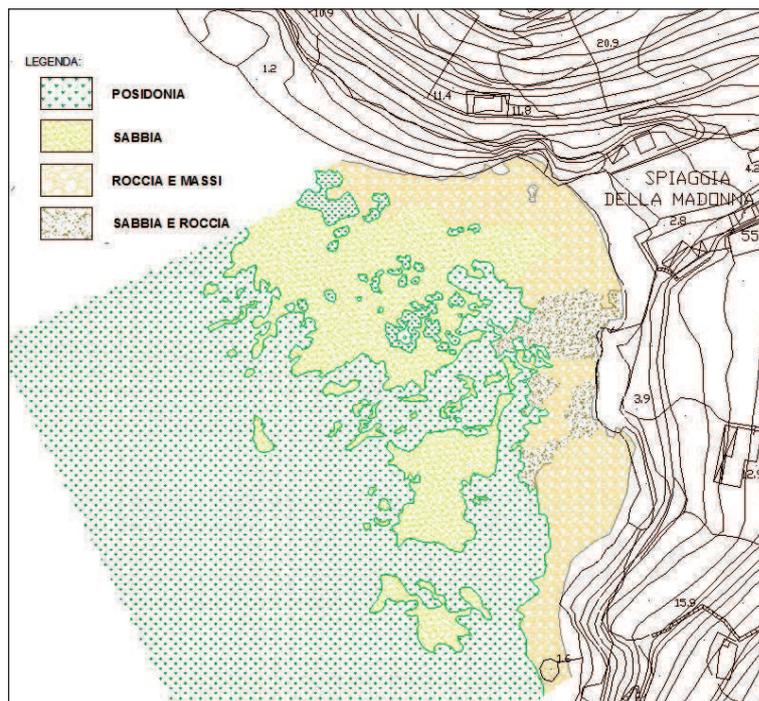


Figura 12. Carta geomorfologia da elaborazione ortofoto drone.

L'utilizzo di tecniche automatiche oltre a ridurre i tempi di elaborazione permette una gestione obiettiva del dato anche in ottica di effettuare confronti per piani di monitoraggio. Le immagini da drone garantiscono notevoli vantaggi rispetto ad immagini satellitari (Figura 9) o da SSS (Figura 10) in termini sia economici che di qualità e definizione e quindi di discriminazione delle informazioni.

Conclusioni

I principi fondamentali di un monitoraggio costiero comprendono la valutazione di costi e benefici, dei vantaggi e degli svantaggi prima di intraprendere delle decisioni. E' per questo che anche in questo settore vengono continuamente testate nuove metodologie ed analizzate nuove tecniche di rilievo anche attraverso l'uso combinato di differenti tipologie di strumenti.

In questo studio sono state messe appunto e testate alcune tecniche di monitoraggio costiero ambientale basate principalmente sull'uso di drone economico e sull'aerofotogrammetria con camere non metriche. La combinazione di questa tecnologia con altri sensori come una sonda multiparametrica, un SSS o con particolari software di riconoscimento di immagini ci ha permesso di implementare e testare delle rapide metodologie a basso costo per il monitoraggio areale della torbidità durante il dragaggio, dei rifiuti spiaggiati o per la mappatura della posidonia. La velocità di acquisizione e di elaborazione rendono queste tecniche degli utili strumenti non solamente per una iniziale valutazione ma anche per un monitoraggio ambientale a lungo termine o per una rapida gestione del rischio potenziale di questi delicati ambienti.

Bibliografia

- Day J., 2008. *The need and practice of monitoring, evaluating and adapting marine planning and management. Lessons from the Great Barrier Reef*. Marine Policy, 32: 823– 831.
- Balas C.E., Ergin A., Williams A.T., Koc L., 2004. *Marine litter prediction by artificial intelligence*. Marine Pollution Bulletin, 48: 449-457.
- Blaschke T., 2010. *Object based image analysis for remote sensing*. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 65: 2-16.
- Bruschi G., Pacciani A., 2017. *La gestione dei materiali legnosi spiaggiati sugli arenili. L'esperienza di Marina di Carrara*. Studi costieri, 26: 29-40.
- Dogliotti A. I., Ruddick K. G., Nechad B., Doxaran D., Knaeps E., 2015. *A single algorithm to retrieve turbidity from remotely-sensed data in all coastal and estuarine waters*. Remote Sensing of Environment, 156: 157–168.
- Fakiris E., Blondel P., Papatheodorou G., Christodoulou D., Dimas X., Georgiou N., Kordella S., Dimitriadis C., Rzhonov Y., Geraga M., Ferentinos G., 2019. *Multi-Frequency, Multi-Sonar Mapping of Shallow Habitats-Efficacy and Management Implications in the National Marine Park of Zakynthos, Greece*. Remote Sensing, 11: 1-23.
- Jang S. W., Kim D. H., Chung Y. H., Seong K. T., Yoon H. J., 2015. *Application of Remote Monitoring to Overcome the Temporal and Spatial Limitations of Beach Litter Survey*. Advanced Science and Technology Letters, 95: 67-72.
- Kataoka T., Hinata H., Kako S., 2012. *A new technique for detecting colored macro plastic debris on beaches using webcam images and CLEUV*. Marine Pollution Bulletin., 64: 1829-1836.
- Klemas V. V., 2015. *Coastal and Environmental Remote Sensing from Unmanned Aerial Vehicles: An Overview*. Journal of Coastal Research, 31: 1260 – 1267.
- Kutser T., Metsamaa L., Vahtmäe E., Aps R., 2007. *Operative Monitoring of the Extent of Dredging Plumes in Coastal Ecosystems Using MODIS Satellite Imagery*. Journal of Coastal Research, 50: 180-184.
- Legambiente, 2016, *Beach litter 2016*. https://www.legambiente.it/sites/default/files/docs/legambiente_beachlitter2016_def.pdf.
- Lucieer A., Jong S. M., Turner D., 2014. *Mapping landslide displacements using Structure from Motion (SfM) and image correlation of multi-temporal UAV photography*. Progress in Physical Geography, 38: 97-116.
- Madzema A., Lasiak T., 1997. *Spatial and temporal variations in beach litter on the Transkei coast of South Africa*. Marine Pollution Bulletin, 34: 900-907.
- Mammì I., Rossi L., Vitale G., Zeoli A., 2017. *Realizzazione di modelli digitali topo-batimetrici da drone*. Studi costieri, 24: 69-74.
- Martin C., Parkes S., Zhang Q., Zhang X., Mc Cabe M., Duartea C.M. 2018. *Use of unmanned aerial vehicles for efficient beach litter monitoring*. Marine Pollution. Bulletin, 131: 662-673.
- Nex F., Remondino F. 2011. *UAV for 3D mapping applications: a review*. Applied Geomatics, 6: 1–15.
- Papakonstantinou A, Topouzelis K., Pavlogeorgatos G., 2016. *Coastline Zones Identification and 3D Coastal Mapping Using UAV Spatial Data*. ISPRS International Journal of Geo-Information, 5:1-14.

- Rees G., 1995. *Marine litter monitoring programs*. A review of methods with special reference to national surveys. *Marine Pollution. Bulletin*, 30: 103-108.
- Remondino F., Barazzetti L., Nex F., Scaion M., Sarazzi D., 2011. *UAV photogrammetry for mapping and 3d modeling – current status and future perspectives*. In *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 38: 25-31.
- Turner I. L., Harley M.D., Drummond C. D., 2016. *UAVs for coastal surveying*. *Coastal Engineering*, 114: 19-24.
- Ventura B., Bonifazzi A., Glavina M., Belluscio A., Ardizzone G., 2018. *Mapping and Classification of Ecologically Sensitive Marine Habitats Using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Imagery and Object-Based Image Analysis (OBIA)*. *Remote Sensing*, 10: 1-23.
- Wu G., Jan de Leeuw, Skidmore A., Prins H.T., Yaolin L., 2007. *Concurrent monitoring of vessels and water turbidity enhances the strength of evidence in remotely sensed dredging impact assessment*. *Water Research*, 41 Issue 15: 3271-3280.
- Yan G., Mas J.F., Maathuis B.H.P., Xianmin Z., Van Dijk P.M., 2006. *Comparison of pixel-based and object-oriented image classification approaches-a case study in a coal fire area, Wuda, Inner Mongolia, China*. *International Journal of Remote Sensing*, 27: 4039-4055.

Ricevuto il 20/05/2019

Accettato il 30/06/2019