

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

Alessio Valente<sup>1,2</sup>

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

<sup>2</sup>GNRAC - 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

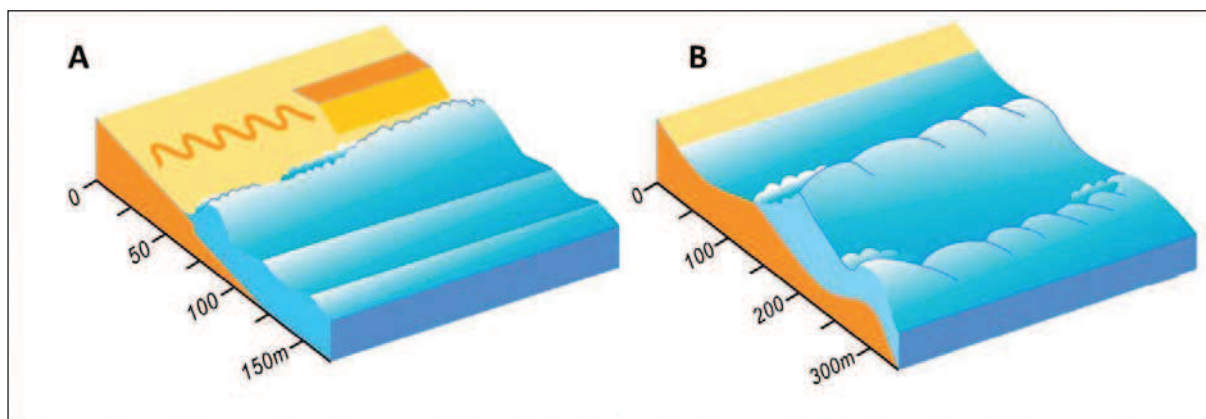
nutrienti e persino di alcune specie biologiche è noto soprattutto agli specialisti (Talbot e Bate, 1987; Shanks et al., 2012; Sinnet e Feddersen, 2014). Tuttavia, le rip currents hanno acquisito sempre maggiore interesse sia scientifico sia sociale, in quanto, sono ritenute causa di pericolo per le 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).

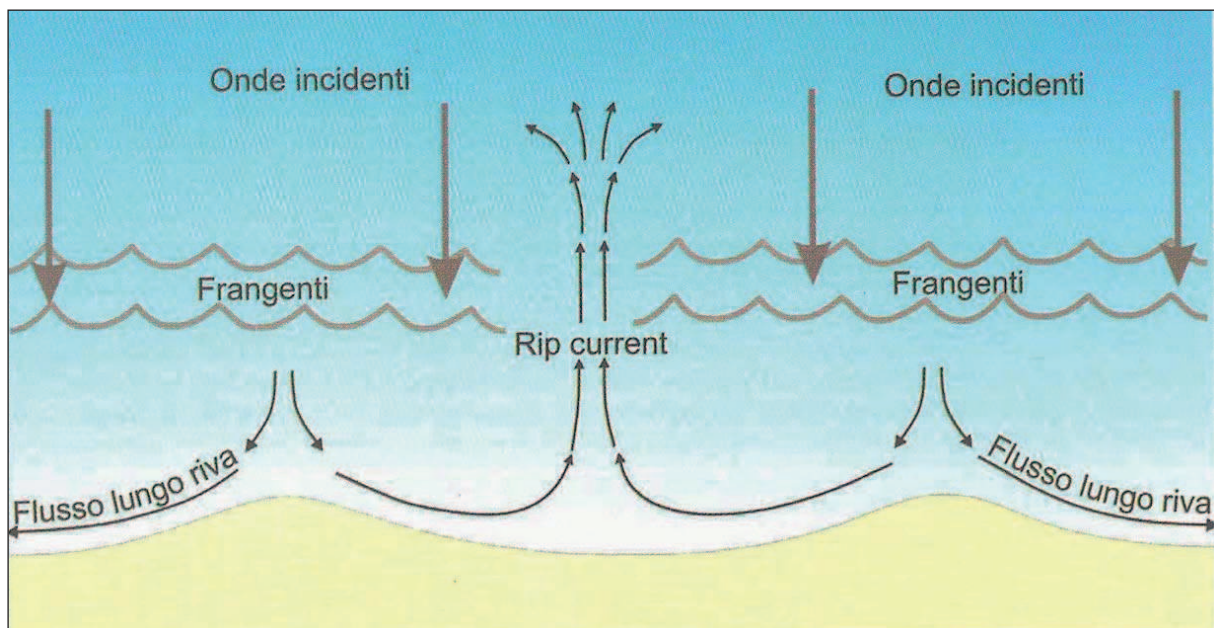


Figura 2. Rip current: circolazione dell'acqua nella spiaggia sommersa e modellazione della linea di costa (da Pranzini, 2004).

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**

