

GEOLOGICAMENTE

MAGAZINE DI ATTUALITÀ E CULTURA DELLE GEOSCIENZE

Periodico della Società Geologica Italiana

n. 9 | novembre 2022

IL PROGRAMMA GEOSWIM

rilievi a nuoto delle coste rocciose del Mediterraneo

L'INCREDIBILE STORIA DEL METEORITE 'MOTOPI PAN':

da pericolo spaziale a tesoro nazionale

IL MARE NOSTRUM NEL MIOCENE:

le successioni carbonatiche raccontano

DINOSAURI DI IERI E DI OGGI:

l'embriologia come chiave per comprendere il record fossile



DIREZIONE GENERALE
EDUCAZIONE,
RICERCA E
ISTITUTI CULTURALI

Le attività sono realizzate grazie al contributo concesso dalla Direzione generale Educazione, ricerca e istituti culturali del Ministero della Cultura





IL PROGRAMMA GEOSWIM

*Rilievi a nuoto
delle coste rocciose
del Mediterraneo*

a cura di Stefano Furlani e Fabrizio Antonioli



Rilievi nella Grotta della Pipa a Marettimo (Isole Egadi, Sicilia occidentale).

Le coste rocciose sono poco studiate dal punto di vista geomorfologico, sia perché molto resistenti all'erosione, e quindi soggette a modificazioni poco percepibili in confronto alle coste basse, sia a causa delle intrinseche difficoltà di accesso. Nel 2012 ebbe inizio un programma, denominato Geoswim, che aveva come obiettivo il rilievo a nuoto di 200 km di coste rocciose nell'Adriatico orientale. I rilievi vennero condotti con mezzi modesti: maschera, pinne e il supporto di un barchino da pesca opportunamente riadattato per ospitare sensori e fotocamere. Vennero acquisite immagini, video, batimetrie e dati fisico-chimici in continuo, assieme ad osservazioni geomorfologiche sopra e sotto il livello del mare. Grazie ai risultati ottenuti, si decise di continuare in altri settori costieri del Mediterraneo. Oggi, dopo dieci anni di campagne, sono stati rilevati quasi 550 km di coste rocciose. I dati rilevati nell'ambito di Geoswim costituiscono la piattaforma di partenza per future comparazioni geomorfologiche ed ecologiche, fondamentali in un periodo come questo caratterizzato dai cambiamenti climatici.



GEOSWIM: UN APPROCCIO "TECNO-TRADIZIONALE"

Le coste rocciose coprono oltre il 50% dei litorali del Mediterraneo (**Fig. 1**), per una lunghezza stimata di oltre 25.000 km. La loro elevata resistenza all'erosione le inquadra come estremi baluardi della terraferma sul mare, con forme che creano paesaggi spettacolari, costellati da archi, faraglioni e grotte marine incessantemente modellate dal mare. In questi ambienti transizionali, tra il mare e la terra, le rocce si trovano in una condizione molto particolare, rispetto a quelle che affiorano in ambienti emersi o sommersi, in quanto sono soggette a una mescolanza di processi tipici dei due ambienti: onde e correnti, ma anche frane e degradazione atmosferica. Le coste rocciose, anche dette coste alte, possono essere composte da qualsiasi tipo di roccia e permettono lo sviluppo di forme complesse legate alla tettonica e all'erosione, essendo modellate dall'erosione delle onde e dagli organismi che vivono sulle scogliere. Il loro profilo topografico dipende dal tipo di roccia che affiora sulla falesia, dal clima e dall'energia delle onde. Un substrato roccioso resistente, combinato con ambienti riparati dal vento e dalle onde, darà luogo ad un profilo ripido, con scogliere molto pendenti a picco sul mare. Viceversa, rocce facilmente erodibili in ambienti ad alta energia daranno luogo ad un profilo più graduale, con una piattaforma alla base, e una falesia più o meno ripida verso terra. Il paesaggio delle coste rocciose si compone anche da tratti più o meno lunghi di spiagge incastonate tra promontori alti e resistenti, in cui si depositano sedimenti provenienti dai promontori stessi e dai corsi d'acqua che scaricano nelle relative baie. Queste spiagge sono conosciute anche con il termine anglosassone di *pocket beaches*. Del paesaggio costiero fanno parte anche gli archi e i faraglioni che costituiscono l'eredità, ovvero ciò che rimane, delle antiche posizioni in cui si trovava la costa nel passato, prima che il mare rimuovesse le porzioni meno resistenti. L'incessante lavoro dei processi costieri ha

Keywords

Geomorfologia costiera

Coste rocciose

Metodi di rilevamento

Mediterraneo

infatti "mangiato" nel tempo tutto ciò che non era abbastanza resistente, lasciando solamente quei pochi bastioni rocciosi meno erodibili, archi e faraglioni, che il tempo prima o poi cancellerà. Anche le grotte marine, che sulla costa possono essere emerse, sommerse o svilupparsi sul livello del mare, sono parte integrante di questo spettacolare paesaggio.

A dispetto della loro bellezza, le coste rocciose sono molto meno studiate delle coste basse, sia a causa delle difficoltà di accesso, legate alle loro caratteristiche topografiche, sia perché molto resistenti all'erosione, con modificazioni morfologiche più lente rispetto alle coste basse. I tratti più pendenti delle falesie costiere, inoltre, sono molto spesso raggiungibili solo via mare, rendendo più difficili le operazioni di rilevamento. Osservazioni di rilevamento su vasta scala fino a pochi anni fa non sono mai state condotte. Geologi e geomorfologi hanno condotto interessanti lavori su piccoli tratti di costa, magari quelli più accessibili, oppure hanno studiato forme particolari, come alcune grotte, ecc. Studi geomorfologici o ecologici sono stati condotti su molte grotte costiere, o sulla stabilità di strutture come quello che fu l'Azur Window sull'isola di Gozo, uno spettacolare arco oggi crollato. Il programma Geoswim, a partire dal 2012, si pose invece come obiettivo proprio quello di osservare e misurare le coste in continuo, per chilometri, dal mare, o meglio dal pelo dell'acqua, a nuoto e con l'ausilio di ogni strumento in grado di fornire informazioni utili alle ricerche costiere (**Fig. 2**). Il tipo di rilevamento messo a punto nell'ambito di Geoswim

assomiglia più al rilevamento geologico classico sulla terraferma, quello con bussola, martello e libretto di campagna che non ai modi in cui si rileva solitamente in mare. Il rilevatore classico scarpina lungo i sentieri di montagna, e ogni tanto devia dal sentiero per osservare affioramenti significativi o strutture interessanti. In mare invece i rilievi sono puntuali, anche veloci, perché la permanenza in acqua, specie in profondità, è scandita da tempi decisamente ridotti

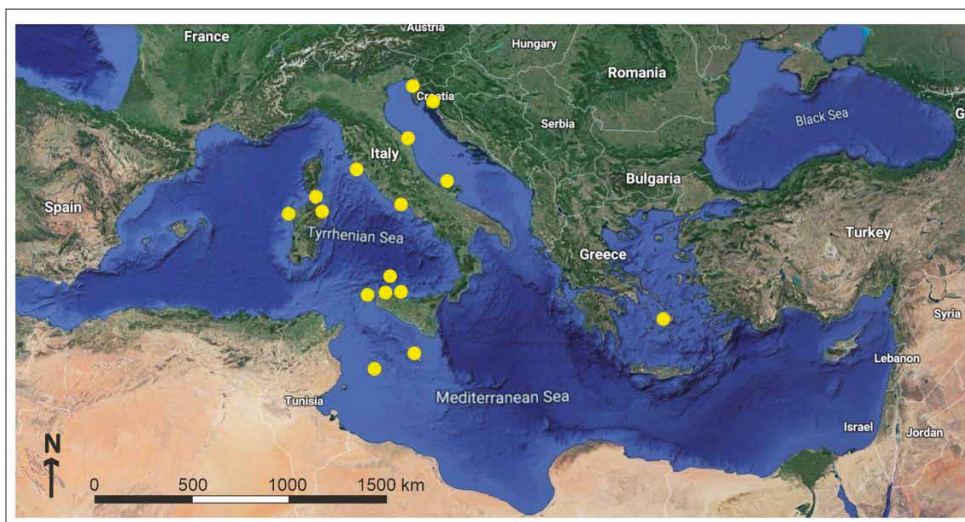


Fig. 1 - Siti nel Mediterraneo in cui sono stati condotti rilevamenti con il protocollo proposto nel programma Geoswim.

IL PROGRAMMA GEOSWIM

Rilievi a nuoto delle coste rocciose del Mediterraneo



e dalla necessità di utilizzare attrezzature dedicate, come gli erogatori per le immersioni, gli *scooter* subacquei, o i batiscafi per le immersioni profonde. Anche sotto costa, in apnea, i tempi per le osservazioni in immersione sono modesti. I rilievi a nuoto limitano l'osservazione alle zone più prossime alla superficie del mare, ma permettono, con un minimo di preparazione fisica, di coprire lunghe distanze e, come sulla terraferma, permettono di condurre un rilievo lento e di dettaglio, supportato eventualmente anche da un'imbarcazione di appoggio.

Fig. 2 - Il barchino all'interno di una grotta a Capo Rama (Sicilia settentrionale).

IL BARCHINO, O MEGLIO L'ISR (*Instrumental-supported raft*)

Le parole d'ordine che guidano Geoswim potrebbero essere: mettere la testa sott'acqua, quindi "sporcarsi le mani", rilevare quanti più dati possibili e raccogliere quante più osservazioni si è in grado di accumulare lungo le coste studiate. Fin dalla prima campagna in solitaria, nel 2012, l'idea di fare osservazioni dettagliate e continue della costa e allo stesso tempo raccogliere quanti più dati strumentali possibili ha guidato la progettazione di Geoswim. A tutto ciò fu accostato un pesante allenamento, per essere sicuri di portare a termine il percorso previsto, e la costruzione di un "barchino" ad hoc (Fig. 3), che fungesse da supporto per la strumentazione di rilevamento. Il lavoro per mettere a punto la prima versione dell'ISR (*Instrumental-supported raft*) fu un costante fermento di idee, che venivano realizzate durante la giornata di lavoro e testate in serata, con una nuotata sotto casa nelle calde giornate primaverili a ridosso della partenza. Idee e *test* di nuovi modelli del barchino fanno ancora parte di Geoswim: l'ISR, infatti, viene costantemente aggiornato e migliorato, anno dopo anno, con modifiche che riguardano soprattutto la strumentazione, che diventa via via tecnologicamente più avanzata.

Potremmo dire che il barchino è una vera e propria nave oceanografica, solo più piccola, molto più piccola e con costi decisamente inferiori. Del resto, considerando che il

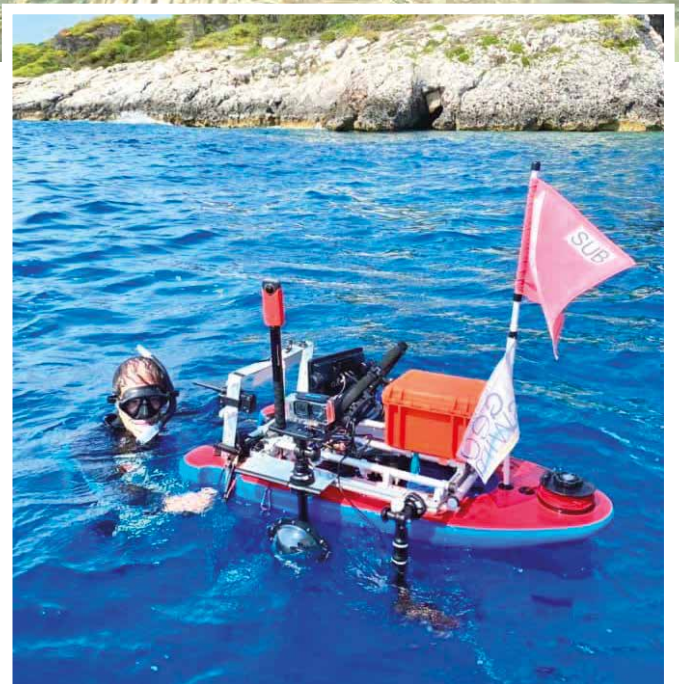


Fig. 3 - L'ISR (*Instrumental-supported raft*) durante le operazioni di rilevamento sulle isole Tremiti (Foto E. Romano)

rilevamento è condotto a nuoto, anche la strumentazione generalmente utilizzata è di tipo *low-cost*, salvo alcuni strumenti installati per esigenze particolari, come sonde multi-parametriche o camere iperspettrali. L'ISR ospita quindi tutta la strumentazione che viene utilizzata durante la giornata di rilevamento. Si tratta, per certi versi, del cuore pulsante di Geoswim, dove, in qualche maniera, finiscono tutti i dati e le osservazioni raccolte minuziosamente lungo il percorso di rilevamento. La motorizzazione ed il controllo da remoto del barchino, sebbene già testata, ha messo in luce tutte le difficoltà della navigazione a piccolissima distanza

dalla costa, dove scogli sommersi, blocchi crollati dalle pareti sovrastanti e altri accidenti topografici ostacolano enormemente i movimenti. Ma quali strumenti si trovano sopra e sotto il barchino?

Qualsiasi rilevamento deve essere geo-localizzato, ovvero posizionato univocamente, e con precisione, sulla superficie della Terra. Quindi, in primo luogo, sono montati un certo numero di dispositivi GPS. Il fatto di utilizzare più dispositivi di posizionamento è legato al fatto che, come ogni campagna che si rispetti, i problemi non mancano mai, quindi è buona norma raccogliere dati in eccesso, in modo da avere dati ridondanti. Sul barchino sono fissate inoltre un certo numero, anche questo variabile, di macchine fotografiche, normalmente di tipo *action camera*, che acquisiscono immagini della costa sopra e sotto la superficie del mare in *time-lapse*. Questo permette di coprire in continuo la zona costiera grazie al brevissimo intervallo di tempo tra le immagini consecutive, stabilito ogni mezzo secondo. Ciò significa che in un'ora di rilevamento vengono acquisite 7200 immagini per ogni fotocamera. Le fotocamere sono posizionate ai lati del barchino, in modo da "vedere" la costa perpendicolarmente rispetto alla linea di avanzamento. Nelle ultime campagne sono state aggiunte anche due telecamere a

360°, composte da due obiettivi grandangolari di 180° che, uniti, danno vita a video e foto a tutto tondo. L'operazione di unione delle due immagini, detta *stitching*, è visibile già sullo schermo della fotocamera, quindi in campagna. Anche in questo caso, dall'anno scorso, l'acquisizione dei video panoramici avviene sia sopra che sotto la superficie del mare. Al momento, dei quasi 550 km percorsi, oltre il 50% sono stati coperti da video acquisiti in continuo.

Come precedentemente detto, le dimensioni generose dell'ISR, 1,2 metri, fanno sì che possono essere aggiunti molti strumenti. Tra questi, i sensori per misurare la temperatura e la salinità dell'acqua che, nel Mediterraneo, è di circa 37‰, con variazioni da 36‰ a 39‰. Localmente, questi valori possono abbassarsi a causa della presenza di sorgenti d'acqua dolce dal fondo del mare (Fig. 4). Recentemente, una collaborazione con l'Istituto tecnico industriale Alessandro Volta di Trieste ha consentito di mettere a punto un nuovo strumento costituito da una batteria di sensori per acquisire un *set* di misure di temperatura e conducibilità ma anche la posizione GPS. Le sonde per misurare i valori di queste acque dolci in mare sono posizionate a varie profondità sotto il barchino, in modo da studiare la loro diffusione nella colonna d'acqua.

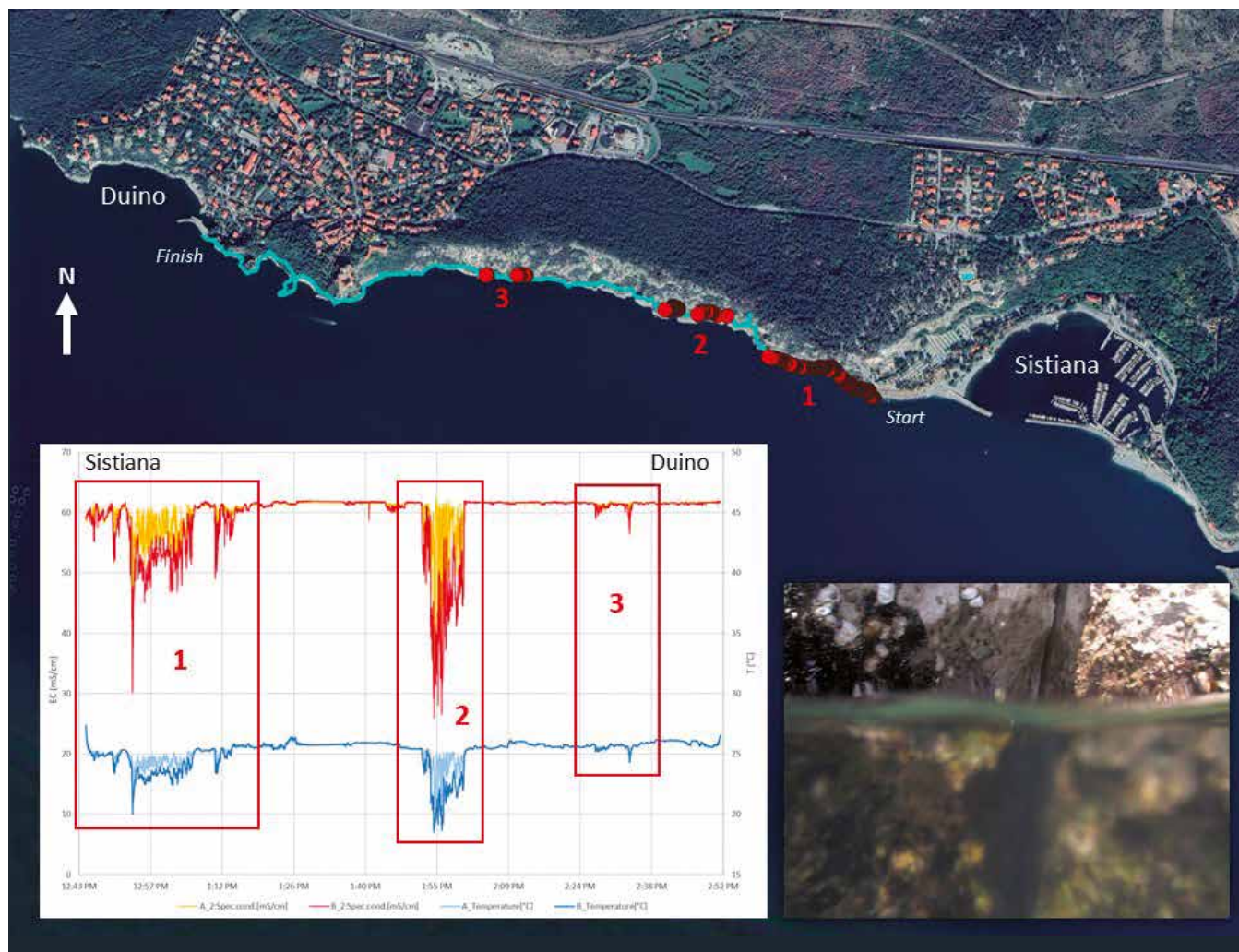


Fig. 4 - Misure di conducibilità e temperatura sulle sorgenti costiere nel settore costiero tra Sistiana e Duino, nel Golfo di Trieste.

Sul barchino può essere posizionato anche un ecoscandaglio che permette di acquisire dati di profondità lungo il percorso di rilevamento. Originariamente, nelle prime campagne, questo tipo di dato veniva raccolto solo sporadicamente e in maniera puntuale, ad esempio all'ingresso delle grotte o per quotare eventuali manufatti archeologici. Successivamente, con l'introduzione del *sonar*, si iniziarono ad acquisire anche profili batimetrici perpendicolari alla costa nei settori più interessanti. Oggi il *sonar* fa parte integrante del barchino, anche perché le batterie agli ioni di litio hanno permesso di ridurre enormemente il peso da spingere a nuoto.

COSA E COME RILEVIAMO

Quando venne concepito Geoswim, l'idea era quella di condurre un'osservazione di dettaglio della fascia costiera con un approccio che non era assolutamente usuale: il rilevamento a nuoto. Potremmo dire che quest'ultimo sta alla geomorfologia costiera come il rilevamento classico sta alla geomorfologia terrestre. Qualsiasi geologo converrebbe che sarebbe impensabile rinunciare al rilevamento di campagna, eppure le difficoltà logistiche delle coste rocciose unite al fatto che non basta saper camminare, ma è necessario anche

saper nuotare "benino", ha scoraggiato completamente un approccio di questo tipo. Eppure, la costa è un ambiente privilegiato per un geomorfologo, perché lungo questa fascia tutto ciò che affiora è esposto ed evidente, a differenza di altri ambienti dove la copertura vegetale nasconde tutto. La prima spedizione ebbe anche un carattere sportivo, oltre che scientifico, in quanto, tutto sommato, nonostante la preparazione fisica messa a punto nei mesi precedenti, non era scontato di riuscire a concludere con successo tutto il percorso. Gli anni successivi, complice anche le campagne più brevi, il programma divenne esclusivamente di ricerca, sebbene ancora oggi sia richiesta una certa dose di preparazione fisica, ed una ovvia predisposizione per il lavoro di campagna. L'abbinamento della raccolta di dati strumentali su lunghi tratti di costa rocciosa e l'osservazione delle forme costiere, tipica del lavoro del geologo di campagna, abituato a scarpinare sui sentieri di montagna, fu quindi uno dei cardini di Geoswim. Un rilievo di questo tipo permetteva infatti di vedere la costa in una maniera diversa, con l'occhio a quota zero, o meglio un occhio sopra e l'altro sotto la superficie del mare. E, probabilmente, nessuno al mondo prima di noi ebbe modo di fare un'esperienza di rilevamento di questo tipo. Il dettaglio di queste osservazioni, per quanto speditive, consentiva di mappare nel dettaglio non solamente le caratteristiche delle coste sulle quali si nuotava, ma anche

di osservare le variazioni laterali delle forme e di produrre quindi modelli *field-based* dell'evoluzione costiera, basati sulle osservazioni dirette. Le immagini scattate secondo dopo secondo consentivano inoltre di avere a disposizione un'istantanea del momento in cui veniva condotto il rilevamento. Queste immagini, essendo georeferenziate, potevano essere facilmente comparate con immagini dello stesso punto che potranno essere acquisite in campagne future, magari tra qualche anno o qualche decennio, in modo da disporre di un corposo database di osservazioni ripetute nel tempo. In breve, immagini "storiche" dettagliatissime della costa: un dato che molti studiosi vorranno avere a disposizione un giorno per studiare le coste del passato, ovvero quelle che noi studiamo e rileviamo oggi.

L'acquisizione delle immagini sopra e sotto la superficie del mare venne iniziata perché ci ponemmo il problema di creare dei modelli tridimensionali della zona di transizione tra la parte emersa e sommersa, dove gli strumenti generalmente faticano a mettere assieme dati di tipo diverso (Fig. 5). Qui inoltre arrivano le onde,

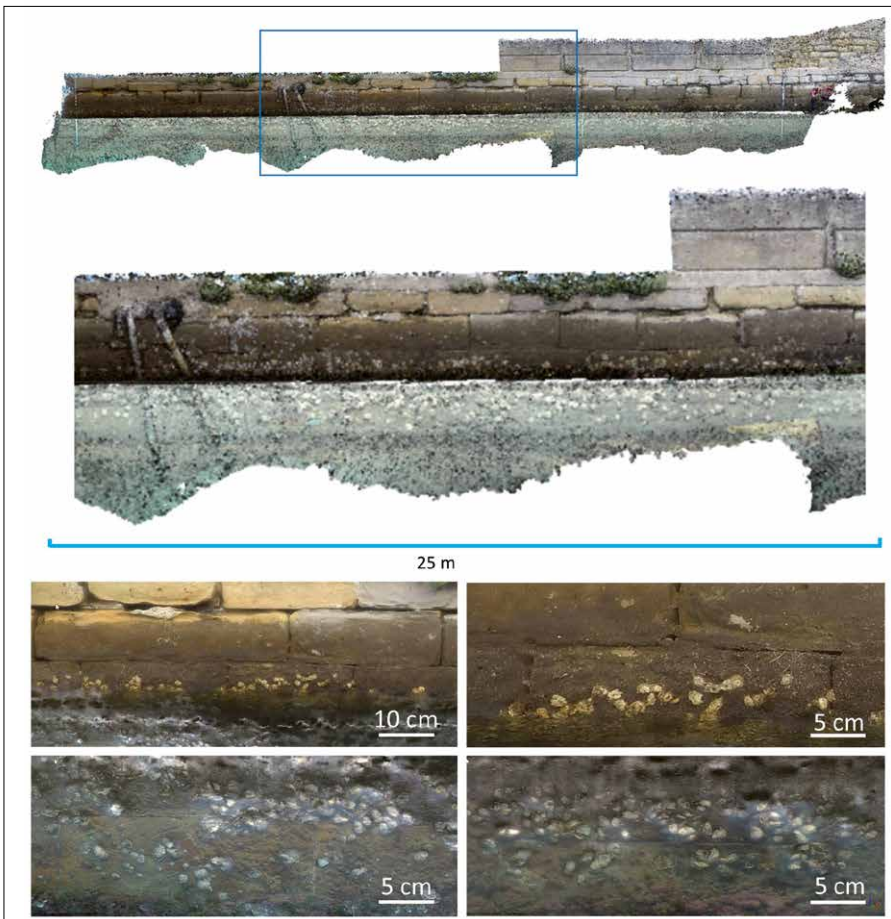


Fig. 5 - Modello tridimensionale della zona intertidale di un tratto di banchina artificiale nel Golfo di Trieste (modificata da Furlani et al., 2020).

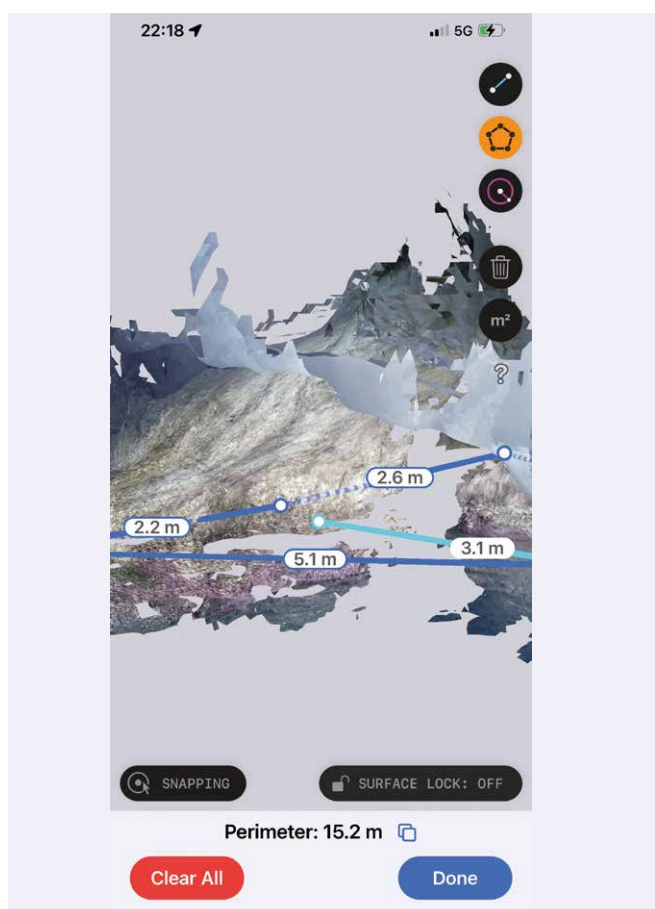


Fig. 6 - Modello di una grotta costiera a Capo Rama (Sicilia) eseguito con il Lidar incorporato in uno *smartphone* impermeabile.

che disturbano le immagini creando problemi di allineamento tra l'emerso con il sommerso. In questi ultimi anni abbiamo iniziato ad acquisire modelli tridimensionali della parte emersa della costa con sensori Lidar a basso costo presenti su alcuni *smartphone* (Fig. 6).

In Geoswim, la giornata di rilevamento è l'unità di misura fondamentale. I rilievi sono infatti organizzati per giornata di rilevamento. Il *database* che raccoglie i dati di rilevamento si compone di varie voci, tra cui ora di inizio e fine del percorso giornaliero, posizione dei punti di inizio e fine e altri dati che riguardano la navigazione. In realtà, le attività della giornata iniziano già il giorno precedente, quando vengono preparate le attrezzature, vengono caricate le batterie, viene verificata la funzionalità della strumentazione e, quando possibile, vengono anche fatti i sopralluoghi da terra. Il giorno di rilevamento inizia invece dalla colazione, generalmente abbondante, per far fronte alle molte ore di navigazione a nuoto senza bisogno di pause per mangiare. I rilievi vengono condotti da uno o più operatori che, singolarmente o in gruppo, nuotano o eventualmente si turnano in mare. Nei dieci anni di ricerche hanno collaborato numerosissimi ricercatori e studenti da varie università, enti di ricerca ed aree marine protette del Mediterraneo (Fig. 7).

Accanto ai geomorfologi, molto spesso anche biologi, ecologi, archeologi e geografi hanno partecipato ai rilievi. La campagna a Lampedusa ha visto la partecipazione addirittura di un filosofo, con il quale sono state approfondite le questioni più prettamente teoriche relative a questo tipo di rilievi. Per ciò che riguarda i dati strumentali, l'acquisizione rimane più o meno sempre la stessa. Immagini, video, dati di profondità, conducibilità e temperatura vengono rilevati in ogni campagna, a prescindere dal tipo di costa indagata. Accanto a questa base onnipresente di dati, come le immagini, i video e i dati chimico-fisici, vengono di volta in volta aggiunte alcune tipologie di osservazioni, calibrate sugli obiettivi della campagna, come ad esempio la presenza dei solchi marini lungo le coste carbonatiche, o alcuni tipo di organismi, come la *Patella ferruginea*, presente soprattutto



Fig. 7 - Foto di gruppo della campagna Geoswim del 2017 sull'isola di Paros (Grecia).

IL PROGRAMMA GEOSWIM

Rilievi a nuoto delle coste rocciose del Mediterraneo



Fig. 8 - Rilievi nella Grotta della Pipa a Marettimo (Isole Egadi, Sicilia occidentale).

nel Mediterraneo centro-orientale, ecc. Le immagini servono sia a documentare il rilevamento, “fissare” un determinato oggetto geomorfologico o biologico ad una data area, ma anche a “misurare” le variazioni laterali delle forme sopra e sotto la superficie del mare. L’acquisizione permette quindi di osservare nel dettaglio i cambiamenti di ogni forma rilevata, anche piccola, lungo il percorso di rilevamento e permette di studiare nel dettaglio le loro caratteristiche morfometriche, ovvero le dimensioni, e quindi avere più informazioni per studiarne l’evoluzione.

I valori di temperatura e conducibilità dell’acqua di mare vengono acquisiti praticamente in ogni campagna. Questi valori sono abbastanza costanti, con alcune variazioni geografiche e stagionali. Localmente, a causa delle venute sottomarine di acqua dolce, sia la temperatura che la conducibilità elettrica possono abbassarsi, tanto da rendere l’acqua di mare quasi dolce. Queste sorgenti sottomarine, che solitamente assumono nomi locali, sono particolarmente

abbondanti in alcune aree costiere caratterizzate da rocce carbonatiche, come ad esempio le coste della Grecia, della Turchia, e ovviamente dell’Adriatico orientale, dove peraltro è nato il programma Geoswim. Se la sorgente fa abbassare solamente la conducibilità elettrica, è necessario avere il conduttivimetro per rilevarla, mentre se si riduce anche la temperatura, può essere percepita nuotando sul corpo.

Durante il rilevamento vengono raccolti anche dati batimetrici. Normalmente sono acquisiti parallelamente alla costa e servono per avere un’idea generale della profondità alla base delle falesie costiere. Nei punti della costa di maggiore interesse, vengono effettuati dei profili perpendicolari lunghi circa 50 m che servono per caratterizzare il fondale antistante. Accanto ai dati strumentali, immagini, video, dati chimico/fisici e batimetrici raccolti in modo continuo, vengono condotte anche osservazioni sui singoli “oggetti geomorfologici”, come grotte (Fig. 8), faraglioni, archi o forme di interesse per lo studio delle variazioni del livello



Fig. 9 - Misure speditive su un solco marino sommerso a Paros (Grecia).



Fig. 10 - Operazioni di rilevamento nel Golfo di Trieste con l'appoggio della nave Umberto d'Ancona.

del mare, come i solchi marini attuali o fossili (Fig. 9). Le osservazioni vengono comunicate via radio alla barca di appoggio (Fig. 10), dove viene predisposto un vero e proprio "libretto di campagna". La partecipazione di esperti di altre discipline consente inoltre di eseguire osservazioni di altro carattere, ad esempio sull'ecologia costiera, la presenza o l'assenza di organismi vegetali o animali, alcuni molto importanti nella modellazione delle forme costiere, come ad esempio le patelle o gli organismi biocostruttori.

DIECI ANNI DI ESPLORAZIONI

I numeri di Geoswim oggi sono notevoli: 97 giornate di rilevamento nel Mediterraneo centro-orientale, per un totale di 20 campagne, oltre 500 chilometri di costa rilevata e oltre 335 ore di nuoto con maschera e pinne. A queste si aggiungono molte giornate di test, che sono servite per mettere a punto la strumentazione e migliorare la qualità e la precisione della navigazione e di acquisizione dei dati.

La campagna più lunga fu sicuramente la prima, con oltre 200 chilometri di coste percorse in solitaria da Stefano Furlani. In questa campagna, ogni piccola baia, anfratto e grotta lungo le coste dell'Istria venne perlustrata e vennero mappati i punti in cui affioravano i solchi sommersi, già in parte noti in Istria. Complessivamente, nelle campagne Geoswim sono state raccolte, finora, circa 500.000 immagini in *time-lapse* della zona emersa e 185.000 della zona sommersa e quasi 15.000 *outline images*, fotografie a supporto dei rilievi e 200 ore di video. Lungo le coste studiate sono state rilevate 270 grotte sul livello del mare attuale, 12 archi costieri e 14 faraglioni, assieme alla mappatura estensiva dei campi di marmite sommerse, i cosiddetti *potholes*. Il solco marino è stato

IL PROGRAMMA GEOSWIM

Rilievi a nuoto delle coste rocciose del Mediterraneo

IL FUTURO DI GEOSWIM

individuato in oltre la metà delle giornate di rilevamento. Dentro questi numeri, che per la prima volta certificano un'osservazione minuziosa delle coste rocciose, si nascondono anche rinvenimenti assolutamente inediti, come la scoperta di almeno due grotte completamente sconosciute ai catasti locali, o la mappatura dei solchi marini in zone in cui ancora non era riportato. In questo tipo di spedizioni è necessaria sempre una certa dose di fortuna, che può liberare il campo a scoperte impensate. Gli anglosassoni la chiamano *serendipity*, ovvero l'occasione di fare scoperte per puro caso trovando una cosa non cercata e prevista, magari mentre se ne sta cercando un'altra. Nel nostro caso, ad esempio, un grande sistema ipogeo costiero a tre camere è stato scoperto a Favignana, a poche centinaia di metri dal porto dell'isola. A Ustica invece, una cavità sconosciuta è stata individuata all'interno di un faraglione, lungo coste molto battute da pescatori e turisti. Su quest'isola, inoltre, venne individuato anche un solco marino attuale, lungo una costa di natura vulcanica, in cui solitamente non si forma. La presenza di piccole sacche di rocce carbonatiche ha permesso l'attivazione di processi di corrosione carsica e quindi condizioni favorevoli al loro sviluppo, sebbene lungo tratti ridottissimi.

Geoswim è un cosiddetto *ongoing program*, ovvero un programma di rilevamento che continua nel tempo, con l'obiettivo ambizioso di coprire a nuoto tutte le coste rocciose del Mediterraneo, seguendo un protocollo messo a punto in questi anni di ricerche. In futuro, verrà perseguita l'idea di esportare questo tipo di approccio anche fuori dal Mediterraneo, magari in mari che abbiano le sue stesse caratteristiche idrodinamiche, quindi bacini chiusi, con piccole escursioni di marea e scarsa energia delle onde: condizioni che permettano di acquisire dati in continuo nella stessa maniera in cui solitamente lavoriamo. La natura ambiziosa del progetto, i tanti chilometri previsti per completare il progetto ci spinge a lavorare alla creazione di gruppi di rilevamento che siano in grado di lavorare in sicurezza seguendo i protocolli messi a punto in questi anni, coinvolgendo anche studenti, dottorandi e giovani ricercatori sia nelle attività di campagna che di elaborazione dei dati. L'avanzamento tecnologico delle strumentazioni che utilizziamo durante le campagne Geoswim è all'ordine del giorno: i sensori, e soprattutto le fotocamere, aumentano in risoluzione anno dopo anno, consentendo di migliorare i dettagli delle acquisizioni.

BIBLIOGRAFIA

Antonoli F., Lo Presti V., Anzidei M., Deiana G., De Sabata E., Ferranti L., Furlani S., Mastronuzzi G., Orrù P., Pagliarulo R., Rovere A., Sannino G., Sandò P., Scicchitano G., Spampinato C.R., Vacchi M. & Vecchio A. (2015). *Tidal notches in the Mediterranean Sea*. *Quaternary Science Review*, 119, 1-19.

Antonoli F., Ferranti L., Stocchi F., Deiana G., Lo Presti V., Furlani S., Marino C., Orrù P., Scicchitano G., Trainito E., Anzidei M., Bonamini M., Sansò P. & Mastronuzzi G. (2018). *Last Interglacial tidal notches in tectonically stable coasts in the Mediterranean Sea: Implications for GIA model predictions*. *Earth Science Review*, 185, 600-623.

Antonoli F., Anzidei M., Lo Presti V., Scicchitano G., Spampinato C., Trainito E. & Furlani S. (2017). *Enigmatic marine notch sites: three case studies in the central Mediterranean Sea*. *Quaternary International*, 439, 4-16.

Bascom W. (1976). *Onde e spiagge*. *Dinamica della superficie marina*. Zanichelli.

Bisanti L., de Sabata E., Visconti G. & Chemello R. (2021). *Towards a local mass mortality of the Mediterranean orange coral *Astroides calycularis* (Pallas, 1766) in the Pelagie Islands Marine Protected Area (Italy)*. *Aquatic Conservation Marine and Freshwater Ecosystems*, 32(1). <https://doi.org/10.1002/aqc.3772>

De Waele J. & Furlani S. (2021). *cap. 6.13 Seawater and biokarst effects on coastal karst*. In: Shroeder, J.F. (Ed.) *Treatise on Geomorphology*, Vol. 6, Elsevier, Amsterdam, 341-350.

Furlani S. (2020). *Integrated observational targets and instrumental data on rock coasts through snorkel surveys*. *Marine Geology*, 245, 106191, 1-15.

Furlani S., Pappalardo M., Gomez-Pujol L. & Chelli A. (2014). *The rock coast of the Mediterranean and Black Seas*. In: Kennedy, D.M., Stephenson, W.J., Naylor, L.A. (Eds), *Rock Coast Geomorphology: A Global Synthesis*. Geological Society, London Memoirs, 40, 89-123.

Furlani S., Ninfo A., Zavagno E., Paganini P., Zini L., Biolchi S., Antonoli F., Coren F. & Cucchi F. (2014b). *Submerged notches in Istria and the Gulf of Trieste: results from the Geoswim Project*. *Quaternary International*, 332, 37-47.

Furlani S., Antonoli F., Cavallaro D., Chirco P., Caldarelli F., Foresta Martin F., Gasparo Morticelli M., Monaco C., Sulli A., Quarta G., Biolchi S., Sannino G., De Vita S., Calcagnile L. & Agate M. (2017). *Coastal landforms and Late Quaternary relative sea level changes at Ustica (Sicily, southern Italy)*. *Geomorphology*, 299, 94-106.

Furlani S., Antonoli F., Gambin T., Gauci R., Ninfo A., Zavagno E., Micallef A. & Cucchi F. (2017). *Marine notches on the Maltese Islands (Central Mediterranean Sea)*. *Quaternary International*, 439, 158-168.

Furlani S. (2020). *Integrated observational targets and instrumental data on rock coasts through snorkel surveys*. *Marine Geology*, 245, 106191, 1-15.

Furlani S., Vaccher V., Macovaz V. & Devoto S. (2020). *A cost-effective method to create 3D models of the nearshore and intertidal zone in microtidal environments*. *Remote Sensing*, 12, 1880.

Furlani S., Vaccher V., Antonoli F., Agate M., Biolchi S., Boccali C., Busetti A., Caldarelli F., Canziani F., Chemello R., Causon Deguara J., Dal Bo E., Dean S., Deiana G., De Sabata E., Donno Y., Gauci R., Giaccone T., Lo Presti V., Montagna P., Navone A., Orrù P.E., Porqueddu A., Schembri J.A., Taviani M., Torricella F., Trainito E., Vacchi M. & Venturini E. (2021). *Preservation of MIS 5.5 erosional landforms and biological structures to be used as sea level change markers: a matter of luck*. *Water*, 13(2127). <https://doi.org/10.3390/w13152127>

Sunamura T. (1992). *Geomorphology of Rock coasts*. Chichester, Wiley.

Trenhaile A.S. (1987). *The geomorphology of rocky coasts*. Oxford, Clarendon Press.