

PROGETTO VIVARA

Report e pianificazione delle attività di ricerca 2025–2027

Premessa

Il presente documento riporta lo stato di avanzamento delle attività di ricerca e monitoraggio svolte presso la Riserva Naturale Statale *Isola di Vivara* nell'ambito della convenzione 2025-2027, in continuità con quanto avviato nella convenzione precedente, e ne pianifica gli sviluppi futuri. Le attività si inseriscono in un più ampio programma di studio del paesaggio costiero e sommerso dell'area flegrea, volto a comprendere le complesse dinamiche geologiche e antropiche che hanno caratterizzato l'evoluzione dell'isolotto di Vivara nel tempo, e a definire strategie di monitoraggio e di tutela compatibili con la fragilità dell'ecosistema insulare.

Il programma si articola in due fasi tra loro complementari: una **fase di acquisizione tecnologica** (Fase 1), dedicata alla digitalizzazione tridimensionale del paesaggio emerso e sommerso e all'installazione di una rete di sensori ambientali, e una **fase analitica** (Fase 2), volta all'elaborazione e all'interpretazione dei dati raccolti nell'ambito di un'infrastruttura GIS integrata, accessibile al link:

<https://www.proximaterra.it/isola-di-vivara/>

Sintesi delle attività

Fase 1 – Tecnologie di acquisizione

- Prosecuzione della digitalizzazione tridimensionale della costa di Vivara
- Digitalizzazione dei percorsi (sentieri) dell'isola
- Installazione di sensori ADCP per la misurazione dei profili di velocità della corrente
- Indagini di geofisica marina nelle aree sommerse (Golfo di Genito e Chiaiolella–Ciraccio)
- Digitalizzazione di dettaglio subacquea in prossimità dei target archeologici
- Installazione di una stazione meteo
- Installazione di una rete di sensori di suzione (tensiometri)
- Prove penetrometriche

Fase 2 – Fase analitica

- Studio geomorfologico dell'isola
- Caratterizzazione delle incisioni fluviali
- Mappatura dei percorsi e dei declivi
- Analisi delle variazioni altimetriche dei fondali e della distribuzione della posidonia
- Analisi dei fenomeni locali di erosione e insabbiamento
- Analisi dei dati acquisiti dai sensori
- Analisi dei venti dominanti

Fase 1 – Sommario tecnologie

Digitalizzazione tridimensionale dell'isola (LiDAR da drone)

Nell'ambito dell'accordo 2025-2027 prosegue, in continuità con la convenzione precedente, la campagna di digitalizzazione tridimensionale dell'isolotto di Vivara. Le acquisizioni sono condotte mediante tecnologia **LiDAR da drone**, impiegando un drone DJI Matrice 300 RTK equipaggiato con sensore LiDAR L1 che, al variare delle condizioni ambientali, garantisce una densità di acquisizione media di circa 900 punti per metro quadrato. A differenza di altri metodi di rilievo alla scala del paesaggio, il LiDAR consente di oltrepassare la copertura vegetale, restituendo un modello affidabile anche delle porzioni di terreno altrimenti occultate dalla vegetazione.

Rilievo di dettaglio dei sentieri (laser scanner terrestre)

La digitalizzazione tridimensionale dell'isolotto comprenderà inoltre alcune aree di dettaglio: i sentieri a fondo naturale saranno rilevati mediante **laser scanner terrestre TOF-TLS** (ZF 5016), impiegato in modalità Flexscan dinamica. Le acquisizioni tridimensionali, sia da drone LiDAR sia da stazione totale, prevedono l'utilizzo di marker – *ground control points terrestri* – a supporto delle procedure di allineamento e di integrazione tra i diversi set di dati.

Rete di monitoraggio meteo-climatico e dei suoli

Il piano di monitoraggio terrestre prevede l'installazione di una stazione meteo, composta da almeno un **pluviometro**, un **termometro**, un **igrometro** e un **anemometro**, per lo studio delle condizioni climatiche locali, affiancata da una rete di sensori di suzione (**tensiometri**). Tali attività costituiranno il supporto conoscitivo necessario alle successive fasi di messa in sicurezza dei fronti franosi mediante interventi di ingegneria naturalistica ed ecocompatibili.

Rilievi subacquei di dettaglio (fotogrammetria)

Sono inoltre previste attività di digitalizzazione tridimensionale delle aree sommerse in prossimità dei target archeologici greco-romani adiacenti alle coste di Vivara, mediante campagne di fotogrammetria subacquea. La procedura, già sperimentata con esito positivo nel corso della convenzione precedente, prevede l'installazione temporanea di boe di modeste dimensioni collegate a *ground control points terrestri* posizionati sul fondale marino; queste ultime vengono a loro volta rilevate tramite fotogrammetria aerea e/o LiDAR, così da integrare l'acquisizione subacquea nel modello tridimensionale generale dell'isola.

Monitoraggio delle correnti (ADCP)

Il piano di studio e monitoraggio dell'area costiera di Vivara prevede l'impiego di sensori **ADCP** (Acoustic Doppler Current Profiler), già sperimentalmente testati nel mese di luglio 2026, la cui installazione, prevista per ottobre 2026, consentirà la registrazione dei profili di velocità dell'acqua. L'obiettivo è duplice: contribuire allo studio dei futuri scenari climatici nell'area di interesse e monitorare l'arretramento costiero e subacqueo all'interno del cratere dell'isola.

Geofisica marina (Golfo di Genito)

Il dato batimetrico tridimensionale già acquisito presso l'area del Golfo di Genito sarà integrato da nuove indagini di geofisica marina, condotte mediante strumentazione a noleggio – **sonar multibeam e sub-bottom profiler** – al fine di correlare il dato spaziale tridimensionale dei fondali alle informazioni stratigrafico-strutturali presenti al di sotto di essi.

Fase 2 – Fase analitica

I rilievi di dettaglio, terrestri e subacquei, saranno integrati nel modello tridimensionale generale dell'isola di Vivara con approssimazioni trascurabili rispetto alla scala del rilievo. Il modello complessivo – comprensivo delle acquisizioni generali e di dettaglio, georiferito nel sistema WGS84 UTM 33N – sarà inglobato in una piattaforma GIS (ambiente ArcGIS Pro e ArcGIS Web), dove interagirà con i dati topografici, cartografici e con acquisizioni di altra natura.

Analisi multi-tematica del paesaggio

Le acquisizioni tridimensionali, in fase di analisi, permetteranno di studiare e interpolare informazioni riferite a diverse aree semantiche insistenti sulla medesima superficie territoriale. L'isolotto di Vivara e le aree sommerse prossime alla sua costa saranno analizzati anzitutto da un punto di vista geologico e geomorfologico, per poi integrare i dati antropologici e culturali veicolati dai resti archeologici sottomarini e dai sentieri che attraversano la vegetazione in superficie. La combinazione di queste informazioni con le posizioni note dei target archeologici e degli episodi franosi potrà fornire ipotesi sull'assetto geomorfologico di epoche passate, facendo emergere, per differenza, l'entità dell'intervento antropico. Le acquisizioni periodiche **TOF-TLS** lungo i sentieri risulteranno in particolare determinanti sia per la ricostruzione e l'analisi spaziale degli ambienti attuali e passati, sia per il monitoraggio ambientale in senso stretto, contribuendo alla comprensione dei fenomeni morfogenetici in atto.

Monitoraggio delle condizioni climatiche

Le condizioni climatiche locali saranno monitorate attraverso le stazioni meteo, dotate di sensori termo-idro-pluviometrici, di seguito descritti.

Pluviometro. Le misure a terra e puntuali della quantità di acqua di precipitazione avvengono tramite il pluviometro, costituito da un cilindro e da un imbuto raccoglitore la cui bocca convoglia l'acqua in una bilancia posta alla base del cilindro, permettendo la misura del quantitativo di pioggia. Lo strumento deve essere posizionato lontano da eventuali ostacoli – alberi, manufatti, costruzioni – che, in particolare in occasione di precipitazioni trasversali, possano ridurre o alterare la misura raccolta. Anche a fronte di un corretto posizionamento, diverse cause possono inficiare la misura; la più rilevante è l'accelerazione verticale e orizzontale del vento in corrispondenza dello strumento, che devia la traiettoria delle gocce più piccole (effetto splash) e provoca una sottostima della precipitazione reale.

Anemometro. La stima dell'effetto meccanico del vento sarà effettuata tramite anemometri, di cui esistono due tipologie principali. Il primo tipo, tradizionale, è dotato di coppette rotanti e di un misuratore meccanico della direzione del vento; è impiegato prevalentemente per scopi climatologici, ma misura solo la componente orizzontale del vento ed è poco adatto a rilevare la turbolenza. La seconda tipologia, l'anemometro ultrasonico, è dotata di tre coppie di sensori ortogonali che forniscono misure tridimensionali del vento con risoluzioni temporali elevate. Anche per questo strumento valgono le indicazioni dell'Organizzazione Mondiale della Meteorologia relative alla distanza dagli ostacoli, che deve essere almeno pari a dieci volte l'altezza dell'ostacolo stesso.

Igrometro. L'igrometro sarà utilizzato per monitorare la qualità dell'aria e i livelli di umidità relativa. L'umidità relativa è espressa come percentuale del rapporto tra l'umidità assoluta – la quantità di vapore acqueo presente in atmosfera in un dato istante – e l'umidità di saturazione, ovvero la quantità massima di vapore acqueo che può essere presente a una data temperatura e pressione.

Termometro. Il termometro, tra i sensori più comuni ed economici, sarà impiegato per la misurazione della temperatura dell'aria e della relativa escursione termica giornaliera. È costituito da un termistore lineare o da una termoresistenza che, sfruttando le variazioni di conduttività del metallo al variare della temperatura, è in grado di registrare anche minime oscillazioni termiche. Per una buona accuratezza della misura, il sensore deve essere protetto dall'irraggiamento solare diretto, posizionato a un'altezza di almeno 1,25 m dal suolo – per non risentire del calore emesso o riflesso dal terreno – e a una distanza di almeno 10 metri da materiali soggetti a forte riscaldamento, come asfalto e catrame.

Tensiometri. Attraverso l'installazione di una rete sensoristica di suzione (tensiometri) sarà possibile monitorare il carico di suzione – la forza con cui l'acqua è trattenuta nel terreno – oltre alla profondità del cosiddetto "fronte bagnato", ovvero il livello a cui il terreno risulta saturo. Il tensiometro nella sua versione tradizionale è costituito da un tubo di plastica trasparente del diametro di 2,5 cm, composto da spezzoni filettati avvitabili tra loro fino a una lunghezza di 1,5 m e oltre, da riempire con acqua distillata subito dopo l'installazione; all'estremità inferiore è avvitata una capsula ceramica. Accanto a questa versione a tubo esistono numerosi altri sensori per la misura della suzione, basati su principi di funzionamento diversi, tra cui i sensori termici (FTC): trasduttori contenuti in una carcassa metallica dotata, alla punta, di una capsula ceramica per l'ingresso dell'acqua, da installare nel terreno e collegati mediante cavo a un data logger in superficie. Il tensiometro a tubo opera in un campo di suzione limitato (fino a 80 kPa), mentre i trasduttori FTC possono raggiungere un fondo scala variabile tra 100 e 500 kPa, a seconda del modello, operando correttamente fino a temperature di 35°-40°C con un'accuratezza compresa tra 0,15 e 0,50 kPa.

ADCP. Lo studio delle condizioni climatiche locali sarà inoltre supportato dai sensori ADCP, che consentiranno di misurare l'altezza, la direzione e la frequenza del moto ondoso, oltre alla salinità e alla temperatura superficiale dell'acqua. I dati acquisiti permetteranno anche il monitoraggio delle correnti e delle maree.

Le misure raccolte dai sensori descritti, pre-processate in locale e archiviate in un data logger, saranno trasmesse – compatibilmente con le condizioni tecniche e logistiche del sito – tramite diverse modalità di comunicazione (VHF, GPRS, Wi-Fi) a un centro di raccolta ed elaborazione dei dati.

Geofisica marina del Golfo di Genito

Il piano di studio relativo all'area del Golfo di Genito prevederà il noleggio di strumentazione per il rilevamento di dati di geofisica marina, finalizzato all'individuazione di target geoarcheologici. La pregressa ricostruzione tridimensionale dei fondali, ottenuta mediante fotogrammetria subacquea e strumentazione sonar multibeam, sarà integrata da acquisizioni sub bottom profiler, che permetteranno di individuare localmente target ricoperti da sedimenti. L'integrazione di questi dati, strettamente correlata allo studio della localizzazione e della caratterizzazione della posidonia marina, offrirà la possibilità di ricostruire l'evoluzione altimetrica dei fondali e di stimarne il grado di erosione locale.

Output della piattaforma GIS – www.proximaterra.it

I modelli tridimensionali di Vivara, uniti a quelli di Santa Margherita e della linea costiera dalla Chiaiolella a Ciraccio, costituiranno la superficie su cui mappare i dati raccolti attraverso la rete sensoristica terrestre e marina. La totalità dei dati acquisiti, delle analisi svolte e delle simulazioni e ipotesi elaborate sarà veicolata attraverso applicativi GIS dell'ambiente ESRI, in modo da garantire diversi livelli di output:

- comunicazione e musealizzazione dei dati scientifici verso un pubblico ampio e trasversale;
- comunicazione settoriale alle figure professionali coinvolte nell'ambito della convenzione;
- interoperabilità tra i partner del progetto.

La piattaforma web-GIS per il monitoraggio delle condizioni ambientali e di stabilità dell'area consentirà di definire un protocollo per affrontare e gestire le conseguenze derivanti dall'evoluzione dei rischi naturali e antropici. Il monitoraggio rappresenta infatti uno strumento propedeutico a un'efficace attività di manutenzione programmata e, quindi, di conservazione preventiva. La strumentazione da impiegare e il relativo posizionamento sono stati definiti sulla base della documentazione esistente – incluse le ricostruzioni delle vicende storiche del sito – e di sopralluoghi condotti in loco per la caratterizzazione delle condizioni vulcano-tettoniche dell'area.

Prof. Leopoldo Repola

Università degli Studi di Napoli Federico II - DiSTAR